



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN

**EVALUACION ESTRUCTURAL DEL  
PAVIMENTO EN EL AEROPUERTO  
INTERNACIONAL DE VILLAHERMOSA,  
TABASCO, UTILIZANDO EL METODO ACN-PCN**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**I N G E N I E R O C I V I L**

P R E S E N T A :

***FORTUNATO AVELINO ANGEL***

ASESOR ING.: MARIA DE LOS ANGELES SANCHEZ CAMPOS

SAN JUAN DE ARAGON, EDO. DE MÉXICO.

2005

m. 340180



Universidad Nacional  
Autónoma de México

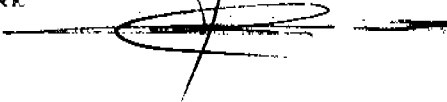


**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Aut... a la D... de la  
UN... de la  
CO... eso el  
NO... nal.  
— FORTUNATO —  
— AVEIND ANGE —  
REC 28 - NOVIEMBRE - 2004  
FIRM 

2

PEIONE .M

PEIONE .M



---

**Evaluación Estructural del  
Pavimento en el Aeropuerto  
Internacional de Villahermosa,  
Tabasco, utilizando el método  
ACN-PCN**

---

## DEDICATORIA:

### A MI AMADA ESPOSA:

Por su apoyo, cariño, respeto y colaboración, durante todo este proceso. Por compartir las alegrías, las penas y por siempre tener palabras de aliento día con día para alcanzar nuevas metas tanto profesionales como personales. Por qué junto a ti, la alegría compartida aumenta su proporción y la tristeza disminuye significativamente.

### A MIS AMADOS HIJOS:

A quienes pretendo dejar un ejemplo de perseverancia como testimonio de que en la vida hay valores superiores para sostener un ideal, a pesar de las dificultades para alcanzar las metas fijadas. Nada hay en el mundo que pueda privarlos de mi amor, de mi deseo de que vivan, alcancen su realización personal y sean felices. Son lo que más amo en la vida

### A MI MADRE:

Por la deuda impagable de sangre y vida; por su amor y guía a lo largo de mi existencia. A ella que fue y seguirá siendo el ejemplo luminoso de sencillez y honestidad, mi eterno amor.

### A MIS HERMANOS:

Por todos los años de convivencia y experiencia compartidos; por el profundo cariño que siempre nos ha unido; por el apoyo moral y tantas ideas aportadas en el camino del estudio y mi formación humana y profesional, en especial a mis hermanos HILDIBERTA Y NICASIO que definitivamente sin su apoyo no hubiese sido posible este logro. Les estaré agradecido toda la vida. Los quiero mucho

A mi cuñado VICENTE CHARCO y esposa,  
mi eterno agradecimiento por su apoyo  
y tan buenos consejos.

A TODA MI FAMILIA, tanto biológica como conyugal, porque Dios no pudo haber puesto en mi vida gente mas buena que ellos, les quiero mucho.

Muchas gracias...

## RECONOCIMIENTOS:

Primeramente, gracias a Dios por poner en mi camino a tantas personas, quienes han contribuido de forma significativa a este trabajo y a mi vida.

A mi distinguido director de tesis la **Ing. María de los Ángeles Sánchez Campos**, mi reconocimiento, admiración y aprecio por su dirección, orientación y paciencia en el ordenamiento y selección de las fuentes informativas. Por su buena disposición mostrado a lo largo de este trabajo y valiosos consejos que me permitieron alcanzar los objetivos de esta tesis.

Agradezco al **Ing. Marlo Iruegas Evaristo**, Director de la compañía Áncora Ingeniería, S.A. de C.V. por su apoyo y facilitar el material didáctico utilizado en este trabajo.

Mi agradecimiento a la Universidad Nacional Autónoma de México que me brindo la oportunidad de realizar mis estudios y de la cual siempre he recibido apoyo.

De igual forma deseo expresar mi agradecimiento a mi distinguido sínodo por su apoyo para la culminación de esta tesis.

Finalmente a todas aquellas personas, colegas y amigos que me brindaron su apoyo, tiempo e información para el logro de mis objetivos.

# CONTENIDO

pag.

<b>OBJETIVO</b> .....	1
<b>INTRODUCCION</b> .....	1
<b>CAPITULO 1 MARCO DE REFERENCIA</b> .....	4
PAVIMENTOS DE AEROPUERTOS .....	4
CLASIFICACION DE LOS PAVIMENTOS DE AEROPUERTOS .....	5
COMPOSICION DE LOS PAVIMENTOS RIGIDOS .....	5
COMPOSICION DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES .....	7
TIPOS DE FALLAS EN LOS PAVIMENTOS .....	10
EVALUACIÓN DE LOS PAVIMENTOS .....	12
ENSAYOS DE SUELOS .....	19
ENSAYOS CBR EN CAMPO .....	20
DESCRIPCIÓN DEL METODO CBR .....	22
PRUEBAS DE PLACA .....	27
MEDICION DE DEFLEXIONES .....	30
EL METODO ACN-PCN .....	37
METODO DE LA FAA (ADMINISTRACIÓN FEDERAL DE AVIACIÓN) .....	46
EL TRANSITO .....	46
ESPESOR EQUIVALENTE DEL PAVIMENTO ( E ) .....	52
METODO DE LA ASOCIACIÓN DEL CEMENTO PÓRTLAND (PCA) .....	56
REFUERZO EN LOS PAVIMENTOS DE AEROPUERTOS .....	58

<b>CAPITULO 2</b>	<b>EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS EN LA PISTA, CALLES DE RODAJE Y PLATAFORMAS DE AVIACIÓN COMERCIAL Y GENERAL EN EL AEROPUERTO DE VILLAHERMOSA, TAB.</b>	64
	TRABAJOS DE CAMPO .....	64
	TRAZO DE APOYO .....	65
	MEDICION DE DEFLEXIONES .....	66
	ESTUDIO GEOTECNICO .....	66
	INSPECCION VISUAL DEL PAVIMENTO .....	70
<b>CAPITULO 3</b>	<b>NOTIFICACION DEL NUMERO DE CLASIFICACION DE PAVIMENTOS (PCN)</b>	72
<b>CAPITULO 4</b>	<b>PROPUESTA DE REHABILITACIÓN DE PAVIMENTO EN LA PISTA, CALLES DE RODAJE Y PLATAFORMAS COMERCIAL Y GENERAL</b>	86
<b>CAPITULO 5</b>	<b>RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES</b>	92
	<b>BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS</b>	96
	<b>GLOSARIO</b>	98
	ANEXO 1.- EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO MEDIANTE EL NUMERO DE CLASIFICACION DE PAVIMENTOS (PCN)	
	ANEXO 2.- CALCULO DE DEFLEXIONES	
	ANEXO 3.- ENSAYES DE LABORATORIO	
	ANEXO 4.- PLANOS DE LOCALIZACIÓN DE PCA Y SONDEOS	
	ANEXO 5.- CURVAS DE CALCULO DE ESPESORES	



## **OBJETIVO**

El presente estudio pretende dar a conocer la condición estructural actual del pavimento existente de los elementos de operación terrestres con los que consta el aeropuerto de Villahermosa, Tab. a través de una serie de trabajos de gabinete y campo, tanto destructivos como no destructivos. El conocimiento de la condición estructural marcará la pauta para recomendar los trabajos necesarios de rehabilitación en el pavimento de la pista 08-26, rodaje alfa, rodaje Bravo, plataforma de aviación general y plataforma de aviación comercial.

## **INTRODUCCIÓN**

La capacidad estructural de un pavimento, se ha relacionado, para fines de evaluación, con la medición de la deflexión del pavimento flexible cuya capacidad estructural se desea evaluar. Estas deflexiones se determinaron con el equipo de la viga Benkelman, pudiéndose también determinar con otros equipos tales como el curvímetro Dehelen o con el deflectómetro del tipo Dynaflect, cuando la carga que se aplica al pavimento es dinámica. La viga Benkelman se muestra esquemáticamente en el capítulo I. En el presente estudio, la viga Benkelman se ha empleado principalmente para ubicar los pozos a cielo abierto y los sondeos (extracción de corazones) en los pavimentos .

Para conocer la condición estructural actual del pavimento, fue necesario realizar una exploración en el lugar mediante levantamientos topográficos, estudios geotécnicos a base de sondeos y muestreo de los materiales para investigar la composición de las capas de pavimento y las propiedades de la cimentación. También se realizó una revisión ocular para conocer la condición superficial del pavimento (levantamiento de daños ).

El aeropuerto Internacional "CPA Carlos Rovirosa" de Villahermosa, Tab., se localiza a 12 Km. al E de la Ciudad de Villahermosa, su punto de referencia, ubicado en el centro de la pista, se encuentra localizado en los 17° 59' 41" latitud norte y 92° 49' 01" longitud oeste. El aeropuerto se encuentra a 13 mts. sobre el nivel medio del mar.

De acuerdo con la clasificación de climas de México, la zona donde se ubica el aeropuerto de Villahermosa presenta un clima cálido-húmedo

con lluvias de verano. Se tiene una temperatura media anual de 24.9 °C con medias extremas de 34.9 °C y 20.9 °C. En esta zona existen las humedades relativas más altas de la Republica Mexicana, en Villahermosa se registra una humedad relativa media de 76%. Por lo que se refiere a la precipitación pluvial, también es alta ya que alcanza 1935 mm anuales.

La zona en estudio se ubica en la planicie costera del golfo. Esta provincia fisiográfica se extiende desde florida hasta Yucatán y está limitada hacia el litoral del Golfo de México por una serie de lagunas. Al norte y al sur de Veracruz la planicie costera está cortada respectivamente, por el eje volcánico y por el Macizo de los Tuxtlas encontrándose además limitada al poniente por la Sierra Madre Occidental. La parte plana es en ciertos lugares una faja relativamente angosta. Las rocas que afloran en esta parte de la provincia son principalmente de edad Terciario a Reciente, construidas por arenas de grano grueso y fino interestratificadas con arcillas, lechos fosilíferos, areniscas, conglomerados y depósitos clásticos de grano fino y gravas, de orígenes tanto marinos como aluviales, lacustres, palustres y continentales.

En Veracruz el terreno se escalona hacia la costa formando cuestras, pero al sur de este estado y en tabasco se torna cada vez más plano.

En el relieve de la región predominan las tierras bajas y pantanosas con algunos lomeríos.

El Aeropuerto de Villahermosa, Tab. fue construido por la Dirección General de Aeropuertos y entregado a ASA para su operación en 1965.

Los elementos de operación con los que cuenta el aeropuerto de Villahermosa, Tab., son:

Pista 08-26, de 2,207 m de longitud por 45 m de ancho, con una sobrecarpeta de concreto asfáltico en los 45 m de ancho, debajo de esta renivelación existe una franja central de 16 m de ancho de losas de concreto hidráulico y las dos franjas externas, de 14.5 m de ancho son de concreto asfáltico, los acotamientos son de concreto asfáltico y tiene 7.50 m de ancho.

Rodaje Alfa, de 487 m de longitud por 23 m de ancho, los 10 m centrales son de concreto hidráulico y las dos franjas externas, de 6.50 m de ancho son de concreto asfáltico, los acotamientos son de concreto asfáltico y tienen 7.50 m de ancho.

Rodaje Bravo, de 487 m de longitud por 23 m de ancho, los 10 m centrales son de concreto hidráulico y las dos franjas externas, de 6.50 m de ancho son de concreto asfáltico, los acotamientos son de concreto asfáltico y tienen 7.50 m de ancho.

Plataforma General, de concreto asfáltico, de 150 m de largo por 90 m de ancho.

Plataforma Comercial, de concreto hidráulico, de 180 m de largo por 80 m de ancho.

*Los pavimentos de los elementos de operación terrestre de este aeropuerto se construyeron de concreto mixto.*

## CAPITULO 1    **MARCO DE REFERENCIA**

### **PAVIMENTOS DE AEROPUERTOS**

Es aún frecuente la idea de que los pavimentos de un aeropuerto no son mas que el equivalente a los de una carretera pero más anchos, más cortos, de mayor espesor y en los que, en lugar de automóviles u camiones transitan aviones. Sin embargo existen diferencias sustanciales entre ambos pavimentos, derivadas de su operación, entre las que se pueden mencionar:

- La canalización del tránsito de los vehículos
- La intensidad de las cargas a soportar.
- Las presiones de inflado de las llantas.
- La frecuencia del tránsito.
- La posibilidad de construir pavimentos diferenciales en el sentido longitudinal.
- Las condiciones de rugosidad de la superficie de rodamiento.
- La textura de la superficie del pavimento que afecta al frenado de los vehículos.
- Las condiciones de operación.

Dadas las condiciones de operación de una carretera o camino, es relativamente fácil modificar la circulación de los vehículos, y reglamentar su velocidad para efectuar las reparaciones que se requieran, por medio de un señalamiento adecuado, lo que en las pistas para efectuar reparaciones casi siempre es necesario cancelar las operaciones y en consecuencia, si el aeropuerto tiene una sola pista, se tendrán clausuradas las operaciones en el aeropuerto durante el tiempo que duren los trabajos.

Los pavimentos de aeropuertos son diseñados y construidos para soportar las cargas aplicadas por las aeronaves y que permitan el rodamiento de las aeronaves modernas, en forma expedita, segura,

cómoda y económica. El pavimento debe ser de tal calidad y espesor para garantizar que no fallará bajo las cargas impuestas y debe ser bastante resistente a la acción abrasiva del tráfico, al intemperismo producido por los agentes naturales y a cualquier otro agente perjudicial. Su función es la de transmitir adecuadamente los esfuerzos a la subrasante, de modo que ésta no se deforme de manera perjudicial.

La subrasante es la superficie de una terracería terminada, siendo ésta última el conjunto de cortes y terraplenes de una obra vial.

## **CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS DE AEROPUERTOS.**

Actualmente existen dos tipos básicos de pavimento:

- a) Pavimentos Rígidos
- b) Pavimentos Flexibles.

## **COMPOSICIÓN DE LOS PAVIMENTO RÍGIDOS.**

Los pavimentos rígidos normalmente usan el hormigón de cemento Pórtland como el principal elemento estructural. La estructura de este tipo de pavimentos se logra mediante la construcción de losas de concreto, coladas *in situ*, apoyadas, por lo general, sobre una sub-base. En este caso las losas son, al mismo tiempo, los elementos resistentes y la superficie de rodamiento. La sub-base constituye propiamente una capa de transición entre la rigidez de las losas y la de las terracerías, funcionando como capa drenante que controla el fenómeno de bombeo, la acción de las heladas y la contracción o expansión de las terracerías, proporcionando también mayor facilidad constructiva. La figura 1-1 ilustra una estructura típica del pavimento rígido. Este tipo de pavimentos puede construirse de concreto simple o reforzado, existiendo también, en muy contados casos, pavimentos de concreto presforzado. Las losas de concreto simple son de dimensiones pequeñas, del orden de 4 m a 8 m.

Generalmente las reparaciones que son necesarios efectuar al pavimento de concreto caen en tres grandes clases: (1) el reemplazo del pavimento que ha sido cortado totalmente, para colocar o reparar tubería u otras instalaciones; (2) la reparación de hoyos o depresiones causados ya sea por falla original en la construcción o por el efecto normal del desgaste y (3) las reparaciones a lo largo de las juntas de expansión o de las grietas formadas por sí solas en el pavimento.

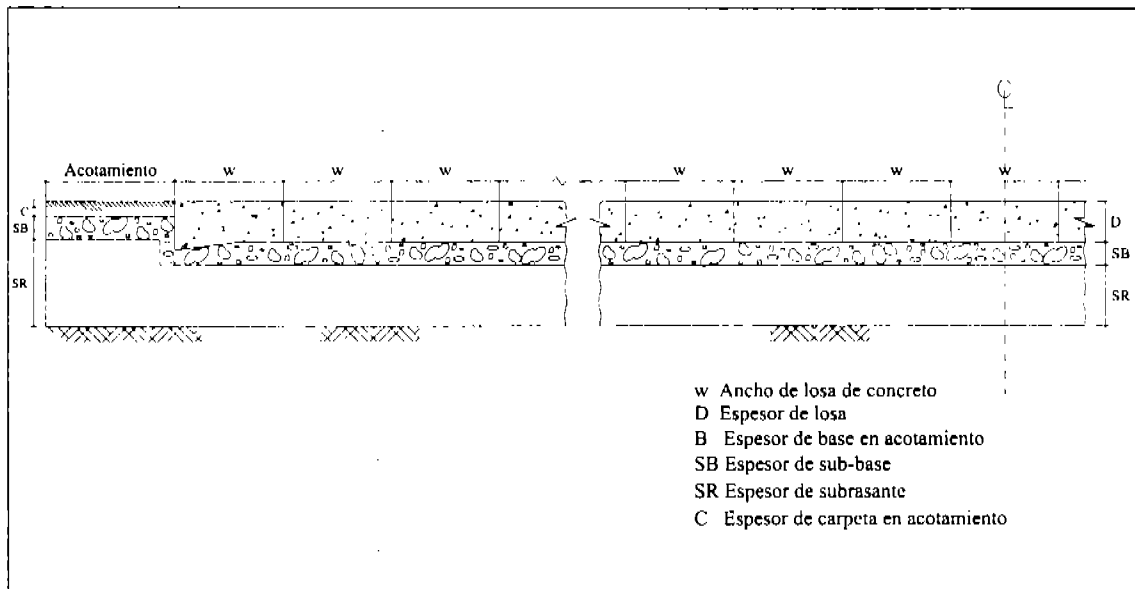


FIGURA 1-1. SECCION ESTRUCTURAL DE UN PAVIMENTO RIGIDO

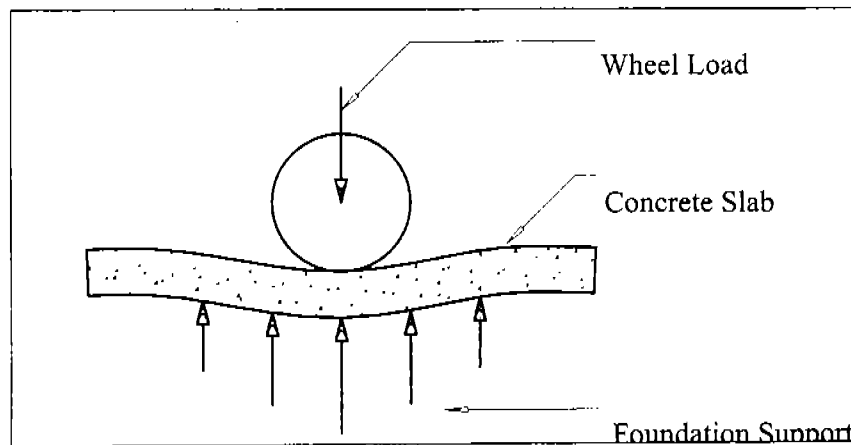


FIGURA 1-2. TRANSFERENCIA DE CARGA DE LA RUEDA AL TERRENO DE FUNDACION EN ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RIGIDO.

A continuación se mencionan algunos deterioros en los pavimentos rígidos:

- 1) Desintegración del concreto.
- 2) Superficies con escamas o costras.
- 3) Astillamientos o desconchamientos cercanos a las juntas.
- 4) Defectos en la superficie.
- 5) Grietas longitudinales y transversales.
- 6) Grietas en esquina.
- 7) Hundimientos diferenciales y agrietamientos con hundimientos.
- 8) Losas que se "botan".
- 9) Cortes en el pavimento.
- 10) Juntas o grietas sin sellar.
- 11) Utilización de productos especiales.
- 12) Acumulación de caucho en la superficie.
- 13) Irregularidades de la superficie del pavimento que provocan vibraciones a los aviones.

Así mismo, deberá corregirse el exceso de caucho impregnado en las zonas de toma de contacto de las pistas.

## **COMPOSICIÓN DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.**

El sistema multicapa en este tipo de pavimentos está constituido normalmente por una carpeta, construida con agregados pétreos aglutinados con un producto asfáltico, una base y una sub-base. Las capas subyacentes a la carpeta se constituyen empleando agregados pétreos, debidamente procesados, de calidad adecuada y densificados por medios mecánicos (compactación); en muchos proyectos conviene emplear en estas capas aditivos o cementantes (cal, cemento Pórtland ó asfalto), para mejorar sus características.

Los pavimentos flexibles comprenden varias capas de materiales cuidadosamente seleccionados, diseñados para distribuir gradualmente las cargas desde la superficie del pavimento a las capas de abajo. El diseño debe garantizar que la carga que se transmita a cada capa sucesiva no exceda de la capacidad de carga de la capa. Una sección de pavimento típica flexible es mostrada en la figura 1-3. La figura 1-4 representa la distribución de la carga impuesta al terreno de fundación.

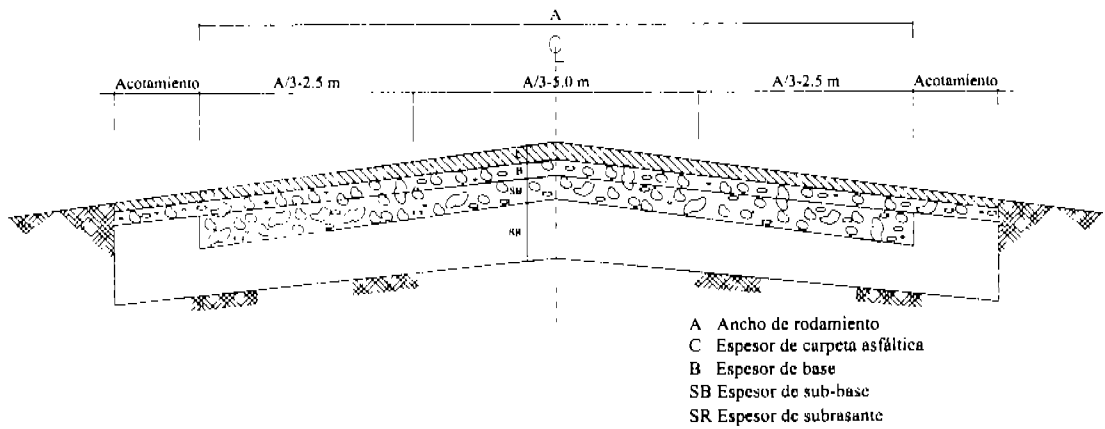


FIGURA 1-3. CAPAS QUE FORMAN EN GENERAL UN PAVIMENTO FLEXIBLE

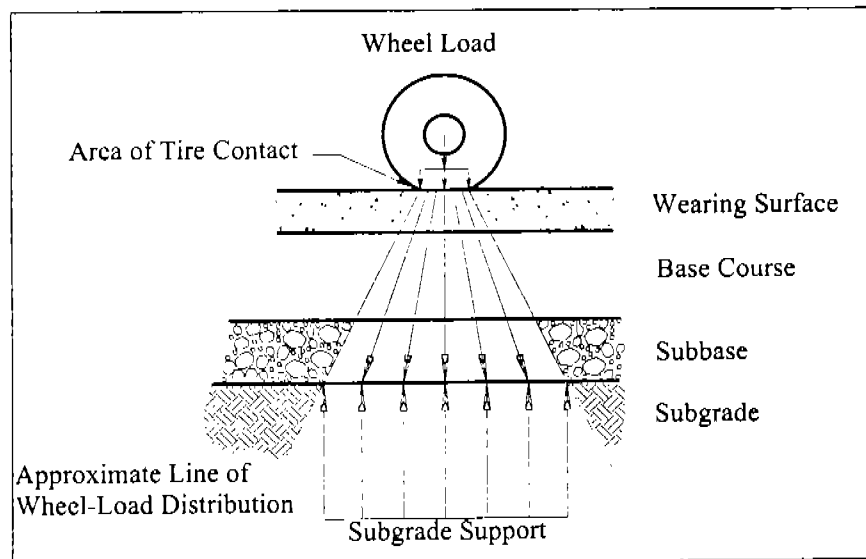


FIGURA 1-4. DISTRIBUCIÓN DE TENSIÓN DE CARGA EN PAVIMENTO FLEXIBLE.



Es necesario un análisis concienzudo para seleccionar el método y los materiales adecuados para la reparación de los pavimentos flexibles. El primer paso sería determinar la causa de falla, para poder atacar el problema desde la raíz, ya que de nada serviría por ejemplo, solo reponer una carpeta fallada si la causa de la falla es una base pobre o tiene problemas de drenaje, ya que la falla pronto volvería a aparecer.

La simple inspección visual de un pavimento deteriorado no siempre es suficiente para determinar la causa de su falla, por lo que en muchas ocasiones al hacer sondeos y efectuar las pruebas de los materiales, de las capas del pavimento y de la sub-rasante, se obtiene valiosa información que puede ser empleada en el análisis. Se recomienda también la utilización de la viga Benkelman para localizar las áreas de pavimentos débiles, es decir, las que muestran una excesiva deflexión durante la prueba.

A continuación se mencionan algunos de los deterioros que se presentan en un pavimento flexible:

- 1) Disgregación o desmoronamiento.
- 2) Agujeros.
- 3) Sangrado o afloramiento de asfalto.
- 4) Oxidación del asfalto.
- 5) Corrimientos de la carpeta.
- 6) Corrimientos circulares.
- 7) Corrugaciones.
- 8) Hundimientos o depresiones.
- 9) Canalizaciones o roderas.
- 10) Grietas longitudinales de orilla y de junta.
- 11) Grietas transversales.
- 12) Grietas de contracción.
- 13) Grietas de reflexión.
- 14) Agrietamientos tipo piel de cocodrilo.
- 15) Agrietamientos tipo mapa.
- 16) Crecimiento de hierba y afloramiento de agua.
- 17) Acumulación de caucho en la superficie.

## TIPOS DE FALLAS EN LOS PAVIMENTOS.

La detección oportuna de una falla y su rápida reparación cuando apenas se inicia, es sin duda una labor muy importante de conservación. Es por tanto de suma importancia que se efectúen inspecciones periódicas del pavimento. La inspección no debe hacerse sobre un vehículo en movimiento, pues de esta manera no se podría detectar las fallas en sus inicios; lo mejor es caminar sobre el pavimento para poder efectuar una inspección detallada.

Resulta difícil precisar el momento de falla de un pavimento dado; en realidad los daños que se van generando a lo largo de la vida útil de un pavimento no son sino "avisos" de que la estructura puede fallar, sino se les atiende.

En general, en los aeródromos se distinguen principalmente dos tipos o modos de falla: funcional o estructural.

**Falla estructural:** Este tipo de falla implica el colapso de la estructura por la acumulación de deformaciones permanentes excesivas (falla plástica) o deformaciones elásticas intolerables, en el caso de los pavimentos asfálticos, o bien por la rotura de una o más de las capas que componen al pavimento de concreto, de tal manera que la estructura es incapaz de seguir soportando las cargas impuestas por el tránsito de las aeronaves.

**Falla Funcional:** El segundo modo que tienen los pavimentos de fallar es de tipo funcional, que puede o no ir acompañado de falla estructural. La falla funcional consiste esencialmente en la incapacidad del pavimento de seguir cumpliendo con las funciones para las que fue proyectado; involucra los aspectos de seguridad y de comodidad que la superficie de rodamiento debe proporcionar a las aeronaves en operación.

Una superficie de rodamiento con un bajo coeficiente de fricción o con áreas susceptibles de encharcarse, puede resultar muy insegura en su operación y presentar una falla funcional seria.

La falla funcional en los aeródromos se presenta normalmente antes que las fallas de tipo estructural, debido a que deformaciones permanentes pequeñas originan irregularidades inconvenientes para la operación de las aeronaves, sin que por ello se rebase la resistencia a la tensión de las

carpetas o al esfuerzo cortante de las capas inferiores. Otro aspecto que puede producir la falla funcional en los aeródromos es el desprendimiento de partículas sólidas de las losas o las carpetas; cuando este fenómeno se generaliza, se acentúa la probabilidad de accidentes por los daños que pueden producir tales partículas en las propelas o turbinas de las aeronaves.

Los criterios de falla funcional que ha adoptado la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México, para aeropistas son las siguientes:

Coeficiente de fricción, medido con el aparato comercial "Mu Meter", en condiciones de superficie mojada y velocidad 75 Km.:	0.30 máximo
Índice de perfil, determinado con el perfilógrafo de tipo California, en tramos de 160 m:	30 máximo

De un modo general, las causas que originan las fallas de los pavimentos se pueden clasificar en dos grupos básicos:

- a) Deterioro o deficiencia del pavimento en sí, el cual es provocado por: congelamiento y deshielo, uso de materiales poco durables, reacción alcalina de los agregados, escamas ocasionadas por el uso de sales para remover hielo, entre otras. En este grupo se pueden incluir también las fallas debidas a una alineación impropia de las juntas, a movimientos rotatorios y a esfuerzo de expansión y contracción.
- b) Deficiencias en la estructura de la base o en la subrasante; en estos casos, una sobrecarga puede inducir el efecto de bombeo en el pavimento y flujo del material de base; puede ocasionar también fallas en las esquinas, en las juntas y otros defectos.

Para que una obra deteriorada, no llegue a la falla estructural, es necesario rehabilitar la vía cuando alcance la falla funcional. Se pueden hacer diferentes rehabilitaciones, después de varios trabajos de este tipo, habrá un momento en que la estructura esté tan dañada que necesite una reconstrucción.

## EVALUACIÓN DE LOS PAVIMENTOS

Para calificar un camino se utiliza el método visual, donde se toman en cuenta la cantidad de grietas que hay en la superficie de rodamiento; el número de baches, cajetes o calaveras; y la magnitud de las deformaciones. Otro método es la medición, que se lleva a cabo principalmente con pruebas para calcular la deformabilidad de la estructura y se puede realizar con la viga Benckeiman o el Dinaflect.

La evaluación de los pavimentos comprende las propiedades estructurales y las características funcionales de los pavimentos.

Las propiedades estructurales del complejo pavimento-cimentación están relacionadas con la capacidad de carga, resistencia o capacidad portante.

Las características funcionales se relacionan con el estado de la superficie del pavimento y la posibilidad de su utilización en forma segura para las aeronaves. Dichas características son:

- La calidad del perfil longitudinal de las pistas, en particular las irregularidades que provocan aceleraciones verticales a la aeronave durante su carrera de despegue o aterrizaje.
- Las condiciones de resistencia al derrapamiento, la cual gobierna las posibilidades del control direccional y la eficacia de frenado de la aeronave.
- La integridad de la superficie. La desintegración del pavimento (desconchamientos, desprendimientos de agregados, etc.) es un grave defecto que puede causar la ingestión de gravas por las turbinas y provocar reventones de llantas.

Las propiedades estructurales y las características funcionales de los pavimentos no son independientes entre sí, por lo tanto, el estado de la superficie puede dar indicaciones de posibles deficiencias estructurales y al contrario, una estructura inadecuada al tráfico puede provocar daños superficiales.

La evaluación de pavimentos requiere la síntesis de los siguientes elementos:

1. Ubicación del aeropuerto (geología, topografía, etc.).

2. Climatología (hidrología, temperaturas).
3. Geotécnica del sitio.
4. Información acerca de materiales, construcción, política de mantenimiento, trabajos de reconstrucción o refuerzos, etc.
5. Observaciones de la condición superficial de los pavimentos: catálogo de daños, examen del drenaje y subdrenaje, etc.
6. Mediciones especiales del tipo no destructivo como perfilografía longitudinal (irregularidades), coeficientes de razonamiento y capacidad portante.
7. Exploraciones a base de sondeos y muestreos de los materiales, para investigar la composición de las capas de pavimento y las propiedades de la cimentación.

La capacidad de carga de los pavimentos depende de los parámetros representativos de la estructura que pueden usarse directamente para calcular las "Cargas de Seguridad", dichos parámetros son:

- CBR del terreno de fundación y espesor total equivalente para pavimentos flexibles.
- Modulo de reacción corregido de la sub base (K), espesor de la losa y esfuerzo permisible a la tensión por flexión del concreto para pavimentos rígidos.

La evaluación de los pavimentos cumple tres objetivos fundamentales:

- a) Determinar el momento en que deben emprenderse las operaciones de mantenimiento, o bien obras mas amplias;
- b) En el momento en que se han de emprender esas obras, evaluar las cualidades residuales del pavimento con el propósito de permitir encontrar una solución técnica y económica y determinar el cálculo de un posible refuerzo ; y
- c) Determinar en cualquier momento que tipo de aeronave puede utilizar un pavimento dado, su masa y su frecuencia máxima de movimientos (cargas admisibles)

A veces se requieren evaluaciones para determinar la capacidad de un pavimento existente para soportar modificaciones importantes en las cargas del pavimento. Esto puede realizarse introduciendo diferentes tipos de aeronaves o bien cambiando el volumen de tráfico. En estos casos, también se recomienda hacer la evaluación de los pavimentos existentes con los métodos según los cuales se los calculó. El efecto de

las modificaciones en el volumen de tráfico generalmente es mínimo y no tendrá grandes repercusiones sobre las cargas admisibles. El efecto de las modificaciones de los tipos de aeronaves depende del peso y de la configuración del tren de aterrizaje. La capacidad portante de los puentes, alcantarillas, desagües y otras estructuras existentes, también deberá considerarse en las evaluaciones.

La evaluación de los pavimentos actuales que han de utilizarse en la planificación o en el cálculo de mejoras, deberán basarse en el método que se utilizará para calcular esas mejoras. Los procedimientos que han de seguirse en la evaluación de los pavimentos de acuerdo con los criterios de cálculo, son los siguientes:

Etapas de evaluación:

Inspección del lugar. Esta inspección puede comprender, aparte del examen de las condiciones e instalaciones de avenamiento existentes en el lugar, el estudio de la zona de avenamiento, el desagüe, la capa freática, las obras de la zona, etc. Deberá observarse también la presencia de efectos de la helada.

Estudio y evaluación de los registros. Esta etapa, al menos en parte, puede preceder la etapa anterior. Esta etapa se lleva a cabo mediante un estudio detallado de los datos y antecedentes de la construcción, de las consideraciones de cálculo, de las especificaciones, de los métodos y resultados de los ensayos, de los planos de construcción y de los antecedentes de mantenimiento. Los registros meteorológicos y los antecedentes más completos disponibles sobre el tráfico. Si las condiciones del suelo, la humedad y del tiempo pudieran provocar efectos perjudiciales por la helada, puede requerirse un ajuste de la evaluación.

Muestreo y ensayo. La necesidad y el alcance de los ensayos físicos y de los análisis de materiales se basarán en las averiguaciones resultantes de la inspección del lugar, del estudio de los registros y del tipo de evaluación. Una evaluación completa para un cálculo detallado exigirá más tomas de muestras y la ejecución de más ensayos que, por ejemplo, en una evaluación prevista para utilizar en un plano principal. El muestreo y el ensayo tienen el propósito de proporcionar información sobre el espesor, la calidad y el estado general de los elementos del pavimento.

Informe sobre la evaluación. El análisis de las etapas anteriores, culmina con la asignación de la capacidad portante de las secciones del pavimento que se consideran. Los análisis, las averiguaciones y los resultados del ensayo deberán incorporarse en un registro permanente para referencia futura.

Procedimientos de muestreo directo. El procedimiento básico de evaluación para la planificación y el cálculo será la **Inspección visual** y la referencia a los criterios de cálculo de la FAA, y como suplemento al muestreo, el ensayo y la investigación que los procesos de evaluación justifiquen. Para los pavimentos relativamente nuevos, sin signos visibles de desgaste ni de tensión, la resistencia puede basarse en la inspección de las secciones tal como fueron construidas con modificaciones por cualquier variación en el material o deficiencias del registro.

En los pavimentos flexibles los ensayos CBR realizados en laboratorio o en el campo pueden ser útiles para complementar los ensayos de clasificación de suelos. Debe conocerse el espesor de las diferentes capas de la estructura del pavimento flexible, para poder evaluar el pavimento. Estos espesores pueden determinarse mediante perforaciones o excavaciones de prueba.

Una vez establecidos todos los parámetros de evaluación del pavimento flexible existente, el proceso de evaluación es la inversa del procedimiento de cálculo. Se utilizan las curvas de cálculo para determinar la capacidad portante del pavimento existente. Los datos requeridos son los valores **CBR** de terreno de fundación y de la sub-base, los espesores del revestimiento, de las capas base y de sub-base y el número de salidas anuales equivalentes. Deben llevarse a cabo varias verificaciones para determinar la capacidad de un pavimento flexible. El cálculo que produzca la carga mas baja admisible servirá de referencia para la evaluación.

La evaluación de los pavimentos rígidos para las aeronaves requiere conocer la resistencia del concreto a la flexión, el valor "k" del terreno de fundación, el espesor de la losa y el número de salidas anuales equivalentes. Esta información generalmente está disponible en los registros de construcción. Si no lo estuviera, los espesores pueden determinarse mediante perforaciones o excavaciones de prueba realizadas en el pavimento. Se utilizan las curvas de cálculo del pavimento para establecer la capacidad portante. El módulo de

reacción de terreno de fundación se determina mediante ensayos con placa de carga, realizados sobre ese mismo terreno.

Las capas de sub-base requerirán un ajuste al módulo de reacción del terreno de fundación ("k"). Es necesario conocer el espesor de la sub-base para calcular un valor "k" para una sub-base. El espesor de esta capa puede determinarse según los registros de construcción o efectuando perforaciones.

Elementos que se deben de considerar al evaluar un pavimento:

Terreno de fundación. Es la capa de material que se encuentra inmediatamente debajo de la estructura del pavimento. Su resistencia es un elemento importante que se debe tomar en cuenta para la evaluación o el cálculo de un pavimento o para cada sección de un pavimento evaluado o calculado por separado; ésta depende mucho de la humedad del terreno y tenderá a estabilizarse en los pavimentos anchos a un valor superior al 90 % de la saturación total.

Estructura del pavimento. La resistencia del pavimento depende del espesor y de la resistencia del terreno de fundación. El pavimento debe poseer las características necesarias para distribuir las cargas superficiales de manera que la presión sobre el terreno de fundación no exceda de la resistencia evaluada. Además, la capa de rodadura debe tener resistencia suficiente para aceptar sin peligro las presiones provocadas por los neumáticos de la aeronave sobre la misma.

Carga de las aeronaves. Se refiere al número de ruedas, su espaciado, la presión y el tamaño de los neumáticos que determinan la distribución de la carga de la aeronave sobre el pavimento. En general, el pavimento debe tener la resistencia suficiente para soportar las cargas aplicadas por cada rueda.

Repeticiones de las cargas y composición del tráfico. Además de la magnitud de la carga, también deben considerarse las repeticiones del factor de carga o fatiga. Esto permite determinar una magnitud simple (seleccionada) de carga y niveles de repetición que representa el efecto de los diferentes tipos de aeronaves que utilizan un pavimento.

Estudio sobre el estado del pavimento. Una parte importante en la evaluación del pavimento es el estudio cuidadoso del estado del pavimento; debe examinarse por si hubiera deterioro, desplazamiento o modificaciones de cualquier tipo. Los efectos observables del tráfico,



junto con una evaluación de la magnitud de la composición de este tráfico, pueden ofrecer una base excelente para determinar la capacidad de un pavimento.

Para comenzar una evaluación a base de la aeronave usuaria, es preciso examinar los tipos y masas de las aeronaves y el número de veces que cada una de ellas opera dentro de un periodo dado, para ello debe hacerse hincapié en la aeronave mas pesada que utiliza regularmente el pavimento.

El estado del pavimento en relación con cualquier agrietamiento, distorsión o desgaste y la experiencia con el mantenimiento necesario, revisten importancia primordial. Debe considerarse la edad del pavimento, así como tener en cuenta el comportamiento relativo del pavimento en zonas de uso intenso, comparado con las de poco uso, las zonas débiles o críticas conocidas. Estos elementos coadyuvarán para predecir el ritmo de deterioro con el tráfico existente y, en consecuencia, indicar el grado de sobrecarga o de subcarga.

El estudio de los tipos y de las masas de las aeronaves que revisten mayor interés para establecer una aeronave de referencia; las conclusiones del estudio indicaran si la carga de la aeronave de referencia debería ser inferior a la que se aplica o si podría ser algo mayor. Como la distribución de la carga sobre el terreno de fundación depende en cierta medida del tipo de pavimento y de la resistencia del terreno de fundación, no pueden seleccionarse la aeronave particular de referencia ni su masa hasta que se hayan establecido los elementos del método ACN-PACN que se notifican, además del PCN.

El tipo de pavimento debe establecerse como rígido o flexible. Si el pavimento comprende una losa de hormigón de cemento Pórtland como estructura primaria, se le debe clasificar como rígido aunque pueda llevar una capa de revestimiento asfáltico. Si el pavimento no poseyera esa losa de distribución de carga, se le debe clasificar como flexible.

Como se ha mencionado anteriormente, la categoría del terreno de fundación debe determinarse como de resistencia alta, mediana, baja o ultrabaja. Si se dispusiera de los datos de ensayo de resistencia CBR o de placa para el terreno de fundación, estos datos pueden utilizarse directamente para seleccionar la categoría del terreno de fundación. Los datos de resistencia del terreno pueden usarse prácticamente en

cualquier otra forma para proyectar un CBR equivalente o módulos de reacción "k" del terreno de fundación para utilizar en la selección de la categoría del terreno fundación.

La categoría de presión de neumáticos debe determinarse como alta, mediana, baja o muy baja. La presión de neumáticos más alta que se aplique, salvo que sea opcional, por parte de las aeronaves usuarias, sin producir perjuicios observables, debería ser la base para determinar la categoría de presión de los neumáticos.

El elemento más importante de la evaluación de la "aeronave usuaria" es la determinación de la aeronave crítica y el número de clasificación del pavimento equivalente (PCN) para fines de notificación. Una vez determinado el tipo de pavimento y la categoría del terreno de fundación, la próxima etapa sería determinar el ACN de la aeronave que utilice el pavimento. Con éste propósito, debería utilizarse la tabla 1-2 de clasificación de aeronaves que se presenta mas adelante. La comparación de las aeronaves que utilizan regularmente los pavimento, con sus masas operacionales, utilizando la tabla mencionada, permitirá determinar la aeronave más crítica que utiliza el pavimento. Si las aeronaves usuarias fueran soportadas satisfactoriamente por el pavimento y no hubiera factores conocidos que indicaran que podría soportarse aeronaves mucho más pesadas, el ACN de la aeronave más crítica debería notificarse como el PCN del pavimento. Entonces toda aeronave que posea un ACN no mayor que este PCN puede utilizar la instalación del pavimento con una frecuencia de uso (tales como repeticiones mensuales) no mayor que la de la aeronave soportada actualmente, sin reducir la vida útil del pavimento.

Llegando a la aeronave crítica, solo deben considerarse aeronaves que utilizan el pavimento en forma continua, sin que el mismo presente deterioro. El uso ocasional del pavimento por una aeronave más exigente no es suficiente para asegurar su resistencia continua, aún si no se presentara deterioro evidente en el pavimento.

Tal como se indica, un PCN directamente seleccionado a base de la carga de la aeronave crítica evaluada, tiene en cuenta una intensidad de uso de aeronaves en el futuro, similar a la del momento de la evaluación. Si se previera un aumento importante en la utilización (repeticiones de carga de la rueda), el PCN debe ajustarse hacia abajo para tener en cuenta el aumento.

Al evaluar los pavimento previstos para aeronaves ligeras (de masa de 5 700 kg e inferior) no es necesario considerar la geometría del tren de aterrizaje de la aeronave ni el modo en que la carga de la misma se distribuye entre las ruedas. En consecuencia, no es necesario notificar la clase del terreno de fundación ni el tipo de pavimento, únicamente es preciso determinar y notificar la masa máxima admisible de la aeronave y la presión admisible máxima de los neumáticos.

La evaluación técnica es el proceso de definición o de cuantificación de la capacidad de resistencia de un pavimento, mediante medición y estudio de las características del mismo y de su comportamiento bajo carga.

Los métodos antiguos para cálculo y evaluación de pavimentos flexibles se basaban en la experiencia y se ampliaron con la teoría, tales como los ensayos CBR, la resistencia de placas y muchos otros especialmente para el cálculo de carreteras. Estos métodos primitivos, muy desarrollados, aun son métodos de uso primario para el cálculo de pavimentos de aeródromos.

Los esfuerzos continuos para basar el diseño de pavimentos en principios fundamentales, han llevado a la preparación de métodos que tienen en cuenta la sollicitación a la tensión-deformación de materiales y a los modelos teóricos racionales. Los progresos de la tecnología de la computadora han tenido como resultado que estos métodos, antes difíciles de abordar, sean ahora métodos prácticos que se resuelven con la ayuda de la computadora.

## **ENSAYOS DE SUELOS.**

Para determinar las propiedades físicas del suelo y para proporcionar una estimación de comportamiento bajo diferentes condiciones, es preciso llevar a cabo ciertos ensayos en el lugar mismo y en laboratorio. En las publicaciones de la American Society for Testing of Materials (ASTM) se encuentran métodos completos y detallados para realizar ensayos de suelo.

Los ensayos de suelos se identifican generalmente mediante términos que indican las características del suelo que los ensayos han de revelar. A continuación se indican los términos que identifican los ensayos que se

consideran como requisito mínimo o básico para el pavimento de los aeropuertos, con sus designaciones ASTM:

- a) Preparación en seco de muestras de suelo para análisis granulométrico y determinación de las constantes del suelo (ASTM D-421) o preparación en húmedo de muestras de suelo para análisis granulométrico y determinación de las constantes del suelo (ASTM D-2217).
- b) Análisis granulométrico de los suelos (ASTM C-422). Este análisis proporciona una determinación cuantitativa de la distribución de los tamaños de partículas en los suelos.
- c) Límite de plasticidad de los suelos (ASTM D-424). Cuando el contenido de humedad es superior al límite plástico, se presenta una caída brusca en la estabilidad de los suelos.
- d) Límite líquido de los suelos (ASTM D-423). El estado líquido se define como el estado en el cual la resistencia al cizallamiento del suelo es tan escasa que una fuerza pequeña lo hará fluir.
- e) Índice de plasticidad de los suelos (ASTM D-424). Indica la gama de contenido de humedad.
- f) Relación de humedad-densidad de los suelos (ASTM D-698, D-1557). Para los fines del control de compactación durante la construcción, debe llevarse a cabo ensayos para determinar las relaciones humedad-densidad de los diferentes tipos de suelos.

La resistencia de los materiales previstos para utilizarse en las estructuras de pavimentos flexibles se obtiene según el índice de penetración California (CBR). Los materiales previstos para utilizarse en las estructuras de pavimentos rígidos se ensayan según el método de placa de carga.

### **ENSAYOS CBR EN CAMPO.**

Los ensayos CBR para determinar la resistencia de los terrenos de fundación y de otras capas de pavimentos no ligadas para utilizar en el cálculo o en la evaluación deberá ser tal como se establece en la ASTM D1883. Estos ensayos de campo son preferibles a los de laboratorio siempre que sea posible y llevados a cabo de acuerdo a los siguientes directrices:

- a) Estos ensayos se emplean para el cálculo bajo una de las condiciones siguientes:

1. Cuando la densidad local y el contenido de agua son tales que el grado de saturación (porcentaje de huecos llenados de agua) es del 80% o mayor;
  2. Cuando el material es de grano grueso y sin cohesión, de manera que no se vea afectado por los cambios del contenido de agua; y
  3. Cuando la construcción se llevó a cabo varios años antes. En este último caso, el contenido de agua realmente no resulta constante pero parece fluctuar dentro de una gama bastante estrecha y el ensayo sobre el terreno se considera como un índice satisfactorio de la capacidad de soportar cargas. No puede establecerse absolutamente el tiempo necesario para que el contenido de agua se estabilice, aunque el tiempo mínimo es aproximadamente de tres años.
- b) Penetración. Se nivela la superficie que ha de probarse y se elimina todo material suelto.
- c) Número de ensayos. Deberán de llevarse a cabo tres ensayos CBR en el lugar, en cada elevación ensayada en la capa base y en la superficie del terreno de fundación. Si los resultados no fueran convincentes deben efectuarse más ensayos en el mismo lugar. Un acuerdo razonable entre tres ensayos en los cuales el CBR sea inferior a 10 permite una tolerancia de 3; si el CBR fuera de 10 a 30, una tolerancia de 5 y si el CBR fuera de 30 a 60, una tolerancia de 10. Para los CBR superiores a 60, las variaciones de las lecturas individuales no revisten una importancia particular. Por ejemplo, los resultados reales de ensayos de 6, 8 y 9 son razonables y pueden promediarse como 8; los resultados que indiquen 23, 18 y 20 son razonables y pueden promediarse como 20. Si los primeros tres ensayos no se encontraron dentro de la tolerancia indicada, se efectuaran tres ensayos más en el mismo lugar y el promedio numérico de los seis se utilizará como CBR en ese emplazamiento.
- d) Contenido de humedad y densidad. Una vez realizado el ensayo CBR, se obtendrá una muestra en el punto de penetración para determinar el contenido de humedad y 10 a 15 cm desde el punto de penetración, para determinar la densidad.

## DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO CBR.

El CBR de un suelo se determina mediante el ensaye de penetración de un pistón metálico cilíndrico de 19.4 cm<sup>2</sup> (3 pulg<sup>2</sup>) de área, a una velocidad de 0.127 cm/min (0.05 pulg/min). El ensaye correlaciona las cargas aplicadas al pistón, con las penetraciones medidas con un extensómetro. El registro de las cargas se lleva a cabo para incrementos constantes de penetración a cada 2.5 mm (.01 pulg).

Se define como CBR del suelo a la relación entre: a) la presión necesaria que hay que aplicar al pistón, para producir en el suelo una penetración de 2.5 mm (0.1 pulg) y b) la presión aplicada para dar la misma penetración en una grava de caliza triturada, bien graduada y saturada, previamente compactada bajo una presión estática de 142 Kg./cm<sup>2</sup>. El CBR está expresado en porcentaje, respecto a la presión del material normalizado. En algunas ocasiones el CBR que se obtiene para una penetración de 5 mm es mayor, en cuyo caso se opta por este valor como CBR del suelo.

Las pruebas del CBR pueden efectuarse en muestras compactadas, en muestras inalteradas labradas en molde de prueba o también *in situ*. Esta última modalidad, sin embargo, impide conocer la deformabilidad del suelo al saturarse y solo debe emplearse en pavimentos construidos, para fines de evaluación, rehabilitación o verificación.

El Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los E.U. introdujo una tecnología que permite valuar el CBR de diseño de una manera racional y más confiable, debido principalmente a que la resistencia a la penetración de un suelo está afectada por las variaciones que se presentan en la estructuración del suelo, su peso volumétrico y su contenido de agua de moldeo.

A continuación se describe la prueba directa para la determinación del valor relativo de soporte en el lugar. La prueba consiste en hacer penetrar un cilindro o pistón de acero, por medio de un equipo portátil de carga, utilizando como elemento de reacción un vehículo; la relación entre la carga aplicada para obtener una penetración de 2.54 mm y la carga estándar de 1 360 Kg. es el valor relativo de soporte correspondiente y se expresa en por ciento. El equipo y materiales necesarios para efectuar esta prueba son los siguientes:

- ♦ Equipo portátil de carga. Compuesto de un gato mecánico o hidráulico de 4.5 toneladas de capacidad, aparato de medición de 2 anillos calibrados con aproximación de 4.54 Kg. y capacidad de 900 y 3,000 Kg. respectivamente; base ajustada al gato provista de extensiones para sujetar al cilindro o pistón de penetración, con sección circular de 19.35 cm<sup>2</sup>, que se adapte a las extensiones antes mencionadas.
- ♦ Placa circular de acero con diámetro de 25.4 cm, que tenga un orificio central de 5.4 cm de diámetro y peso de 4.54 Kg.
  - Placas circulares de acero para sobrecarga, con diámetro de 15.4 cm, que tenga un orificio central de 5.4 cm de diámetro y un peso de 3.0 Kg. cada una.
  - Extensómetro con carrera de 2.54 cm y aproximación de un centésimo de milímetro, provisto de una abrazadera para acoplarlo al pistón de penetración.
  - Bloque o elemento rígido de forma geométrica regular y de dimensiones apropiadas para apoyar el vástago del extensómetro.
  - Vehículo lastrado o dispositivo con peso total suficiente para producir una reacción mínima de 3,000 Kg., a fin de ser utilizado como apoyo del equipo de carga, cronómetro o reloj, palas de forma rectangular, picos, barretas, etc.

La prueba se efectúa de la siguiente manera:

- a) Se prepara el sitio de prueba dejando al descubierto la capa que se vaya a estudiar, cuya dimensión menor será de 50 cm aproximadamente, esta superficie debe dejarse sensiblemente horizontal y debe eliminarse las partículas sueltas y a continuación se cubre con una manta para evitar que el material pierda agua.
- b) Inmediatamente después se coloca en el sitio de prueba el vehículo y se hace descansar su chasis sobre piezas de madera a fin de eliminar el efecto de los muelles.
- c) A continuación se retira la manta húmeda, se coloca en el sitio de prueba la placa circular de 4.54 Kg. y encima de ésta se colocan las placas de sobrecarga para producir una presión equivalente a la que inducirá al peso propio de las capas de material que se estimen vayan a construirse sobre la superficie de la prueba.

- d) Se instala el equipo portátil de carga y el extensómetro, en posición vertical, haciendo pasar la aguja de penetración a través de los orificios de las placas.
- e) Se ajusta el extensómetro y se aplica una carga inicial no mayor de 10 Kg.
- f) Se aplica carga para que el pistón penetre en el espécimen con una velocidad uniforme aproximadamente de 1.27 mm/min, anotando las cargas necesarias para obtener cada una de las penetraciones indicadas en el siguiente cuadro, con aproximación de 10 Kg.

Lecturas	Tiempo (en minutos)	Penetraciones (en milímetros)
Primera	1	1.27
Segunda	2	2.54
Tercera	3	3.81
Cuarta	4	5.08
Quinta	6	7.62

Se representan gráficamente los valores determinados, como sigue:

- En un sistema de ejes coordenados se marcan los puntos correspondientes a las penetraciones y cargas antes mencionadas, las primeras en el eje de las abscisas y las segundas en el eje de las ordenadas, y uniendo dichas puntos se dibuja la curva correspondiente, la cual no deberá presentar cambios bruscos de pendientes y en general, será de la forma de las que se muestran con líneas llenas en la figura 1-6, si la curva es defectuosa como la dibujada con línea interrumpida en la figura antes mencionada, la prueba no estuvo bien efectuada y deberá repetirse en un nuevo sitio.
- En los casos en que la curva dibujada presente en sus iniciación una concavidad hacia arriba, se efectúa la corrección correspondiente trazando una tangente en el punto de máxima pendiente, punto A de la figura 1-7, hasta cortar el eje de las abscisas en el punto que se designa como B, el cual se tomará como nuevo origen y a partir del él se marca el punto C, correspondiente a la penetración de 2.54 mm; la ordenada CC', representa la carga corregida para dicha penetración, en kilogramos.



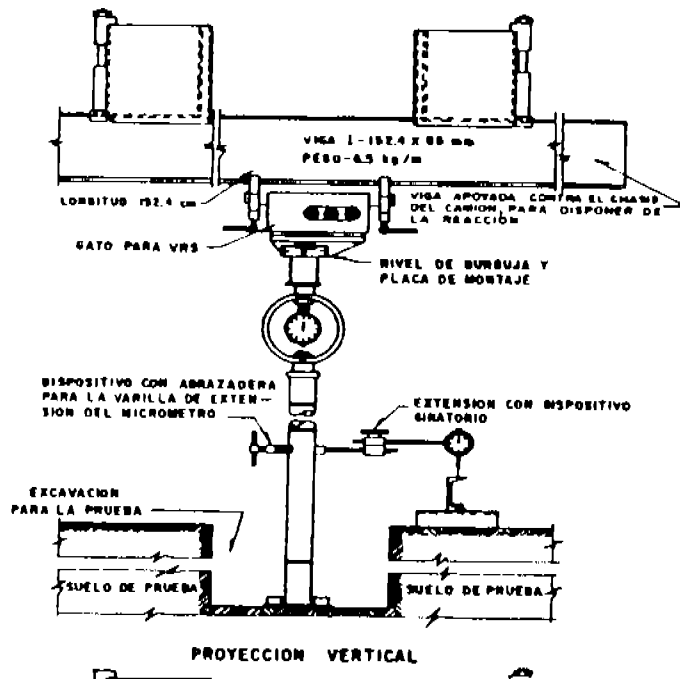


FIGURA 1-5. INSTALACIÓN DEL EQUIPO PORTÁTIL DE CARGA PARA EFECTUAR LA PRUEBA DIRECTA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE.

- Se registra la carga correspondiente a la penetración de 2.54 mm,  $C_{2.54}$ , con aproximación de 10 kilogramos; en el caso mencionado en el punto anterior, este valor corresponderá a la carga corregida.
- Ampliando la parte descubierta de la capa en estudio se repite en lugares que disten no menos de 15 cm, hasta contar con tres determinaciones de la carga  $C_{2.54}$  aplicada o corregida, las cuales deberán cumplir con los siguientes criterios de aceptabilidad:
  - En el caso de que en dos de las tres determinaciones se obtengan cargas menores de 150 Kg., la diferencia entre la mínima y la máxima no será mayor de 30 Kg.
  - En el caso de que en dos de las tres determinaciones se obtengan cargas comprendidas entre 150 Kg. y 450 Kg., la diferencia entre las cargas mínima y la máxima no será mayor de 70 Kg.
  - En el caso de que en dos de las tres determinaciones se obtengan cargas comprendidas entre 450 Kg. y 800 Kg., la diferencia entre las cargas mínima y la máxima no será mayor de 140 Kg.
  - Para cargas superiores a 800 Kg. se considera que no tienen importancia las variaciones en las lecturas individuales
  - En el caso de que las tres primeras determinaciones de la carga  $C_{2.54}$ , aplicada o corregida, no cumplan con el criterio de aceptabilidad indicado en los párrafos anteriores, se efectuarán otras tres determinaciones en la misma área descubierta, a no menos de 15 cm de las zonas afectadas por las pruebas anteriores, tomándose en cuenta los resultados de las seis determinaciones, para el cálculo del CBR.
- En esta prueba se calcula y se reporta lo siguiente:
  - El promedio de las tres o seis determinaciones de las cargas  $C_{2.54}$ , designando este valor como  $C'_{2.54}$ , en kilogramos.
  - El valor relativo de soporte en el lugar con la siguiente fórmula:

$$CBR = \frac{C'_{2.54}}{1360} \times 100$$

En donde:

CBR es el valor relativo de soporte de la capa estudiada, en el lugar de la prueba, expresado en porcentaje de la carga estándar de penetración de 1,360 kilogramos.

$C_{2.54}$  es la carga promedio correspondiente a la penetración de 2.54 milímetros, en kilogramos.

Las causas más frecuentes de error al efectuar esta prueba son: que se lleve a cabo en una capa en la cual no se reúnen las condiciones establecidas para la aplicabilidad de la prueba o las que prevalecerán en la obra, principalmente en lo que se refiere a humedad y compactación de los suelos que lo forman; que la superficie de prueba no haya sido debidamente acondicionada, que una vez preparado el sitio de prueba, el material pierda humedad antes de iniciarse la penetración; que al instalar el extensómetro, el bloque en que se apoya el vástago no esté correctamente asentado en el terreno y que no se tomen en cuenta las variaciones que los anillos calibrados sufren con los cambios de temperatura.

## **PRUEBAS DE PLACA.**

El módulo de reacción de los suelos sobre los que se han de sustentar los pavimentos de concreto, se determinan mediante el ensayo de campo designado por la ASTM con el número 1196 y consiste esencialmente en cargar la estructura de las terracerías, previamente construidas o sobre terrenos de cimentación, mediante un sistema compuesto comúnmente por un gato hidráulico, que se apoya en varias placas metálicas de diversos diámetros y dispuestas en forma piramidal. El sistema de carga se complementa mediante un peso o lastre, normalmente constituido por un camión cargado o una estructura construida *ex profeso*. Las deformaciones experimentadas por el suelo al ser cargado se registran por medio de extensómetros, normalmente tres, dispuestos en planta a 120° sobre la placa que se apoya. La prueba de placa no repetitiva se desarrolla aplicando de seis a ocho incrementos de carga, dejando estabilizar la carga a una velocidad de deformación máxima de 0.025 mm/min, durante tres minutos consecutivos. Debido a que la presión máxima la que se ve sujeta una subrasante, gracias a la distribución de esfuerzos que se logra mediante las losas del pavimento, es del orden de 0.3 Kg./cm<sup>2</sup>, el ensaye se lleva a una presión de 0.7 Kg./cm<sup>2</sup>, usando una placa de 762 mm de diámetro.

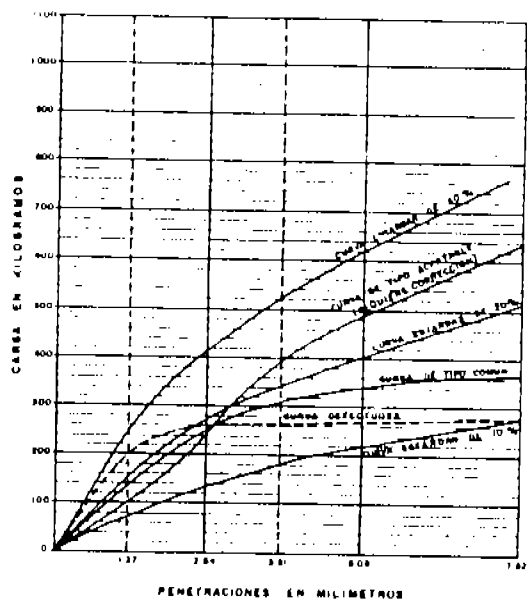


FIGURA 1-6. FORMA DE LAS CURVAS CARGAS-PENETRACION

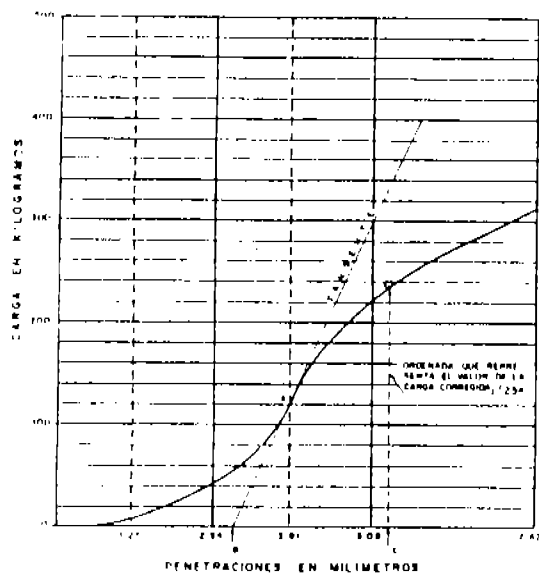


FIGURA 1-7. CORRECCIÓN A LA CURVA CARGA-PENETRACION

Se define como módulo de reacción  $k$  de un suelo, a la presión que debe aplicarse al mismo, para producirle una deformación unitaria. En el caso de la prueba de placa no repetitiva, corresponde a la máxima presión aplicada al suelo  $p = 0.7 \text{ Kg./cm}^2$  y a la deformación unitaria máxima alcanzada ( $\delta_T$ ):

$$K = p / \delta_T, \text{ en kg/cm}^3$$

Los resultados de campo deben ser corregidos por posibles incrementos de humedad final de equilibrio. La relación entre las deformaciones a la humedad natural y a la humedad de saturación se aplica como factor de corrección al módulo de reacción determinado en campo.

*Se reconoce casi universal que la prueba de placa tiene algunas desventajas entre las que se pueden citar su alto costo, la imposibilidad de realizar ensayos en número estadísticamente aceptable y solo hasta que estén estructuradas las terracerías. Por estas razones, y considerando que el valor del módulo de reacción no es tan significativo, dentro de la metodología del diseño de espesores de los pavimentos de concreto, la Portland Cement Association (PCA) sugiere estimar este parámetro empleando ensayos de clasificación y, a lo sumo, pruebas de CBR, tal como se describió anteriormente.*

En realidad el módulo de reacción de diseño es el que se determina en la superficie de la sub-base compactada. El efecto que produce esta capa en el sistema de apoyo de las losas es el de incrementar el módulo de reacción de la subrasante.

La FAA recomienda no utilizar módulos de reacción, a nivel de subrasante, superiores a  $13.6 \text{ Kg./cm}^2$ , valor al que también deberían limitarse los módulos de reacción combinados, que cuentan con sub-bases granulares.

A partir del método de cálculo seleccionado y de las cantidades establecidas para los elementos de cálculo, puede establecerse la carga o la masa límite para toda aeronave que haya de usar el pavimento.

## MEDICIÓN DE DEFLEXIONES.

La determinación de la deflexión característica en los pavimentos juega un papel muy importante para determinar la necesidad de refuerzo y para predecir la vida remanente de los mismos. Existen diferentes equipos para medir la deflexión, agrupándose básicamente en dos, aquellos que aplican sobre el pavimento una carga dinámica y aquellos que utilizan una carga estática. En México debido a lo económico y a la relativa sencillez y rapidez en la obtención de la deflexión se sigue empleando la Viga Benkelman, donde la carga aplicada es estática, no obstante existen algunas empresas que ya cuentan con equipos dinámicos como el DYNATEST y el KUAB, con los que se logran rendimientos muy superiores a los de la Viga Benkelman.

Se ha acostumbrado llamar deflexión característica al rebote elástico, cuando se emplea la Viga Benkelman. La deflexión del pavimento medida con cargas estandarizadas, puede servir para evaluar su capacidad estructural y con ello proponer las medidas correctivas que sean necesarias.

Se le llama deflexión a la Máxima deformación vertical que sufre la superficie de un pavimento al aplicar una carga conocida. Teóricamente el rebote elástico es menor que la deflexión, llamándose deformación permanente a la diferencia. Se emplea como medida de respuesta estructural del pavimento para soportar cargas.

El objetivo de la medición, es determinar el rebote elástico de un pavimento flexible bajo la acción de una carga estática estandarizada.

### a) Descripción del equipo.

Una viga Benkelman como la mostrada en la Figura 1-8 adjunta; opera con un sencillo brazo de palanca. Consiste en una solera de aluminio que gira alrededor de una articulación apoyada directamente sobre el pavimento a través de dos patas fijas y una móvil.

El extremo saliente de la solera se apoya sobre la superficie de rodamiento a través de una pequeña ampliación denominada pie de la sonda o palpador. En el otro extremo de la solera se procura un contacto continuo con un extensómetro, que permite medir los movimientos de la solera con una aproximación de 0.001 pulgadas.

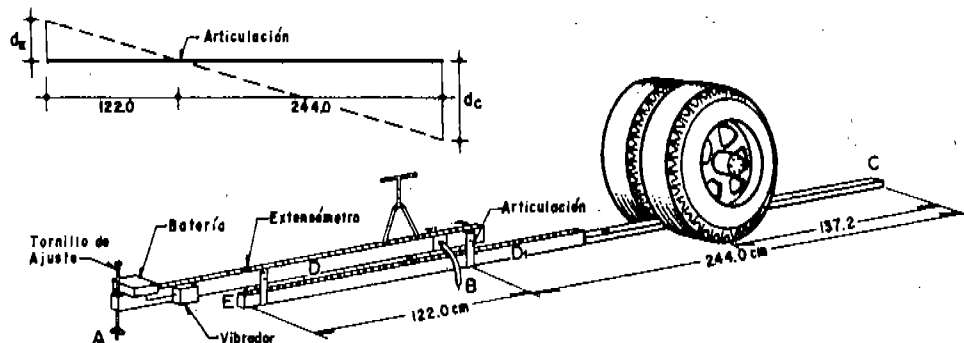


FIGURA 1-8. ESQUEMA DEL DEFLECTÓMETRO BENKELMAN.

El vehículo para la prueba es un camión, con carga axial en el eje trasero de 18,000 lbs. (8.2 ton.), con llantas duales de 10.00 x 20.00 infladas a 80 lbs/pulgada<sup>2</sup>, de 12 capas y con una separación mínima de 2 pulgadas (5 cm).

Un medidor de presión de llantas.

Un termómetro para trabajo rudo, para medir la temperatura de la carpeta.

b) Procedimiento de prueba.

Las deflexiones del pavimento se determinan en las rodadas exteriores, en por lo menos 10 lugares escogidos, en cada tramo de prueba de condiciones iguales o muy semejantes o un mínimo de 12 lugares por kilómetro.

Se marca el pavimento con gis en el punto escogido.

Se centra el sistema de ruedas dobles del camión sobre el punto marcado.

Se inserta el brazo probador de la viga Benkelman entre las llantas duales del camión, colocando el palpador sobre el punto de prueba.

Se retira el perno del seguro de la viga y se ajustan los apoyos delanteros, de manera que permitan una carrera de 1.27 cm (0.5") del vástago del extensómetro.

Se conecta el zumbador de la viga y se registra la lectura inicial en el extensómetro, inmediatamente después se mueve lentamente el camión hacia delante, hasta una distancia de más de 3 m y se registra la lectura final del extensómetro cuando deje de moverse la aguja de la carátula.

Se mide la temperatura superficial de pavimento a una distancia no menor de 25 cm de la orilla del mismo, abriendo un agujero de 3 mm de diámetro, rellenándolo con un aceite ligero a la temperatura ambiente y empleando un termómetro de trabajo rudo. También debe determinarse la temperatura ambiente, en ese momento y durante 5 días.

Se mide el espesor total de la capa asfáltica del pavimento existente.

Se calcula la temperatura media del pavimento para lo cual se requiere conocer:

- La temperatura superficial del pavimento, medida durante la prueba con un termómetro.
- La temperatura ambiente promedio de los últimos 5 días.
- El espesor total de la mezcla asfáltica, obtenida mediante una cala.

Con la temperatura superficial del pavimento más el promedio de la temperatura ambiente y el espesor de la carpeta asfáltica, en la fig. 1-9 se obtiene la temperatura a la mitad de la profundidad y en la parte inferior de la mezcla asfáltica.

La temperatura media del pavimento es el promedio de la temperatura superficial, con la obtenida a media profundidad y la de la parte inferior de la carpeta asfáltica del pavimento. Se debe considerar el espesor total de la carpeta asfáltica, independientemente que se haya construido por capas y en diferentes épocas.

Cálculo de deflexiones

Para obtener la deflexión en el punto medido se resta a la lectura final la lectura inicial del micrómetro. Si el micrómetro no es de lectura directa, corregir esta diferencia de lecturas por la relación de brazos de la viga



Benkelman con respecto al punto de giro. Usualmente esta relación es de 2.

Determinar el factor de corrección por temperatura (F). Con la temperatura media del pavimento, utilizando la fig. 1-10, o los datos de la tabla 1-1. El factor de corrección es necesario para referir los valores de la deflexión del pavimento a la temperatura estándar de 70 °F (22°C).

c) Factor de corrección por periodo crítico.

Es un valor estimado en un rango que va de  $c = 1$  para épocas de lluvia y  $c = 1.5$  para época de estiaje.

d) Obtención de la deflexión característica.

$$\delta_c = (\bar{X} + 2\sigma) c$$

$\delta_c$  = deflexión característica del tramo de prueba

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i f_i}{n}$$

$\bar{X}$  = promedio de los valores de deflexiones del tramo de prueba corregidos por temperatura.

$f_i$  = factor de corrección por temperatura

$c$  = factor de ajuste por periodo crítico

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum x^2 - \bar{x}\sum x}{(n-1)}}$$

$x_i$  = valores de deflexión medidas en el tramo de prueba, corregidas por temperatura.

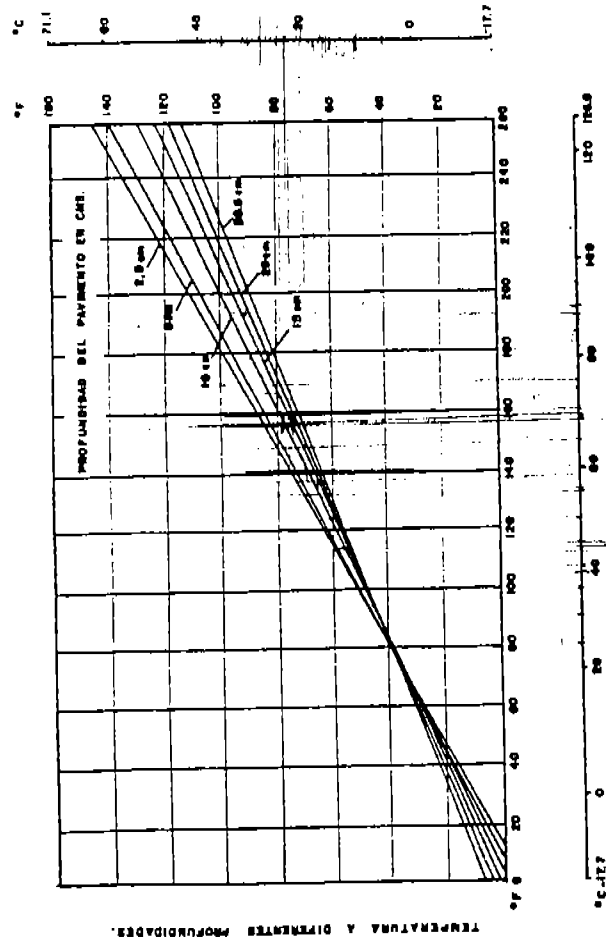
$n$  = número de deflexiones medidas en el tramo de prueba

La determinación del rebote elástico con la viga Benkelman es un dato importante en la evaluación de pavimentos, pues con el se puede determinar el esfuerzo necesario ya sea de grava equivalente o de concreto asfáltico, para diferentes horizontes de proyecto, que hay que colocar arriba de la superficie de rodamiento.

TABLA 1-1. FACTORES DE AJUSTE POR TEMPERATURA PARA DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN METODO DEL INSTITUTO NORTEAMERICANO DEL ASFALTO

TEMPERATURA CARPETA	FACTOR DE AJUSTE	
	CURVA "A"	CURVA "B"
10 °C	1.100	1.62
11 °C	1.080	1.535
12 °C	1.065	1.450
13 °C	1.050	1.380
14 °C	1.035	1.315
15 °C	1.025	1.250
16 °C	1.020	1.190
17 °C	1.015	1.140
18 °C	1.050	1.080
19 °C	0.995	1.040
20 °C	0.985	0.990
21 °C	0.980	0.950
22 °C	0.975	0.920
23 °C	0.970	0.875
24 °C	0.960	0.840
25 °C	0.955	0.820
26 °C	0.950	0.790
27 °C	0.945	0.770
28 °C	0.940	0.750
29 °C	0.930	0.725
30 °C	0.925	0.710

TEMPERATURA CARPETA	FACTOR DE AJUSTE	
	CURVA "A"	CURVA "B"
30 °C	0.925	0.710
31 °C	0.920	0.700
32 °C	0.915	0.685
33 °C	0.910	0.675
34 °C	0.900	0.665
35 °C	0.890	0.655
36 °C	0.885	0.645
37 °C	0.880	0.640
38 °C	0.875	0.630
39 °C	0.875	0.620
40 °C	0.870	0.615
41 °C	0.860	0.610
42 °C	0.850	0.600
43 °C	0.845	0.595
44 °C	0.840	0.585
45 °C	0.835	0.580
46 °C	0.830	0.575
47 °C	0.820	0.570
48 °C	0.815	0.565
49 °C	0.805	0.565
50 °C	0.800	0.560



TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO MAS EL PROMEDIO DE LA TEMPERATURA AMBIENTE DE 5 DIAS

FIGURA 1-9. PREDICCIÓN DE LA TEMPERATURA EN LA CARPETA ASFÁLTICA DEL PAVIMENTO

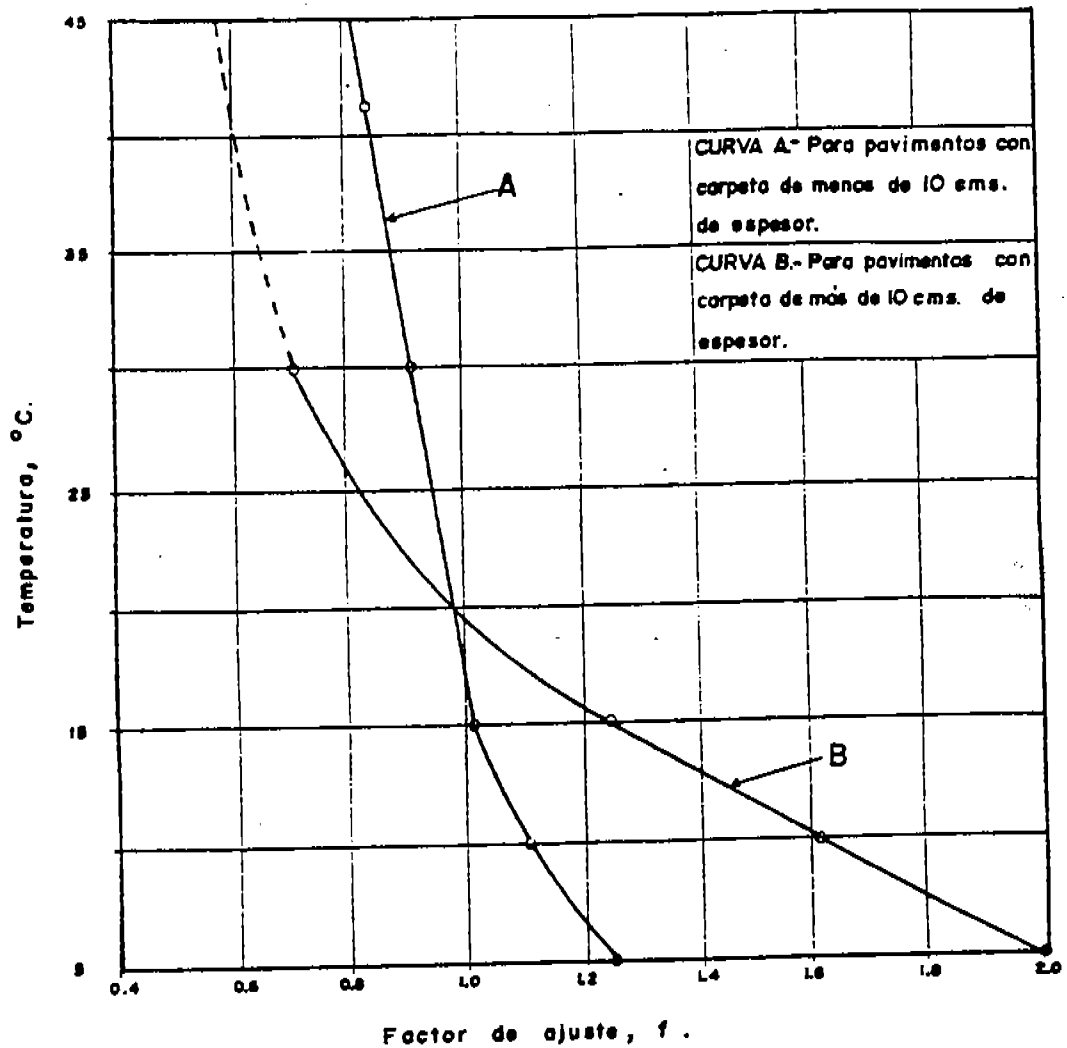


FIGURA 1-10. FACTORES DE CORRECCION POR TEMPERATURA EN LAS DEFLEXIONES  
 DE VIGA BENKELMAN.  
 (METODO DEL INSTITUTO NORTEAMERICANO DEL ASFALTO)

## EL MÉTODO ACN-PCN.

La resistencia de un pavimento destinados para recibir aeronaves cuyo peso en plataforma es superior a 5 700 Kg., se da a conocer mediante el método del número de clasificación de aeronaves – número de clasificación de pavimentos – (ACN-PCN).

*Número de Clasificación de Aeronave (ACN por siglas en ingles Aircraft Classification Number) .-* El ACN es una cifra que indica el efecto relativo de una aeronave sobre un pavimento, para determinada resistencia normalizada del terreno de fundación.

*Número de Clasificación de Pavimentos (PCN por sus siglas en ingles Pavement Classification Number).-* El PCN es una cifra que indica la resistencia de un pavimento, para utilizarlo sin restricciones.

Es importante conocer que el único objetivo del método ACN-PCN es la difusión de los datos sobre resistencia de los pavimentos en las Publicaciones de Información Aeronáutica (AIP). Con éste fin, el método asigna más importancia a la evaluación de la carga de las aeronaves (ACN) que a la de los pavimentos y comprende un procedimiento normalizado de evaluación de las cargas de las aeronaves. Según el método, la resistencia de un pavimento se notifica en función de la clasificación por carga de las aeronaves que el pavimento pueda aceptar sin restricciones. El PCN notificado indicará que una aeronave de ACN igual o inferior a esa cifra puede operar sobre el pavimento sin limitaciones en cuanto a la presión de neumáticos.

Para facilitar la utilización del método, los fabricantes de aeronaves publican, en los documentos que detallan las características de sus aeronaves, los ACN calculados con dos masas diferentes: la masa máxima en la plataforma y una masa representativa de operación en vacío, tanto sobre pavimentos rígidos como flexibles, y para las cuatro categorías normalizadas de resistencia del terreno de fundación. Sin embargo en la tabla 1-2 se resumen los valores de los ACN de las principales aeronaves comerciales existentes, calculados y publicados por la OACI.

Mediante el cálculo del ACN se persigue encontrar una rueda equivalente simple de la aeronave que sustituya para efectos de análisis al tren de aterrizaje actual.

1. Para la pierna principal del tren de aterrizaje de la aeronave en cuestión, se calcula el espesor de pavimento necesario mediante los métodos siguientes:
  - Cuerpo de Ingenieros, para pavimentos flexibles (en función del CBR de la subrasante).
  - Portland Cement Association, para pavimentos rígidos, en función del módulo K y del esfuerzo permisible a la tensión por flexión del concreto.
2. Se calcula la carga sobre rueda simple inflada a la presión estándar de 1.25 Mpa que requiere el mismo espesor de pavimento obtenido en el punto anterior.
3. La carga así obtenida (carga por rueda simple) se representa por ESW (Equivalent Single Wheel)
4. Para simplificar los resultados de publicación, los ACN calculados con respecto a cuatro categorías de terreno de cimentación y para dos pesos (peso máximo de plataforma y peso vacío de operación). Cada una de las cuatro categorías de terreno de cimentación corresponde a un CBR o K típico, como ya se mencionó anteriormente.

Para determinar el ACN , se aplican los siguientes pasos:

- a) Como datos se requiere el tipo de aeronave de diseño y categoría de resistencia del terreno de fundación (CBR para pavimentos flexibles y el módulo de reacción "k" para pavimentos rígidos).
- b) En la tabla 1-1, se busca el tipo de pavimento y el CBR o módulo de reacción "k" correspondiente a la categoría del terreno de fundación y se lee directamente el ACN máximo y mínimo de acuerdo al peso máximo y mínimo de la aeronave de diseño.

TABLA 1-2. ACN PARA VARIOS TIPOS DE AERONAVES

Aeronave	Pesos		Presión de inflado (MPa)	ACN							
	(Kg.) max. Mín.	(%). Sobre el tren de aterrizaje principal		Pavimento rígido				Pavimento flexible			
				A	B	C	D	A	B	C	D
A - 300B2	142 000	46.5	1.23	37	44	52	60	40	45	55	70
	85 690			19	22	26	30	21	23	26	35
B - 707 - 320B	148 778	46.0	1.24	39	46	55	63	42	47	57	73
	64 764			14	15	18	20	15	16	17	23
B - 727 - 200 (Estándar)	78 471	46.4	1.15	46	48	51	53	41	43	49	54
	44 293			23	25	26	27	21	22	24	28
B - 737 - 100	45 722	46.3	1.02	24	26	28	29	22	23	26	30
	25 942			12	13	14	15	12	12	13	15
B - 747 - 100	334 751	23.125	1.55	44	51	60	69	46	50	60	81
	162 703			18	20	23	26	19	20	22	28
Caravelle	55 960	46.0	0.88	16	19	22	25	17	19	21	26
	31 800			8	9	10	12	8	9	10	12
Concorde	185 066	48.0	1.26	61	71	82	91	65	72	81	98
	78 698			21	22	25	29	21	22	26	32
DC - 8 - 63	162 386	47.6	1.34	50	60	69	78	52	59	71	87
	72 002			17	19	23	26	18	19	22	29
DC - 9 - 41	52 163	46.65	1.10	32	34	35	37	28	30	33	37
	27 821			15	16	17	18	13	14	15	18
DC - 10 - 40	253 105	37.7	1.17	44	53	64	75	53	59	70	97
	122 567			20	21	24	28	22	23	26	32
IL - 62	161 570	45.5	1.65	47	54	62	70	48	52	61	76
	66 400			17	17	19	21	16	16	18	23
L - 1011	195 952	47.4	1.33	45	52	62	73	52	56	66	91
	108 862			24	25	28	33	25	27	29	38
Mercurie	54 080	46.5	0.87	30	32	34	36	27	29	34	37
	31 080			15	16	18	19	14	15	17	20
DC - 3	11 430	46.8	0.31	6	7	7	7	4	6	8	9
	7 762			4	5	5	5	3	4	5	6

La información sobre el tipo de pavimento para determinar el ACN-PCN, la categoría de resistencia del terreno de fundación, la categoría de presión máxima permisible de los neumáticos y el método de evaluación, se notificará utilizando las claves siguientes:

a) *Tipo de pavimento para determinar el ACN-PCN:*

	Clave
Pavimento rígido	R
Pavimento flexible	F

b) *Categoría de resistencia del terreno de fundación:* En el método ACN-PCN se utilizan ocho valores normalizados de terreno de fundación (Es decir, cuatro valores "k" para pavimentos rígidos y cuatro valores de CBR para pavimentos flexibles), en vez de una escala continua de resistencias del terreno de fundación. Las categorías del terreno de fundación se clasifican como alta, mediana, baja y ultra baja y se le asigna a cada grupo los siguientes valores numéricos:

	Clave
<i>Resistencia alta:</i> Para los pavimentos rígidos, el valor tipo es $k^* = 150 \text{ MN/m}^3$ y comprende todos los valores de $k$ superiores a $120 \text{ MN/m}^3$ ; para los pavimentos flexibles, el valor tipo es $\text{CBR} = 15$ y comprende todos los valores superiores a 13.	A
<i>Resistencia mediana:</i> Para los pavimentos rígidos, el valor tipo es $k = 80 \text{ MN/m}^3$ y comprende todos los valores de $k$ entre 60 y $120 \text{ MN/m}^3$ ; para los pavimentos flexibles, el valor tipo es $\text{CBR} = 10$ y comprende todos los valores $\text{CBR}$ entre 8 y 13.	B
<i>Resistencia baja:</i> Para los pavimentos rígidos, el valor tipo es $k = 40 \text{ MN/m}^3$ y comprende todos los valores de $k$ entre 25 y $60 \text{ MN/m}^3$ ; para los pavimentos flexibles, el valor tipo es $\text{CBR} = 6$ y comprende todos los valores $\text{CBR}$ entre 4 y 8.	C



Resistencia <i>ultra baja</i> : Para los pavimentos rígidos, el valor tipo es $k = 20 \text{ MN/m}^3$ y comprende todos los valores de $k$ inferiores a $25 \text{ MN/m}^3$ ; para los pavimentos flexibles, el valor tipo es $\text{CBR} = 3$ y comprende todos los valores inferiores a 4.	D
--	---

c) Categoría de presión máxima permisible de los neumáticos: Los efectos de la presión de los neumáticos son secundarios con respecto a la carga y a la separación de las ruedas y, por lo tanto, la presión puede clasificarse, a los fines de notificación, en cuatro categorías: alta, mediana, baja y muy baja, y asignarse a éstas los siguientes valores numéricos:

	Clave
Alta – Sin límite de presión.	W
Mediana – Presión limitada a 1,50 MPa	X
Baja – Presión limitada a 1,00 MPa.	Y
Muy baja – Presión limitada a 0,50 MPa	Z

d) *Método de evaluación:*

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

El PCN que ha de notificarse puede determinarse a partir de las cargas (masas) de las aeronaves, que en la evaluación se hayan establecido como máximos admisibles para el pavimento.

Utilizando la carga de evaluación para una de las aeronaves de tipo más pesado que utilice el pavimento y la información que se indica en

la tabla de los ACN para varios tipos de aeronaves, y efectuando las interpolaciones necesarias, puede encontrarse el PCN.

Esto puede efectuarse para una aeronave seleccionada representativa o para varias aeronaves para las cuales puede llevarse a cabo la evaluación de la carga admisible.

Todas estas determinaciones deberán producir el mismo valor PCN o muy aproximado. Si las diferencias fueran grandes, sería conveniente verificar tanto el traspaso a partir de la carga de evaluación, como la evaluación misma.

Si las diferencias no fueran muy grandes, debe seleccionarse, para la notificación, un promedio o valor de la gama inferior. En caso de no obtener la información necesaria de la tabla de los ACN, esta se la puede proporcionar el fabricante de la aeronave o la OACI.

En general, los datos requeridos para notificar la información sobre la resistencia del pavimento consiste en:

- a) Espesor equivalente total y CBR del terreno de fundación de los pavimentos flexibles, espesor de la losa, tensión admisible a la flexión, módulo de reacción  $k$  del terreno de fundación para pavimentos rígidos.
- b) El método de cálculo para determinar la carga, a partir de gráficos o fórmulas en términos del terreno de fundación y del pavimento.
- c) La clave de cuatro letras que sigue el PCN y se selecciona de la siguiente forma:
  - Tipo de pavimento ya sea rígido ó flexible
  - Categoría de resistencia del terreno de fundación
  - Presión máxima admisible de los neumáticos: generalmente se adopta la clave  $w$  (sin límite de presión). La clave  $x$  (presión limitada a 1.5 Mpa) cuando exista un riesgo probado de daño a la superficie; y
  - Método de evaluación: el PCN se calcula después de una evaluación completa y normalmente se adopta la clave  $T$ .
- d) Determinación de la carga admisible (Pta) a base del PCN notificado cuyo cálculo se verá mas adelante.

Prácticamente todas las aeronaves modernas están equipadas con trenes de aterrizaje de rueda simple, dual ó tándem, la carga máxima admisible sobre cada pavimento tendrá que fijarse para cada uno de los tres trenes de aterrizaje típicos a base de 10 movimientos por día a lo largo de 10 años.

El siguiente ejemplo muestra como notificar los datos sobre resistencia de los pavimentos según el método ACN-PCN:

*Ejemplo.-* Si se ha evaluado técnicamente que la resistencia de un pavimento rígido apoyado en un terreno de fundación de resistencia mediana es de 80 PCN y no hay límite de presión de los neumáticos, la información sería:

PCN 80 / R / B / W / T

Para dar a conocer la resistencia de los pavimentos destinados a las aeronaves de hasta 5 700 Kg. de masa en la plataforma, se notificará la siguiente información:

- a) la masa máxima permisible de la aeronave; y
- b) la presión máxima permisible de los neumáticos;

*Ejemplo:* 4 000 Kg. / 0.5 MPa

La publicación de los PCN de los pavimentos persigue hacer posible la definición de las cargas de seguridad con una precisión comparable a la del método inverso de diseño.

El cálculo de PCN requiere conocer con la mayor exactitud posible las características del terreno de cimentación:

- El CBR de la cimentación y el espesor total equivalente en pavimentos flexibles.
- El módulo de reacción corregido de la sub-base, espesor de la losa y el esfuerzo permisible a la tensión por flexión del concreto para pavimentos rígidos.

En los pavimentos flexibles, el uso de la fórmula del CBR nos permite calcular la carga por rueda simple en términos del PCN, para una

presión de neumáticos estándar (1.25 MPa), así como las características de CBR y espesor total equivalente del pavimento.

La formula para calcular el PCN es la siguiente:

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

donde e = espesor equivalente (cm)

Así mismo el PCN puede leerse directamente de la gráfica 7.7 del anexo 5 para los pavimentos flexibles y la gráfica 7-8 para los pavimentos rígidos.

La carga de seguridad (Pta) de la aeronave admisible se calcula del PCN con la siguiente ecuación:

$$Pta = m + (M - m) \left( \frac{PCN - ACN_{min}}{ACN_{max} - ACN_{min}} \right)$$

Donde:

ACNmax: Valor correspondiente al peso máximo de la aeronave

ACNmin: Valor correspondiente al peso mínimo.

M y m : Peso máximo y mínimo de la aeronave

Ejemplo:

PCN 46/R/B/W/T y para aeronave B-727-200

ACNmax = 48 para M = 78 471 kg

ACNmin = 25 para m = 44 293 kg

Considerando pavimento rígido y categoría de resistencia B, el porcentaje del peso total sobre rueda doble del tren de aterrizaje es de 46.4

Por lo tanto

$$P_{ta} = 44,293.0 + (78,471.0 - 44,293.0) \left( \frac{46 - 26}{51 - 26} \right)$$

$$P_{ta} = 75,499 \text{ kg}$$

O sea:  $P_{ta} = 75,499 \times 0.464 = 35,032 \text{ kg}$  sobre una pierna del tren de aterrizaje principal.

El número de clasificación de pavimentos (PCN) notificado indicará que una aeronave con número de clasificación de aeronaves (ACN) igual o inferior al PCN notificado puede operar sobre ese pavimento, a reserva de cualquier limitación con respecto a la presión de los neumáticos, o a la masa total de la aeronave para un tipo determinado de aeronave.

Las aeronaves cuyos fabricantes han publicado gráficos de espesor del pavimento requerido pueden evaluarse también empleando los procedimientos gráficos.

Para el cálculo de los pavimentos rígidos, la figura. 7-8 provee un procedimiento sencillo para estimar el PCN. Como datos se requiere el espesor de losa y el módulo de reacción corregido de la subbase (K).

En éste procedimiento se utiliza los gráficos de conversión que se muestra en las figuras 7-7 a 7-9 del anexo 5 y los gráficos de espesor del pavimento requerido que publican los fabricantes de aeronave.

Ejemplos representados:

Ejemplo 1: Encontrar el ACN del B727-200 normal con 78,500 kg sobre un pavimento rígido apoyado en un terreno de fundación o resistencia mediana (o sea  $k = 80 \text{ MN/m}^3$ ). La presión de los neumáticos de las ruedas principales es de 1.25 MPa.

Solución: El ACN de la aeronave para el terreno de fundación de resistencia mediana, según la tabla 1-2 es 48.

## **METODO DE LA F.A.A (ADMINISTRACIÓN FEDERAL DE AVIACIÓN)**

En este procedimiento, se elige la aeronave crítica, es decir, la que puede dañar más al pavimento. Al mismo tiempo, se combina su peso con el número de operaciones y, por lo tanto, es la nave que requiere en forma individual el mayor espesor de pavimento. Una vez elegida esta aeronave crítica, se encuentra el número de repeticiones anuales que causarían todas las aeronaves que operarían en la vida útil de la obra; para ello, se encuentra el número de "operaciones" equivalentes, relacionadas con la aeronave elegida como crítica.

La Administración Federal de Aviación (FAA) de los Estados Unidos, utiliza el CBR como factor de resistencia para el proyecto de aeropuertos y presenta un nomograma de diseño para cada tipo de avión, con curvas para diferentes pesos y curvas correspondiente al número de salidas al año de todos los tipos de avión que operan en el aeropuerto.

El método de diseño recientemente introducido por la FAA es un procedimiento de relativa sencillez en su aplicación basado en correlaciones empíricas. Los ábacos de diseño propuestos por esta institución relacionan el valor relativo de soporte CBR del terreno de cimentación y/o de la capa subrasante, con el peso bruto de la aeronave de diseño y el número de salidas anuales, de la misma aeronave. En el anexo 5 se muestran las gráficas de diseño para el Boeing 727-200, motivo de este estudio. La OACI presenta un catálogo de curvas más exhaustivo.

De la aplicación de dichas curvas se infiere el espesor total del pavimento, expresado como una sección homogénea de grava (grava equivalente), considerando una vida útil del aeródromo de 20 años. En las mismas curvas se indica el espesor mínimo de carpeta asfáltica, tanto para las áreas críticas de circulación, como de las que no lo son. De hecho, el espesor total calculado se refiere al necesario para las zonas críticas y debe reducirse para las no críticas.

### **EL TRANSITO.**

Los deterioros en aeropistas ocurren en aquellos sitios donde las aeronaves transitan a bajas velocidades o donde se estacionan, por lo que es muy importante conocer la geometría del aeródromo, previo al diseño de las estructuras que soportarán las cargas impuestas por las aeronaves. En contraste con las carreteras, el mayor número de

repeticiones de carga se produce al centro de las áreas pavimentadas de los aeródromos; por otra parte, los efectos de la canalización del tránsito son mas evidentes en las calles de rodaje que en el tramo central de la pista. Estos hechos hacen posible diseñar secciones estructurales de diferente resistencia, dependiendo del área de rodamiento por proyectar.

En la figura 1-11 se ilustran las áreas típicas por pavimentar de un aeródromo y los criterios de reducción de espesores, por efecto del rodamiento de las aeronaves, conforme a la Administración Federal de Aviación (FAA) de los Estados Unidos.

El tránsito aéreo es una de las variables más significativas en el diseño estructural de aeropistas. Los elementos que conforman el tránsito son los siguientes:

- El peso total de la aeronave
- La descarga por rueda
- El número y arreglo de las ruedas
- La presión de contacto
- El número de repeticiones de las cargas
- El tipo de carga: estática o dinámica
- La mezcla de los diferentes tipos de aeronaves
- La tasa de crecimiento

La "carga equivalente" que por definición es la rueda simple que produce, para una profundidad dada, los mismos esfuerzos o deformaciones que el sistema de carga real. Actualmente la FAA ha elegido el concepto de "tránsito equivalente" a la aeronave de diseño, que puede ser la mas frecuente o la más pesada, en términos de igualdad de daños, respecto a los que realmente producen las operaciones de las aeronaves que concurren a un aeródromo.

Para fijar un parámetro de tránsito es necesario conocer las características de las aeronaves, en lo referente a las descargas que transmiten a los pavimentos. Los principales factores son:

- a) El peso bruto de la aeronave. Para fines de diseño se considera el peso máximo al despegue y que el 95% de este peso es soportado por el tren de aterrizaje principal, debido a la incertidumbre de las predicciones del tránsito y a que pueden presentarse cambios en el uso operacional del aeródromo.
- b) El tipo y geometría del tren de aterrizaje principal. El tipo del tren de aterrizaje y su configuración determinan de que modo se distribuye el peso de la aeronave sobre el pavimento. Cada fabricante de aeronaves define el número, tipo y separación de llantas en cada pierna. En la actualidad existen aeronaves con dos, tres y hasta cuatro piernas en el tren de aterrizaje. Los arreglos de las llantas pueden ser de rueda simple, ruedas gemelas o de arreglo en boggie (tándem).
- c) La presión de contacto. Esta variable define el esfuerzo normal máximo inducido por las llantas en la superficie del pavimento. Se supone idéntica a la presión de inflado de los neumáticos.

A manera de ilustración en la figura 1-12 se muestran los parámetros de carga y su forma de distribución, para la aeronave tipo B-727-200

La aeronave de diseño debe seleccionarse en base a aquella que requiera el mayor espesor de pavimento, que normalmente es o la más pesada o la más frecuente; se hace necesario por lo tanto realizar el análisis correspondiente para ambos casos para definir la aeronave más crítica.

Como el volumen de tráfico está constituido por una mezcla de aeronaves diversas, con diferentes tipos de trenes de aterrizaje, la FAA recomienda en primer lugar homogeneizar a un mismo tren, utilizando los factores de conversión que aparecen en la tabla 1-3.

Una vez homogeneizado el efecto de los diversos trenes de aterrizaje al correspondiente de la aeronave de diseño, se procede a transformar el número de salidas anuales de cada aeronave, adecuándolas a las de la aeronave de diseño, considerando los pesos relativos y aplicando la siguiente fórmula:

$$\log R_1 = \log R_2 \left( \frac{W_2}{W_1} \right)^{\frac{1}{2}}$$



donde:  $R_1$  = número de salidas anuales equivalentes a la aeronave de diseño

$R_2$  = número de salidas anuales para cada tipo de aeronave

$W_1$  = carga por rueda de la aeronave de diseño (kg)

$W_2$  = carga por rueda de cada tipo de aeronave (kg)

A continuación se muestra la tabla con los factores de conversión para pasar de un tipo de tren a otro:





Tabla 1-3. factores de conversión para homogeneizar los diversos tipos de trenes de aterrizaje.

<i>Para convertir de</i>	<i>A</i>	<i>Multiplíquense las salidas por</i>
rueda simple	ruedas gemelas	0.8
rueda simple	bogie	0.5
Ruedas gemelas	bogie	0.6
bogie doble	bogie	1.0
Bogie	rueda simple	2.0
Bogie	ruedas gemelas	1.7
Ruedas gemelas	rueda simple	1.3
bogie doble	ruedas gemelas	1.7




En el formato que se presenta en la tabla 1-4 se sistematiza el referido cálculo para determinar el número de salidas anuales equivalentes, que se emplea como parámetro del tránsito aéreo en el diseño de pavimentos y se incluye un ejemplo para su mejor comprensión. Esta forma de ponderar el tránsito simplifica enormemente el procedimiento de diseño de los pavimentos y es aplicable tanto al diseño de pavimentos asfálticos, como a los que se construyen de concreto.

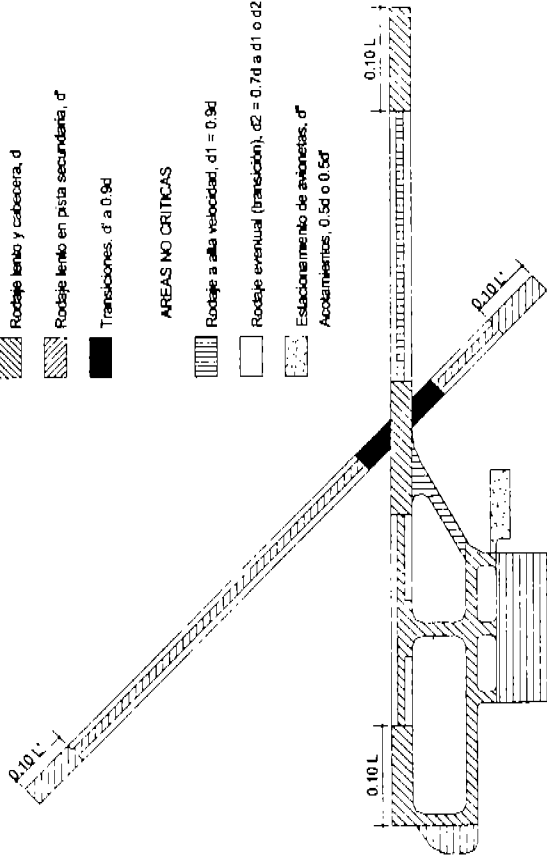
# SIMBOLOGIA

## AREAS CRITICAS

-  Estacionamiento y maniobras
-  Rodaje lento y cabecera,  $d$
-  Rodaje lento en pista secundaria,  $d'$
-  Transiciones,  $d$  a  $0.9d$

## AREAS NO CRITICAS

-  Rodaje a alta velocidad,  $d1 = 0.9d$
-  Rodaje eventual (transición),  $d2 = 0.7d$  a  $d1$  o  $d2 = 0.7d$  a  $0.9d$
-  Estacionamiento de aviones,  $d'$   
Acoplamiento:  $0.5d$  o  $0.5d'$



### Notas

Pista principal  
 Plataforma de aviones  
 $d'$  Espesor de diseño

L Longitud de la pista principal  
 $d$  Espesor de diseño (áreas críticas)

Pista secundaria  
 $L'$  Longitud de la pista secundaria  
 $d'$  Espesor de diseño (áreas críticas)

FIGURA 1-11. AREAS DE RODAMIENTO EN AERODROMOS

El procedimiento para determinar la tendencia del tráfico aéreo se le denomina "ajustes de series cronológicas". Consiste en situar los datos correspondientes en papel milimétrico normal. La función del tráfico que quiere preverse (variable dependiente) se mide sobre el eje vertical y el tiempo (variable independiente) se refiere al eje horizontal. Una vez situados cada uno de los puntos de la serie cronológica de datos podrá trazarse a mano una curva que una los puntos fijados. Dicha curva da una idea preliminar del tiempo de la evolución. Basándose en estas representaciones, se podrá elegir el tipo de curva que sea más representativa y, con ello, trazar una proyección de la tendencia.

Cuando la tendencia parezca indicar que la variable dependiente aumenta o disminuye según una constante a través del tiempo, la curva que se ajustaría a dichos datos sería una línea recta. La línea recta es la curva de tendencia más sencilla, pero muchas veces no representa la tendencia de la evolución del tráfico aéreo.

Cuando la tendencia parezca indicar que la variable dependiente varía según un porcentaje constante a medida que varía la variable independiente (tiempo), la curva correspondiente será una curva exponencial. Una característica interesante de la función exponencial es que cuando se saca el logaritmo de las variables se obtiene una función lineal:  $\log y = \log a + (\log b) x$ .

El método más utilizado actualmente para determinar la línea de mejor ajuste se conoce como "método de los mínimos cuadrados". La ley de los mínimos cuadrados postula que la línea que mejor se adapta a los datos de la muestra es aquella en que la suma de los cuadrados de las desviaciones verticales (distancias) de los puntos a la línea es mínima. El motivo de elegir el número de la suma de los cuadrados de las desviaciones y no simplemente la suma de éstas se debe a que algunas de las desviaciones son positivas (caen por encima de la línea) y otras negativas (quedan por debajo de la línea), con lo que aun cuando se tratara de desviaciones grandes su suma sería cero, a no ser que se eleven al cuadrado.

Como referencia, se anotan a continuación varios tipos comunes de ecuaciones de curvas de aproximación. Todas las letras distintas a "x" y "y" representan constantes. Las variables "x" y "y" se conocen a menudo como la variable independiente y dependiente respectivamente.

- |                        |                     |
|------------------------|---------------------|
| 1) $y = a + bx$        | (línea recta)       |
| 2) $y = a * e^{bx}$    | (Curva exponencial) |
| 3) $y = a * b^x$       | (Curva exponencial) |
| 4) $y = a + b \ln x$   | (Curva logarítmica) |
| 5) $y = ax^b$          | (Curva potencial)   |
| 6) $V_F = V_P (1+i)^n$ | (Curva exponencial) |

Donde:

$y$  = variable de previsión de pasajeros anuales

$x$  = variable tiempo (años)

"a" y "b" = constantes de las curvas

$V_F$  = valor futuro de pasajeros anuales

$V_P$  = valor presente de pasajeros anuales

$i$  = tasa media anual de crecimiento (obtenida estadísticamente)

$n$  = tiempo (número de años)

### **ESPESOR EQUIVALENTE DEL PAVIMENTO (e).**

El espesor equivalente se determina mediante el empleo cuidadoso de Coeficientes de Equivalencia con el propósito de convertir espesores actuales en espesores equivalentes en forma similar al proceso de diseño de pavimentos. En pavimentos antiguos estos coeficientes son diferentes y para su definición las pruebas de placa constituyen una herramienta invaluable.

Un pavimento flexible normalmente se compone de tres capas diferentes de calidad creciente desde abajo hacia arriba: el cimiento, el firme y la capa superficial; el concepto de espesor equivalente "e" se introduce para tener en cuenta las diferentes cualidades mecánicas de cada capa y es igual a su espesor real "er", multiplicado por un coeficiente numérico "c" o *coeficiente de equivalencia*. El espesor equivalente del pavimento es igual a la suma de los espesores equivalentes de sus capas.

Los valores que se indican en la tabla siguiente pueden utilizarse como referencia en el caso de nuevos materiales:

Nuevos materiales	Coefficiente de equivalencia
Concreto asfáltico	2
Mezcla de grava-asfalto	1,5
Grava-emulsión	1,2
Grava tratada (cemento, cal, escoria, cenizas)	1,5
Grava triturada, bien graduada	1
Arena tratada (cemento, escoria)	0,75
Gravilla (grava redondeada)	0,5
Arena	

En un pavimento correctamente constituido, los coeficientes de equivalencia aumentan necesariamente desde abajo hacia arriba.

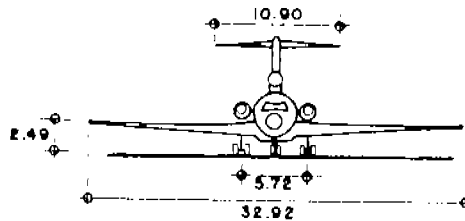
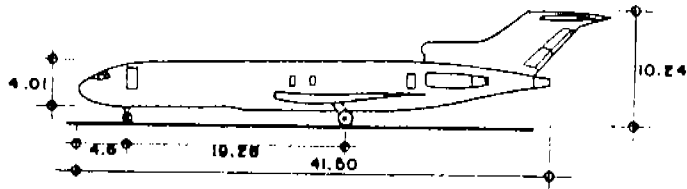
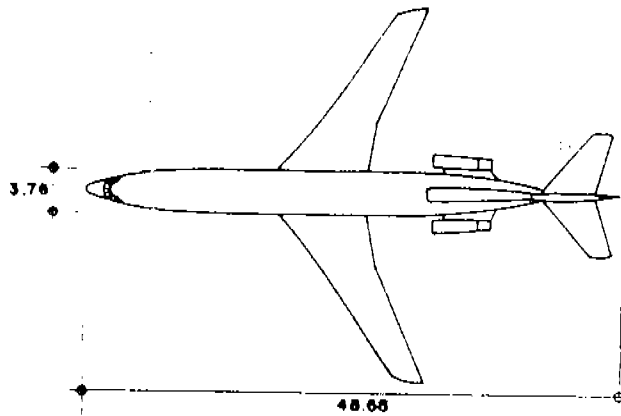
Tabla 1-4.- Determinación del número de salidas anuales equivalentes ( $R_1$ ), a la aeronave de diseño de ruedas gemelas a bogie.

Aeronave	Tipo de tren	Salidas anuales previstas	Peso máximo de despegue (Kg)	95% del peso máximo al despegue	Factor de conversión	Salidas anuales con tren gemelo ( $R_2$ )	( $W_2$ ) Carga por rueda (Kg)	( $W_1$ ) Carga por rueda de la aeronave de diseño (Kg)	(A) <sup>1/2</sup>	Salidas anuales equivalentes de la aeronave de diseño ( $R_1$ )
727-100	ruedas gemelas	3,760	72,600	68,970	1.00	3,760	17,243	20,544	0.92	1885
727-200	ruedas gemelas	9,080	86,500	82,175	1.00	9,080	20,544	20,544	1.00	9,080
707-320B	bogie de cuatro ruedas	3,050	148,500	141,075	1.70	5,185	17,634	20,544	0.93	2,765
DC-9-30	ruedas gemelas	5,800	49,000	46,550	1.00	5,800	11,638	20,544	0.75	680
CV-880	bogie de cuatro ruedas	400	83,948	79,751	1.70	680	9,969	20,544	0.70	94
737-200	ruedas gemelas	2,650	52,440	49,818	1.00	2,650	12,455	20,544	0.78	463
L-1011-100	bogie de cuatro ruedas	1,710	136,100	129,295	1.70	2,907	16,162	20,544	0.89	1,180
747-100	bogie doble	85	136,100	129,295	1.70	145	16,162	20,544	0.89	82
									$\Sigma =$	16,229

$$\log R_1 = \log R_2 (W_2/W_1)^{1/2} \text{ ó}$$

$$R_1 = R_2 A \text{ donde } A = (W_2/W_1)^{1/2}$$

- 1 Aeronave de diseño
- 2 Aeronave en cuestión



Anotaciones, en m

PESO MAXIMO EN PLATAFORMA	78 000 kg
PESO MAXIMO DE ATERRIZAJE	68 100 kg
PESO MAXIMO DE DESPEQUE	94 350 kg
NUMERO DE ASIENTOS	163
CAPACIDAD DE COMBUSTIBLE	30 980 L
LONGITUD DE PISTA DE DESPEQUE	2 410 m
LONGITUD DE PISTA DE ATERRIZAJE	1 650 m
VELOCIDAD MAXIMA	917 km/h

FIGURA 1-12. BOEING 727 - 200

## MÉTODO DE LA ASOCIACIÓN DE CEMENTO PÓRTLAND (PCA)

Como se señaló anteriormente, para el diseño de pavimentos rígidos existen métodos basados en las fórmulas para el cálculo de esfuerzos en las losas debido a Westergaard, pero éstos generalmente conducen a cálculos laboriosos, por lo que en la práctica se usan poco.

La Asociación del Cemento Pórtland (Pórtland Cement Association PCA) ha desarrollado gráficas que permiten calcular los espesores de losa de modo inmediato.

El método requiere de cuatro parámetros de entrada para el uso de las curvas de cálculo: *Módulo de resistencia del concreto a la tensión por flexión (MR)*, *módulo de reacción del terreno de fundación (k)*, *peso bruto de la aeronave de diseño y las salidas anuales equivalentes de la misma aeronave*. Las curvas de cálculo del pavimento rígido indican únicamente el espesor del concreto. Los espesores de los demás componentes de la estructura se determinan por separado. Como ya se ha mencionado, el "módulo de reacción"  $k$  del terreno de fundación se evalúa por medio de un ensayo con placa de carga llevado a cabo *in situ* sobre terreno compactado al 95% de la densidad óptima Proctor modificada.

El "módulo de reacción"  $k$  del terreno de fundación se corrige posteriormente en lo tocante al espesor equivalente del cemento. Para este objeto se utiliza la figura 7-9 (anexo 5). Como este valor influye relativamente poco en el espesor de la losa, es frecuente que se le obtenga de correlaciones empíricas.

El Módulo MR se expresa como un esfuerzo y puede determinarse experimentalmente probando una viga estándar, pero es más frecuente obtenerlo a partir de correlaciones con el valor de la resistencia a la compresión del concreto  $f'c$ , a 28 días. Esta correlación depende de los agregados que se utilicen en el concreto, así como del tipo de cemento.

En general MR varía entre 0.10 y 0.17  $f'c$ , correspondiendo el valor 0.10  $f'c$  a la resistencia a la compresión más bajas y el valor 0.17  $f'c$  a las  $f'c$  más altas. En México parece conveniente usar el valor

$$MR = 0.12 f'c$$



El valor  $k$  es una constante elástica del material que soporta el pavimento rígido y una indicación del valor de resistencia del material de apoyo.

Las gráficas funcionan entrando con el MR de trabajo, llevando una horizontal hasta el módulo de reacción correspondiente, refiriendo este punto verticalmente a la línea de presión de inflado y leyendo horizontalmente el espesor requerido; así el espesor del pavimento indicado se refiere únicamente al espesor del pavimento de concreto, sin tener en cuenta el de la capa de cimentación o sub-base.

Normalmente un pavimento rígido posee dos capas apoyadas sobre el terreno natural, o sea, un cimiento y una losa de concreto hidráulico. La resistencia del terreno natural se expresa en forma de su "módulo de reacción"  $k$ . Este valor se corrige de acuerdo con el espesor equivalente del cimiento. El módulo corregido de este modo (o sea el módulo de reacción del cimiento) posibilita tener en cuenta el terreno y el cimiento como un solo parámetro para el cálculo.

Aunque el cimiento solo afecta ligeramente el cálculo, tiene un papel múltiple que es importante:

- Asegura un apoyo continuo para la losa, particularmente en sus juntas y participa en la transmisión de las cargas;
- Debido a su peso, se opone a un posible hinchamiento del terreno de fundación y lo protege contra las heladas;
- Evita que en las juntas asciendan partículas finas por bombeo (movimientos relativos de las capas); y
- Ofrece una superficie estable para las operaciones posteriores de aplicación de concreto.

Los requisitos de la capa de cimentación o sub-base son: tener como mínimo un espesor de 4 pulg (10 cm) de cimiento, debajo de todos los pavimentos rígidos, excepto lo que se indica en la siguiente tabla:

Clasificación del suelo	Buen avenamiento		Mal avenamiento	
	Sin heladas	Con heladas	Sin heladas	Con heladas
GW	X	X	X	X
GP	X	X	X	
GM	X			
GC	X			
SW	X			

GW - gravas homogéneas y mezclas grava-arena, con poco o ningún fino.

GP - grava no homogénea y mezclas grava-arena, con poco o ningún fino.

GM - arcilla limosa, mezclas grava-arena-limo.

GC - grava arcillosa, mezclas grava-arena-arcilla.

SW - arenas homogéneas y arenas con grava, poco o ningún fino.

Puede utilizarse una capa de sub-base con un espesor mayor de 4 pulg para aumentar el módulo de reacción del terreno y reducir el espesor requerido del concreto necesario, si resultara económico.

Este método es semejante al de la FAA, solo que los factores de seguridad utilizados para encontrar el módulo de ruptura (MR) de trabajo son:

FS = 1.7 para operaciones ocasionales en plataformas, calles de rodaje, plataformas de espera y cabeceras de pista.

FS = 2.0 para operaciones frecuentes en plataformas, calles de rodaje, plataformas de espera y cabeceras de pista.

FS = 1.4 para operaciones ocasionales en la porción central de las pistas.

FS = 1.7 para operaciones frecuentes en la porción central de las pistas.

Las curvas de cálculo que utiliza este método y específicamente para este trabajo se muestra en el anexo 5 (fig. 1-4). En esa figura se vincula la carga derivada de rueda simple, a una presión constante de los neumáticos de 1.25 MPa con un espesor del pavimento utilizado como referencia. Toma en cuenta los cuatro valores "k" normalizados del terreno de fundación que se han detallado anteriormente y un esfuerzo normalizado sobre el concreto de 2.75 MPa. La figura incluye así mismo una escala de ACN que permite leer directamente el ACN.

## **REFUERZO EN LOS PAVIMENTOS DE AEROPUERTOS**

Por varias razones pueden requerirse refuerzo en los pavimentos de aeropuertos, ya sea por sobrecargas, para servir a aeronaves más pesadas que aquellas para las cuales se le calculó originalmente o porque el pavimento ya ha cumplido su vida útil prevista o está desgastado. En general, los refuerzos de los pavimentos de aeropuertos

son de concreto o de asfalto.

Las definiciones siguientes son aplicables a pavimentos con revestimiento:

Se le llama *pavimento con refuerzo* aquel que se ha construido sobre la parte superior de un pavimento anterior.

Un *pavimento con refuerzo asfáltico* es aquel pavimento de concreto asfáltico colocado sobre un pavimento anterior.

Un *pavimento con refuerzo de concreto* es aquel pavimento de concreto de cemento Pórtland colocado sobre un pavimento anterior.

Un *pavimento sándwich* es un pavimento con refuerzo que contiene una capa de separación granular.

Se pueden aplicar refuerzos asfálticos a los pavimentos rígidos o flexibles, aunque hay ciertos criterios aplicables al cálculo de los recrecimientos, sobre todo a pavimentos rígidos o flexibles, dichos criterios son:

- a) No se admiten los pavimentos con refuerzo que tienen una capa de separación granular entre la superficie antigua y nueva, llamados como pavimentos sándwich, debido a que la capa de separación es probable que resulte saturada de agua y que su comportamiento no sea predecible; esto puede producir una reducción en la estabilidad del recrecimiento.
- b) Los refuerzos asfálticos para aumentar la resistencia deberán tener un espesor mínimo de 3 pulg (7.5 cm).

Para el cálculo de refuerzos asfálticos sobre pavimentos flexibles existentes, se utilizan las curvas básicas apropiadas de pavimentos flexibles para determinar los requisitos de espesor de un pavimento flexible para la carga deseada y el número de salidas de cálculo equivalente. Se requiere un valor CBR para el material del terreno de fundación y de la capa de cimentación. El espesor del pavimento requerido sobre el terreno de fundación y la capa de cimentación y los requisitos mínimos para la capa de firme, deben compararse con el pavimento existente para determinar los requisitos del recrecimiento.

Puede ser necesario efectuar ajustes en las diferentes capas del pavimento existente para completar el cálculo. El revestimiento asfáltico

puede tener que convertirse a capa de firme y la capa de firme a capa de cimentación, etc. Los factores de equivalencia que se indican en la Tabla Num. 1-5 y Tabla num. 1-6 pueden utilizarse como guía para la conversión de las capas. Los valores indicados en dichas tablas son para materiales nuevos, para asignar los factores a los pavimentos existentes debe basarse en el criterio y en la experiencia.

Tabla num. 1-5. Gamas del factor de equivalencia recomendadas para la capa de cimentación (sub-base) estabilizada

Material	Valores del factor de equivalencia
Capa de rodadura asfáltica	1.7-2.3
Capa de firme asfáltica	1.7-2.3
Capa de firme asfáltica aplicada en frío	1.5-1.7
Capa de firme mezclada en el lugar	1.5-1.7
Capa de firme tratada con cemento	1.6-2.3
Capa de firme de cemento sobre el terreno	1.5-2.0
Capa de firme de árido machacado	1.4-2.0
Capa de cimentación de grava	1.0

Tabla num. 1-6. Factores de equivalencia recomendados para el firme (base) estabilizada

Material	Valores del factor de equivalencia
Capa de rodadura asfáltica	1.2-1.6
Capa de firme asfáltica	1.2-1.6
Capa de firme asfáltica aplicada en frío	1.0-1.2
Capa de firme mezclada en el lugar	1.0-1.2
Capa de firme tratada con cemento	1.0-1.2
Capa de firme de cemento sobre el terreno	1.2-1.6
Capa de firme de árido machacado	No se aplica
Capa de cimentación de grava	1.0

La parte más difícil para el cálculo de los recrecimientos asfálticos para los pavimentos flexibles es la determinación de los valores CBR para el terreno de fundación y la capa de cimentación y la comparación de las capas. Al llevar a cabo las conversiones, se recomienda no redondear los espesores convertidos.

Para establecer el espesor requerido del refuerzo asfáltico de un pavimento rígido existente, en primer lugar se determina el espesor simple del pavimento rígido requerido para cumplir con las condiciones de cálculo. Este espesor se modifica por un factor "F" que determina el grado de agrietamiento que ocurrirá en el pavimento rígido existente. El espesor efectivo del pavimento rígido existente se ajusta también mediante un factor de estado o condición entre "C<sub>b</sub>". Los factores "F" y "C<sub>b</sub>" cumplen dos funciones diferentes en la determinación del refuerzo asfáltico:

El factor "F", que determina el grado de agrietamiento que se presentará en la capa sub-base, es una función de la magnitud del tráfico y de la resistencia del terreno de fundación. Determinará el estado final del recrecimiento y de la capa de sub-base, e indica que no es necesario el espesor total de la losa de concreto, determinada a partir de las curvas de cálculo, debido a que se admite que un pavimento con recrecimiento asfáltico se agriete y deflexione más que un pavimento rígido clásico. Se admite un mayor grado de agrietamiento y de deflexión, ya que el revestimiento asfáltico no se disgregará y puede adaptarse a mayores deflexiones que un pavimento totalmente rígido.

El factor de estado o condición "C<sub>b</sub>" se aplica al pavimento rígido existente, es una evaluación de la integridad estructural del pavimento existente. Se utilizará un valor "C<sub>b</sub>" de 1.0, cuando las losas existentes presenten un agrietamiento incipiente nominal y de 0.75 cuando las losas presenten agrietamiento múltiple, advirtiendo que la gama de valores "C<sub>b</sub>" en el cálculo de los recrecimientos asfálticos es diferente de los valores "C<sub>r</sub>" que se utilizan en el cálculo de los pavimentos rígidos con recrecimiento. El valor "C<sub>b</sub>" mínimo es de 0.75, debería fijarse un solo valor para toda la zona y no debería modificarse dentro de un pavimento del mismo tipo.

Una vez que se hayan determinado el factor "F", el factor de estado "C<sub>b</sub>" y el espesor simple del pavimento rígido, el espesor del recrecimiento asfáltico se calcula con la siguiente fórmula:

$$t = 2.5 (F \cdot h - C_b \cdot h_e)$$

donde t = espesor del recrecimiento asfáltico.

$F$  = factor que determina el grado de agrietamiento en pavimento con capa de firme.

$h$  = espesor simple de pavimento rígido requerido para las condiciones del cálculo. Utilícese el valor exacto de  $h$ ; no hay que redondear.

$C_b$  = factor de estado para el pavimento con capa de firme que va de 1.0 a 1.75.

$h_e$  = espesor del pavimento rígido existente.

El cálculo de un refuerzo asfáltico para un pavimento rígido que ya posee refuerzo asfáltico, es un poco diferente. El problema debe de tratarse como si el recrecimiento asfáltico actual no existiera, calculando el espesor de recrecimiento necesario y ajustando el espesor calculado para compensar el recrecimiento existente.

La fórmula para calcular el espesor de los refuerzos asfálticos sobre los pavimentos rígidos se limita a la aplicación de refuerzos cuyo espesor sea igual o menor que el espesor del firme del pavimento rígido. Si el espesor del refuerzo fuera superior al espesor de la sub-base, se debe considerar el cálculo del refuerzo como el de un pavimento flexible y tratar el pavimento rígido existente como un material de base de alta calidad. Esta limitación se basa en el hecho de que en la fórmula se supone que el pavimento rígido existente soportará una carga considerable por efecto de flexión, sin embargo la contribución de la flexión resulta despreciable para los refuerzos asfálticos gruesos.

Por otra parte, los refuerzos de concreto pueden construirse sobre los pavimentos rígidos o flexibles existentes. El espesor mínimo admisible para los refuerzos de concreto es de 13 cm (5 pulg.) cuando se colocan sobre un pavimento flexible, directamente sobre un pavimento rígido o sobre una capa de nivelación. El espesor mínimo de un refuerzos de concreto que está ligado con un pavimento rígido existente es de 7.5 cm (3 pulg.). El pavimento flexible existente se considera como un cimiento para la losa de refuerzo.

Para el cálculo de un pavimento rígido, al pavimento flexible existente se le asignará un valor  $k$ , utilizando la fig. 7-8 (anexo 5) o llevando a cabo un ensayo con placa de carga sobre el pavimento flexible existente. En cualquier caso, el valor  $k$  asignado no deberá exceder de 500.

Cuando las condiciones de helada requieran un espesor mayor, no se admitirá utilizar un material no estabilizado ya que esto tendría como consecuencia un pavimento sándwich. La protección contra la helada tiene que ser proporcionada por un material estabilizado.

El cálculo de refuerzos de concreto sobre pavimentos rígidos existentes se basan en las curvas de cálculo de pavimentos rígidos. Estas curvas indican el espesor del concreto necesario para cumplir con las condiciones de cálculo para un espesor simple de pavimento de concreto. Este método exige un valor  $k$  para el terreno de fundación existente, el cual puede determinarse mediante ensayos de resistencia en el lugar mismo, mediante perforaciones de prueba practicadas en el pavimento rígido existente, o bien puede estimarse según los registros de construcción del pavimento existente. El cálculo de un refuerzo de concreto sobre un pavimento rígido requiere una evaluación de la integridad estructural del pavimento rígido existente. El factor de estado deberá seleccionarse después de un estudio del estado del pavimento. La selección de un factor de estado es una cuestión de criterio técnico. Con el propósito de proporcionar una evaluación mas uniforme de los factores de estado, se determinan los factores siguientes:

$C_r = 1.0$  para el pavimento existente en buen estado (son evidentes algunas grietas menores, pero no tienen defectos estructurales).

$C_r = 0.75$  para el pavimento existente que presenta grietas incipientes en las esquinas, debido a la carga, pero no grietas progresivas ni fallas en las juntas.

$C_r = 0.35$  para el pavimento existente en condición estructural mala. Muchas grietas o juntas aplastadas y falladas.

Estas tres condiciones no deben ser tomadas como los únicos valores disponibles para el calculista ya que las condiciones de un emplazamiento dado puede exigir la utilización de un valor intermedio de  $C_r$ , dentro de la gama recomendada.

## **CAPITULO 2    EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS EN LA PISTA, CALLES DE RODAJE Y PLATAFORMA DE AVIACIÓN COMERCIAL Y GENERAL EN EL AEROPUERTO DE VILLAHERMOSA, TAB.**

Con el fin de investigar y determinar las condiciones actuales de los pavimentos de uso aeronáutico de que consta este aeropuerto, se efectuó la evaluación de los pavimentos. El estudio se apoya en la información proporcionada por ASUR considerando como aeronave más crítica el boeing-727-200 para el análisis del pavimento de la pista, rodajes y plataforma comercial y el DC-3 para el análisis de la plataforma general; el número de operaciones anuales en el 2004; la tasa de crecimiento de dichas operaciones de 1.02% y la resistencia a la flexión del concreto de 711 lb/pulg<sup>2</sup>, así como información recabada en campo.

### **TRABAJOS DE CAMPO**

Se realizaron las actividades de campo de la evaluación estructural de los pavimentos en el aeropuerto de Villahermosa, Tabasco. Estas actividades consistieron en lo siguiente:

1. Presentación con las autoridades del Aeropuerto
2. Tramites de gafetes para el acceso del personal y equipo a las áreas de trabajo
3. Perforación y extracción de corazones del pavimento
4. Excavación de PCA (Pozos a cielo abierto) con muestreo de todas las capas del pavimento
5. Traslado de las muestras al laboratorio.



En la siguiente tabla se presenta la proyección a futuro de las operaciones anuales de las aeronaves que hacen uso de este aeropuerto, del total de éstas operaciones, el 60% lo hace el avión crítico de diseño.

AÑO	OPERACIONES ANUALES (Tasa de crecimiento 1.02 %)	OPERACIONES ANUALES B-727-200
1999*	19,126.00	11,475.60
2000*	19,508.52	11,705.11
2001	19,898.69	11,939.21
2002	20,296.66	12,178.00
2003	20,702.60	12,421.56
2004	21,116.65	12,669.99
2005	21,538.98	12,923.39
2006	21,969.76	13,181.86
2007	22,409.16	13,445.49
2008	22,857.34	13,714.40
2009	23,314.49	13,988.69
2010	23,780.78	14,268.47
2011	24,256.39	14,553.84
2012	24,741.52	14,844.91
2013	25,236.35	15,141.81
2014	25,741.08	15,444.65
2015	26,255.90	15,753.54
2016	26,781.02	16,068.61
2017	27,316.64	16,389.98
2018	27,862.97	16,717.78
2019	28,420.23	17,052.14
2020	28,988.63	17,393.18

\*Datos estadísticos

## TRAZO DE APOYO

En el anexo 4 se ilustran los elementos que se estudiaron con fines de evaluación, estos son *Pista 08-26, Rodaje Alfa, Rodaje Bravo, Plataforma de aviación Comercial y Plataforma de aviación general.*

Para iniciar el trazo de apoyo se trazó el eje de la pista 08-26, el eje de los Rodajes Alfa y Bravo y el eje de las Plataformas Comercial y General, dejando marcas con pintura color rojo en cadenamientos de 20 m.

En la Plataforma General se formó una cuadrícula de 20 x 20 mts. marcadas con pintura de manera que éstas fueran visible a una distancia considerable.

Los trazos se efectuaron con un teodolito marca Sokkisha modelo TM-1A de 1" de aproximación.

## MEDICIÓN DE DEFLEXIONES

Sobre la cuadrícula formada en la plataforma general se efectuó la medición de las deflexiones con la viga Benkelman. El procedimiento para realizar esta prueba fue conforme al descrito en el capítulo primero. La deflexión promedio de este estudio es de 31.03. Cabe mencionar que este trabajo se efectuó únicamente sobre este elemento por ser un pavimento flexible.

Se procesó la Información obtenida en campo y se procedió a efectuar los análisis estadístico. Las tablas y gráficas correspondientes se presentan en el Anexo 2.

Análisis estadístico de las deflexiones observadas.

Elemento	Eje	Deflexiones en 0.001 de pulg.					
		Prom.	Min.	Máx.	Desv.Std.	80 Perc.	Def. Std
Plataforma General	20	24.6	21.8	28.5	2.3	26.1	26.5
	40	32.7	22.9	41.9	7.6	39.6	39.1
	60	31.5	28.0	34.7	2.8	34.3	33.8
	80	35.3	31.9	38.6	2.2	36.8	37.2

## ESTUDIO GEOTÉCNICO.

Este estudio se dividió en dos tipos de sondeos: extracción de corazones y pozos a cielo abierto. A continuación se describen las actividades que se llevaron a cabo en el estudio.

1. Perforación de sondeos para extracción de corazones.

Con base a las deflexiones obtenidas con la viga Benkelman se realizaron 23 sondeos distribuidos en la zona de pista, rodaje alfa, rodaje bravo, plataforma comercial y plataforma general. Estos sondeos fueron

perforados con broca rotativa de 4 pulg. de diámetro, lo que nos permitió conocer el espesor de la superficie de rodadura de los elementos antes mencionados, obteniéndose un perfil estratigráfico de cada elemento (ver anexo 4).

## 2. Excavación de PCA's (Pozos a cielo abierto) de diferentes profundidades.

Se excavaron 7 pozos a cielo abierto. En cada pozo se obtuvieron muestras de cada estrato del pavimento para conocer sus propiedades físicas, tales como: Grado de Compactación, Peso específico seco máximo, Contenido de humedad, Granulometría, Límites de Atterberg y equivalente de arena. Para ello se aplicaron los métodos convencionales. Una vez terminados estos trabajos, se efectuaron las reparaciones correspondientes del pavimento evitando no interrumpir las operaciones del aeropuerto, utilizando para ello un relleno con material de base hidráulica compactada al 100% del P.V.S.M. de la prueba ASSHTO Modificada, en la capa de rodamiento dejando un espesor de 15 cm de carpeta de concreto asfáltico compactada al 95% Marshall. Esta exploración se efectuó en la parte del acotamiento que limita con el pavimento de los elementos y se midieron los espesores del pavimento, se hicieron pruebas de valor relativo de soporte *in situ* tomando muestras representativas.

## 3. Traslado de las muestras al laboratorio

Las muestras obtenidas, debidamente protegidas para evitar pérdidas de humedad, fueron enviadas al laboratorio de Mecánica de Suelos en la Ciudad de México para su ensaye, (Ver anexo 3), quedando los resultados como sigue:

Los espesores detectados en las exploraciones realizadas se presentan en la siguiente tabla:

Capas	s-1	s-2	s-3	s-4	s-5	s-6	s-7	s-8	s-9	s-10	s-11	Pca 1	Pca 2
Carpeta	9	12	12	11	13	12	13	12	16	16	13	30	30
Concreto Hidráulico	26	28	29	31	30	30	29	30	29	27	25	15	15
Sub-base	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	13	15
Total del pavimento	50	55	56	57	58	57	57	57	60	58	53	58	60
Subrasante	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30

Rodaje Alfa				
Capas	s-18	s-19	s-20	Pca 6
Carpeta	6.5	-	-	17
Concreto Hidráulico	27.5	30	30	-
BAse	-	-	-	25
Sub-base	15	15	15	-
Total del pavimento	49	45	45	42
Subrasante	30	30	30	30

Rodaje Bravo				
Capas	s-21	s-22	s-23	Pca 7
Carpeta	7.5	-	-	12
Concreto Hidráulico	28.5	30	30	-
Base	-	-	-	15
Sub-base	15	15	15	15
Total del pavimento	51	45	45	42
Subrasante	30	30	30	30

Plataforma Comercial				
Capas	s-12	s-13	s-14	Pca 4
Concreto Hidráulico	30.5	28.5	30	30
Sub-base	15	15	15	15
Total del pavimento	45.5	43.5	45	45
Subrasante	30	30	30	30

Plataforma General				
Capas	s-15	s-16	s-17	Pca 5
Carpeta asfáltica	13	10	14	13
Base	15	15	15	13
Total del pavimento	28	25	29	26
Subrasante	40	30	30	38

s= sondeo No.

PCA: Pozos a cielo abierto

Por lo que respecta a las características de los materiales de cada capa, en el anexo 4 se presenta un resumen de sus propiedades mas relevantes. A continuación se presenta una descripción de los resultados de la evaluación.

#### Carpeta asfáltica

En la pista el espesor promedio de carpeta asfáltica es de 12.64 cm y en la Plataforma General es de 12.33 cm

#### Losas de concreto hidráulico

En la Plataforma Comercial el espesor promedio es de 29.6 cm y en los rodajes alfa y bravo es de 30 cm.

#### Bases y sub-bases

En la Pista, la sub-base es de grava cementada café claro de buena calidad, el espesor promedio es de 15 cm y presenta una compactación del 96%.

En la Plataforma Comercial la sub base es de grava cementada café verdosa de buena calidad, su espesor promedio es de 15 cm y presenta una compactación del 93%.

En la Plataforma General la base es de grava cementada café verdosa de buena calidad, su espesor promedio es de 15 cm y presenta una compactación del 98%.

En el Rodaje Alfa la sub base es de grava cementada café verdosa de buena calidad, el espesor promedio es de 15 cm y presenta una compactación del 98%.

En el Rodaje Bravo la sub base es de grava cementada café verdosa de buena calidad, el espesor promedio es de 15 cm y presenta una compactación del 98%.

### Capa subrasante

En general la subrasante en todos los elementos es de arena fina arcillosa café amarillenta y café verdosa, su espesor promedio es de 30 cm y se encuentra compactada del 93% al 96%

### Terreno natural

El terreno natural en el aeropuerto de Villahermosa es en general de arena fina limoarcillosa café amarillento.

Los pozos a cielo abierto y las pruebas correspondientes se ejecutaron en los cadenamientos correspondientes a los sitios de extracción de los corazones, con el desplazamiento lateral respectivo.

En el anexo 4 se muestran los sitios de extracción de corazones y de los pozos a cielo abierto donde se hicieron las determinaciones de valor relativo de soporte de la capa subrasante.

## **INSPECCIÓN VISUAL DEL PAVIMENTO**

Para conocer el estado actual de los elemento de operación terrestre, se efectuó una inspección ocular a pie sobre la superficie de éstos y se analizó su estado superficial describiendo las grietas y deformaciones, anotando la ubicación de estos deterioros. De éste estudio se presenta en una planta la información obtenida (ver anexo 4), así como la descripción del tipo de falla.

De acuerdo al procedimiento antes descrito, los resultados de los deterioros superficiales en los pavimentos consisten en lo siguiente (ver también anexo 4):

### Pista 08-26 (ver anexo 4)

Presenta algunas fisuras a lo largo de la pista, en general se encuentra en buen estado.

### Rodaje Alfa y Bravo (ver anexo 4)

Las losas muestra grietas reticulares y longitudinales a lo largo de todo el rodaje, las franjas de concreto asfáltico se encuentran agrietadas y presentan desprendimiento de mortero asfáltico, los acotamientos

también se encuentran agrietados y erosionados, en general presentan daño severo.

Plataforma General (ver anexo 4)

Presenta erosión y algunas grietas, también hay depresiones hechas por base de helicópteros.

Plataforma Comercial (ver anexo 4)

El daño consiste en agrietamientos longitudinales y transversales en las losas y agrietamiento reticular en zonas de posición 1 y 3.

## CAPITULO 3 NOTIFICACIÓN DEL NUMERO DE CLASIFICACIÓN DE PAVIMENTOS (PCN)

Utilizando la metodología ACN-PCN desarrollada por el ICAO (International Civil Aviation Organization) se procedió a determinar el Número de Clasificación del Pavimento (PCN) de los siguientes elementos:

### **PISTA 08-26.**

Según el método ACN-PCN, para calcular el PCN de la aeronave de diseño es necesario conocer, el tipo de pavimento, categoría de resistencia del terreno de fundación, categoría de presión máxima de inflado y el método de evaluación.

A continuación se presentan los datos básicos que se tomaron en cuenta para dicha notificación:

a) Avión de diseño	B727-200
Peso máximo	78,471.00 Kg.
CBR de capa subrasante	15.50%
Espesor equivalente (e)	59 cm
Tipo de pavimento (existente)	Flexible

a) Obtención del espesor equivalente (e): Del anexo 1 "Evaluación estructural del pavimento mediante el número de clasificación de pavimentos (PCN)", tenemos un cuadro de resumen con diferentes espesores equivalentes del pavimento, como resultado de los diferentes sondeos en este elemento. El criterio para seleccionar el valor para la notificación, es el espesor mas bajo y su correspondiente



CBR, de manera que se observa que el espesor equivalente mas bajo es de 59 cm y que su correspondiente CBR es de 15.5%.

El espesor equivalente se define como la suma de los espesores equivalentes de sus capas, y el espesor equivalente de una capa es igual a su espesor real "e," multiplicado por un coeficiente numérico "c" o coeficiente de equivalencia, por lo tanto:

$$e = (9 \times 2) + 26 + 15$$
$$e = 59 \text{ cm}$$

donde el Coeficiente de equivalencia dos (2) se obtiene de la tabla vista en el capítulo primero y que corresponde a concretos asfálticos.

b) Con el avión de diseño, su peso máximo y el CBR de la capa subrasante, de la tabla 1-2 vista anteriormente, obtenemos el valor del ACN máximo y mínimo

ACN para un peso máximo de 78,471.00 Kg.: 43

ACN para un peso mínimo de 44,293.00 Kg.: 22

c) Cálculo del PCN empleando el gráfico 7-7 (anexo 5). Regístrese sobre la ordenada el valor del espesor equivalente de 59 cm, proyéctese una horizontal hasta interceptar con la curva del CBR de 15, en este punto proyéctese una vertical hasta la abcisa inferior y léase el PCN. Así el PCN obtenido es de 79.

El PCN también se puede obtener por medio de la fórmula siguiente:

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

Sustituyendo los valores correspondientes en la fórmula obtenemos el valor del PCN:

$$PCN = 79$$

Por lo tanto el PCN actual del pavimento de la pista es:

No.	Tipo de pavimento	CBR de la capa subrasante	Presión de neumáticos	Método de evaluación
		Flexible	15.50%	> 1.5 MPa
<b>79</b>	<b>F</b>	<b>A</b>	<b>W</b>	<b>T</b>

De acuerdo a este resultado y comparando con el ACN máximo encontrado, podemos deducir que la aeronave de diseño puede operar sin restricciones en la pista, por lo que no necesita refuerzo estructural.

## RODAJE ALFA

Dado que el pavimento actual de este rodaje es de tipo rígido, el procedimiento para obtener el PCN difiere un poco de los obtenidos anteriormente como se describe a continuación.

Los datos que se requieren son los siguientes:

Avión de diseño:	B727-200
Peso máximo:	78,471.00 Kg.
CBR de capa subrasante:	17%
Espesor equivalente de sub-base (e):	15 cm
Espesor de losa de concreto hidráulico:	30 cm
Tipo de pavimento (existente):	Rígido

- b) Del anexo 1 "Evaluación estructural del pavimento mediante el número de clasificación de pavimentos (PCN)", elegimos el espesor de losa de concreto de 30 cm, el CBR de la capa subrasante de 17% y el espesor equivalente de la sub-base de 15 cm de este elemento.
- c) De la tabla 1-2 obtenemos el valor ACN máximo y mínimo, correspondiente al peso del avión de diseño B727-200.

ACN para un peso máximo de 78,471.00 Kg.: 50

ACN para un peso mínimo de 44,293.00 Kg.: 26

- a) Como se mencionó anteriormente, éste elemento actualmente está construido a base de un pavimento rígido, por lo que es necesario determinar el módulo de reacción corregido "k" de la sub-base por procedimientos gráficos.

En la gráfica 7-8 (anexo 5), regístrese en la abcisa inferior el CBR de 17, proyéctese una vertical hasta interceptar con la curva de correlación, sobre este punto trácese una horizontal hasta la ordenada, así el módulo "k" de la subrasante obtenido es de 75.

- b) Cálculo del espesor corregido de la sub-base utilizando la figura 7-9 (anexo 5).

Regístrese en la abcisa inferior el valor del espesor equivalente de la sub-base que es de 15 cm (anexo 3), proyéctese una vertical hasta interceptar con el módulo "k" de la Subrasante de 75 obtenido en el inciso anterior, resultando:

$$\text{"k"} \text{ en Sub-base} = 85 \text{ MN/m}^3$$

c) Cálculo del PCN empleando el gráfico 7-10 (anexo 5).

Regístrese en la ordenada de la derecha el valor del espesor de la losa actual que es de 30 cm, proyéctese una horizontal hasta interceptar el módulo de reacción corregido de la sub-base (k) de 85 MN/m<sup>3</sup>, obteniendo así el número de clasificación del pavimento (PCN) siguiente:

$$\text{PCN} = 46$$

Por lo tanto el PCN notificado del pavimento actual es:

No.	Tipo de pavimento: (Rígido)	"K" en sub-base (85 MN/m <sup>3</sup> )	Presión de neumáticos (> 1.5 MPa)	Método de evaluación (Técnica)
<b>46</b>	<b>R</b>	<b>B</b>	<b>W</b>	<b>T</b>

El PCN indica que una aeronave cuyo número de clasificación (ACN) es menor o igual a dicho PCN, podrá utilizar el pavimento únicamente sujeta a restricciones relativas a la presión de inflado. Como el valor del ACN es mayor que el PCN calculado, se procede a determinar la aeronave admisible.

La carga de seguridad Pta de la aeronave se calcula del PCN con la ecuación siguiente:

$$Pta = m + (M - m) \left( \frac{PCN - ACN_{min}}{ACN_{max} - ACN_{min}} \right)$$

Donde:

ACN<sub>máx</sub> = Valor correspondiente al peso máximo de la aeronave.

ACN<sub>mín</sub> = Valor correspondiente al peso mínimo de la aeronave.

M y m : Peso máximo y mínimo de la aeronave

Sustituyendo valores en esta ecuación obtenemos:

$$Pta = 44,293.0 + (78,471.0 - 44,293.0) \left( \frac{46 - 26}{50 - 26} \right)$$

$$Pta = 72,775 \text{ kg}$$

Esto es, que la aeronave de diseño está restringida para un peso de 71,635 Kg para operar en el rodaje, por lo que es necesario aumentar el espesor del pavimento para que dicha aeronave opere sin restricciones.

d) Proponiendo un refuerzo de 2 cms, esto nos daría un espesor de losa de 32 cm y procedemos nuevamente a calcular el PCN con este valor, obteniendo:

No.	Tipo de pavimento: (Rígido)	"K" en sub-base (85 MN/m <sup>3</sup> )	Presión de neumáticos (> 1.5 MPa)	Método de evaluación (Técnica)
<b>54</b>	<b>R</b>	<b>B</b>	<b>W</b>	<b>T</b>

Con este PCN se observa que la aeronave de diseño puede operar sin restricciones.

e) La superficie de revestimiento de este elemento son losas de concreto hidráulico y se pretende hacer una rehabilitación del pavimento con concreto asfáltico, por lo que es necesario hacer una conversión del espesor, para ello tenemos los siguientes datos:

Espesor de pavimento de proyecto (H):	32 cm
Espesor de pavimento existente (h):	30 cm
F (Factor que determina el grado de agrietamiento en el pavimento):	0.85
Cb (Factor de estado para el pavimento):	0.80

Aplicando la fórmula para los recrecimientos:

$$t = 2.5 (F \cdot H - C_b \cdot h)$$

$$t = 2.5 ((0.85 \cdot 32) - (0.8 \cdot 30))$$

$$t = 8 \text{ cm}$$

Por lo que se hace necesario un refuerzo estructural de 8 cm de espesor de concreto asfáltico para cubrir una vida útil de 20 años.

### **RODAJE BRAVO:**

El pavimento en este elemento es igual al pavimento del rodaje alfa, por consiguiente aplicamos el mismo procedimiento para obtener su PCN.

Datos:

Avión de diseño:	B727-200
Peso máximo:	78,471.00 kg
CBR de capa subrasante:	26.70%
Espesor equivalente (e):	30 cm
Tipo de pavimento (existente):	Rígido

a) Obtención del espesor equivalente (e). Se obtiene siguiendo el procedimiento que se indicó anteriormente.

b) De la tabla 1-2 obtenemos el valor del ACN máximo y mínimo, correspondiente al peso de 78,471.00 Kg.

ACN para un peso máximo de 78,471.00 Kg.:	50
ACN para un peso mínimo de 44,293.00 Kg.:	26

c) De la gráfica 7-8 (anexo 5) obtenemos el módulo "k" de la subrasante, entrando con el Valor Relativo de Soporte de 26.70 % :

"k" de la Sub-rasante: 90

d) De la gráfica 7-9 (anexo 5) encontramos el módulo de reacción corregido (k) de la Sub-base, entrando los datos del módulo "k" de la Subrasante y el espesor equivalente de la sub-base de 15 cm (anexo 3), obteniendo:

"k" en Sub-base = 99 MN/m<sup>3</sup>

e) Empleando el gráfico 7-10 (anexo 5) e ingresando con el valor del módulo de reacción corregido de la sub-base (k) y el espesor de losa de 30 cm, obtenemos el número de clasificación del pavimento (PCN) siguiente:

$$PCN = 48$$

Por lo tanto el PCN notificado actual es:

No.	Tipo de pavimento: (Rígido)	"K" en sub-base (85 MN/m <sup>3</sup> )	Presión de neumáticos (> 1.5 MPa)	Método de evaluación (Técnica)
<b>48</b>	<b>R</b>	<b>B</b>	<b>W</b>	<b>T</b>

Siguiendo el mismo criterio del elemento anterior, el valor del ACN máx es mayor que el PCN obtenido, por lo que se procede a determinar la carga admisible.

$$Pta. = m + (M - m) \left( \frac{PCN - ACN_{min}}{ACN_{max} - ACN_{min}} \right)$$

Sustituyendo valores en esta ecuación obtenemos:

$$Pta = 44,293 + (78,471 - 44,293) \left( \frac{48 - 26}{51 - 26} \right)$$

$$Pta = 74,370 \text{ kg}$$

Esto es, que la aeronave de diseño está restringida para un peso de 75,623 kg para operar en el rodaje, por lo que es necesario aumentar el espesor del pavimento para que dicha aeronave opere sin restricciones.

- f) Proponiendo un refuerzo de 2 cms, esto nos daría un espesor de losa de 32 cm y procedemos nuevamente a calcular el PCN con este valor, obteniendo:

No.	Tipo de pavimento: (Rígido)	"K" en sub-base (85 MN/m <sup>3</sup> )	Presión de neumáticos (> 1.5 MPa)	Método de evaluación (Técnica)
<b>55</b>	<b>R</b>	<b>B</b>	<b>W</b>	<b>T</b>

Con este PCN se observa que la aeronave de diseño puede operar sin restricciones.

- g) La superficie de revestimiento de este elemento son losas de concreto hidráulico y se pretende hacer una rehabilitación del pavimento con concreto asfáltico, por lo que es necesario hacer una conversión del espesor, para ello tenemos los siguientes datos:

Espesor de pavimento de proyecto (H): 32 cm

Espesor de pavimento existente (h):	30 cm
F (Factor que determina el grado de agrietamiento en el pavimento):	0.85
Cb (Factor de estado para el pavimento):	0.80

Aplicando la fórmula para los recrecimientos:

$$t = 2.5 (F \cdot H - C_b \cdot h)$$
$$t = 2.5 ((0.85 \cdot 32) - (0.8 \cdot 30))$$
$$t = 8 \text{ cm}$$

Por lo que se hace necesario un refuerzo estructural de 8 cm de espesor de concreto asfáltico para cubrir una vida útil de 20 años.



## PLATAFORMA DE AVIACIÓN COMERCIAL:

Nuevamente aplicamos el mismo procedimiento para pavimentos rígidos.

Los datos que se requieren son los siguientes (ver anexo 3):

Avión de diseño:	B727-200
Peso máximo:	78,471.00 kg
CBR de capa subrasante:	17.50%
Espesor equivalente (e):	59 cm
Tipo de pavimento (existente):	Rígido

a) Obtenemos el espesor equivalente utilizando el mismo procedimiento.

b) De la tabla 1-2 obtenemos el valor del ACN máximo y mínimo, correspondiente al peso de 78,471.00 Kg.

ACN para un peso máximo de 78,471.00 Kg.:	51
ACN para un peso mínimo de 44,293.00 Kg.:	26

c) De la gráfica 7-8 (anexo 5) obtenemos el módulo "k" de la subrasante, entrando con el Valor Relativo de Soporte de 17.50 % (anexo 3):

$$\text{"k" de la Sub-rasante} = 77$$

d) De la gráfica 7-9 (anexo 5) encontramos el módulo de reacción corregido (k) de la Sub-base, entrando los datos del módulo "k" de la Subrasante y el espesor equivalente de la sub-base, obteniendo:

$$\text{"k" en Sub-base} = 85 \text{ MN/m}^3$$

e) Empleando el gráfico 7-10 (anexo 5) e ingresando con el valor del módulo de reacción corregido de la sub-base (k) calculado, con el espesor de losa de 30 cm, obtenemos el número de clasificación del pavimento (PCN) siguiente:

$$PCN = 48$$

Por lo tanto el PCN notificado actual es:

No.	Tipo de pavimento: (Rígido)	"K" en sub-base (85 MN/m <sup>3</sup> )	Presión de neumáticos (> 1.5 MPa)	Método de evaluación (Técnica)
<b>48</b>	<b>R</b>	<b>B</b>	<b>W</b>	<b>T</b>

El PCN indica que una aeronave cuyo número de clasificación (ACN) es menor o igual a dicho PCN, podrá utilizar el pavimento únicamente sujeta a restricciones relativas a la presión de inflado. Como el valor del ACN es mayor que el PCN calculado, se procede a determinar la aeronave admisible.

Calculo de la "carga de seguridad"

$$Pta = m + (M - m) \left( \frac{PCN - ACN_{min}}{ACN_{max} - ACN_{min}} \right)$$

Sustituyendo valores en esta ecuación obtenemos:

$$Pta = 44,293 + (78,471 - 44,293) \left( \frac{48 - 26}{51 - 26} \right)$$

La aeronave de diseño está restringida para un peso de 73,002 kg para operar en la plataforma, por lo que es necesario aumentar el espesor del pavimento para que dicha aeronave opere sin restricciones.

h) Proponiendo un refuerzo de 2 cms, esto nos daría un espesor de losa de 32 cm y procedemos nuevamente a calcular el PCN con este valor, obteniendo:

No.	Tipo de pavimento: (Rígido)	"K" en sub-base (85 MN/m <sup>3</sup> )	Presión de neumáticos (> 1.5 MPa)	Método de evaluación (Técnica)
<b>54</b>	<b>R</b>	<b>B</b>	<b>W</b>	<b>T</b>

Con este PCN se observa que la aeronave de diseño puede operar sin restricciones.

- i) La superficie de revestimiento de este elemento son losas de concreto hidráulico y se pretende hacer una rehabilitación del pavimento con concreto asfáltico, por lo que es necesario hacer una conversión del espesor, para ello tenemos los siguientes datos:

Espesor de pavimento de proyecto (H):	32 cm
Espesor de pavimento existente (h):	30 cm
F (Factor que determina el grado de agrietamiento en el pavimento):	0.85
Cb (Factor de estado para el pavimento):	0.80

Aplicando la fórmula para los recrecimientos:

$$t = 2.5 (F \cdot H - C_b \cdot h)$$
$$t = 2.5 ((0.85 \cdot 32) - (0.8 \cdot 30))$$
$$t = 8 \text{ cm}$$

Por lo que se hace necesario un refuerzo estructural de 8 cm de espesor de concreto asfáltico para cubrir una vida útil de 20 años.

## PLATAFORMA DE AVIACIÓN GENERAL

Al igual que la pista, la estructura del pavimento de este elemento está construido con un pavimento flexible, por lo que, para obtener el PCN, aplicamos el mismo procedimiento.

Los datos que se requieren son los siguientes, (ver anexo 1):

Avión de diseño	DC-3
Peso máximo	11,430.0 kg
CBR de capa subrasante	12.60%
Espesor equivalente (e)	35.0
Tipo de pavimento (existente)	Flexible

a) Obtenemos el espesor equivalente utilizando el procedimiento empleado en la pista.

d) De acuerdo a estos datos, de la tabla 1-2 obtenemos el valor del ACN máximo y mínimo correspondiente al peso de 11,430.00 Kg.

ACN para un peso máximo de 78,471.00 Kg.: 6  
ACN para un peso mínimo de 44,293.00 Kg.: 4

b) Cálculo del PCN empleando el gráfico 7-7 (anexo 5).

Regístrate sobre la ordenada el valor del espesor equivalente de 35.0 cm, proyéctese una horizontal hasta interceptar con la curva del CBR de 15, en este punto proyéctese una vertical hasta la abscisa inferior y léase el PCN. Así el PCN obtenido es de 22.

También podemos obtener el PCN por medio de la fórmula del CBR siguiente:

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

Sustituyendo los valores correspondientes en la fórmula obtenemos el valor del PCN:

PCN = 22

Por lo tanto el PCN actual del pavimento de la plataforma de aviación general es:

No.	Tipo de pavimento	CBR de la capa subrasante	Presión de neumáticos	Método de evaluación
		Flexible	12.60 %	0.31 N.Pa
<b>22</b>	<b>F</b>	<b>B</b>	<b>Z</b>	<b>T</b>

Con este PCN la aeronave de diseño puede operar sin restricciones, por lo que no se necesita refuerzo estructural.

En resumen, los resultados de los análisis de la notificación del Número de Clasificación de Pavimento "PCN" en el Aeropuerto de Villahermosa, Tab. de los elementos en estudio, se presentan en la siguiente tabla:

<b>CUADRO DE RESUMEN</b>	
<b>ELEMENTO</b>	<b>PCN ACTUAL</b>
<b>Pista 08-26</b>	<b>76/F/A/W/T</b>
<b>Plataforma Comercial</b>	<b>47/R/B/W/T</b>
<b>Plataforma General</b>	<b>22 /F/B/Z/T</b>
<b>Rodaje Alfa</b>	<b>46/R/B/W/T</b>
<b>Rodaje Bravo</b>	<b>48/R/B/W/T</b>

## CAPITULO 4 PROPUESTA DE REHABILITACIÓN DE PAVIMENTO EN LA PISTA, CALLES DE RODAJE Y PLATAFORMAS COMERCIAL Y GENERAL.

Con la finalidad de conocer la condición estructural del pavimento de la pista 08-26, rodaje Alfa, Rodaje Bravo, Plataforma comercial y plataforma general en el aeropuerto de Villahermosa, Tab., se efectuó el análisis estructural del pavimento existente, empleando el método de la FAA para los pavimentos flexibles y el Método PCA para los pavimentos rígidos.

### PISTA 08 - 26

Aplicando el procedimiento de la FAA, se debe conocer el pronóstico de salidas anuales por cada tipo de aeronave, arreglo de llantas, el peso máximo al despegue, las propiedades físicas y mecánicas del suelo, así como determinar el número de salidas equivalentes a la aeronave de diseño.

A continuación se presentan los datos que se requieren para aplicar este método:

Avión de diseño	B-727-200
Peso máximo	78,500
Salidas anuales	17,500
CBR terreno de fundación	15%

- a) El método propone que el tren de aterrizaje principal soporte el 95% de la carga total de la aeronave. Por lo que en el caso particular de esta aeronave, la carga por rueda se calcula con la siguiente expresión:

$$C_R = \frac{0.95 W}{4} \quad (1)$$

Donde:

W = Es la carga máxima al despegue (Kg).

Por lo que la carga por rueda de la aeronave de diseño es de 18,637 kg ( de la Ec. 1).

Por otra parte, el método de la FAA propone convertir el número de salidas anuales a un número de salidas equivalentes a la aeronave de diseño. Para conseguir esto, el método sugiere la siguiente expresión:

$$\log R_1 = \log R_2 \left( \frac{W_2}{W_1} \right)^{0.5}$$

donde:

R1 = número de salidas anuales equivalentes a la aeronave de diseño

R2 = número de salidas anuales para cada tipo de aeronave

W1 = carga por rueda de la aeronave de diseño (kg)

W2 = carga por rueda de cada tipo de aeronave (kg)

Dado que el número de operaciones anuales ya se conoce, omitimos este paso.

b) Cálculo del espesor total del pavimento requerido utilizando la Figura 7.5.1 (anexo 5). Regístrese en la abcisa superior el valor CBR 15 del terreno de fundación, trácese una vertical hacia abajo hasta el peso bruto de la aeronave de cálculo, que es de 78,500 Kg. En este punto de intersección, trácese una proyección horizontal hasta las salidas anuales equivalentes, que son 17,500. Desde este punto de intersección, trácese una proyección vertical hasta la abcisa inferior y léase el espesor total, en este caso es de 21 pulg (53 cm), con un espesor de carpeta de 10 cm.

El espesor actual del pavimento es de 56 cm y el de la carpeta es de 12.60 cm, lo que indica que no requiere algún refuerzo estructural.

## PLATAFORMA DE AVIACIÓN GENERAL

Continuando con el procedimiento de la FAA:

Avión de diseño	DC-3
Peso máximo	11,430 Kg.
Salidas anuales	17,500
CBR terreno de fundación	12

a) Obtenemos la carga por rueda con la expresión:

$$C_R = \frac{0.95 W}{4}$$

Sustituyendo valores en la ecuación, la carga por rueda de la aeronave de diseño es de 2,714.0 kg.

Finalmente al ingresar todos estos datos a los nomogramas de cálculo de pavimentos flexibles propuestos por la FAA, se obtiene que el espesor total del pavimento es de 25.00 cm, con un espesor de carpeta de 8.00 cm.

El espesor actual del pavimento es de 32.00 cm y el de la carpeta es de 12.30 cm, lo que indica que no requiere algún refuerzo estructural.



## RODAJE ALFA

El método de diseño de la Portland Cement Association (PCA) ha preparado curvas de cálculo para este tipo de pavimentos similares a los propuestos por la FAA, para lo cual se requiere tres parámetros de entrada: resistencia del concreto a la flexión, módulo del terreno de fundación y peso bruto de la aeronave.

DATOS:

Avión de diseño	B-727-200
Peso máximo	78,471 Kg.
Salidas anuales	17,393.18
Resistencia a la flexión	711 lb/pulg <sup>2</sup>
Módulo de reacción corregido de la sub-base	85 MN/m <sup>3</sup>

Utilizando el gráfico 7.7.1 (anexo 5), de manera que se registran los datos de cálculo en el mismo orden que se trató anteriormente. El primer dato se refiere a la resistencia del concreto a la flexión de 711 lb/pulg<sup>2</sup>. Se traza una proyección horizontal hasta intersectar la curva del módulo de reacción corregido de la sub-base de 85 MN/m<sup>3</sup>. Se traza una proyección vertical a partir del punto de intersección hasta el peso bruto de 78,471 Kg. de la aeronave de cálculo. Se traza una proyección horizontal y se lee el espesor del pavimento a partir de la línea del peso bruto de la aeronave, obteniendo 30 cm de espesor. El espesor del pavimento indicado se refiere únicamente al espesor del pavimento de concreto hidráulico, sin tener en cuenta el de la capa de cimentación.

Si vemos el anexo I correspondiente a este elemento notaremos que actualmente el espesor de la losa de concreto hidráulico es de 30 cm, por lo que con este método podemos deducir que no se requiere refuerzo estructural en este elemento, contrario a lo que indica el Método ACN-PCN.

## RODAJE BRAVO

De igual forma, hacemos una revisión estructural a este elemento, cuyos datos son:

Avión de diseño	B-727-200
Peso máximo	78,471 Kg.
Salidas anuales	17,393.18
Resistencia a la flexión	711 lb/pulg <sup>2</sup>
Módulo de reacción corregido de la sub-base	99 MN/m <sup>3</sup>

Utilizando el gráfico 7.7.1 (anexo 5) en el mismo orden que se trató anteriormente obtenemos el espesor de la losa de concreto hidráulico de 30 cm.

De manera similar al rodaje Alfa, si vemos el anexo I correspondiente a este elemento notaremos que actualmente el espesor de la losa de concreto hidráulico es de 30 cm, por lo que con este método podemos deducir que no se requiere refuerzo estructural en este elemento, contrario a lo que indica el Método ACN-PCN.

## PLATAFORMA DE AVIACIÓN COMERCIAL

Continuamos aplicando el Método PCA

Datos:

Avión de diseño	B-727-200
Peso máximo	78,471 Kg.
Salidas anuales	17,393.18
Resistencia a la flexión	711 lb/pulg <sup>2</sup>
Módulo de reacción corregido de la sub-base	85 MN/m <sup>3</sup>

Utilizando el gráfico 7.7.1 (anexo 5) en el mismo orden que se trató anteriormente obtenemos el espesor de la losa de concreto hidráulico de 30 cm.

Aplicando el mismo criterio, si vemos el anexo I correspondiente a este elemento notaremos que actualmente el espesor de la losa de concreto hidráulico es de 30 cm, por lo que con este método podemos deducir que no se requiere refuerzo estructural en este elemento, contrario a lo que indica el Método ACN-PCN.

## CAPITULO 5 RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

### CONCLUSIONES

La evaluación en los pavimentos de este aeropuerto se ha realizado en base a las normas y métodos recomendados por la O.A.C.I.

Así mismo se procedió a efectuar los sondeos, exploraciones y estudios geotécnicos para poder cumplir con el método ACN-PCN.

Primera.-

De acuerdo a los resultados de la inspección visual efectuada en la pista 08-26 y que se reporta en el plano del anexo 5, ésta presenta algunas fisuras en ciertas zonas a todo lo largo, en general se encuentra en buenas condiciones.

En base a los resultados arrojados por el método ACN-PCN y a la notificación del PCN, en este elemento no es necesario algún refuerzo estructural.

En los Rodajes Alfa y Bravo las losas de concreto hidráulico muestran grietas reticulares y longitudinales a lo largo, las franjas de concreto asfáltico se encuentran agrietadas y presentan desprendimiento de mortero asfáltico, los acotamientos también se encuentran agrietados y erosionados, en general presentan daño severo.

Los resultados arrojados por el método ACN-PCN y la notificación del PCN, indican que en estos elementos es necesario emprender operaciones de rehabilitación sobre la superficie de rodamiento del pavimento.

La Plataforma General presenta erosión y algunas grietas sin llegar a ser perjudicial para el tránsito de las aeronaves, también hay depresiones hechas por base de helicópteros. No es necesario algún refuerzo estructural.

En la Plataforma Comercial las losas presentan daños que consisten en agrietamientos longitudinales, transversales y reticulares severos, por lo que será necesario reforzar el pavimento.

Segunda.-

De acuerdo a los sondeos de campo y los resultados de laboratorio, la estructura del pavimento de la pista 08-26, consiste de una superficie de rodamiento constituida por una carpeta de concreto asfáltico cuyo espesor es de 12.64 cm. A continuación se tiene una capa de sub-base de 20.0 cm de espesor, construida de grava cementada de buena calidad, cumpliendo con las normas de la S.C.T., por lo que no necesita rehabilitación.

En la plataforma general se tiene una carpeta de concreto asfáltico de 12.33 de espesor promedio, seguida por una base de grava cementada de buena calidad, su espesor promedio es de 15 cm, cumpliendo con las normas de la S.C.T.

La estructura del pavimento en la Plataforma Comercial se compone de una capa de rodadura de concreto hidráulico, el espesor promedio es de 29.6 cm. A continuación se tiene una sub-base de grava cementada de buena calidad, su espesor promedio es de 15 cm.

La estructura del pavimento tanto en el Rodaje Alfa y Bravo se compone de una capa de rodadura de concreto hidráulico, el espesor promedio es de 30.0 cm. A continuación se tiene una sub-base de buena calidad cuyo valor promedio es de 15 cm en ambos elementos.

Finalmente, se dispone de una subrasante en todos los elementos, formada por una arena fina arcillosa de 30 cm de espesor promedio.

El terreno natural de éste aeropuerto, en general es de arena fina limoarcillosa café amarillento.

## RECOMENDACIONES

1. Sobre el pavimento de concreto hidráulico se recomienda:

Remover la pintura del señalamiento horizontal existente en el pavimento de los rodajes dejando la superficie limpia para permitir una buena liga con la capa superior.

Los fragmentos sueltos o a punto de desprenderse deberán removerse y las depresiones resultantes deberán rellenarse con mezcla asfáltica caliente y debidamente compactada.

Los huecos provocados por desconchamientos deberán rellenarse con mezcla asfáltica caliente y compactarse.

En las dos franjas externas de concreto asfáltico de los rodajes, se colocará una sobre carpeta de concreto asfáltico que al compactarse tenga un espesor promedio de 9 cm para compensar el corte en frío efectuado.

Esta sobrecarpeta tendrá un acabado final de manera tal que su índice de perfil promedio sea menor de 15 y su coeficiente de fricción sea de 0.70 para garantizar la operación segura de los aviones.

2. Sobre el pavimento de concreto asfáltico se recomienda:

Efectuar un corte en frío de concreto asfáltico de 1 cm de profundidad para eliminar la capa superficial de mortero asfáltico, en las dos franjas externas.

Antes de iniciar los trabajos de construcción de la sobre carpeta, se debe efectuar trabajos de bacheo superficial abriendo en la carpeta existente una caja de 7 cm de profundidad por medio de corte en frío, en seguida se repondrá la carpeta de concreto asfáltico compactado al 95% de su peso de acuerdo a la prueba Marshall, para reponer los espesores previamente existentes.

Colocar la sobre carpeta de concreto asfáltico que al compactarse tenga un espesor promedio de 9 cm para compensar el corte en frío efectuado.

Durante los trabajos de conservación, se recomienda llevar un estricto control de calidad tanto en los procedimientos constructivos como en los materiales y equipos de construcción a utilizar, para cumplir satisfactoriamente con las especificaciones y normas establecidas por la S.C.T.

## BIBLIOGRAFIA

1. Secretaría de Comunicaciones y Transporte  
Ingeniería de Aeropuertos  
Módulo "Planificación"  
Primera Edición: 1986
2. Secretaría de Comunicaciones y Transporte  
Conservación de Aeropuertos  
Sistema Aeronáutico Terrestre  
Segunda Edición: Septiembre de 1986
3. Organización de Aviación Civil Internacional (O.A.C.I.)  
Manual de Proyecto de Aeródromos  
Parte 3 "Pavimentos"  
Segunda Edición - 1983
4. Organización de Aviación Civil Internacional (O.A.C.I.)  
Normas y Métodos Recomendados Internacionales  
Anexo 14 "Aeródromos"  
Volumen I Diseño y operaciones de Aeródromos  
Tercera Edición - Julio de 1999
5. Organización de Aviación Civil Internacional (O.A.C.I.)  
Manual de Servicios de Aeropuertos  
Parte 2 "Estado de la superficie de los pavimentos"
6. Secretaría de Comunicaciones y Transportes  
Ingeniería de Aeropuertos  
Módulo: Mantenimiento y Operación  
Primera Edición: 1986
7. Secretaría de Comunicaciones y Transportes  
Carreteras y Aeropistas.  
"Normas para muestreo y pruebas de materiales, equipo y sistemas"
8. Olivera Bustamante Fernando  
"Estructuración de vías terrestres"  
Segunda edición 1996  
Editorial CECSA



9. Secretaría de Comunicaciones y Transporte  
Ingeniería de Aeropuertos  
Módulo: "Mantenimiento y Operación"

10. Secretaría de Comunicaciones y Transporte  
Ingeniería de Aeropuertos  
Módulo: "Proyecto"  
Primera Edición: 1986

### **REFERENCIAS**

11. Página [www.boeing.com](http://www.boeing.com)

## GLOSARIO

En el ámbito mundial se emplea una amplia variedad de términos para describir suelos, materiales de construcción y componentes de pavimentos de aeropuertos. En la medida de lo posible, los términos aquí empleados son los que tienen la más amplia difusión internacional.

**CBR (California Bearing Ratio):** Relación de resistencia del suelo determinado mediante comparación de la carga de penetración del suelo con un material normalizado.

**Cimiento (capa de cimentación):** Capa de material seleccionado especificado de espesor calculado, colocada sobre el terreno de fundación para soportar el firme.

**Firme (capa de firme):** Capa o capas de material especificado o seleccionado de espesor designado, que se apoya sobre un cimiento o sobre el terreno de fundación, para soportar la capa superficial o revestimiento.

**Hormigón Asfáltico (Hormigón Bituminoso):** Mezcla de árido con asfalto o betún y relleno, extendida en frío o en caliente, y finalmente cilindrada.

**Hormigón de Cemento Pórtland (Concrete):** Mezcla de áridos graduados, con cemento Pórtland y agua.

**Número de Clasificación de Pavimentos (PCN):** Es una cifra que indica la resistencia de un pavimento, para utilizarlo sin restricciones.

**Número de Clasificación de Aeronaves (ACN):** Número que indica el efecto relativo de una aeronave sobre un pavimento, para determinada resistencia normalizada del terreno de fundación.

**Pavimento:** Combinación de cimiento, firme y revestimiento, colocada sobre un terreno de fundación para soportar las cargas del tránsito y distribuirlas al terreno.

**Pavimento Flexible:** Estructura de pavimento que mantiene íntimo contacto con el terreno de fundación y reparte las cargas sobre el mismo y, por lo que a estabilidad se refiere, depende de la trabazón o entrelazamiento de los áridos, rozamiento y cohesión de las partículas.

**Pavimento rígido:** Estructura de pavimento que distribuye las cargas al terreno de fundación, y que tiene como revestimiento una losa de concreto de resistencia a la flexión relativamente elevada.

**Resistencia:** Medida de la idoneidad de un pavimento para soportar la carga aplicada.

**Revestimiento (Capa de rodadura):** La capa superior de una estructura de pavimento.

**Terreno de Fundación:** Parte superior del suelo, natural o construido, que soporta las cargas transmitidas por el pavimento.

## **ANEXO 1**

# **EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO MEDIANTE EL NUMERO DE CLASIFICACION DE PAVIMENTOS (PCN)**





# EVALUACION DE PAVIMENTOS

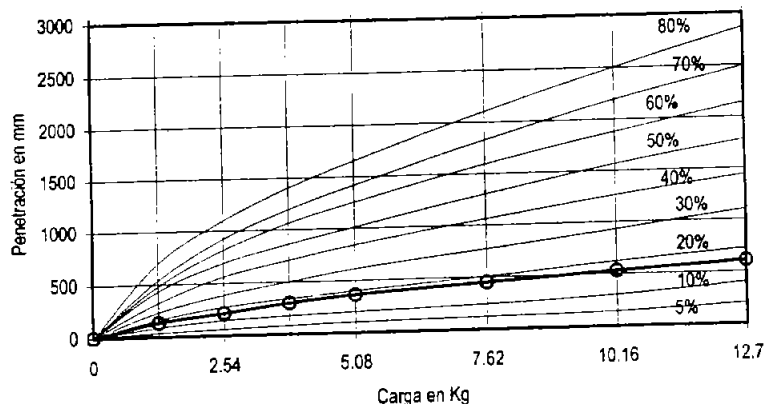
AEROPUERTO INTERNACIONAL DE VILLAHERMOSA, TABASCO

Elemento : <b>PISTA 08 - 26</b>			Estacion: <b>0+280</b> 3 m der.		
Tipo de pavimento : flexible			Fecha de prueba :		
Exploracion estratigrafica practicada mediante excavacion del sondeo N° 2 de corazon de 4" de diametro			caracteristicas del suelo de cimentacion		
Estratigrafia	prof. cm.	Descripcion :	P.V.H. (kg/m3)		
			Humedad		
			P.V.S. (kg/m3)		
			Limite Liquido		
			Limite Plastico		
			Indice Plastico		
	12	carpeta asfaltica e= 12.0 cm			
	40.0	concreto hidraulico e= 28.0 cm	<b>Valor relativo de soporte</b>		
			penetracion	lectura	carga
			mm	Kg/cm2	kg
			0.00	0	0
			1.27	20	132
			2.54	32	211
			3.81	45	297
			5.08	55	363
	55.0	sub base e= 15.0 cm	7.62	68	449
	85.0	subrasante e= 30.0 cm	10.16	80	528
			12.70	92	608
			K = 6.60521		
			carga corregida =		211
		terreno natural (arena fina limoarcillosa café amarillento)	<b>VRS =</b>		15.5%

## OBSERVACIONES :

profundidad de prueba (cm)= 85.0  
operador : A. V. S.

VALOR RELATIVO DE SOPORTE



## EVALUACION DE PAVIMENTOS

AEROPUERTO INTERNACIONAL DE VILLAHERMOSA, TABASCO

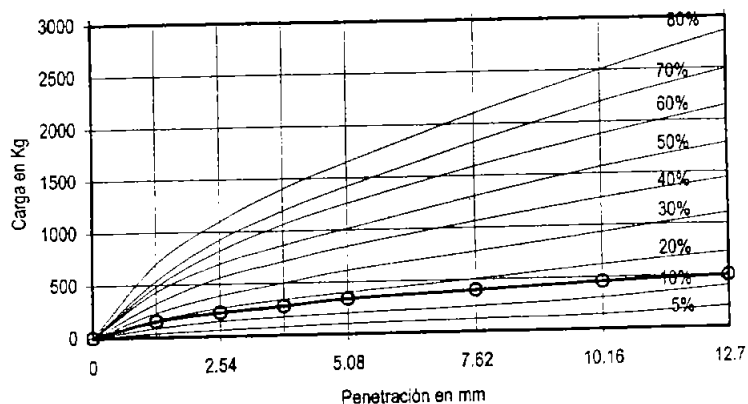
Elemento : <b>PISTA 08 - 26</b>		Estacion: <b>0+500</b> 3 m izq.	
Tipo de pavimento : flexible		Fecha de prueba :	
Exploracion estratigrafica practicada mediante excavacion del sondeo N° 3 de corazon de 4" de diametro		caracteristicas del suelo de cimentacion	
Estratigrafia	prof. cm.	Descripcion :	P.V.H. (kg/m3)
			Humedad
			P.V.S. (kg/m3)
			Limite Liquido
			Limite Plastico
			Indice Plastico
	12	carpeta asfaltica e= 12.0 cm	
	41.0	concreto hidraulico e= 29.0 cm	
	56.0	sub base e= 15.0 cm	
	86.0	subrasante e= 30.0 cm	
		terreno natural (arena fina limoarcillosa café amarillento)	
			<b>Valor relativo de soporte</b>
			penetracion    lectura    carga
			mm            Kg/cm2        kg
			0.00            0                0
			1.27            23              152
			2.54            34              225
			3.81            42              277
			5.08            51              337
			7.62            60              396
			10.16          69              456
			12.70          76              502
			K = 6.60521
			carga corregida = 225
			<b>VRS = 16.5%</b>

### OBSERVACIONES:

profundidad de prueba (cm)= 86.0

operador : A. V. S.

VALOR RELATIVO DE SOPORTE





## EVALUACION DE PAVIMENTOS

AEROPUERTO INTERNACIONAL DE VILLAHERMOSA, TABASCO

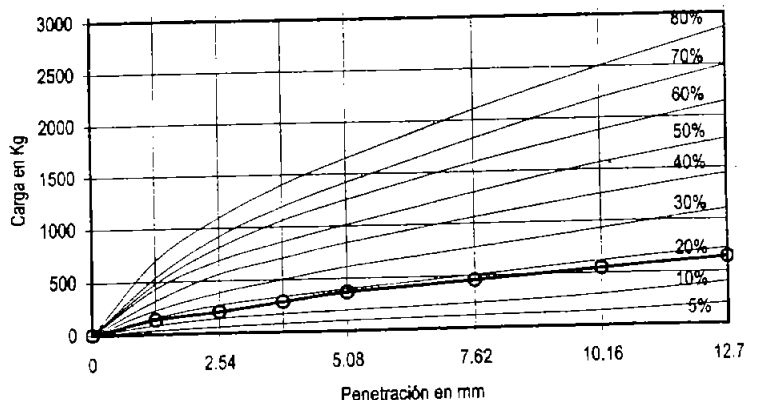
Elemento : <b>PISTA 08 - 26</b>		Estacion: <b>0+720</b> 6 m der.	
Tipo de pavimento : flexible		Fecha de prueba :	
Exploracion estratigrafica practicada mediante excavacion del sondeo N° 4 de corazon de 4" de diametro		caracteristicas del suelo de cimentacion	
Estratigrafia	prof. cm.	Descripcion :	P.V.H. (kg/m3)
			Humedad
			P.V.S. (kg/m3)
			Limite Liquido
			Limite Plastico
			Indice Plastico
	11	carpeta asfaltica e= 11.0 cm	
	42.0	concreto hidraulico e= 31.0 cm	
	57.0	sub base e= 15.0 cm	
	87.0	subrasante e= 30.0 cm	
		terreno natural (arena fina limoarcillosa café amarillento)	
			<b>Valor relativo de soporte</b>
		penetracion	lectura
		mm	Kg/cm2
		carga	kg
		0.00	0
		1.27	21
		2.54	31
		3.81	44
		5.08	56
		7.62	69
		10.16	83
		12.70	97
		K = 6.60521	
		carga corregida	= 205
		<b>VRS =</b>	<b>15.1%</b>

### OBSERVACIONES:

profundidad de prueba (cm)= 87.0

operador : A. V. S.

VALOR RELATIVO DE SOPORTE



# EVALUACION DE PAVIMENTOS

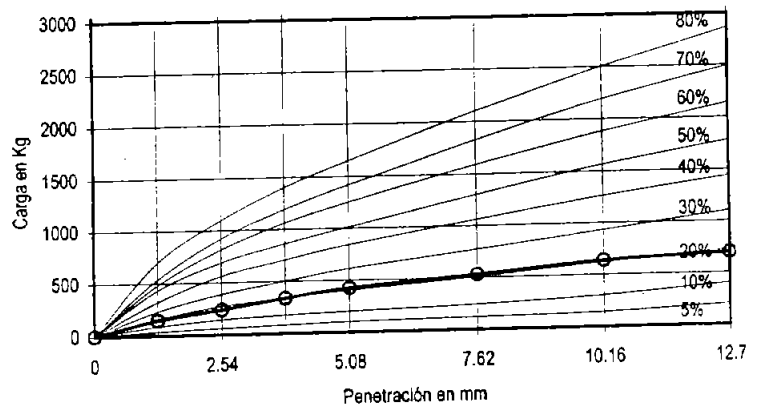
AEROPUERTO INTERNACIONAL DE VILLAHERMOSA, TABASCO

Elemento : <b>PISTA 08 - 26</b>			Estacion: <b>0+940</b> 3 m izq.																																									
Tipo de pavimento : flexible			Fecha de prueba :																																									
Exploracion estratigrafica practicada mediante excavacion del sondeo N° 5 de corazon de 4" de diametro			caracteristicas del suelo de cimentacion																																									
Estratigrafia	prof. cm.	Descripcion :	P.V.H. (kg/m3)																																									
			Humedad																																									
			P.V.S. (kg/m3)																																									
			Limite Liquido																																									
			Limite Plastico																																									
			Indice Plastico																																									
	13	carpeta asfaltica e= 13.0 cm	<b>Valor relativo de soporte</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>penetracion</th> <th>lectura</th> <th>carga</th> </tr> <tr> <th>mm</th> <th>Kg/cm2</th> <th>kg</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1.27</td><td>22</td><td>145</td></tr> <tr><td>2.54</td><td>36</td><td>238</td></tr> <tr><td>3.81</td><td>51</td><td>337</td></tr> <tr><td>5.08</td><td>64</td><td>423</td></tr> <tr><td>7.62</td><td>80</td><td>528</td></tr> <tr><td>10.16</td><td>96</td><td>634</td></tr> <tr><td>12.70</td><td>105</td><td>694</td></tr> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;">K = 6.60521</td></tr> <tr><td colspan="2">carga corregida =</td><td>238</td></tr> <tr><td colspan="2"><b>VRS =</b></td><td>17.5%</td></tr> </tbody> </table>			penetracion	lectura	carga	mm	Kg/cm2	kg	0.00	0	0	1.27	22	145	2.54	36	238	3.81	51	337	5.08	64	423	7.62	80	528	10.16	96	634	12.70	105	694	K = 6.60521			carga corregida =		238	<b>VRS =</b>		17.5%
penetracion	lectura	carga																																										
mm	Kg/cm2	kg																																										
0.00	0	0																																										
1.27	22	145																																										
2.54	36	238																																										
3.81	51	337																																										
5.08	64	423																																										
7.62	80	528																																										
10.16	96	634																																										
12.70	105	694																																										
K = 6.60521																																												
carga corregida =		238																																										
<b>VRS =</b>		17.5%																																										
	43.0	concreto hidraulico e= 30.0 cm																																										
	58.0	sub base e= 15.0 cm																																										
	88.0	subrasante e= 30.0 cm																																										
		terreno natural (arena fina limoarcillosa café amarillento)																																										

## OBSERVACIONES :

profundidad de prueba (cm)= 88.0  
operador : A. V. S.

VALOR RELATIVO DE SOPORTE





# EVALUACION DE PAVIMENTOS

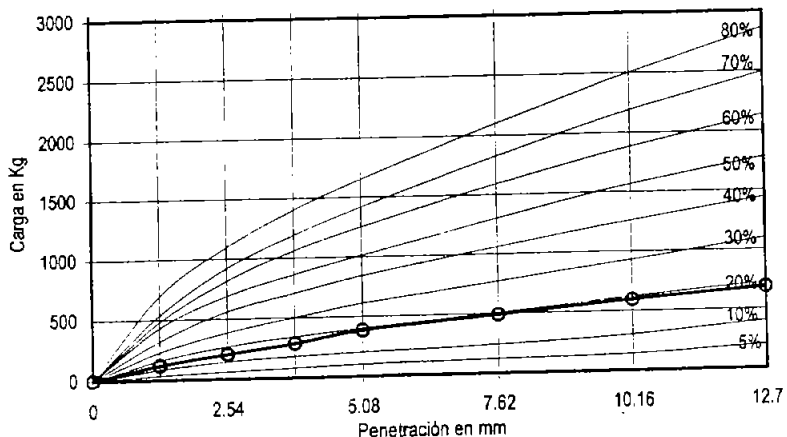
AEROPUERTO INTERNACIONAL DE VILLAHERMOSA, TABASCO

Elemento : <b>PISTA 08 - 26</b>			Estacion: <b>1+380</b> 6 m izq.		
Tipo de pavimento : flexible			Fecha de prueba :		
Exploracion estratigrafica practicada mediante excavacion del sondeo N° 7 de corazon de 4" de diametro			caracteristicas del suelo de cimentacion		
Estratigrafia	prof. cm.	Descripcion :	P.V.H. (kg/m3)		
			Humedad		
			P.V.S. (kg/m3)		
			Limite Liquido		
			Limite Plastico		
			Indice Plastico		
	13	carpeta asfaltica e= 13.0 cm			
	42.0	concreto hidraulico e= 29.0 cm	<b>Valor relativo de soporte</b>		
			penetracion	lectura	carga
			mm	Kg/cm2	kg
			0.00	0	0
			1.27	18	119
			2.54	31	205
			3.81	43	284
			5.08	58	383
	57.0	sub base e= 15.0 cm	7.62	74	489
			10.16	90	594
	87.0	subrasante e= 30.0 cm	12.70	104	687
			K = 6.60521		
			carga corregida =		205
		terreno natural (arena fina limoarcillosa café amarillento)	<b>VRS =</b>		15.1%

### OBSERVACIONES :

profundidad de prueba (cm)= 87.0  
operador : A. V. S.

VALOR RELATIVO DE SOPORTE



# EVALUACION DE PAVIMENTOS

AEROPUERTO INTERNACIONAL DE VILLAHERMOSA, TABASCO

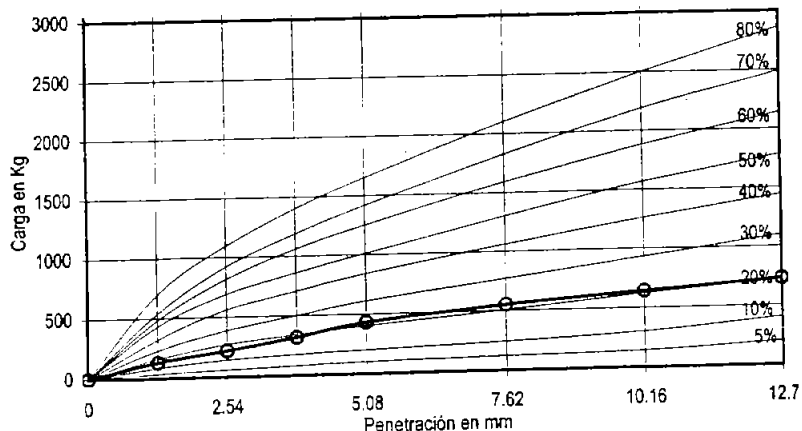
Elemento : <b>PISTA 08 - 26</b>			Estacion: <b>1+600</b> 3 m der.																													
Tipo de pavimento : flexible			Fecha de prueba :																													
Exploracion estratigrafica practicada mediante excavacion del sondeo N° 8 de corazon de 4" de diametro			caracteristicas del suelo de cimentacion																													
Estratigrafia	prof. cm.	Descripcion :	P.V.H. (kg/m3)																													
			Humedad																													
			P.V.S. (kg/m3)																													
			Limite Liquido																													
			Limite Plastico																													
			Indice Plastico																													
	12	carpeta asfaltica e= 12.0 cm	<b>Valor relativo de soporte</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>penetracion mm</th> <th>lectura Kg/cm2</th> <th>carga kg</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1.27</td><td>20</td><td>132</td></tr> <tr><td>2.54</td><td>33</td><td>218</td></tr> <tr><td>3.81</td><td>48</td><td>317</td></tr> <tr><td>5.08</td><td>65</td><td>429</td></tr> <tr><td>7.62</td><td>83</td><td>548</td></tr> <tr><td>10.16</td><td>97</td><td>641</td></tr> <tr><td>12.70</td><td>110</td><td>727</td></tr> </tbody> </table>			penetracion mm	lectura Kg/cm2	carga kg	0.00	0	0	1.27	20	132	2.54	33	218	3.81	48	317	5.08	65	429	7.62	83	548	10.16	97	641	12.70	110	727
penetracion mm	lectura Kg/cm2	carga kg																														
0.00	0	0																														
1.27	20	132																														
2.54	33	218																														
3.81	48	317																														
5.08	65	429																														
7.62	83	548																														
10.16	97	641																														
12.70	110	727																														
	42.0	concreto hidraulico e= 30.0 cm																														
	57.0	sub base e= 15.0 cm																														
	87.0	subrasante e= 30.0 cm																														
		terreno natural (arena fina limoarcillosa café amarillento)																														
			K = 6.60521																													
			carga corregida = 218																													
			<b>VRS = 16.0%</b>																													

## OBSERVACIONES:

profundidad de prueba (cm)= 87.0

operador : A. V. S.

VALOR RELATIVO DE SOPORTE







## EVALUACION DE PAVIMENTOS

AEROPUERTO INTERNACIONAL DE VILLAHERMOSA, TABASCO

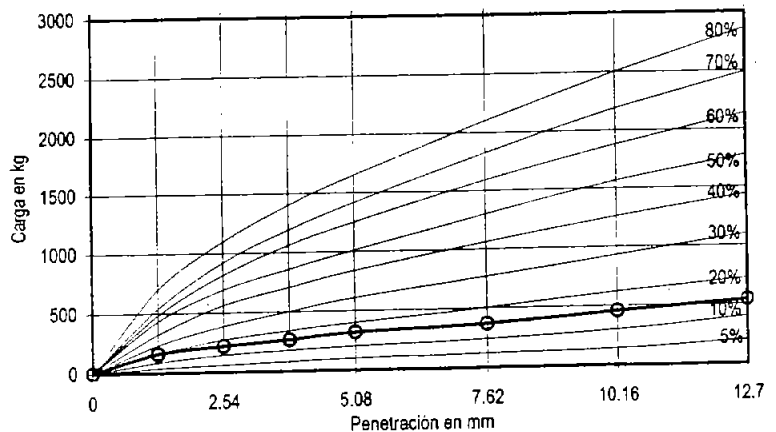
Elemento : <b>PISTA 08 - 26</b>		Estacion: <b>2+160</b> 3 m izq.	
Tipo de pavimento : flexible		Fecha de prueba :	
Exploracion estratigrafica practicada mediante excavacion del sondeo N° 11 de corazon de 4" de diametro		caracteristicas del suelo de cimentacion	
Estratigrafia	prof. cm.	Descripcion :	P.V.H. (kg/m3)
			Humedad
			P.V.S. (kg/m3)
			Limite Liquido
			Limite Plastico
			Indice Plastico
	13	carpeta asfaltica e= 13.0 cm	
	38.0	concreto hidraulico e= 25.0 cm	
	53.0	sub base e= 15.0 cm	
	83.0	subrasante e= 30.0 cm	
		terreno natural (arena fina limoarcillosa café amarillento)	
<b>Valor relativo de soporte</b>			
		penetracion	lectura
		mm	Kg/cm2
		carga	kg
		0.00	0
		1.27	24
		2.54	33
		3.81	40
		5.08	48
		7.62	56
		10.16	69
		12.70	82
K = 6.60521			
carga corregida =			218
<b>VRS =</b>			<b>16.0%</b>

### OBSERVACIONES:

profundidad de prueba (cm)= 83.0

operador : A. V. S.

VALOR RELATIVO DE SOPORTE







## EVALUACION DE PAVIMENTOS

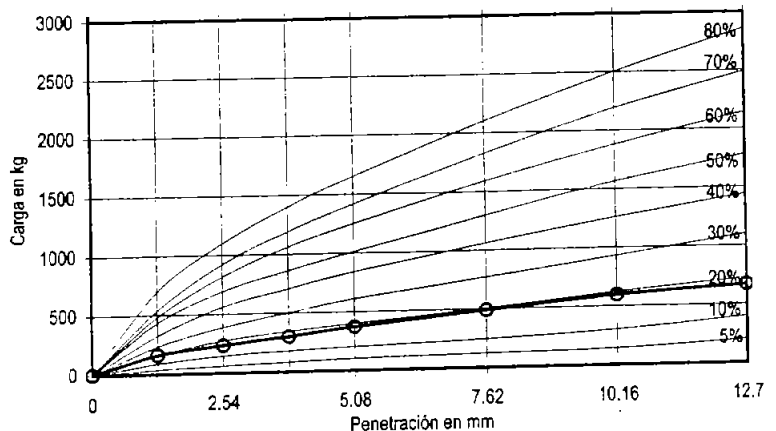
AEROPUERTO INTERNACIONAL DE VILLAHERMOSA, TABASCO

Elemento : <b>PISTA 08 - 26</b>		Estacion: <b>1+820</b> 22.5 m izq.			
Tipo de pavimento : flexible		Fecha de prueba :			
Exploracion estratigrafica practicada mediante excavacion de Pozo a Cielo Abierto No. 3		caracteristicas del suelo de cimentacion			
Estratigrafia	prof. cm.	Descripcion :	P.V.H. (kg/m <sup>3</sup> )	2161.8	
			Humedad	21.8%	
	30	carpeta asfaltica e= 30.0 cm	P.V.S. (kg/m <sup>3</sup> )	1774.2	
			Limite Liquido	40.7	
			Limite Plastico	20.3	
			Indice Plastico	20.4	
			<b>Valor relativo de soporte</b>		
	45.0	Base e= 15.0 cm	penetracion	lectura	carga
			mm	Kg/cm <sup>2</sup>	kg
	60.0	sub base e= 15.0 cm	0.00	0	0
			1.27	24	159
			2.54	35	231
			3.81	45	297
			5.08	56	370
	90.0	subrasante e= 30.0 cm	7.62	74	489
			10.16	90	594
			12.70	101	667
	90.0	terreno natural (arena fina limoarcillosa café amarillento)	K = 6.60521		
			carga corregida =		231
			<b>VRS =</b>		17.0%

### OBSERVACIONES:

profundidad de prueba (cm)= 90.0  
operador : A. V. S.

VALOR RELATIVO DE SOPORTE



## RESUMEN

### AEROPUERTO INTERNACIONAL DE VILLAHERMOSA, TAB.

Elemento : **PLATAFORMA COMERCIAL**

Sondeos de corazon de 4"						C B R	
Est.	Eje	Espesor losa cm	C B R %	Espesor equiv. cm			
						Promedio	17
						Desv. Estandar	0
						C B R estandar	17
						Espesor de losa	
0+152	Der.	30.5	16.5	15.0		Promedio	30
0+077	Der.	28.5	17.5	15.0		Desv. Estandar	1
0+032	Der.	30.0	17.5	15.0		Espesor estandar	29
*0+000	Der.	30.0	17.0	15.0		Espesor de sub base	
						Promedio	15
						Desv. Estandar	0
						Espesor estandar	15
						CBR adoptado	17.5
						"K" en terraceria	77
						Espesor Eq. Adop.	15
						"K" en sub base	85
						Esp. losa Adop.	30.0

**OBSERVACIONES:**

\* Pozo a cielo abierto

# EVALUACION DE PAVIMENTOS

AEROPUERTO INTERNACIONAL DE VILLAHERMOSA, TABASCO

Elemento : **PLATAFORMA COMERCIAL**

Tipo de pavimento : **Rígido**

Estacion: **0+152** 45 m der.

Exploracion estratigrafica practicada mediante excavacion del sondeo N° 12 de corazon de 4" de diametro

caracteristicas del suelo de cimentacion

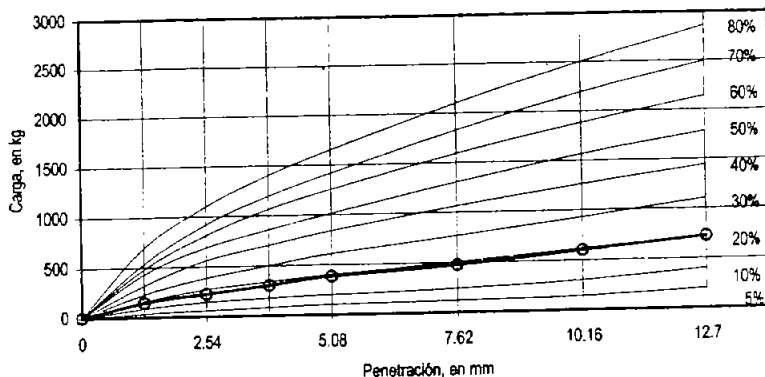
Estratigrafia	prof. cm.	Descripcion :	Valor relativo de soporte		
			penetracion mm	lectura Kg/cm2	carga kg
	30.5	concreto hidraulico e= 30.5 cm	P.V.H. (kg/m3)		
			Humedad		
			P.V.S. (kg/m3)		
			Limite Liquido		
			Limite Plastico		
			Indice Plastico		
	45.5	sub base e= 15.0 cm	Valor relativo de soporte		
			penetracion mm		
			lectura Kg/cm2		
			carga kg		
			0.00	0	0
			1.27	22	145
			2.54	34	225
			3.81	46	304
			5.08	58	383
			7.62	72	476
	75.5	subrasante e= 30.0 cm	Valor relativo de soporte		
			penetracion mm		
			lectura Kg/cm2		
			carga kg		
	75.5	terreno natural (arena fina arcillosa café amarillento)	Valor relativo de soporte		
			penetracion mm		
			lectura Kg/cm2		
			carga kg		
K = 6.605214					
carga corregida =			225		
<b>VRS =</b>			<b>16.5%</b>		

**OBSERVACIONES:**

profundidad de prueba (cm)= 75.5

operador : A. V. S.

VALOR RELATIVO DE SOPORTE



# EVALUACION DE PAVIMENTOS

AEROPUERTO INTERNACIONAL DE VILLAHERMOSA, TABASCO

Elemento : **PLATAFORMA COMERCIAL**

Tipo de pavimento : **Rígido**

Estacion: **0+077** 45 m der.

Exploracion estratigrafica practicada mediante excavacion del sondeo N° 13 de corazon de 4" de diametro

caracteristicas del suelo de cimentacion

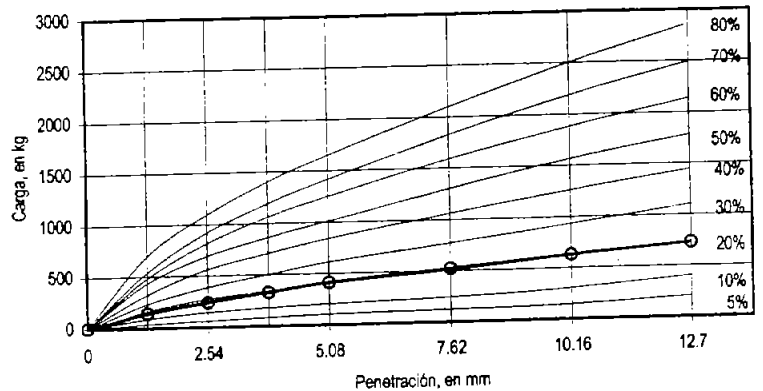
Estratigrafia	prof. cm.	Descripcion :	P.V.H. (kg/m <sup>3</sup> )	Humedad
	28.5	concreto hidraulico e= 28.5 cm	P.V.S. (kg/m <sup>3</sup> )	Limite Liquido
	43.5	sub base e= 15.0 cm	Limite Plastico	Indice Plastico
	73.5	subrasante e= 30.0 cm	<b>Valor relativo de soporte</b>	
		terreno natural (arena fina arcillosa café amarillento)	penetracion	lectura
			mm	Kg/cm <sup>2</sup>
			carga	kg
			0.00	0
			1.27	21
			2.54	36
			3.81	49
			5.08	62
			7.62	79
			10.16	95
			12.70	110
			K = 6.60521	
			carga corregida	= 238
			<b>VRS = 17.5%</b>	

**OBSERVACIONES :**

profundidad de prueba (cm)= 73.5

operador : A. V. S.

VALOR RELATIVO DE SOPORTE



# EVALUACION DE PAVIMENTOS

AEROPUERTO INTERNACIONAL DE VILLAHERMOSA, TABASCO

Elemento : **PLATAFORMA COMERCIAL**

Tipo de pavimento : **Rígido**

Estacion: **0+032** 45 m der.

Exploracion estratigrafica practicada mediante excavacion del sondeo N° 14 de corazon de 4" de diametro

caracteristicas del suelo de cimentacion

Estratigrafia	prof. cm.	Descripcion :	P.V.H. (kg/m3)	Humedad	P.V.S. (kg/m3)
	30	concreto hidraulico e= 30.0 cm			
	45.0	sub base e= 15.0 cm			
	75.0	subrasante e= 30.0 cm			
		terreno natural (arena fina arcillosa café amarillento)			

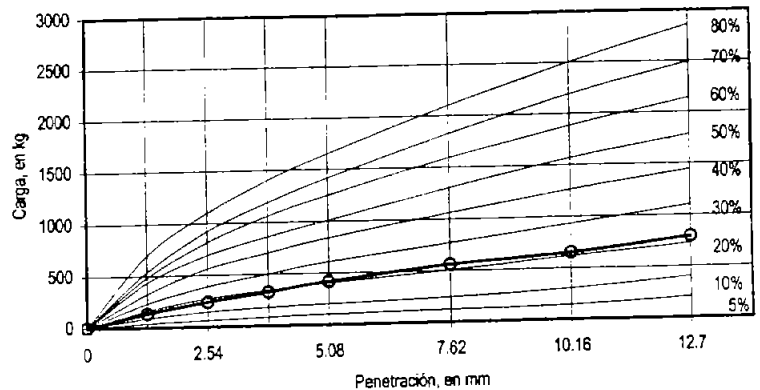
Valor relativo de soporte		
penetracion mm	lectura Kg/cm2	carga kg
0.00	0	0
1.27	20	132
2.54	36	238
3.81	49	324
5.08	63	416
7.62	85	561
10.16	99	654
12.70	120	793
K = 6.60521		
carga corregida =		238
<b>VRS =</b>		<b>17.5%</b>

**OBSERVACIONES:**

profundidad de prueba (cm)= 75.0

operador : A. V. S.

VALOR RELATIVO DE SOPORTE



# EVALUACION DE PAVIMENTOS

AEROPUERTO INTERNACIONAL DE VILLAHERMOSA, TABASCO

Elemento : **PLATAFORMA COMERCIAL**

Tipo de pavimento : **Rígido**

Estacion: **0+000** 45 m der.

Exploracion estratigrafica practicada mediante excavacion de Pozo a Cielo Abierto No. 4

características del suelo de cimentacion

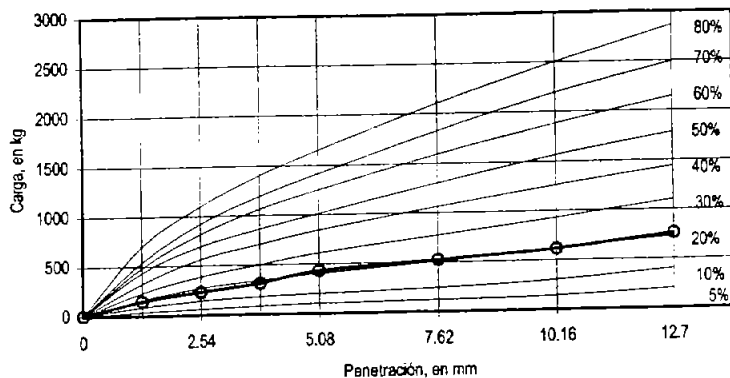
Estratigrafia	prof. cm.	Descripcion :	P.V.H. (kg/m <sup>3</sup> )	Humedad
	30	concreto hidraulico e= 30.0 cm	2190.9	20.0%
	45.0	sub base e= 15.0 cm	P.V.S. (kg/m <sup>3</sup> )	1825.1
			Limite Liquido	38.7
	75.0	subrasante e= 30.0 cm	Limite Plastico	18.7
			Indice Plastico	20
			<b>Valor relativo de soporte</b>	
			penetracion	lectura
			mm	Kg/cm <sup>2</sup>
			carga	kg
			0.00	0
			1.27	22
			2.54	35
			3.81	47
			5.08	65
			7.62	79
			10.16	93
			12.70	115
			K = 6.60521	
			carga corregida	= 231
			<b>VRS =</b>	<b>17.0%</b>

**OBSERVACIONES :**

profundidad de prueba (cm)= **75.0**

operador : **A. V. S.**

**VALOR RELATIVO DE SOPORTE**



# EVALUACION DE PAVIMENTOS

"EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO EN EL AEROPUERTO  
INTERNACIONAL DE VILAHERMOSA, TABASCO, APLICANDO EL  
METODO ACN-PCN"

Elemento : **PLATAFORMA GENERAL**

Tipo de pavimento : Flexible

Estacion: **0+060** 20 m der.

Exploracion estratigrafica practicada mediante excavacion del sondeo N° 15 de corazon de 4" de diametro

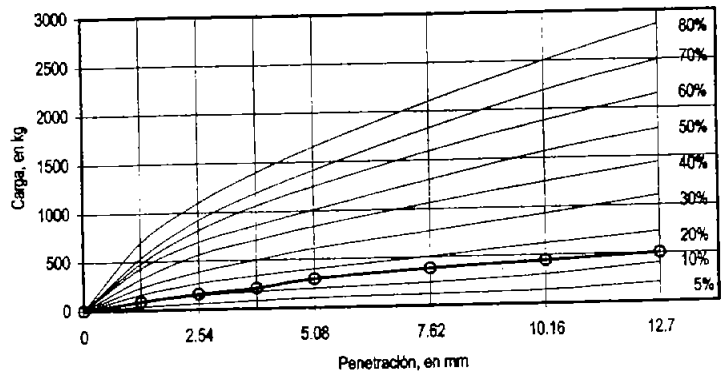
caracteristicas del suelo de cimentacion

Estratigrafia	prof. cm.	Descripcion :	P.V.H. (kg/m3)	Humedad	
	13	carpeta asfaltica e= 13.0 cm	P.V.S. (kg/m3)		
			Limite Liquido		
			Limite Plastico		
			Indice Plastico		
	28.0	base e= 15.0 cm	<b>Valor relativo de soporte</b>		
			penetracion	lectura	carga
			mm	Kg/cm2	kg
			0.00	0	0
			1.27	13	86
			2.54	24	159
			3.81	32	211
			5.08	45	297
			7.62	58	383
			10.16	67	443
	68.0	subrasante e= 40.0 cm	12.70	76	502
			K = 6.605214		
			carga corregida =		159
			<b>VRS =</b>		<b>11.7%</b>
	68.0	terreno natural (arena fina limosa café amarillento)			

**OBSERVACIONES:**

profundidad de prueba (cm)= 68.0  
operador : A. V. S.

VALOR RELATIVO DE SOPORTE





## EVALUACION DE PAVIMENTOS

"EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO EN EL AEROPUERTO  
INTERNACIONAL DE VILLAHERMOSA, TABASCO, APLICANDO EL  
METODO ACN-PCN"

Elemento : **PLATAFORMA GENERAL**

Tipo de pavimento : Flexible

Estacion: **0+060** 40 m der.

Exploracion estratigrafica practicada mediante excavacion del sondeo N° 16 de corazon de 4" de diametro

caracteristicas del suelo de cimentacion

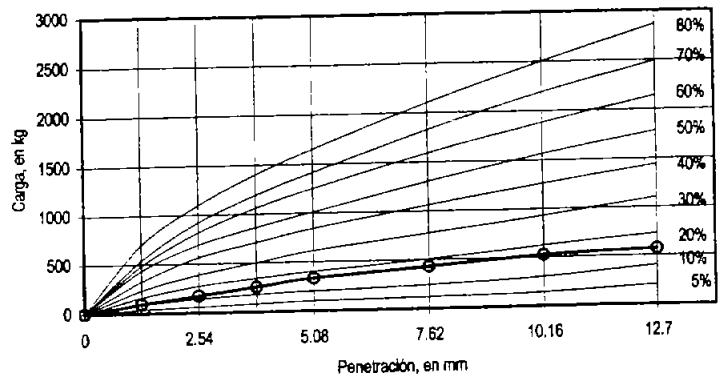
Estratigrafia	prof. cm.	Descripcion :	P.V.H. (kg/m3)		
			Humedad		
			P.V.S. (kg/m3)		
			Limite Liquido		
			Limite Plastico		
			Indice Plastico		
			Valor relativo de soporte		
			penetracion	lectura	carga
			mm	Kg/cm2	kg
			0.00	0	0
			1.27	14	92
			2.54	26	172
			3.81	38	251
			5.08	50	330
			7.62	65	429
			10.16	79	522
			12.70	86	568
			K = 6.60521		
			carga corregida =		172
			<b>VRS =</b>		<b>12.6%</b>

### OBSERVACIONES:

profundidad de prueba (cm) = 65.0

operador : A. V. S.

VALOR RELATIVO DE SOPORTE



# EVALUACION DE PAVIMENTOS

"EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE VILLAHERMOSA, TABASCO, APLICANDO EL METODO ACN-PCN"

Elemento : **PLATAFORMA GENERAL**

Tipo de pavimento : Flexible

Estacion: **0+100** 60 m der.

Exploracion estratigrafica practicada mediante excavacion del sondeo N° 17 de corazon de 4" de diametro

caracteristicas del suelo de cimentacion

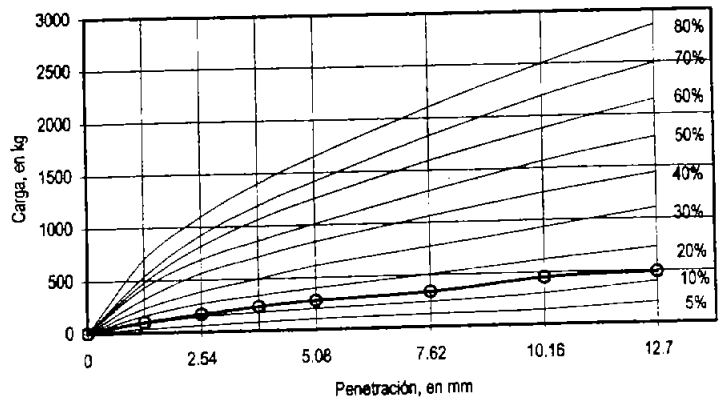
Estratigrafia	prof. cm.	Descripcion :	P.V.H. (kg/m3)	Humedad	P.V.S. (kg/m3)	Limite Liquido	Limite Plastico	Indice Plastico																																				
	14	carpeta asfaltica e= 14.0 cm																																										
	29.0	base e= 15.0 cm	<b>Valor relativo de soporte</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>penetracion mm</th> <th>lectura Kg/cm2</th> <th>carga kg</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1.27</td><td>15</td><td>99</td></tr> <tr><td>2.54</td><td>25</td><td>165</td></tr> <tr><td>3.81</td><td>35</td><td>231</td></tr> <tr><td>5.08</td><td>42</td><td>277</td></tr> <tr><td>7.62</td><td>51</td><td>337</td></tr> <tr><td>10.16</td><td>68</td><td>449</td></tr> <tr><td>12.70</td><td>74</td><td>489</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">K = 6.60521</td><td></td></tr> <tr><td colspan="2">carga corregida =</td><td>165</td></tr> <tr><td colspan="2"><b>VRS =</b></td><td>12.1%</td></tr> </tbody> </table>						penetracion mm	lectura Kg/cm2	carga kg	0.00	0	0	1.27	15	99	2.54	25	165	3.81	35	231	5.08	42	277	7.62	51	337	10.16	68	449	12.70	74	489	K = 6.60521			carga corregida =		165	<b>VRS =</b>		12.1%
penetracion mm	lectura Kg/cm2	carga kg																																										
0.00	0	0																																										
1.27	15	99																																										
2.54	25	165																																										
3.81	35	231																																										
5.08	42	277																																										
7.62	51	337																																										
10.16	68	449																																										
12.70	74	489																																										
K = 6.60521																																												
carga corregida =		165																																										
<b>VRS =</b>		12.1%																																										
	69.0	subrasante e= 40.0 cm																																										
		terreno natural (arena fina limosa café amarillento)																																										

## OBSERVACIONES:

profundidad de prueba (cm)= 69.0

operador: A. V. S.

VALOR RELATIVO DE SOPORTE



## EVALUACION DE PAVIMENTOS

"EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO EN EL AEROPUERTO  
INTERNACIONAL DE VILLAHERMOSA, TABASCO, APLICANDO EL  
METODO ACN-PCN"

Elemento : **PLATAFORMA GENERAL**

Tipo de pavimento : Flexible

Estacion: **0+100** 95 m der.

Exploracion estratigrafica practicada mediante excavacion  
de Pozo a Cielo Abierto No. 5

caracteristicas del suelo  
de cimentacion

Estratigrafia	prof. cm.	Descripcion :
	13	carpeta asfaltica e= 13.0 cm
	26.0	base e= 13.0 cm
	64.0	subrasante e= 38.0 cm
		terreno natural (arena fina limosa café amarillenta)

P.V.H. (kg/m <sup>3</sup> )	2152.2
Humedad	16.2%
P.V.S. (kg/m <sup>3</sup> )	1851.4
Limite Liquido	31.4
Limite Plastico	20.8
Indice Plastico	10.6

### Valor relativo de soporte

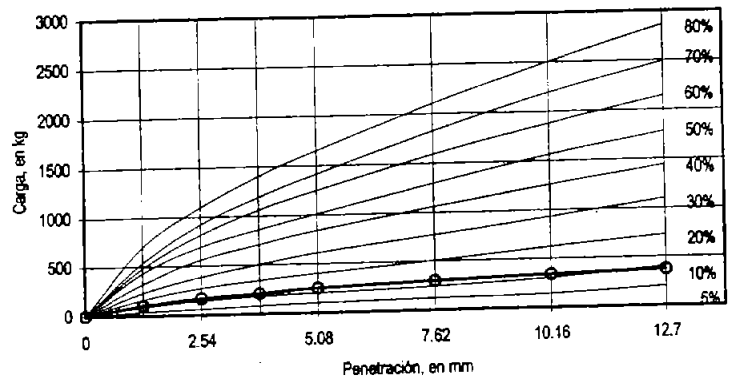
penetracion mm	lectura Kg/cm <sup>2</sup>	carga kg
0.00	0	0
1.27	15	99
2.54	25	165
3.81	31	205
5.08	38	251
7.62	45	297
10.16	51	337
12.70	56	370
<b>K = 6.60521</b>		
carga corregida =		165
<b>VRS =</b>		<b>12.1%</b>

### OBSERVACIONES:

profundidad de prueba (cm)= 64.0

operador : A. V. S.

VALOR RELATIVO DE SOPORTE



# RESUMEN

AEROPUERTO INTERNACIONAL  
DE VILLAHERMOSA, TAB.

Elemento : **PLATAFORMA GENERAL**

Sondeos de corazon de 4"				Pozos a cielo abierto				Viga Benkelman	
Est.	Lado	Espesor Equiv. m	C B R %	Est.	Lado	Espesor Equiv. m	C B R %	Promedio	31.03
0+060	Der.	0.41	11.7	0+100	Der.	0.39	12.1	C B R	
0+060	Der.	0.35	12.6					Promedio	12.13
0+100	Der.	0.43	12.1					Desv. Estandar	0.45
								C B R estandar	11.75
								Espesor Equivalente	
								Promedio	0.40
								Desv. Estandar	0.04
								Espesor estandar	0.36
								C B R adoptado	12.6
								Espesor adoptado	0.35

OBSERVACIONES:

## RESUMEN

### AEROPUERTO INTERNACIONAL DE VILLAHERMOSA, TAB.

Elemento :        **RODAJE ALFA**

Sondeos de corazon de 4"						C B R	
Est.	Eje	Espesor losa cm	C B R %	Espesor equiv. cm			
						Promedio	16.67
						Desv. Estandar	0.47
						C B R estandar	16.27
						Espesor de losa	
0+120	Der.	27.5	16.0	15.0		Promedio	29.17
0+220	Izq.	30.0	17.0	15.0		Desv. Estandar	1.18
0+320	Der.	30.0	17.0	15.0		Espesor estandar	28.17
						Espesor de sub base	
						Promedio	15.00
						Desv. Estandar	0.00
						Espesor estandar	15.00
						CBR adoptado	17.00
						"K" en terraceria	75
						Espesor Eq. Adop.	0.30
						"K" en sub base	85
						Esp. losa Adop.	30.00

OBSERVACIONES:

## EVALUACION DE PAVIMENTOS

"EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO EN EL AEROPUERTO  
INTERNACIONAL DE VILLAHERMOSA, TABASCO, APLICANDO EL  
MÉTODO ACN-PCN"

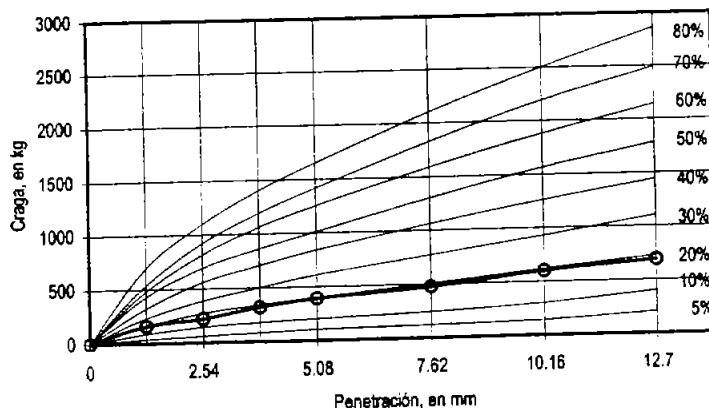
Elemento : <b>RODAJE ALFA</b>			Estacion: <b>0+120</b> 3 m der.		
Tipo de pavimento: Rígido			Fecha de prueba :		
Exploracion estratigrafica practicada mediante excavacion del sondeo N° 18 de corazon de 4" de diametro			caracteristicas del suelo de cimentacion		
Estratigrafia	prof. cm.	Descripcion :	P.V.H. (kg/m3)		
			Humedad		
			P.V.S. (kg/m3)		
			Limite Liquido		
			Limite Plastico		
			Indice Plastico		
	6.5	carpeta asfaltica e= 6.5 cm			
	34.0	concreto hidraulico e= 27.5 cm	<b>Valor relativo de soporte</b>		
			penetracion	lectura	carga
			mm	Kg/cm2	kg
			0.00	0	0
			1.27	24	159
			2.54	33	218
			3.81	48	317
			5.08	59	390
	49.0	sub base e= 15.0 cm	7.62	72	476
			10.16	91	601
	79.0	subrasante e= 30.0 cm	12.70	104	687
			K = 6.60521		
			carga corregida =		218
		terreno natural (arena fina limoarcillosa café amarillento)	<b>VRS =</b>		16.0%

### OBSERVACIONES:

profundidad de prueba (cm)= 79.0

operador : A. V. S.

VALOR RELATIVO DE SOPORTE



## EVALUACION DE PAVIMENTOS

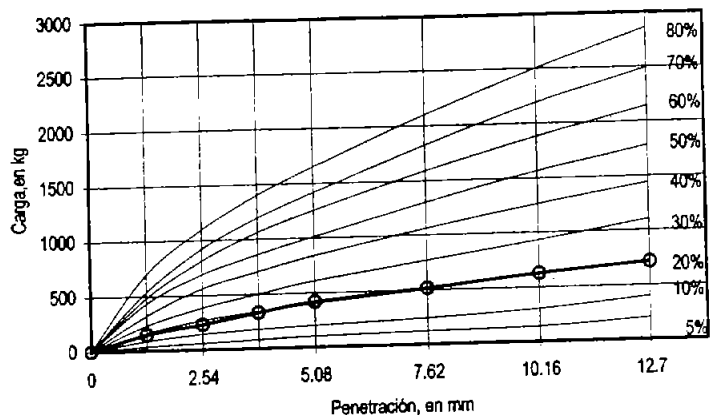
"EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO EN EL AEROPUERTO  
INTERNACIONAL DE VILLAHERMOSA, TABASCO, APLICANDO EL  
MÉTODO ACN-PCN"

Elemento : <b>RODAJE ALFA</b>			Estacion: <b>0+220</b> 3 m izq.		
Tipo de pavimento : rigido			Fecha de prueba : marzo-2000		
Exploracion estratigrafica practicada mediante excavacion del sondeo N° 19 de corazon de 4" de diametro			caracteristicas del suelo de cimentacion		
Estratigrafia	prof. cm.	Descripcion :	P.V.H. (kg/m3)		
	30	concreto hidraulico e= 30.0 cm	Humedad		
			P.V.S. (kg/m3)		
			Limite Liquido		
			Limite Plastico		
			Indice Plastico		
	45.0	sub base e= 15.0 cm	<b>Valor relativo de soporte</b>		
			penetracion	lectura	carga
			mm	Kg/cm2	kg
			0.00	0	0
			1.27	22	145
			2.54	35	231
			3.81	50	330
			5.08	63	416
	75.0	subrasante e= 30.0 cm	7.62	78	515
		terreno natural (arena fina limoarcillosa café amarillenta)	10.16	95	627
			12.70	108	713
			K = 6.60521		
			carga corregida =		231
			<b>VRS =</b>		17.0%

### OBSERVACIONES:

profundidad de prueba (cm)= 75.0  
operador : A. V. S.

VALOR RELATIVO DE SOPORTE



## EVALUACION DE PAVIMENTOS

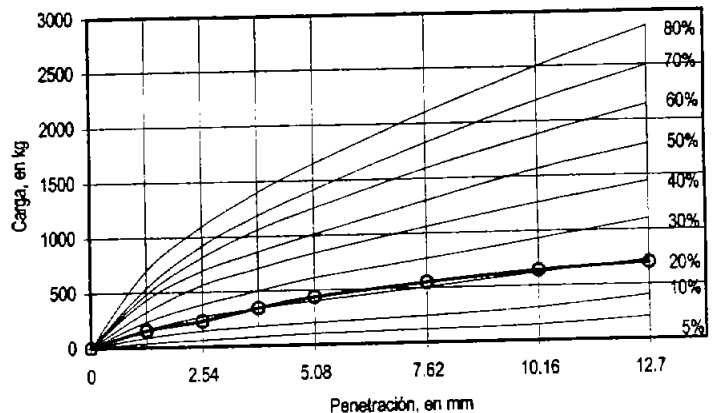
"EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO EN EL AEROPUERTO  
INTERNACIONAL DE VILLAHERMOSA, TABASCO, APLICANDO EL  
MÉTODO ACN-PCN"

Elemento : <b>RODAJE ALFA</b>			Estacion: <b>0+320</b> 3 m der.		
Tipo de pavimento : rigido			Fecha de prueba : marzo-2000		
Exploracion estratigrafica practicada mediante excavacion del sondeo N° 20 de corazon de 4" de diametro			caracteristicas del suelo de cimentacion		
Estratigrafia	prof. cm.	Descripcion :	P.V.H. (kg/m3)		
			Humedad		
			P.V.S. (kg/m3)		
			Limite Liquido		
			Limite Plastico		
			Indice Plastico		
	30	concreto hidraulico e= 30.0 cm			
	45.0	sub base e= 15.0 cm	<b>Valor relativo de soporte</b>		
			penetracion	lectura	carga
			mm	Kg/cm2	kg
			0.00	0	0
			1.27	23	152
			2.54	35	231
			3.81	52	343
			5.08	66	436
	75.0	subrasante e= 30.0 cm	7.62	83	548
		terreno natural (arena fina limoarcillosa café amarillenta)	10.16	97	641
			12.70	106	700
			K = 6.60521		
			carga corregida =		231
			<b>VRS =</b>		<b>17.0%</b>

### OBSERVACIONES:

profundidad de prueba (cm)= 75.0  
operador : A. V. S.

VALOR RELATIVO DE SOPORTE





## EVALUACION DE PAVIMENTOS

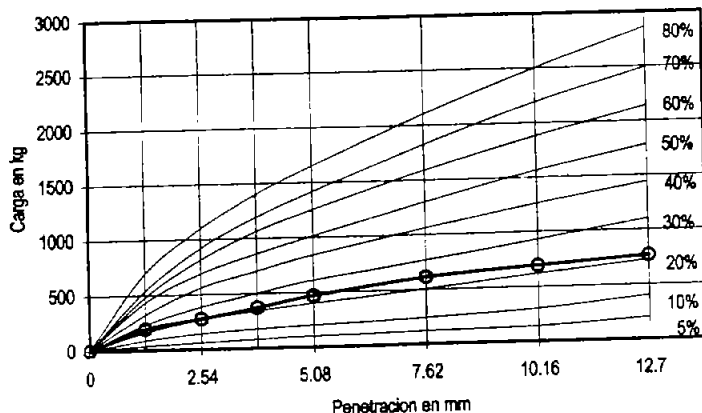
"EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO EN EL AEROPUERTO  
INTERNACIONAL DE VILLAHERMOSA, TABASCO, APLICANDO EL  
MÉTODO ACN-PCN"

Elemento : <b>RODAJE ALFA</b>			Estacion: <b>0+220</b> 11.50 m izq.		
Tipo de pavimento : rigido			Fecha de prueba : marzo-2000		
Exploracion estratigrafica practicada mediante excavacion de Pozo a Cielo Abierto No. 6			caracteristicas del suelo de cimentacion		
Estratigrafia	prof. cm.	Descripcion :	P.V.H. (kg/m3)	2014.8	
	17	carpeta asfaltica e= 17.0 cm	Humedad	13.7%	
			P.V.S. (kg/m3)	1772.5	
			Limite Liquido	36.9	
			Limite Plastico	15.9	
			Indice Plastico	21	
			<b>Valor relativo de soporte</b>		
			penetracion	lectura	carga
			mm	Kg/cm2	kg
			0.00	0	0
			1.27	29	192
			2.54	42	277
			3.81	56	370
			5.08	71	469
			7.62	93	614
			10.16	105	694
			12.70	116	766
			K = 6.60521		
			carga corregida =		277
			<b>VRS =</b>		20.4%

### OBSERVACIONES:

profundidad de prueba (cm)= 72.0  
operador : A. V. S.

VALOR RELATIVO DE SOPORTE



**RESUMEN**

**AEROPUERTO INTERNACIONAL  
DE VILLAHERMOSA, TAB.**

Elemento : **RODAJE BRAVO**

Sondeos de corazon de 4"					C B R	
Est.	Eje	Espesor losa cm	C B R %	Espesor equiv. cm		
					Promedio	26
					Desv. Estandar	0
					C B R estandar	26
					Espesor de losa	
0+120	Der.	28.5	26.7	15.0	Promedio	30
0+220	Izq.	30.0	25.7	15.0	Desv. Estandar	1
0+320	Der.	30.0	26.7	15.0	Espesor estandar	29
					Espesor de sub base	
					Promedio	15
					Desv. Estandar	0
					Espesor estandar	15
					CBR adoptado	26.7
					"K" en terraceria	90
					Espesor Eq. Adop.	15
					"K" en sub base	99
					Esp. losa Adop.	30

OBSERVACIONES:

## EVALUACION DE PAVIMENTOS

"EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO EN EL AEROPUERTO  
INTERNACIONAL DE VILLAHERMOSA, TABASCO, APLICANDO EL  
MÉTODO ACN-PCN"

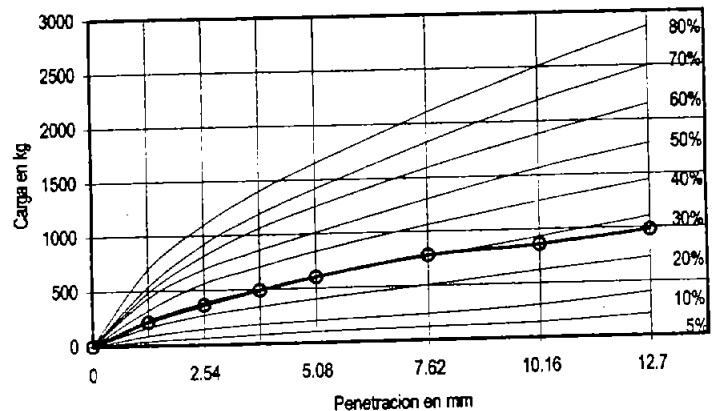
Elemento : <b>RODAJE BRAVO</b>			Estacion: <b>0+120</b> 3 m der.		
Tipo de pavimento : Rígido			Fecha de prueba :		
Exploracion estratigrafica practicada mediante excavacion del sondeo N° 21 de corazon de 4" de diametro			caracteristicas del suelo de cimentacion		
Estratigrafia	prof. cm.	Descripcion :	P.V.H. (kg/m3)		
	7.5	carpeta asfaltica e= 7.5 cm	Humedad		
			P.V.S. (kg/m3)		
			Limite Liquido		
			Limite Plastico		
			Indice Plastico		
			Valor relativo de soporte		
			penetracion	lectura	carga
			mm	Kg/cm2	kg
			0.00	0	0
			1.27	32	211
			2.54	55	363
			3.81	74	489
			5.08	91	601
			7.62	118	779
			10.16	130	859
			12.70	148	978
			K = 6.60521		
			carga corregida =		363
			<b>VRS =</b>		26.7%
	36.0	concreto hidraulico e= 28.5 cm			
	51.0	sub base e= 15.0 cm			
	81.0	subrasante e= 30.0 cm			
		terreno natural (arena fina limoarcillosa café amarillento)			

### OBSERVACIONES :

profundidad de prueba (cm)= 81.0

operador : A. V. S.

VALOR RELATIVO DE SOPORTE



## EVALUACION DE PAVIMENTOS

"EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO EN EL AEROPUERTO  
INTERNACIONAL DE VILLAHERMOSA, TABASCO, APLICANDO EL  
MÉTODO ACN-PCN"

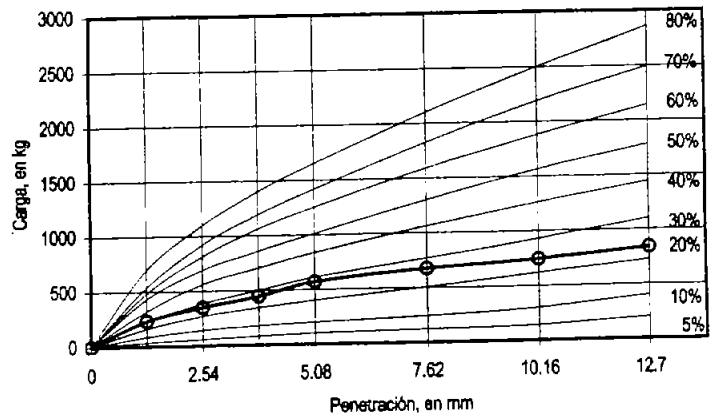
Elemento : <b>RODAJE BRAVO</b>			Estacion: <b>0+220</b> 3 m izq.																																									
Tipo de pavimento : Rígido			Fecha de prueba :																																									
Exploracion estratigrafica practicada mediante excavacion del sondeo N° 22 de corazon de 4" de diametro			caracteristicas del suelo de cimentacion																																									
Estratigrafia	prof. cm.	Descripcion :	P.V.H. (kg/m3)																																									
			Humedad																																									
			P.V.S. (kg/m3)																																									
			Limite Liquido																																									
			Limite Plastico																																									
			Indice Plastico																																									
	30	concreto hidraulico e= 30.0 cm	<b>Valor relativo de soporte</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>penetracion</th> <th>lectura</th> <th>carga</th> </tr> <tr> <th>mm</th> <th>Kg/cm2</th> <th>kg</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1.27</td><td>35</td><td>231</td></tr> <tr><td>2.54</td><td>53</td><td>350</td></tr> <tr><td>3.81</td><td>67</td><td>443</td></tr> <tr><td>5.08</td><td>86</td><td>568</td></tr> <tr><td>7.62</td><td>102</td><td>674</td></tr> <tr><td>10.16</td><td>113</td><td>746</td></tr> <tr><td>12.70</td><td>127</td><td>839</td></tr> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;">K = 6.60521</td></tr> <tr><td colspan="2">carga corregida =</td><td>350</td></tr> <tr><td colspan="2"><b>VRS =</b></td><td>25.7%</td></tr> </tbody> </table>			penetracion	lectura	carga	mm	Kg/cm2	kg	0.00	0	0	1.27	35	231	2.54	53	350	3.81	67	443	5.08	86	568	7.62	102	674	10.16	113	746	12.70	127	839	K = 6.60521			carga corregida =		350	<b>VRS =</b>		25.7%
penetracion	lectura	carga																																										
mm	Kg/cm2	kg																																										
0.00	0	0																																										
1.27	35	231																																										
2.54	53	350																																										
3.81	67	443																																										
5.08	86	568																																										
7.62	102	674																																										
10.16	113	746																																										
12.70	127	839																																										
K = 6.60521																																												
carga corregida =		350																																										
<b>VRS =</b>		25.7%																																										
	45.0	sub base e= 15.0 cm																																										
	75.0	subrasante e= 30.0 cm																																										
		terreno natural (arena fina limoarcillosa café amarillenta)																																										

### OBSERVACIONES :

profundidad de prueba (cm) = 75.0

operador :

VALOR RELATIVO DE SOPORTE





## EVALUACION DE PAVIMENTOS

"EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO EN EL AEROPUERTO  
INTERNACIONAL DE VILLAHERMOSA, TABASCO, APLICANDO EL  
MÉTODO ACN-PCN"

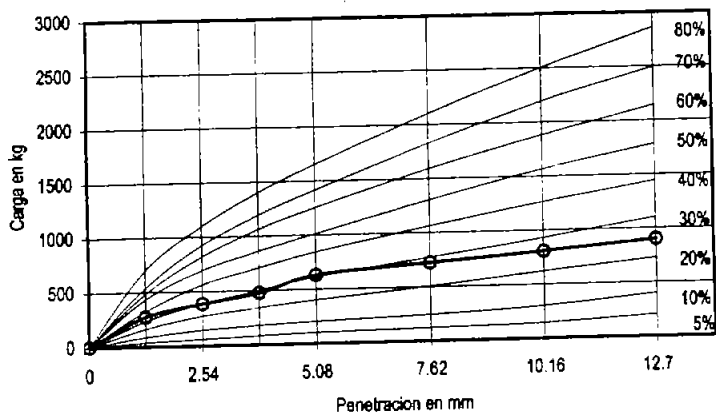
Elemento : <b>RODAJE BRAVO</b>			Estacion: <b>0+220</b> 11.50 m izq.		
Tipo de pavimento : Rígido			Fecha de prueba :		
Exploracion estratigrafica practicada mediante excavacion de Pozo a Cielo Abierto No. 7			caracteristicas del suelo de cimentacion		
Estratigrafia	prof. cm.	Descripcion :	P.V.H. (kg/m3)	2102.2	
			Humedad	15.6%	
	12	carpeta asfaltica e= 12.0 cm	P.V.S. (kg/m3)	1819.1	
			Limite Liquido	36.1	
			Limite Plastico	14.7	
			Indice Plastico	21.4	
			<b>Valor relativo de soporte</b>		
			mm	Kg/cm2	kg
			0.00	0	0
			1.27	41	271
			2.54	58	383
			3.81	72	476
			5.08	95	627
	27.0	base e= 15.0 cm	7.62	109	720
			10.16	122	806
			12.70	136	898
	42.0	sub base e= 15.0 cm	K = 6.60521		
			carga corregida =		383
	72.0	subrasante e= 30.0 cm	<b>VRS =</b>		28.2%
			terreno natural (arena fina limoarcillosa café amarillenta)		

### OBSERVACIONES:

profundidad de prueba (cm)= 72.0

operador :

VALOR RELATIVO DE SOPORTE



## **ANEXO 2**

# **CALCULO DE DEFLEXIONES**

**"EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO EN EL AEROPUERTO  
INTERNACIONAL DE VILLAHERMOSA, TABASCO,  
APLICANDO EL MÉTODO ACN-PCN"**

**resumen de espesores de pavimento en rodaje pista 08-26**

concepto	numero de sondeo											promedio
	1 0+060	2 0+280	3 0+500	4 0+720	5 0+940	6 1+160	7 1+380	8 1+600	9 1+820	10 2+040	11 2+160	
carpeta (cm)	9.00	12.00	12.00	11.00	13.00	12.00	13.00	12.00	16.00	16.00	13.00	12.64
losa (cm)	26.00	28.00	29.00	31.00	30.00	30.00	29.00	30.00	29.00	27.00	25.00	28.55
sub base (cm)	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
espesor total (cm)	50.00	55.00	56.00	57.00	58.00	57.00	57.00	57.00	60.00	58.00	53.00	56.18

**resumen de espesores de pavimento en plataforma comercial**

concepto	numero de sondeo			promedio
	12 0+152	13 0+077	14 0+032	
losa (cm)	30.00	30.50	28.50	29.67
sub base (cm)	15.00	15.00	15.00	15.00
espesor total (cm)	43.00	45.50	43.50	44.00

**resumen de espesores de pavimento en plataforma general**

concepto	numero de sondeo			promedio
	15 0+060	16 0+060	17 0+100	
carpeta (cm)	13.00	10.00	14.00	12.33
base (cm)	15.00	15.00	15.00	15.00
espesor total (cm)	43.00	25.00	29.00	32.33

**resumen de espesores de pavimento en rodaje alfa**

concepto	numero de sondeo			promedio
	18 0+120	19 0+220	20 0+320	
losa (cm)	27.50	30.00	30.00	29.17
sub base (cm)	15.00	15.00	15.00	15.00
subrasante (cm)				
espesor total (cm)	42.50	45.00	45.00	44.17

**resumen de espesores de pavimento en rodaje bravo**

concepto	numero de sondeo			promedio
	21 0+120	22 0+220	23 0+320	
losa (cm)	28.50	30.00	30.00	29.50
sub base (cm)	15.00	15.00	15.00	15.00
subrasante (cm)				
espesor total (cm)	43.50	45.00	45.00	44.50



## CALCULO DE DEFLEXIONES

\*EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE VILLAHERMOSA, TABASCO, APLICANDO EL MÉTODO ACN-PCN\*

Elemento: **PLATAFORMA GENERAL**  
LADO: **EJE 40 m**

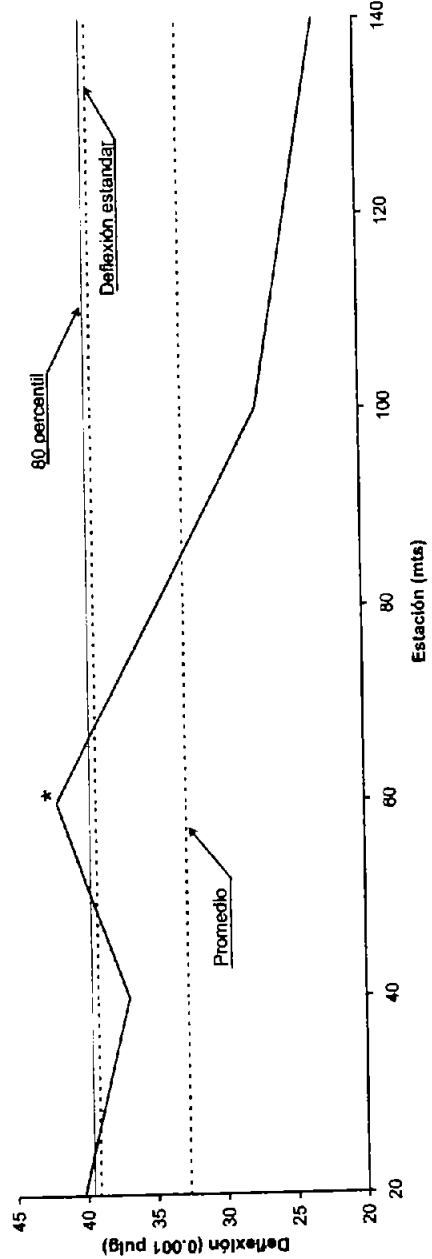
ESTACION (m)	LECTURA	DEFLEXION 0.001 mm	DEFLEXION 0.001 pul	DEF. CORREGIDA 0.001 pul	OBSERVACIONES
20	28	1440.000	56.69	40.25	TEMPERATURA CARPETA=42°C
40	34	1320.000	51.97	36.90	TEMPERATURA AMBIENTE=32°C
60	25	1500.000	59.06	41.93	SONDEO No.17
80	38	1240.000	48.82	34.66	
100	51	980.000	38.58	27.39	
120	55	900.000	35.43	25.16	
140	59	820.000	32.28	22.92	

DATOS ESTADISTICOS	
PROMEDIO	32.7
N	7.0
MAX	41.9
MIN	22.9
VARIANZA	57.4
DESVIACION ESTANDAR	7.6
DEFLEXION AL 80 PERCENTIL	39.6
DEFLEXION ESTANDAR	39.1

FACTOR DE CORRECCION POR TEMPERATURA=0.710

### REPRESENTACION GRAFICA



\* Localización de sondas

## CALCULO DE DEFLEXIONES

\*EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE VILLAHERMOSA, TABASCO, APLICANDO EL MÉTODO ACN-PCN\*

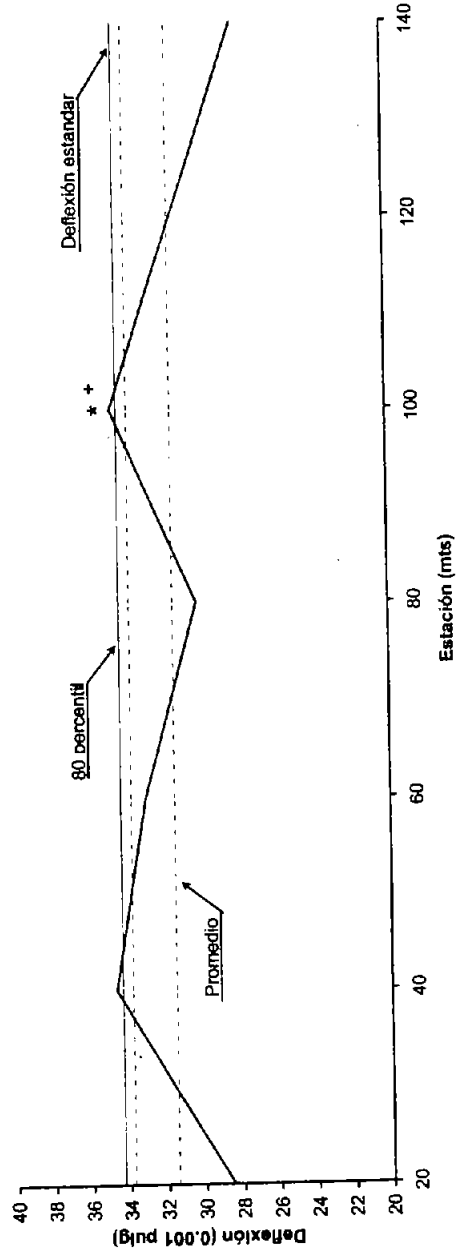
Elemento: **PLATAFORMA GENERAL**  
LADO: **EJE 60 m**

ESTACION (m)	LECTURA	DEFLEXION 0.001 mm	DEFLEXION 0.001 pulg	DEFL. CORREGIDA 0.001 pulg	OBSERVACIONES
20	49	1020.000	40.16	28.51	TEMPERATURA CARPETA=42°C
40	38	1240.000	48.82	34.66	TEMPERATURA AMBIENTE=32°C
60	41	1180.000	46.48	32.98	
80	46	1080.000	42.52	30.19	
100	38	1240.000	48.82	34.66	SONDEO No. 18 Y PCA No. 05
120	44	1120.000	44.09	31.31	
140	50	1000.000	39.37	27.95	

DATOS ESTADISTICOS	
PROMEDIO	31.5
N	7.0
MAX	34.7
MIN	28.0
VARIANZA	7.6
DESVIACION ESTANDAR	2.8
DEFLEXION AL 80 PERCENTIL	34.3
DEFLEXION ESTANDAR	33.8

FACTOR DE CORRECCION POR TEMPERATURA=0.710

### REPRESENTACION GRAFICA



\* Localización de sondes  
+ Localización de P.C.A. No. 05

## CALCULO DE DEFLEXIONES

\*EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE VILLAHERMOSA, TABASCO, APLICANDO EL MÉTODO ACN-PCN\*

Elemento: **PLATAFORMA GENERAL**

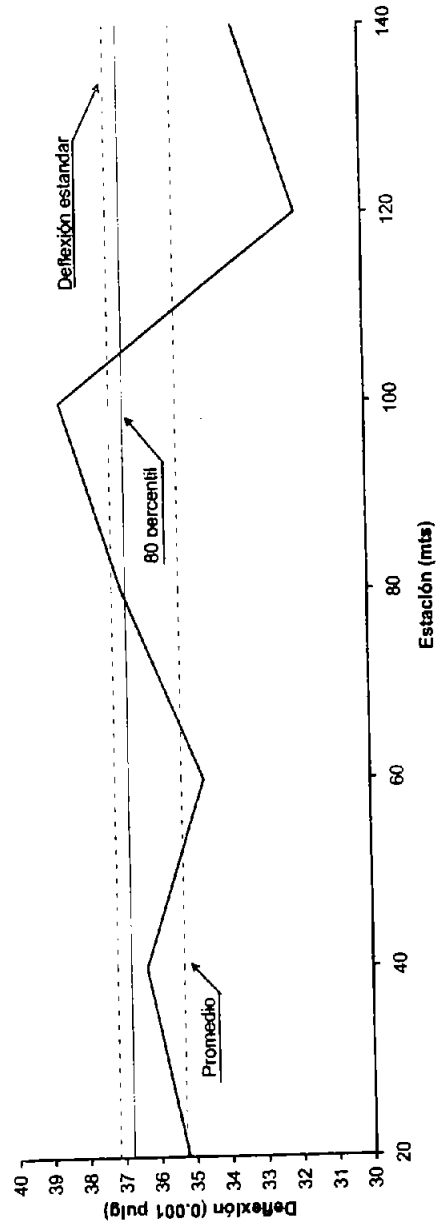
LADO: **EJE 80 m**

ESTACION (m)	LECTURA	DEFLEXION (0.001 mm)	DEFLEXION (0.001 pulg)	DEFL. CORREGIDA (0.001 pulg)	OBSERVACIONES
20	37	1260.000	49.61	35.22	TEMPERATURA CARPETA=42°C
40	35	1300.000	51.18	36.34	TEMPERATURA AMBIENTE=32°C
60	38	1240.000	48.82	34.86	
80	34	1320.000	51.97	36.90	
100	31	1380.000	54.33	38.57	
120	43	1140.000	44.88	31.87	
140	40	1200.000	47.24	33.54	

DATOS ESTADISTICOS	
DEFL. CORREGIDA PROMEDIO	35.3
Nº LECTURAS (N)	7.0
DEFLEXION MAXIMA	38.6
DEFLEXION MINIMA	31.8
VARIANZA	4.9
DESVIACION ESTANDAR	2.2
DEFLEXION AL 80 PERCENTIL	36.8
DEFLEXION ESTANDAR	37.2

FACTOR DE CORRECCION POR TEMPERATURA=0.710

### REPRESENTACION GRAFICA



## CALCULO DE DEFLEXIONES

\*EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE VILLAHERMOSA, TABASCO, APLICANDO EL MÉTODO ACN-PCN\*

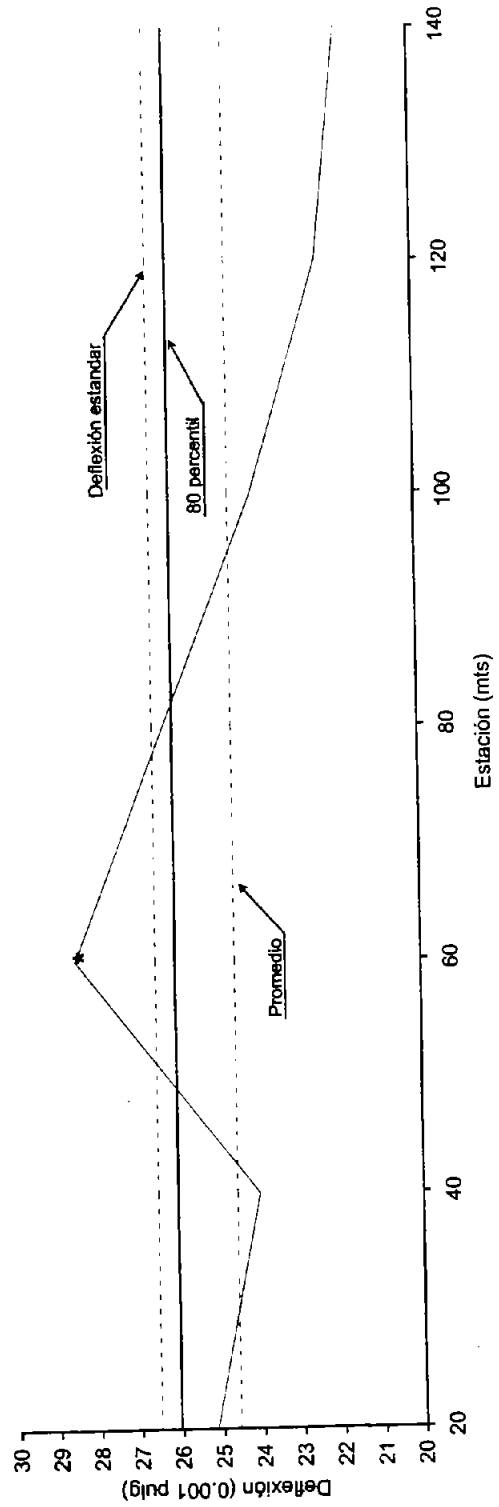
Elemento: **PLATAFORMA GENERAL**  
Lado: **EJE 20 m**

ESTACION (m)	LECTURA	DEFLEXION 0.001 mm	DEFLEXION 0.001 pulg	DEFL. CORREGIDA 0.001 pulg	OBSERVACIONES
20	55	900.000	35.43	25.16	TEMPERATURA CARPETA=42°C
40	57	860.000	33.86	24.04	TEMPERATURA AMBIENTE=32°C
60	49	1020.000	40.16	28.51	SONDEO No.18
80	53	940.000	37.01	26.28	
100	57	860.000	33.86	24.04	
120	60	800.000	31.50	22.36	
140	61	780.000	30.71	21.80	

DATOS ESTADISTICOS	
PROMEDIO	24.6
N	7.0
MAX	28.5
MIN	21.8
VARIANZA	5.3
DESVIACION ESTANDAR	2.3
DEFLEXION AL 80 PERCENTIL	26.1
DEFLEXION ESTANDAR	26.5

FACTOR DE CORRECCION POR TEMPERATURA=0.710

### REPRESENTACION GRAFICA



\* Localización de sondeos

**ANEXO 3**

**ENSAYES DE LABORATORIO**



**PRUEBA DE COMPACTACION DINAMICA  
 CAPA DE BASE**

"EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE VILLAHERMOSA, TABASCO, APLICANDO EL MÉTODO ACN-PCN"

P C A N°	PCA-02	PCA-03	PCA-05	PCA-06	PCA-07		
ESTACION	0+720	1+820	0+100	0+220	0+220		
DISTANCIA Y LADO	22.5 m LD	22.5 m LI	95 m LD	11.50 m LI	11.50 m LI		
ELEMENTO	PISTA	PISTA	P. GEN.	R. ALFA	R. BRAVO		
PROFUNDIDAD DE CAPA	15	15	13	25	15		
PARA USARSE EN :	BASE	BASE	BASE	BASE	BASE		

MATERIAL EXCAVADO GRS.	2,700.0	2,700.0	1,980.0	2,870.0	3,540.0		
2o. PESO ARENA GRS.							
DIFERENCIA EN GRS.							
P.V.S.M. KG/M³							
VOLUMEN EXCAVACION CM³	1,280.0	1,250.0	870.0	1,350.0	1,700.0		

CAPSULA No.	444	536	484	495	499		
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO (gr.)	238.4	285.7	291.7	288.0	281.3		
PESO CAPSULA + SUELO SECO (gr)	232.1	278.5	269.8	277.7	278.7		
PESO DEL AGUA (gr)	6.3	7.2	21.9	10.3	2.6		
PESO CAPSULA (gr)	32.5	39.8	38.4	39.5	33.1		
PESO SUELO SECO (gr)	199.6	238.7	231.4	238.2	245.6		
CONTENIDO DE AGUA (%)	3.2	3.0	9.5	4.3	1.1		
PESO ESPECIFICO HUMEDO (kg/m3)	2,109.4	2,160.0	2,275.9	2,125.9	2,082.4		
PESO ESPECIFICO SECO (kg/m3)	2,044.8	2,096.8	2,079.1	2,037.8	2,060.5		
GRADO DE COMPACTACION (%)	96%	97%	98%	98%	98%		

$$\text{PESO ESPECIFICO SECO} = \frac{\text{PESO ESPECIFICO HUMEDO}}{100 + \text{CONTENIDO DE AGUA}} \times 100$$



**PRUEBA DE COMPACTACION  
CAPA DE SUB-BASE**

"EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE VILLAHERMOSA, TABASCO, APLICANDO EL MÉTODO ACN-PCN"

PCA N°	PCA-02	PCA-03	PCA-04	PCA-07			
ESTACION	0+720	1+820	0+000	0+220			
DISTANCIA Y LADO	22.5 m LD	22.5 m LI	45 m LD	11.50 m LI			
ELEMENTO	PISTA	PISTA	P. COM.	R. BRAVO			
PROFUNDIDAD DE CAPA	13	15	15	15			
PARA USARSE EN :	SUB BASE	SUB BASE	SUB BASE	SUB BASE			

MATERIAL EXCAVADO GRS.	2,750.0	3,120.0	2,280.0	2,680.0			
2o. PESO ARENA GRS.							
DIFERENCIA EN GRS.							
P.V.S.M. KG/M³							
VOLUMEN EXCAVACION CM³	1,310.0	1,470.0	1,050.0	1,240.0			

CAPSULA No.	578	354	147	141			
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO (gr.)	265.3	287.6	221.8	257.2			
PESO CAPSULA + SUELO SECO (gr)	258.1	278.7	215.0	251.9			
PESO DEL AGUA (gr)	7.2	8.9	6.8	5.3			
PESO CAPSULA (gr)	31.1	34.2	38.4	31.6			
PESO SUELO SECO (gr)	227.0	244.5	176.6	220.3			
CONTENIDO DE AGUA (%)	3.2	3.6	3.9	2.4			
PESO ESPECIFICO HUMEDO (kg/m3)	2,099.2	2,122.4	2,171.4	2,161.3			
PESO ESPECIFICO SECO (kg/m3)	2,034.7	2,047.9	2,090.9	2,110.5			
GRADO DE COMPACTACION (%)	96%	96%	93%	98%			

$$\text{PESO ESPECIFICO SECO} = \frac{\text{PESO ESPECIFICO HUMEDO}}{100 + \text{CONTENIDO DE AGUA}} \times 100$$



**PRUEBA DE COMPACTACION DINAMICA  
CAPA SUBRASANTE**

"EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO EN EL AEROPUERTO  
INTERNACIONAL DE VILLAHERMOSA, TABASCO, APLICANDO EL  
MÉTODO ACN-PCN"

P C A N°	PCA-02	PCA-03	PCA-04	PCA-05	PCA-06	PCA-07	
ESTACION	0+720	1+820	0+000	0+100	0+220	0+220	
DISTANCIA Y LADO	22.5 m LD	22.5 m LI	45 m LD	95 m LD	11.50 m LI	11.50 m LI	
ELEMENTO	PISTA	PISTA	P. COM.	P. GEN.	R. ALFA	R. BRAVO	
PROFUNDIDAD DE CAPA	50	50	30	38	30	30	
PARA USARSE EN :	SUB RASANTE	SUB RASANTE	SUB RASANTE	SUB RASANTE	SUB RASANTE	SUB RASANTE	

MATERIAL EXCAVADO GRS.	2,680.0	2,940.0	2,410.0	2,970.0	2,720.0	2,880.0	
2o. PESO ARENA GRS.							
DIFERENCIA EN GRS.							
P.V.S.M. KG/M³							
VOLUMEN EXCAVACION CM³	1,230.0	1,360.0	1,100.0	1,380.0	1,350.0	1,370.0	

CAPSULA No.	197	191	151	180	172	135	
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO (gr.)	127.9	125.0	119.4	125.8	124.3	126.9	
PESO CAPSULA + SUELO SECO (gr)	110.2	104.4	101.1	109.7	110.7	111.2	
PESO DEL AGUA (gr)	17.7	20.6	18.3	16.1	13.6	15.7	
PESO CAPSULA (gr)	9.5	10.1	9.8	10.6	11.2	10.3	
PESO SUELO SECO (gr)	100.7	94.3	91.3	99.1	99.5	100.9	
CONTENIDO DE AGUA (%)	17.6	21.8	20.0	16.2	13.7	15.6	
PESO ESPECIFICO HUMEDO (kg/m3)	2,178.9	2,161.8	2,190.9	2,152.2	2,014.8	2,102.2	
PESO ESPECIFICO SECO (kg/m3)	1,853.1	1,774.2	1,825.1	1,851.4	1,772.5	1,819.1	
GRADO DE COMPACTACION (%)	95%	94%	93%	94%	93%	96%	

$$\text{PESO ESPECIFICO SECO} = \frac{\text{PESO ESPECIFICO HUMEDO}}{100 + \text{CONTENIDO DE AGUA}} \times 100$$





**PRUEBA DE COMPACTACION DINAMICA  
 TERRENO NATURAL**

"EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO EN EL AEROPUERTO  
 INTERNACIONAL DE VILLAHERMOSA, TABASCO, APLICANDO EL  
 MÉTODO ACN-PCN"

P C A N°	PCA-04	PCA-05	PCA-06				
ESTACION	0+000	0+100	0+220				
DISTANCIA Y LADO	45 m LD	95 m LD	11.50 m LI				
ELEMENTO	P. COM.	P. GEN.	R. ALFA				
PROFUNDIDAD DE CAPA							
PARA USARSE EN :	TERRENO NATURAL	TERRENO NATURAL	TERRENO NATURAL				

MATERIAL EXCAVADO GRS.	1,920.0	3,150.0	2,610.0				
2o. PESO ARENA GRS.							
DIFERENCIA EN GRS.							
P.V.S.M. KG/M³							
VOLUMEN EXCAVACION CM³	950.0	1,380.0	1,220.0				

CAPSULA No.	111	134	194				
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO (gr.)	116.5	113.1	123.2				
PESO CAPSULA + SUELO SECO (gr)	99.3	93.5	101.7				
PESO DEL AGUA (gr)	17.2	19.6	21.5				
PESO CAPSULA (gr)	10.0	10.0	10.1				
PESO SUELO SECO (gr)	89.3	83.5	91.6				
CONTENIDO DE AGUA (%)	19.3	23.5	23.5				
PESO ESPECIFICO HUMEDO (kg/m3)	2,021.1	2,282.6	2,139.3				
PESO ESPECIFICO SECO (kg/m3)	1,694.6	1,848.7	1,732.7				
GRADO DE COMPACTACION (%)	90%	93%	92%				

$$\text{PESO ESPECIFICO SECO} = \frac{\text{PESO ESPECIFICO HUMEDO}}{100 + \text{CONTENIDO DE AGUA}} \times 100$$

Principales características de los materiales del pavimento y capa subrasante:

Pista 08-26										
<b>PCA-02</b>										
Capa	w	LL	IP	CL	G	S	F	EA	VRS	SUCS
Base	3.2	24.8	8.4	-	69.49	21.69	8.82	-	60	CL
Sub-base	3.2	24.4	8.4	-	68.33	24.72	6.94	-	62	CL
Subrasante	17.6	38.2	18.1	-	7.19	45.98	46.83	-	12.1	CL
Terreno natural	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OBSERVACIONES: Base y sub-base de arena limosa café claro. Subrasante de arena fina limoarcillosa café amarillenta										
<b>PCA-03</b>										
Capa	W	LL	IP	CL	G	S	F	EA	VRS	SUCS
Base	3.0	21	7.2	-	71.13	21.63	7.24	-	81.7	CL
Sub-base	3.6	21.1	6.2	-	67.39	27.69	4.92	-	78	CL-ML
Subrasante	21.8	40.7	20.4	-	6.82	36.61	56.58	-	12	CL
Terreno natural	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OBSERVACIONES: Base y sub-base de arena arcillosa café claro poco limosa. Subrasante de arena fina arcillosa café amarillenta										

Plataforma Comercial										
<b>PCA-04</b>										
Capa	W	LL	IP	CL	G	S	F	EA	VRS	SUCS
Base	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sub-base	3.9	32	14.6	-	64.03	21.24	14.73	-	52.9	CL
Subrasante	20	38.7	20	-	16.8	37.67	45.53	-	20	CL
Terreno natural	19.3	39.3	18.6	-	15.88	34.07	50.05	-	16	CL
OBSERVACIONES: Sub-base y subrasante de arena fina arcillosa café verdosa. Terreno natural compuesto de arena fina arcillosa café amarillento.										

Plataforma General										
<b>PCA-05</b>										
Capa	w	LL	IP	CL	G	S	F	EA	VRS	SUCS
Base	9.5	32.9	13.7	-	54.42	29.27	16.31	-	40.8	CL
Sub-base	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Subrasante	16.2	31.4	10.6	-	14.72	50.22	35.06	-	15.8	CL
Terreno natural	23.5	36.7	16	-	3.29	46.72	49.99	-	20	CL
OBSERVACIONES: Base de arena fina limoarcillosa café verdoso. Subrasante de arena limosa café verdosa. Terreno natural de arena fina limosa café amarillento.										

Rodaje Alfa										
<b>PCA-06</b>										
Capa	w	LL	IP	CL	G	S	F	EA	VRS	SUCS
Base	4.3	24.8	8.9	-	54.11	34.78	11.11	-	30	CL
Sub-base	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Subrasante	13.7	36.9	21	-	10.67	39.34	49.99	-	16.3	CL
Terreno natural	23.5	38.2	18.2	-	10.83	30.86	58.31	-	8	CL
OBSERVACIONES: Base de arena fina limoarcillosa café verdosa. Subrasante de arena fina arcillosa café verdosa. Terreno natural de arena fina limoarcillosa café amarillento.										

Rodaje Bravo										
<b>PCA-07</b>										
Capa	w	LL	IP	CL	G	S	F	EA	VRS	SUCS
Base	1.10	22.5	7.3	-	75.75	22.85	1.4	-	112.6	CL
Sub-base	2.4	22.2	7.4	-	79.61	16.45	3.94	-	110	CL
Subrasante	15.6	36.1	21.4	-	5.55	36.43	58.03	-	16	CL
Terreno natural	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OBSERVACIONES: Base y sub-base de arena limosa café verdosa. Subrasante de arena fina arcillosa café amarillenta										

w: Contenido de agua  
LL: Límite líquido  
IP: Índice de plasticidad  
CL: Contracción lineal  
G: Gravas  
S: Arenas  
F: Finos  
E.A.: Equivalente de arena  
VRS: Valor relativo de soporte

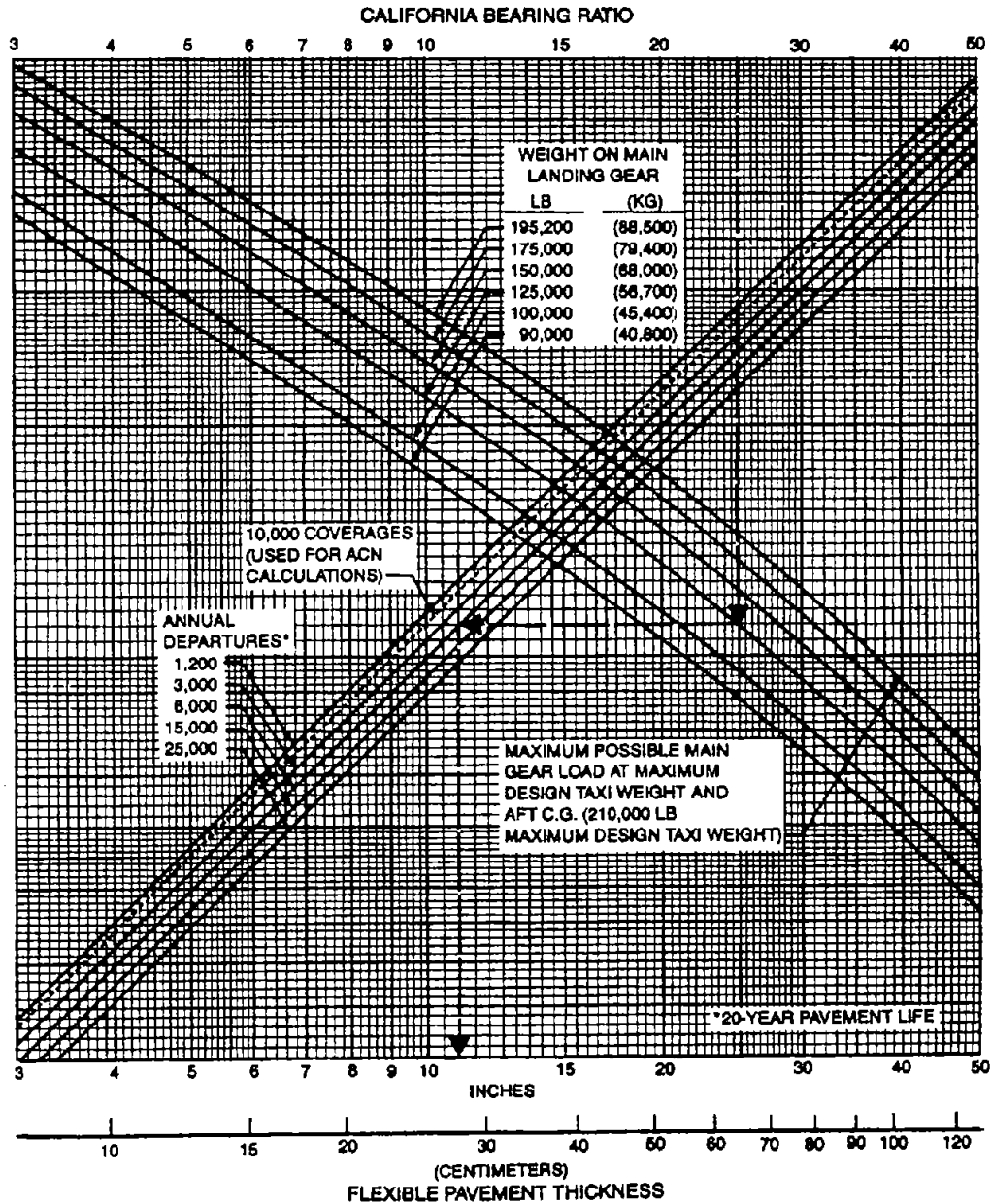
## **ANEXO 4**

# **LOCALIZACIÓN DE PCA Y SONDEOS**

**ANEXO 5**

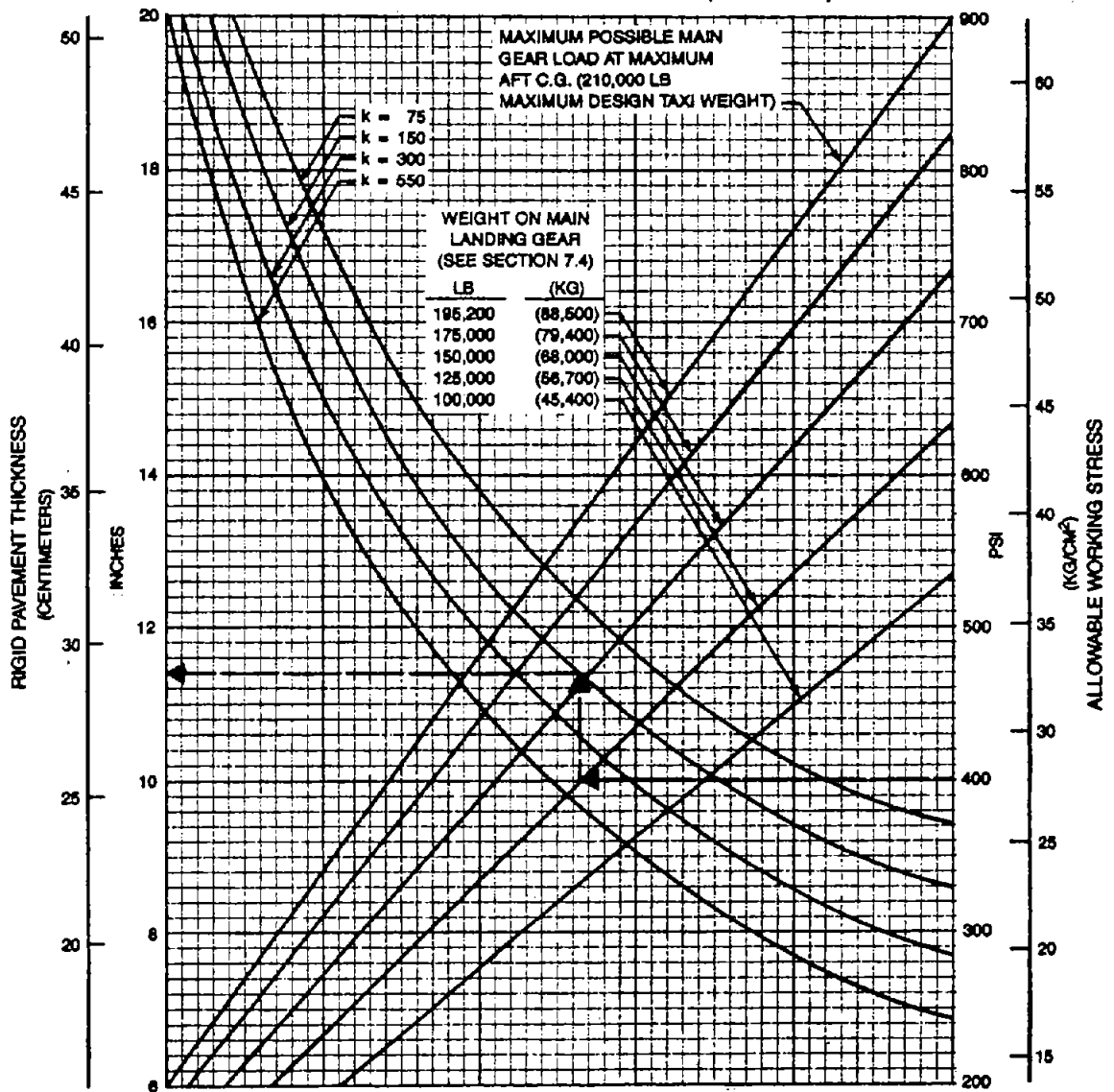
**CURVAS DE CALCULO DE  
ESPESORES**

- NOTES: • APPLICABLE TO ALL TIRES  
 • PRESSURE CONSTANT AT 167 PSI (11.74 KG/CM<sup>2</sup>)



**7.5.1 FLEXIBLE PAVEMENT REQUIREMENTS—U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS DESIGN METHOD (S-77-1) AND F.A.A. DESIGN METHOD MODEL 727**

NOTES: • APPLICABLE TO ALL TIRES  
 • PRESSURE CONSTANT AT 167 PSI (11.74 KG/CM<sup>2</sup>)



NOTE: THE VALUES OBTAINED BY USING THE MAXIMUM LOAD REFERENCE LINE AND ANY VALUE OF k ARE EXACT. FOR LOADS LESS THAN MAXIMUM, THE CURVES ARE EXACT FOR k = 300 BUT DEVIATE SLIGHTLY FOR OTHER VALUES OF k.

REFERENCE: "DESIGN OF CONCRETE AIRPORT PAVEMENT" AND "COMPUTER PROGRAM FOR AIRPORT PAVEMENT DESIGN—PROGRAM PD1LB." PORTLAND CEMENT ASSOCIATION.

**7.7.1 RIGID-PAVEMENT REQUIREMENTS—PORTLAND CEMENT ASSOCIATION DESIGN METHOD MODEL 727**



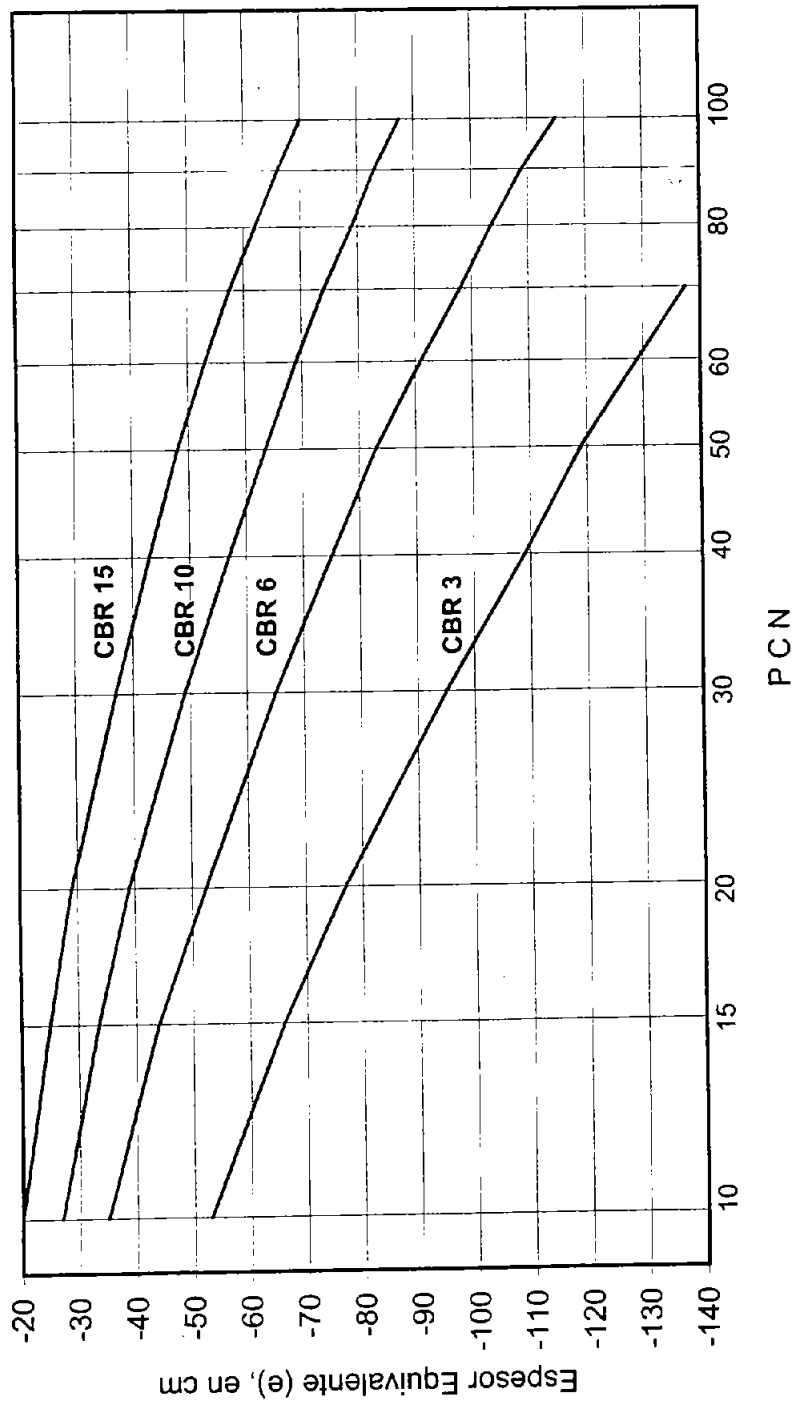


Fig. 7.7 Gráfica para el cálculo del Número de Clasificación del Pavimento (PCN) en Pavimentos Flexibles

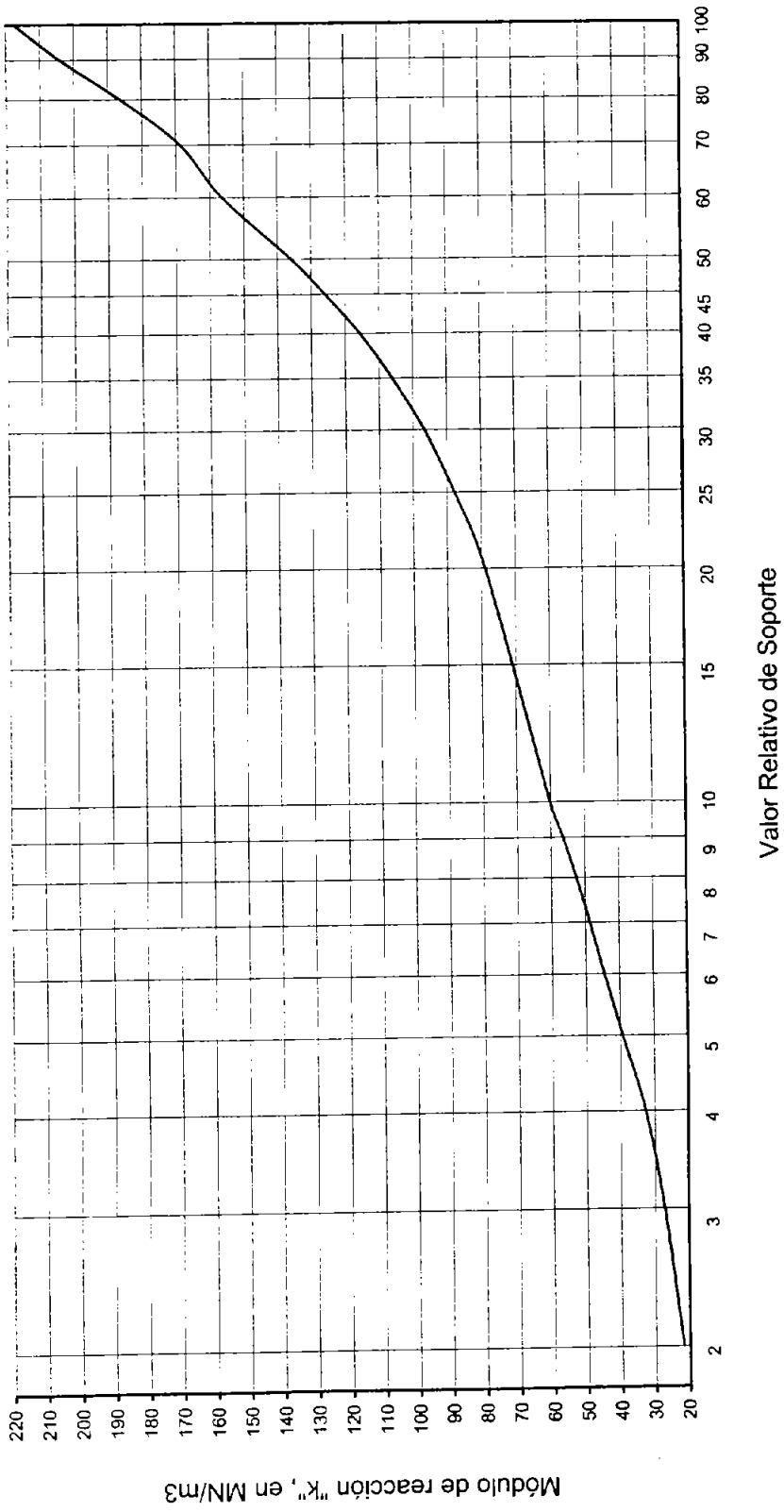


Fig. 7.8 Gráfica de correlación del CBR con el módulo k

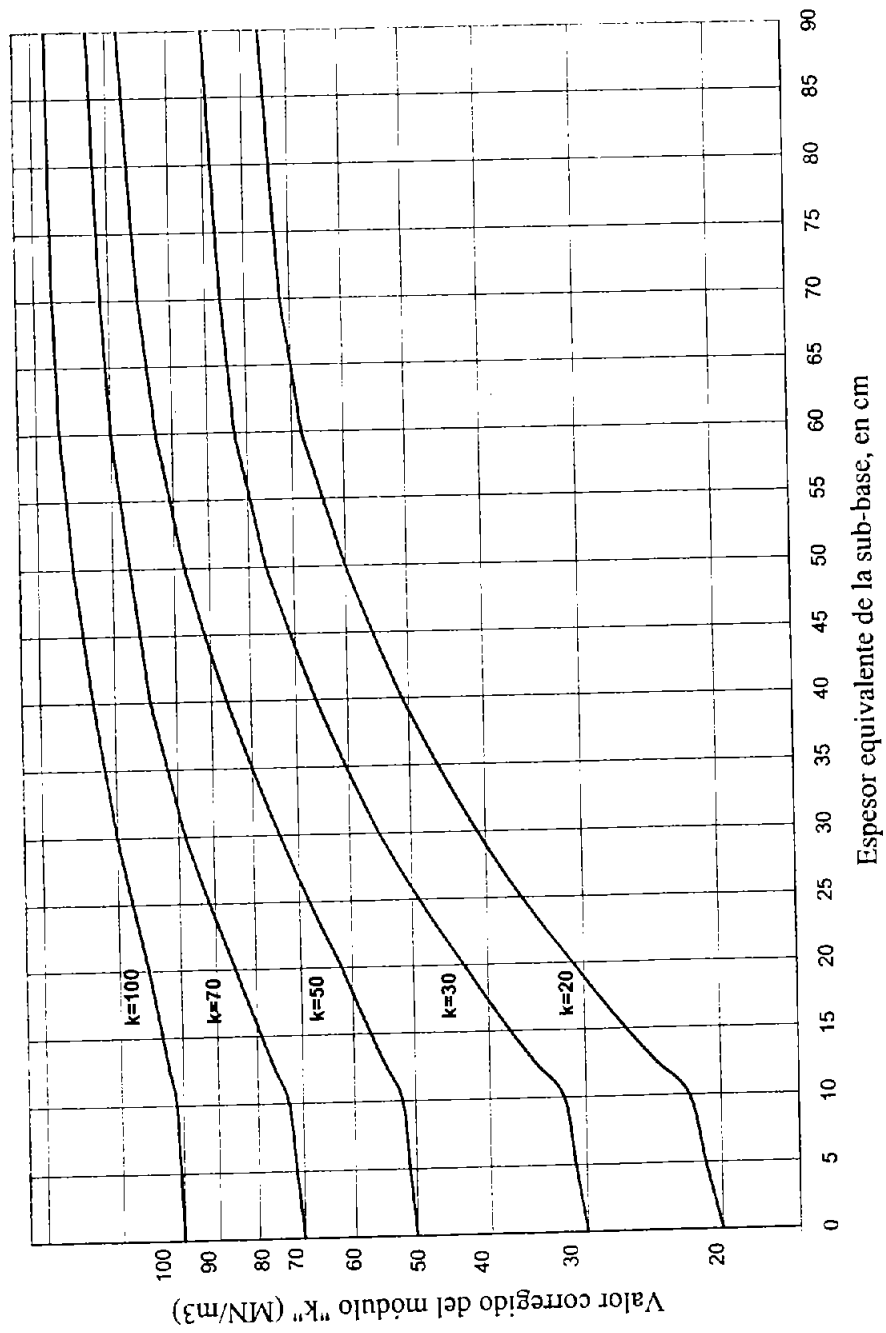
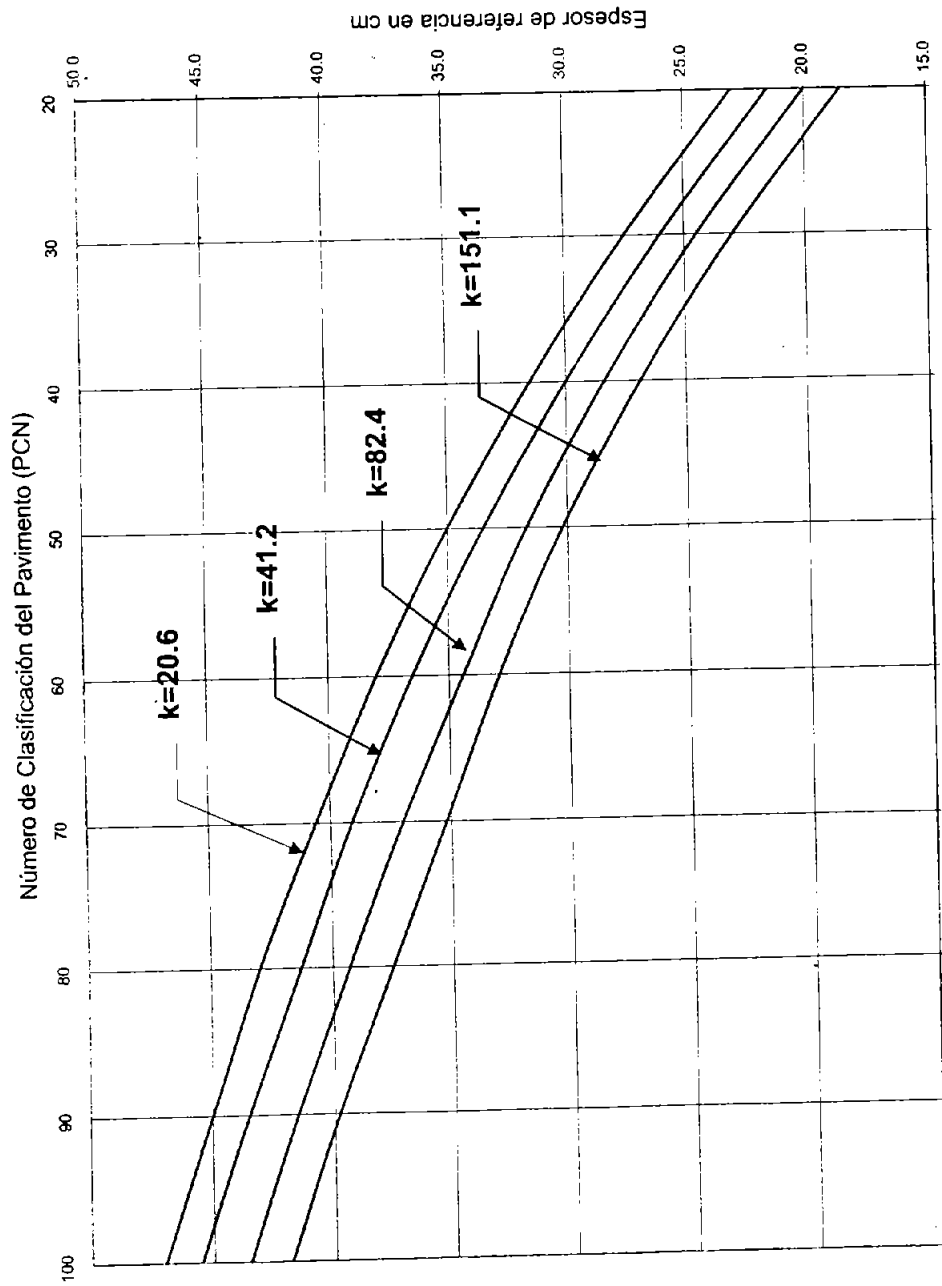


Fig. 7-9 Módulo de reacción de la sub-base. Corrección del módulo de reacción del terreno de fundación a base del espesor equivalente del cimiento.



k Módulo de reacción corregido de la sub-base

Fig. 7-10 Gráfica para el cálculo del Número de Clasificación del Pavimento (PCN), en pavimentos rígidos