



34  
2y  
**Universidad Nacional Autónoma de México**

**Escuela Nacional de Estudios Profesionales  
A R A G O N**

**MÉTODOS DE EVALUACION, CONSERVACION Y RECONSTRUCCION  
DE PAVIMENTOS PARA AEROPUERTOS.**

**T E S I S**

Que para obtener el Título de  
**INGENIERO CIVIL**

presenta

**ISIDRO ROMERO JUAREZ**

**San Juan de Aragón, Edo. de Méx.  
1988**



## **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 está 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.

## INDICE.

|  |    |
|--|----|
| Introducción   | 1  |
| CAPITULO 1.- SEGURIDAD Y OPERATIVIDAD DE AEROPUERTOS.  |    |
| 1.1. Seguridad durante los trabajos de conservación en las áreas de operación.   | 3  |
| 1.2. Operatividad de aeropuertos.<br>Requisitos funcionales.Clave de referencia del aeropuerto.Especificaciones.Pendientes.Uniformidad de la superficie.Textura de la superficie.      | 5  |
| CAPITULO 2.- METODOS DE EVALUACION.  |    |
| 2.1. Generalidades   | 17 |
| 2.2. Definiciones  | 17 |
| 2.3. Calificación de la superficie de rodamiento   | 18 |
| 2.4. Elementos de evaluación de los pavimentos<br>Terreno natural o de cimentación.Estructura del pavimento.Carga de las aeronaves.Repeticiones de la carga y composición del tráfico. | 18 |
| 2.5. El método y los elementos de cálculo para la evaluación   | 24 |
| 2.6. Método de evaluación.   | 25 |
| 2.7. Evaluación directa e no destructiva<br>Métodos estáticos.Métodos rápidos basados en la deformación.   | 26 |
| 2.8. Métodos de evaluación no destructivos de Administración Federal de Aviación de los E.U.<br>Equipo.Compilación de datos.Corrección de datos.                                       | 30 |
| 2.9. Evaluación de pavimento rígido.   | 36 |
| 2.10. Evaluación de pavimento flexible.  | 41 |

- 2.11. Determinación de la resistencia de los pavimentos mediante el método ACN-PCN. 49  
Concepto del método.Procedimiento gráfico para determinar el ACN.Determinación del PCN.
- 2.12. Práctica de Canadá para la evaluación de pavimentos. 60  
Espesores del pavimento y espesor granular equivalentes.Fediciones de la resistencia de los pavimentos.Resistencia del terreno de cimentación. Módulo de resistencia de los pavimentos rígidos. Notificación de la resistencia del pavimento.
- 2.13. Práctica de Francia para la evaluación de pavimentos. 68  
Generalidades.Método de cálculo inverso.Ensayos de placa no destructivos.Determinación de zonas homogéneas.

### CAPITULO 3.- METODOS PARA EL ACONDICIONAMIENTO DE AEROPUERTOS.

- 3.1. Método de la FAA para determinar el refuerzo necesario en pavimentos. 74  
Generalidades.Consideraciones relativas a la aeronave.Determinación de la aeronave de cálculo.Refuerzos asfálticos sobre pavimentos flexibles.Refuerzos asfálticos sobre pavimentos rígidos.Cálculo de los refuerzos de concreto.Refuerzos de concreto sobre pavimentos flexibles.Refuerzo de concreto sobre pavimentos rígido.Refuerzo de concreto sin capa de nivelación.Refuerzo de concreto con capa de nivelación. Refuerzo de concreto ligado.

|   |     |
|---|-----|
| 3.2. Práctica de Francia para determinar el refuerzo de pavimentos.   | 99  |
| Generalidades. Resistencia del terreno de cimentación. Espesor equivalente. Refuerzo de los pavimentos flexibles. Refuerzo de los pavimentos rígidos.   |     |
| 3.3. Práctica de Canadá para determinar el refuerzo de pavimentos.  | 104 |
| 3.4. Método del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de E.U.   | 106 |
| Determinación de la carga equivalente. Determinación de espesores de pavimentos.  |     |
| 3.5. Ejemplos de proyectos de refuerzo a los pavimentos   | 115 |
| Aeropuerto de Matamoros, Tamps. Aeropuerto de Merida, Yuc.  |     |
| CAPITULO 4.- PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION.  |     |
| 4.1. Generalidades.   | 134 |
| 4.2. Fallas en pavimentos flexibles.  | 134 |
| Eresión del pavimento. Sanfrade o afleramiento de asfalto. Hundimientos o depresiones. Bacheo.  |     |
| 4.3. Fallas en pavimentos rígidos.  |     |
| Desintegración del concreto. Astillamientos o desconchamientos cercanos a las juntas. Hundimientos diferenciales y agrietamientos con hundimientos. Losas que se boten. Acumulación de caucho en la superficie. |     |
| Ilustraciones de fallas de pavimentos flexibles y rígidos.  | 153 |
| CAPITULO 5.- CONTROL DE CALIDAD.  |     |
| CONCLUSIONES.   | 168 |
| BIBLIOGRAFIA.   | 170 |

**INTRODUCCION.**

Conforme ha ido evolucionando la tecnología aeronáutica se han ido fabricando aviones cada vez de mayor capacidad, peso y velocidades, los que requieren de pavimentos que puedan soportar y transmitir adecuadamente a las capas inferiores de la estructura las cargas a las que son sometidos, además de ser seguros, para la correcta ejecución de las operaciones (aterrizaje y despegue). De ahí la necesidad de contar con métodos de evaluación que permitan conocer las características actuales y además poder predecir su comportamiento futuro, para así poder determinar los posibles refuerzos o trabajos correctivos que requieran los pavimentos.

Contar con un sistema operativo eficaz es muy importante para el desarrollo económico del país, por eso es necesario que cuando se hagan trabajos de conservación principalmente en las pistas éstos se ejecuten en el menor tiempo posible, ya que se causan serios trastornos en el usuario, pues se tienen retrasos en las operaciones y en algunos casos en que se tienen que cerrar las pistas se tiene que hacer uso de los aeropuertos alternos.

En esta tesis, se describen diferentes métodos para la evaluación, conservación y reconstrucción de pavimentos de aeropuertos, se dan ejemplos de proyecto de reconstrucción y se analiza el control de calidad de estas obras que es un aspecto que en general se deja a un lado no obstante su gran importancia.

## **CAPITULO 1.- SEGURIDAD Y OPERATIVIDAD DE AEROPUERTOS.**

### 1.1. SEGURIDAD DURANTE LOS TRABAJOS DE CONSERVACION EN LAS AREAS DE OPERACION DE LOS AEROPUERTOS.

Cobra especial importancia lo relativo a seguridad de las operaciones aeronáuticas cuando las obras de conservación se efectúan en las áreas de maniobras de un aeropuerto en operación. En estos casos es necesario que el responsable de los trabajos de conservación se ponga en contacto con la comandancia del aeropuerto para que se elabore el NOTAM respectivo. El NOTAM es un documento dirigido a las compañías - aéreas, torre de control y personal relacionado con la operación del - aeropuerto, en el que se les instruye sobre las limitaciones que la -- autoridad juzgue pertinentes.

Para efectuar los trabajos de conservación en las áreas de operación se debe contar con un radio transmisor o algún otro medio efectivo de comunicación para estar en contacto con la torre de control; si los trabajos son durante el día, los vehículos deberán estar provistos de banderas (de 90 x 90 cm) con cuadros rojos y blancos (de 30 x 30 cm) alternados, con los cuadros rojos colocados en las esquinas. Si los -- trabajos son durante la noche o cuando la visibilidad es poca, cada - vehículo deberá contar con un faro giratorio con luz color ámbar, colocado en la parte más elevada del vehículo.

El ingeniero responsable de los trabajos de conservación debe - entrevistar con el comandante del aeropuerto ( representante de la -- Dirección General de Aeronáutica Civil de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes ) y con el Administrador del mismo, para que en - una reunión conjunta se pongan de acuerdo en lo siguiente:

1. Forma de controlar los vehículos de la obra, para reducir al mínimo la interferencia de las operaciones, y que éstas se -- puedan efectuar con seguridad.
2. Programa de actividades de conservación para que coincidan con los períodos de mínima actividad aeronáutica.
3. Retiro de materiales excavados, almacenamiento de materiales y equipo de conservación, retiro de materiales que puedan -- constituir un obstáculo, así como las condiciones en que se dará el lugar cuando se terminen las obras.

En la figura 1-1 se ilustran las tres zonas y los obstáculos permitidos en aeropuertos en operación, durante trabajos de mantenimiento o ampliación.



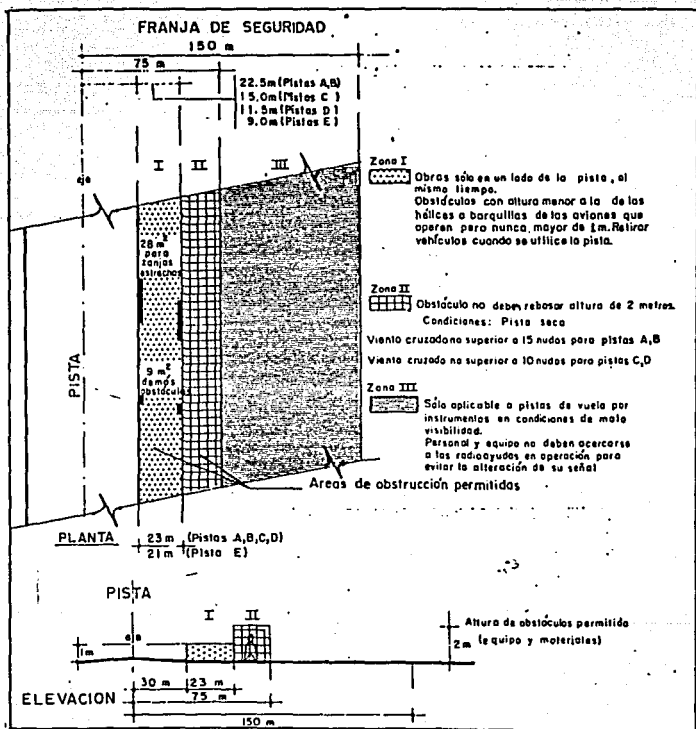


FIGURA 1-1. ZONAS DE OBSTACULO TEMPORALES PERMITIDAS EN AEROPUERTOS EN OPERACION DURANTE TRABAJOS DE CONSERVACION.

## 1.2. OPERATIVIDAD DE AEROPUERTOS.

Con el aumento constante de la masa de las aeronaves y el consecuente aumento significativo en la velocidad de despegue y aterrizaje, han surgido varios problemas operacionales con los tipos clásicos de superficie de pista. Uno de los más graves y potencialmente peligrosos es el fenómeno de hidroplaneo, al que se le considera responsable de varios accidentes sufridos por las aeronaves.

Los esfuerzos realizados para aminorar el problema de hidroplaneo han tenido como consecuencia la aparición de nuevos tipos de pavimentos de una textura superficial particular y de características de drenaje mejoradas. La experiencia ha demostrado que estas formas de terminación superficial, aparte de reducir considerablemente el fenómeno de hidroplaneo, proporcionan una fricción mucho mayor en grados de humedad, que van desde la superficie humedecida hasta la inundada.

### 1.2.1 REQUISITOS FUNCIONALES.

Un pavimento rígido o flexible, esta considerado en su conjunto, para cumplir con las tres funciones básicas siguientes:

- a) Proporcionar una resistencia suficiente.
- b) Proporcionar una superficie de rodamiento de buena calidad.
- c) Proporcionar buenas condiciones de fricción.

El primer criterio se refiere a la estructura del pavimento, el segundo a la forma geométrica de la superficie del mismo y al tercero a la textura de la superficie de rodamiento.

Estos tres criterios se consideran esenciales para lograr un pavimento que cumpla funcionalmente con los requisitos operacionales. Sin embargo, desde el punto de vista operacional se considera que el tercero es más importante, debido a que tiene una repercusión directa sobre la seguridad de las operaciones de las aeronaves. También pueden verse afectadas la regularidad y la eficacia. En consecuencia, el criterio de fricción resulta un factor decisivo en la selección y en la forma del acabado más adecuado de la superficie de rodamiento del pavimento.

Las pistas que se encuentran en estado seco y limpio proporcionan, en general características de fricción comparables, con diferencias - insignificantes para las operaciones en cuanto a niveles de fricción, sin tener en cuenta el tipo de pavimento (rígido o flexible) ni la configuración de la superficie. En consecuencia la operación sobre superficies de pistas secas es satisfactoriamente homogénea y en este caso no es preciso aplicar criterios técnicos particulares para la fricción de la superficie.

En contraste, cuando la superficie de la pista se ve afectada por el agua en cualquier grado de humedad (por ejemplo desde la humedad hasta la inundación), la situación se torna diferente. En este caso, - los niveles de fricción proporcionados por las pistas caen notablemente a partir del valor en seco y existe una disparidad considerable en el nivel consecuente de fricción entre diferentes superficies de rodamiento. Este cambio se debe a las diferencias en el tipo de pavimento, a la forma de acabado superficial (textura) y a las características de drenaje. La disminución de la fricción (que es evidente sobre todo cuando la aeronave opera a alta velocidad) puede tener repercusiones graves sobre la seguridad, la regularidad o la eficacia de las operaciones.

La reducción típica de fricción cuando una superficie está mojada y a medida que aumenta la velocidad de la aeronave, se explican por el efecto combinado de las presiones de agua viscosa y dinámica a las cuales se encuentra sometido el neumático con relación a la superficie. Esta presión causa una pérdida parcial de contacto "seco", cuya intensidad tiende a aumentar con la velocidad. Estas son condiciones en que la pérdida es prácticamente total y la fricción cae -- hasta valores despreciables. Esto se identifica como hidroplano viscoso, dinámico o de caucho vulcanizado. El modo en que estos fenómenos afectan las diferentes zonas de la interface neumático/superficie y la forma en que cambian al aumentar la velocidad, se ilustran en la figura 1-2.

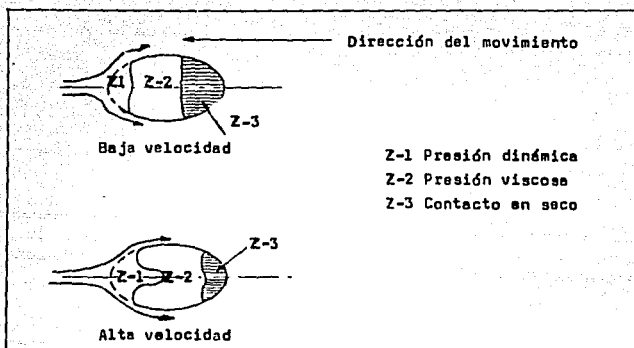


Figura 1-2. Areas de interfase neumático/superficie.

En virtud de estas consideraciones puede decirse que el caso de la pista mojada puede presentar un peligro importante y una amenaza potencial para las operaciones de vuelo. En consecuencia, se encuentran justificados los esfuerzos que se realizan para lograr una mejoría general de la situación.

La disposición de una fricción adecuada en una pista húmeda está relacionada estrechamente con las características de drenaje de la superficie de rodamiento. A su vez, las exigencias del drenaje están determinadas por la intensidad de precipitación local y de los estudios de la obra. En consecuencia las exigencias del drenaje son una variable local que determinará esencialmente los esfuerzos técnicos y las inversiones/costos asociados, necesarios para lograr el objetivo.

### 1.2.2. CLAVE DE REFERENCIA DEL AEROPUERTO.

El propósito de la clave de referencia es proporcionar un método simple para relacionar entre sí las numerosas especificaciones concernientes a las características de los aeropuertos, a fin de suministrar una serie de instalaciones aeroportuarias que convengan a los aviones destinados a operar en el aeropuerto. No se pretende que esta clave se utilice para determinar los requisitos en cuanto a la longitud de la pista ni en cuanto a la resistencia del pavimento. La clave está compuesta de dos elementos que se relacionan con las características y dimensiones del avión. El elemento 1 es un número basado en longitud del campo de referencia del avión y el elemento 2 es una letra basada en la envergadura y anchura exterior entre las ruedas del tren de aterrizaje principal. Una especificación determinada está relacionada con el más apropiado de los dos elementos. La letra o número de clave dentro de un elemento seleccionado para fines de proyecto está relacionado con las características del avión crítico para el que se propone la instalación.

El número de clave para el elemento 1 se determinará por medio de la tabla 1-1, columna 1, seleccionando el número de clave que corresponda al valor más elevado de las longitudes de campo de referencia de los aviones para los que se destine la pista.

La letra de clave para el elemento 2 se determinará por medio de la tabla 1-1, columna 3, seleccionando la letra de clave que corresponda a la envergadura más grande e a la anchura exterior más grande entre ruedas del tren de aterrizaje principal, la que de las dos de el valor más crítico para la letra de clave de los aviones para los que se destine la instalación.

| Elemento 1 de la clave. |   | Elemento 2 de la clave. |                                    |  |
|-------------------------|---|-------------------------|------------------------------------|--|
| Núm. de clave           | Longitud de campo de referencia del avión | Letra de clave          | Envergadura                        | Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal.* |
| (1)                     | (2)                                       | (3)                     | (4)                                | (5)  |
| 1                       | Menos de 800 m.                           | A                       | Hasta 15 m (exclusiva)             | Hasta 4.5 m (exclusiva)  |
| 2                       | Desde 800 m hasta                         | B                       | Desde 15 m hasta 24 m. (exclusiva) | Desde 4.5 m hasta 6 m (exclusiva)                                |
| 3                       | Desde 1200 m hasta 1800 m (exclusiva)     | C                       | Desde 24 m hasta 36 m. (exclusiva) | Desde 6 m hasta 9 m. (exclusiva)                                 |
| 4                       | Desde 1800 m en adelante                  | D                       | Desde 36 m hasta 52 m (exclusiva)  | Desde 9 m hasta 14 m (exclusiva)                                 |
|                         |   | E                       | Desde 52 m hasta 60 m (exclusiva)  | Desde 9 m hasta 14 m (exclusiva)                                 |

\* Distancia entre los bordes exteriores de las ruedas del tren de aterrizaje principal

TABLA 1-1. CLAVE DE REFERENCIA DE AEROPUERTOS.

## 1.2.3. ESPECIFICACIONES.

Las especificaciones técnicas básicas para la forma geométrica -- (pendiente transversal, pendiente longitudinal y uniformidad de la -- superficie) y para la textura de la superficie de rodaje, son las siguientes:

## 1.2.3.1. PENDIENTES.

Pendientes longitudinales.- Se recomienda que la pendiente obtenida al dividir la diferencia entre la elevación máxima y la mínima a lo largo del eje de la pista, por la longitud de ésta, no exceda del:

1 %, cuando el número de clave sea 3 o 4; y

2 %, cuando el número de clave sea 1 o 2.

Se recomienda también que en ninguna parte de la pista la pendiente longitudinal exceda del:

1.25 %, cuando el número de clave sea 4, excepto en el primero y último cuartos de la longitud de la pista, en los cuales la pendiente no deberá exceder del 0.8%;

1.50%, cuando el número de clave sea 3, excepto en el primer y último cuartos de la longitud de la pista, en los cuales la pendiente no --- deberá exceder del 0.8%; y

2.0%, cuando el número de clave sea 1 o 2.

Cuando no se pueda evitar un cambio de pendiente entre dos pendientes consecutivas, éste no deberá exceder del:

1.5 %, cuando el número de clave sea 3 o 4; y

2 %, cuando el número de clave sea 1 o 2.

Pendientes transversales.- Se recomienda que para facilitar la rápida evacuación del agua, la superficie de la pista, en la medida de lo posible, deberá ser convexa, excepto en los casos en que una -- pendiente transversal única que descienda en la dirección del viento que acompañe a la lluvia con mayor frecuencia, asegure el rápido -- desalojo del agua. La pendiente transversal ideal debería ser de:

1.5%, cuando la letra de clave sea C, D o E; y

2.0%, cuando la letra de clave sea A o B;

pero en todo caso, no debería ser menor de 1.0%, salvo en las intersecciones de pistas o de calles de rodaje en que se requieran pendientes más aplanadas.

Los perfiles longitudinales deberían tener la menor pendiente -- posible (el valor ideal sería 0). Es preferible que el perfil transversal de las pistas sea bombeado, pero si por cualquier razón esto no puede lograrse, las pendientes transversales deberán establecerse teniendo muy en cuenta los vientos predominantes, para que cuando se presenten precipitaciones no impidan el desague de la superficie, en algunos lugares puede hacer falta prever temas de drenaje para evitar que el agua acumulada no se derrame sobre la superficie de la pista.

Debe tenerse especial atención de tener un buen drenaje en la zona de contacto, ya que el hidroplaneo inducido en esta etapa inicial del aterrizaje, una vez comenzado, puede mantenerse con alturas de agua -- considerablemente menores que haya más allá a lo largo de la pista.

Si se satisfacen estos criterios ideales de conformación, se --- reducirán al mínimo los percances debidos al hidroplaneo, pero si en la ejecución no se tienen en cuenta habrá una mayor probabilidad de que se presente dicho fenómeno, por buenas que sean las características de fricción de las pistas, por otra parte, cuando haya necesidad de reforzar las superficies de rodaje de las pistas viejas se debería aprovechar la oportunidad, siempre que sea posible, para mejorar las resacas con objeto de ayudar al drenaje. Toda mejora de perfil, por pequeña que sea, resulta útil.



### 1.2.3.2. UNIFORMIDAD DE LA SUPERFICIE.

Este es un componente de la forma de pista que requiere una atención igualmente cuidadosa. La uniformidad de la superficie es importante también para la calidad de rodadura de las aeronaves, en especial las de reacción rápida.

Los requisitos de uniformidad de la superficie de rodamiento se describen a continuación:

Al adoptar tolerancias para las irregularidades de la superficie de la pista, la siguiente norma de construcción es aplicable a distancias cortas del orden de 3m.

El acabado de la superficie de rodamiento debe ser de tal regularidad que, cuando se verifique con una regla de 3m colocada en cualquier parte y en cualquier dirección de la superficie no haya ningún punto, excepto a través de la cresta de bombeo o de las canales de drenaje, una separación de 3mm entre el borde de la regla y la superficie del pavimento.

Los movimientos de las aeronaves y las diferencias de asentamiento del pavimento con el tiempo tienden a aumentar las irregularidades de la superficie. Las pequeñas desviaciones respecto a las tolerancias anteriormente mencionadas no deben afectar mayormente a los movimientos de las aeronaves. En general son tolerables las irregularidades del orden de 2.5 a 3 cm en una distancia de 45 m. No se puede dar información exacta sobre la desviación máxima aceptable respecto a las tolerancias, ya que éstas varían con el tipo y la velocidad de cada aeronave.

Las deformaciones de la pista con el tiempo pueden también aumentar la posibilidad de formación de charcos. Los charcos cuya profundidad sólo sea de unos 3 mm - especialmente si están situados en lugares de la pista donde los aviones que aterrizan tienen gran velocidad - pueden inducir al hidroneo, fenómeno que puede mantenerse en una pista cubierta con una capa mucho más delgada de agua.

Estos requisitos de uniformidad se aplican no sólo a la construcción de un pavimento nuevo, sino a toda la vida útil del pavimento. La deformación máxima tolerable de la superficie deberá indicarse como criterio vital del cálculo. Esto puede tener una repercusión importante sobre la determinación del tipo más apropiado de construcción y del tipo de pavimento.

Con respecto a la susceptibilidad a la formación de charcos cuando se producen irregularidades en la superficie, las formas de pista con pendiente transversal máxima admisible se ven mucho menos afectadas que las que tienen pendientes marginales. Las pistas en que se forman charcos normalmente requieren un tratamiento superficial y un cambio de forma para eliminar eficazmente el problema.

### 1.2.3.3. TEXTURA DE LA SUPERFICIE.

Los requisitos de macrotextura de la superficie de rodamiento se indican en el Anexo 14 de la CACI en términos de profundidad media de la textura de la superficie, que no deberá ser inferior a 1mm para las superficies nuevas. Se reconoce también que esta disposición exigirá normalmente alguna forma de tratamiento superficial especial. El valor mínimo para la profundidad media de la textura se ha calculado empíricamente y de cuenta del mínimo absoluto requerido para proporcionar un drenaje satisfactorio. Pueden requerirse valores más altos en cuanto a profundidad media de la textura cuando la frecuencia e intensidad de la precipitación sea el factor crítico para satisfacer las necesidades de drenaje. Las superficies que no lleguen a cumplir con los requisitos mínimos en cuanto a profundidad media de la textura de la superficie demostrarán características deficientes de fricción en condiciones de humedad, particularmente si la pista es utilizada por aeronaves de alta velocidad de aterrizaje.

La macrotextura de una superficie normalmente no cambia mucho con el tiempo, salvo en la zona de toma de contacto, como resultado de los depósitos de caucho. En consecuencia, sólo se requerirá efectuar a intervalos prolongados de tiempo el control periódico de la profundidad media de la textura de la superficie en la parte no contaminada.

Con respecto a la microtextura, no existe ninguna medida directa - disponible para determinar la rugosidad fina requerida del árido en términos técnicos. Con todo, se sabe por experiencia que el árido de calidad debe poseer una superficie áspera y bordes agudos para presentar buenas propiedades de penetración de la película de agua. Es importante también que el árido esté realmente expuesto a la superficie y no revestido totalmente por un material suave. Como la microtextura es un constituyente vital de la fricción en condiciones húmedas sin tener en cuenta la velocidad, la suficiencia de la microtextura proporcionada por una superficie particular puede evaluarse en general por medio de la fricción. La falta de la microtextura tendrá como consecuencia una disminución considerable de los niveles de fricción en toda la gama de velocidades. Esto ocurrirá aun en superficies con un grado mínimo de agua (por ejemplo húmedas). Este método de tipo cualitativo puede ser suficiente para detectar la falta de microtextura en los casos evidentes.

El deterioro de la misma textura causado por el tráfico y los agentes atmosféricos puede presentarse, al contrario de la macrotextura, dentro de períodos de tiempo relativamente cortos y puede cambiar también con el estado operacional de la superficie. En consecuencia, es preciso efectuar verificaciones periódicas y frecuentes mediante mediciones de la fricción en particular con respecto a la zona de toma de contacto, donde los depósitos de caucho rápidamente enmascaran la microtextura.

La figura 1-3 ilustra el efecto de la textura de la superficie sobre el coeficiente de rozamiento neumático-superficie.


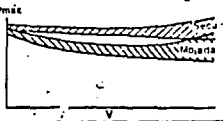
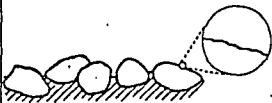
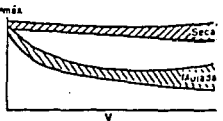

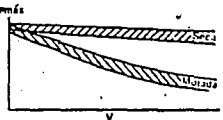

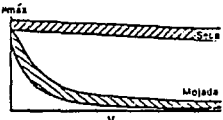
| Núm. | SUPERFICIE   |   | TENDENCIAS APROXIMADAS DEL COEFICIENTE MAXIMO DE ROZAMIENTO NEUMATICO-SUPERFICIE, CORRESPONDIENTES A NEUMATICOS LISOS             |
|------|--|---|---|
|      | MACROTEXTURA   | MICROTEXTURA  |   |
| I    | Las superficies de microtextura ABIERTA proporcionan un buen adelantamiento de la zona de contacto neumático-superficie. En pista mojada, el valor $\mu$ disminuye gradualmente a medida que aumenta la V. Las ranuras del neumático no influyen mucho. A gran velocidad, $\mu$ puede aumentar debido a los efectos de histéresis. |  <p>Las superficies de microtextura ASPERA permiten una considerable penetración de las películas delgadas de líquidos; el nivel general de rozamiento es elevado.</p>                       |  <p><math>\mu_{m\acute{a}x}</math></p> <p>V</p> |
| II   | Las superficies de microtextura LISA o PULIDA presentan escasas propiedades de penetración para las películas delgadas y generalmente el nivel de rozamiento que se produce es bajo.   |  <p>Las superficies de microtextura LISA o PULIDA presentan escasas propiedades de penetración para las películas delgadas y generalmente el nivel de rozamiento que se produce es bajo.</p> |  <p><math>\mu_{m\acute{a}x}</math></p> <p>V</p> |
| III  | Las superficies de macrotextura CERRADA ofrecen un escaso adelantamiento en la zona de contacto. En pista mojada, los valores $\mu$ disminuyen rápidamente con el aumento de la V. En este tipo de superficie, las ranuras del neumático son más eficaces.   |  <p>Las superficies de microtextura ASPERA permiten una considerable penetración de las películas delgadas de líquidos; el nivel general de rozamiento es elevado.</p>                       |  <p><math>\mu_{m\acute{a}x}</math></p> <p>V</p> |
| IV   | Las superficies de macrotextura CERRADA ofrecen un escaso adelantamiento en la zona de contacto. En pista mojada, los valores $\mu$ disminuyen rápidamente con el aumento de la V. En este tipo de superficie, las ranuras del neumático son más eficaces.   |  <p>Las superficies de microtextura LISA o PULIDA presentan escasas propiedades de penetración para las películas delgadas y generalmente el nivel de rozamiento que se produce es bajo.</p> |  <p><math>\mu_{m\acute{a}x}</math></p> <p>V</p> |

FIGURA 1-5. EFECTO DE LA TEXTURA DE LA SUPERFICIE SOBRE EL COEFICIENTE DE FRICCIÓN NEUMATICO - SUPERFICIE.

## **CAPITULO 2.- METODOS DE EVALUACION DE PAVIMENTOS.**

### 2.1. GENERALIDADES.

La principal finalidad de los pavimentos tanto de aeropuertos -- como de carreteras es la de permitir un tránsito adecuado de los -- vehículos así como la de distribuir adecuadamente las cargas concen -- tradas, de tal manera que la capacidad de soporte de las capas de -- apoyo no se exceda; sin embargo, existen diferencias sustanciales -- entre ambos pavimentos, derivadas de su operación, entre las que se pueden mencionar:

- 1) La canalización del tránsito de los vehículos.
- 2) La intensidad de las cargas a soportar.
- 3) Las presiones de inflado de las llantas.
- 4) La frecuencia del tránsito.
- 5) Las condiciones de rugosidad de la superficie de rodamien -- to.
- 6) La textura de la superficie del pavimento que afecta el frenado de los vehículos.

### 2.2. DEFINICIONES.

**Pavimento.**- Se define pavimento al conjunto de capas de materia -- les seleccionados que reciben en forma directa las cargas del trán -- sito y las transmiten adecuadamente distribuidas a las capas infe -- riores; proporcionan la superficie de rodamiento en donde se debe -- tener una operación "rápida" y "cómoda".

**Evaluación de pavimentos.**- La evaluación de pavimentos (rígidos y flexibles) consiste en determinar su estado actual, conocer los -- deterioros que ha sufrido a lo largo de su vida útil y observar si están dentro de los permitidos, para que en caso contrario poder --- determinar el refuerzo o tratamiento necesario que requieran para poder soportar con seguridad las cargas a los que son sometidos o -- reforzarlos para que puedan recibir y resistir cargas superiores de de las que originalmente fueron diseñados. Otro objetivo de la eva -- luación de pavimentos es poder determinar su comportamiento futuro en función de las cargas y frecuencia con que son aplicadas.

### 2.3. CALIFICACION DE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO.

La calificación de la superficie de rodamiento, debe hacerse por personal competente y esta consiste en una inspección detallada de las características que presenta.

Para hacer las inspecciones al pavimento en las áreas de maniobras (pistas, rodajes y plataformas) se deberán seguir las normas de seguridad indicadas en la sección 1.1.

Dependiendo del tipo de pavimento que se trate existen formatos de calificación de la superficie de rodamiento que facilitan el trabajo. Ver figuras 2-1 y 2-2.

### 2.4. ELEMENTOS DE EVALUACION DE LOS PAVIMENTOS.

El comportamiento de todo pavimento depende de los materiales propios del lugar, que después de la nivelación y de la preparación recibe el nombre de terreno de cimentación; de su estructura que comprende todas las capas hasta la superficie, del peso y frecuencia de las aeronaves que los utilizan. Cada uno de estos elementos deberán considerarse al evaluar un pavimento.

#### 2.4.1. TERRENO NATURAL O DE CIMENTACION.

El terreno de cimentación es la parte de la corteza terrestre que se ve modificada en sus condiciones naturales de esfuerzos por la presencia de una vía terrestre, el desplante de un edificio, de una pila de cimentación, etc.

Al terreno de cimentación se le adecua para recibir la estructura del pavimento extirpando la vegetación, nivelando o bien creando la pendiente planificada mediante operaciones de corte, de relleno y compactación en caso necesario con la densidad deseada, a los volúmenes de corte y relleno incluida la capa subrasante se les denomina terracerías. La resistencia del terreno de cimentación es un elemento importante para la evaluación o el cálculo de un pavimento. La resistencia del suelo y por lo tanto la resistencia del terreno de cimentación dependen mucho de la humedad natural, que debe evaluarse para el estado que se prevé lograr in situ.

La resistencia del terreno de cimentación establecida para un pavimento particular puede caer dentro de las cuatro categorías de resistencia siguientes:

Resistencia alta; para los pavimentos rígidos, el valor tipo es  $K=150 \text{ MN/m}^3$  (550  $\text{Lb/plg}^3$ ) y comprende todos los valores de K superiores a  $120 \text{ MN/m}^3$  (440  $\text{Lb/plg}^3$ ); para los pavimentos flexibles, el valor tipo es  $\text{VRS}=15$  y comprende todos los valores superiores a 13.

Resistencia mediana; para los pavimentos rígidos, el valor tipo es  $K=80 \text{ MN/m}^3$  (293  $\text{Lb/plg}^3$ ) y comprende todos los valores de K entre 60 y  $120 \text{ MN/m}^3$  (220 y 440  $\text{Lb/plg}^3$ ); para los pavimentos flexibles, el valor tipo es  $\text{VRS}=10$  y comprende todos los valores VRS entre 8 y 13.

Resistencia baja; para los pavimentos rígidos, el valor tipo es  $K=40 \text{ MN/m}^3$  (147  $\text{Lb/plg}^3$ ) y comprende todos los valores de K entre 25 y  $60 \text{ MN/m}^3$  (220  $\text{Lb/plg}^3$ ); para los pavimentos flexibles, el valor tipo es  $\text{VRS}=6$  y comprende todos los valores VRS entre 4 y 8.

Resistencia ultra baja; para los pavimentos rígidos el valor tipo es  $K=20 \text{ MN/m}^3$  (74  $\text{Lb/plg}^3$ ) y comprende todos los valores de K inferiores a  $25 \text{ MN/m}^3$  (92  $\text{Lb/plg}^3$ ); para los pavimentos flexibles, el valor tipo es  $\text{VRS}=3$  y comprende todos los valores VRS inferiores a 4.

#### 2.4.2. ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.

Los términos rígido y flexible se utilizan para identificar los dos tipos principales de pavimentos. Con estos términos se puede identificar la respuesta de cada tipo a las cargas.

**Pavimento flexible.**- Es aquel que tiene como superficie de rodaje una carpeta asfáltica (carpeta que se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores, sin que exista falla estructural). La distribución de esfuerzos se realiza por la fricción y cohesión de las partículas. La velocidad de distribución de los esfuerzos es baja. La figura 2-3 muestra las diferentes capas que constituyen un pavimento flexible.



|  |      |                                |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|------|--------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Elemento : _____   |      | Aeropuerto : _____             |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Observador : _____   |      | Tramo de A                     |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Fecha : _____  |      |                                |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0: Ninguna<br>1: Menor<br>2: Moderada<br>3: Mayor<br>4: Severa   | TIPO | Fisuración                     |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |      | Longitudinal                   |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |      | Transversal                    |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |      | Polidétrica (7.5 cm aprox.)    |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |      | Polidétrica (15 cm aprox.)     |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |      | En forma de mapa (> 30cm)      |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |      | Reflexión                      |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |      | Menor que 0.3175 cm ( $1/8"$ ) |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |      | Menor que 0.635 cm ( $1/4"$ )  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |      | Mayor que 0.635 cm ( $1/4"$ )  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 9 } Muy bien<br>a<br>8 }<br>7 } Bien<br>b<br>6 }<br>5 } Regular<br>c<br>4 }<br>3 } Peque<br>d<br>2 }<br>1 } Muy pobre<br>0 } | TIPO | Desprendimiento local          |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |      | Desprendimiento general        |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |      | Deformación transv. marcada    |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |      | Deformación longitudinal       |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |      | Distorsión                     |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |      | Asealamiento subrasante        |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |      | Bacheo superficial             |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |      | Bacheo profundo                |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |      | Reconstrucción localizada      |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |      | Rugosidad superficial          |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Observaciones (Drenaje) :  |      |                                |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |      |                                |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |      |                                |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |      |                                |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Observaciones :  |      |                                |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |      |                                |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |      |                                |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |      |                                |  |  |  |  |  |  |  |  |

Figura 2-1. Condiciones superficiales del pavimento flexible.

| CONDICIONES SUPERFICIALES DEL PAVIMENTO RIGIDO            |  |                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---|--|-------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Aeropuerto: _____   |  |                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Elemento: _____   |  |                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Observador: _____   |  |                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Fecha: _____  |  |                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0 Ninguna<br>1 Menor<br>2 Moderada<br>3 Mayor<br>4 Severa | <b>INDICADOR</b><br>0 Muy bien<br>A<br>1 Bien<br>B<br>2 Regular<br>C<br>3 Pobre<br>D<br>4 Muy pobre<br>E | Longitudinal                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |  | Transversal                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |  | Excesos o castores                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |  | En el borde                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |  | En el filo                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |  | Ataluzamiento y deterioro del borde |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |  | Descripción del concreto            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |  | Humedades y fisuras                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |  | Bambas                              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |  | Luces que se balan                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |  | Pérdida del sello de la junta       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |  | Grutas sin sellar                   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |  | Craquel en el pavimento             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |  | Pavillos                            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |  | Resquebrajamiento del borde         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |  | Resquebrajamiento superficial       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |  | Drenaje superficial                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |  | Sub drenaje                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |  | Condiciones generales               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |  | Efectos de las turbinas en el       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |  | sello de las juntas                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |  | Defectos en el topografía           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |  | Ataluzamiento de cada               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |  | Trabajos requeridos                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Observaciones de drenaje                                  |  |                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Observaciones:  |  |                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Figura 2-2. Condiciones superficiales del pavimento rígido.

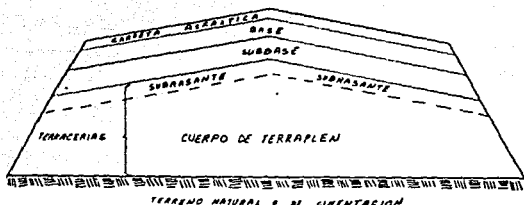


Figura 2-3. Capas que forman en general un pavimento flexible.

**Pavimento rígido.** - Es el que presenta como superficie de rodamiento losas de concreto hidráulico. En este caso las losas no pueden plegarse a las deformaciones de las capas inferiores sin que se presente la falla estructural, la distribución de los esfuerzos es a través de toda la losa y las adyacentes que trabajan en conjunto. Este tipo de pavimento presenta una velocidad de distribución de esfuerzos superior a la de los pavimentos flexibles. Las capas que constituyen un pavimento rígido son: losa de concreto hidráulico y la subbase, que se construyen sobre la capa subrasante. Ver figura 2-4.

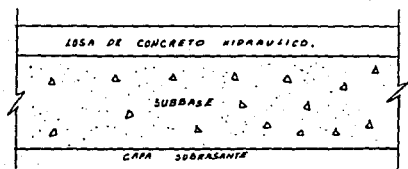


Figura 2-4. Capas que forman un pavimento rígido.

### 2.4.3. CARGA DE LAS AERONAVES.

El peso de la aeronave se transmite al pavimento a través del tren de aterrizaje. El número de ruedas, su posición, la presión de inflado y tamaño de los neumáticos, determinan la distribución de la carga de la aeronave sobre el pavimento. En general, el pavimento debe tener resistencia suficiente para soportar las cargas aplicadas por cada rueda, no sólo en la superficie y en el terreno de cimentación, sino también en las capas intermedias. En el caso de ruedas poco espaciadas, por ejemplo en el caso de los trenes -- con ruedas gemelas y los bogies de cuatro ruedas y aun en el caso de ruedas adyacentes, las presiones efectivas son las presiones -- combinadas de dos o más ruedas y la estructura del pavimento debe atenuarlas suficientemente.

Como la distribución de la carga por la estructura del pavimento se realiza en una zona mucho más angosta en un terreno de cimentación de gran resistencia que en uno de baja resistencia, los efectos combinados de las ruedas adyacentes son mucho menores en pavimentos de gran resistencia que en los pavimentos de poca resistencia. Por esta razón, los efectos relativos de dos tipos de aeronaves no son los mismos para pavimentos de resistencia nominal equivalente. Esto constituye la base de la notificación de la resistencia del pavimento por categoría de resistencia del terreno de cimentación, los efectos relativos de los tipos de aeronaves sobre los pavimentos pueden establecerse inequívocamente y con una precisión aceptable.

### 2.4.4. REPETICIONES DE LA CARGA Y COMPOSICION DEL TRAFICO.

No es suficiente considerar únicamente la magnitud de la carga. Existe una fatiga o repeticiones del factor de carga que también hay que considerar. La magnitud y las repeticiones deben tratarse en conjunto y un pavimento que se ha previsto para soportar una magnitud de carga con un número definido de repeticiones, puede -- soportar una carga mayor con pocas repeticiones y una carga menor con una frecuencia mayor. Por lo tanto es posible establecer el -- efecto de una masa de aeronave en términos de repeticiones equivalentes de otra masa (y tipo) de aeronave. La aplicación de este -- concepto permite determinar una magnitud simple (seleccionada) de carga y niveles de repetición que representan el efecto de los -- diferentes tipos de aeronaves que utilizan el pavimento.

## 2.5. EL METODO Y LOS ELEMENTOS DE CALCULO PARA LA EVALUACION

Deberá comenzarse por seleccionar el método de diseño cuyo -- orden ha de invertirse para la evaluación. A continuación es pre ciso evaluar los elementos de cálculo propios del pavimento exis tente, de acuerdo con el método que se haya seleccionado.

- a) Debe determinarse el espesor de cada capa. Los datos -- puedan obtenerse de los registros de la construcción, de extracción de núcleos para muestreo o bien para la ejecución de sondeos para medir el espesor de las capas (esto incluye al pavimento y a las terracerías).
- b) Debe determinarse la resistencia y el carácter del te-- rreno de cimentación. También en este caso pueden con-- sultarse los registros de la construcción para obtener la información necesaria en forma indirecta y transfe-- rir la información a la forma necesaria para adaptarla al método de cálculo seleccionado. De lo contrario -- será preciso obtener la información necesaria de estu-- dios realizados en el lugar mismo. Puede ser necesario efectuar perforaciones para permitir pruebas de pene-- tración o de placa o bien obtener muestras de materia-- les del terreno de cimentación que en caso de ser nece-- sarias dichas muestras podrían obtenerse de los lados del terraplen, para no tener que atravesar la estructu-- ra del pavimento. Puede ser necesario realizar ensayos de muestreo o de penetración, los cuales podrían hacer-- se a través de los agujeros dejados por los núcleos.
- c) La mayoría de los procedimientos de cálculo de los pa-- vimentos rígidos requieren un módulo de elasticidad y una tensión de flexión límite para el concreto. Si -- estos datos no se encuentran en los registros de la -- construcción deberán determinarse por ensayo sobre --- muestras extraídas del pavimento. En el caso de las -- capas de concreto armado o pretensado, se deberán tomar en cuenta los detalles del método de cálculo seleccio-- nado.

- d) Es preciso caracterizar las capas de la superficie o del recubrimiento asfáltico para que estén de acuerdo con el método de cálculo seleccionado y para permitir determinar cualquier limitación de presión de los neumáticos que pudiera ser necesaria.
- e) Las repeticiones de carga acumuladas a las cuales se ve sometido el pavimento son un elemento de cálculo importante; tanto el tráfico anterior como el tráfico futuro previsto son factores para la evaluación. En algunos métodos de cálculo es suficiente considerar que el tráfico que soportará sin inconvenientes, representa el tráfico futuro con la carga límite establecida por la evaluación y la intensidad del tráfico -- definido.

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.

#### 2.6. METODO DE EVALUACION.

Cuando sea posible, la resistencia del pavimento deberá obtenerse de una evaluación técnica. La evaluación técnica es un 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.

Comunmente la evaluación es la inversa de un método de proyecto; este comienza con la carga de la aeronave que ha de soportarse (de proyecto), la resistencia del terreno de cimentación y de las terracerías, obteniéndose los espesores necesarios y la calidad de materiales para la estructura del pavimento que se necesita. En la evaluación se invierte este proceso. Comienza con la resistencia actual del terreno de cimentación, terracerías, espesores y la calidad de cada componente de la estructura del pavimento y emplea un tipo de procedimiento para determinar la aeronave de proyecto y el número de operaciones que soportará a futuro.

En los casos en que se disponga de los datos de cálculo, ensaye y construcción del terreno de cimentación, terracerías y de los componentes de la estructura del pavimento, se les puede utilizar para realizar la evaluación. Por otro lado pueden realizarse sondajes para determinar el espesor de las capas, su resistencia y la resistencia del terreno de cimentación para fines de evaluación actual.

También puede efectuarse una evaluación técnica a base de la medición de la respuesta del pavimento a las cargas. La deflexión de un pavimento bajo una placa estática o la carga de un neumático puede aprovecharse para predecir su comportamiento. Existen también varios dispositivos para aplicar cargas dinámicas a un pavimento, observar su respuesta y utilizarla para prever su comportamiento.

## 2.7. EVALUACION DIRECTA O NO DESTRUCTIVA.

La evaluación directa comprende la carga de un pavimento, la medida de su respuesta, generalmente en términos de deflexión bajo carga y a veces también en puntos desplazados de la carga, para indicar la forma del ámbito de la deflexión y por último la deducción de la capacidad portante prevista, a partir de las mediciones.

### 2.7.1. METODOS ESTATICOS.

Los métodos estáticos comprenden la puesta en posición de placas o ruedas, la aplicación de cargas y la medición de las deflexiones provocadas. Las cargas sobre placas requieren una plataforma cargada con la cual se aplica la carga; mediante ruedas se lleva la plataforma hasta el lugar y después se alejan. Los métodos rápidos que se describen a continuación representan un buen ejemplo del método estático.

### 2.7.2. METODOS RAPIDOS BASADOS EN LA DEFORMACION.

Estudios y observaciones llevados a cabo por muchos investigadores, han puesto de manifiesto que existe una correlación general entre la deformación vertical de un pavimento bajo una carga de rueda y el número de aplicaciones (repeticiones) de tránsito de esa carga de rueda, que darán como resultado un considerable deterioro (rotura) del pavimento (véase Figura 2-5).

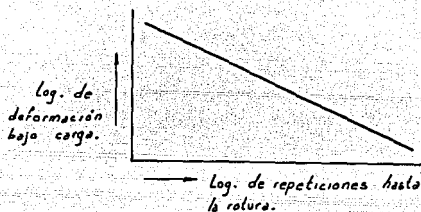


Figura 2-5.

Esto proporciona la base para establecer un medio rápido y -- sencillo de evaluar la capacidad de resistencia en el pavimento.

Aunque estas relaciones obedecen a un patrón muy definido, la dispersión de puntos específicos es considerable. Por ello, al -- servirse de estas relaciones para evaluaciones rápidas, habrá que aceptar o bien el conservadurismo de una curva limitadora o la falta de confianza dimanante de la amplia dispersión de puntos, o quizás una solución intermedia entre ambos extremos. En todo caso, estas relaciones provocan un medio sencillo y relativamente barato. El procedimiento para llevar a cabo tal evaluación es el siguiente:

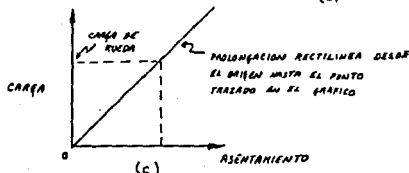
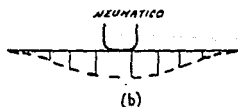
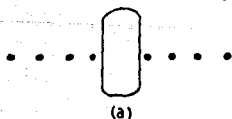
- a) Medir el asentamiento que produce una carga importante de rueda, en un lugar crítico seleccionado del pavimento. Pueden utilizarse configuraciones de ruedas -- simples o múltiples;
  - 1) emplazar las ruedas de la aeronave en una zona crítica;
  - 2) marcar puntos de medición a lo largo del pavimento, según se indica en la figura 2-6 (a);
  - 3) dirigir visuales a cada punto, y registrar las lecturas de mira;



- 4) separar la aeronave y repetir las lecturas.
  - 5) llevar gráficamente, a título de asentamientos del pavimento las diferencias de lectura de mira. Ver figura 2-6 (b).
  - 6) unir los puntos por una línea continua para estimar la flecha (asentamiento máximo) debajo del -- neumático.
- b) Trazar un gráfico de carga en función de la deformación máxima, según se ilustra en la figura 2-6 (c)
- c) Combinar, con la curva anterior, la curva de asentamiento en función de las repeticiones hasta la rotura, a fin de proporcionar una evaluación de la capacidad de carga del pavimento, para el tren utilizado al determinar el asentamiento.
- 1) determinese las repeticiones de la carga (o repeticiones equivalentes) que se preve ha de sufrir el pavimento antes de la rotura.
  - 2) a partir de una correlación del tipo que se indica en la figura 2-5, determinese la deformación para las repeticiones hasta la rotura.
  - 3) a partir de la relación establecida de carga hasta la deformación que se indica en la figura 2-6, --- determinese la resistencia del pavimento en función de la magnitud de la carga admisible sobre la rueda utilizada para medir la deformación.

NEUMATICO

Figura 2-6



Puede seguirse un procedimiento similar empleando un gato hidráulico y una placa de soporte cargada, operando debajo de un punto de levantamiento de un ala de avión o cualquier otra parte de reacción conveniente. Puede determinarse la configuración completa de la --- curva carga/deformación y pueden utilizarse flexímetros, montados en una viga larga, que sirven de referencia, en vez de los métodos ópticos de topografía. Disponiendo una abertura adecuada de acceso, --- producida por una pierna con varias ruedas. Los resultados pueden tratarse del mismo modo que en el caso de una rueda simple aislada.

Los métodos utilizados para la medición de la deflexión bajo --- carga en las carreteras, tales como el método de la viga Benkleman, pueden utilizarse para trazar diagramas de deflexión en función de la carga. Los resultados se tratan como se indica en la figura 2-6 para extrapolar cargas a base de las cargas de rueda simple de aeronave, las cuales, utilizando un gráfico como el de la figura 2-5, permiten evaluar la resistencia del pavimento bajo carga de rueda simple. Con esta base, la masa límite de aeronaves sobre pavimentos, para el caso de aeronaves ligeras, puede determinarse directamente. Si interviniera una placa de gran carga o elevadas presiones de neumáticos, puede ser necesario ajustar los valores entre las características de carga simple utilizadas para la determinación del --- tipo que se indica en la figura 2-6.

## 2.8. METODOS DE EVALUACION NO DESTRUCTIVOS DE LA ADMINISTRACION FEDERAL DE AVIACION (FAA) DE LOS ESTADOS UNIDOS.

Este procedimiento para determinar la resistencia de pavimentos de aeropuertos se basa en ensayos no destructivos (NDT). El equipo y los procedimientos han sido desarrollados por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los E.U. como respuesta a la necesidad sentida por la Administración Federal de Aviación (FAA) y por el Ejército, de hacer rápidas evaluaciones de las estructuras de pavimentos, con un mínimo de interferencia respecto a las operaciones aeroportuarias normales.

El procedimiento NDT de evaluación que aquí se explica, únicamente es aplicable a estructuras convencionales de pavimentos rígidos y flexibles. Un pavimento rígido convencional consiste en una losa de concreto hidráulico sin armar, sobre una caja de material no estabilizado y/o materiales del terreno de cimentación. Un pavimento flexible convencional consiste de una capa delgada de carpeta asfáltica (15 cm o menos de espesor), sobre capas no estabilizadas de base, subbase, terracerías y materiales de terreno de cimentación.

### 2.8.1. EQUIPO.

El procedimiento de evaluación que aquí se explica exige la determinación de la reacción de la estructura del pavimento bajo una carga vibratoria específica continua. Teniendo en cuenta que no suele ser lineal la respuesta a la carga, de los materiales que constituyen la estructura del pavimento, la determinación de tal reacción del pavimento, para utilizarla en el procedimiento de evaluación que aquí se explica, exige un sistema de cargas específico. El dispositivo de cargas deberá ejercer una carga estática de 16 Kips\* sobre el pavimento y ser capaz de producir de 0 a 15 Kips, valor máximo, cargas vibratorias a una frecuencia de 15 Hz. La carga se aplica al pavimento a través de una placa de acero de 45 cm de diámetro. La carga vibratoria se regula mediante tres células de carga montadas entre el accionador y la placa de carga; la reacción del pavimento se mide sirviéndose de transductores de velocidad montados en la placa de carga. Se necesita equipo automático de registro de datos. El dispositivo de carga debe ser fácilmente transportable para llevar a cabo un gran número de ensayos en un mínimo de tiempo. El equipo NDT se ilustra en la figura 2-7.

\* 1 Kip = 454 kg (1000 lb).

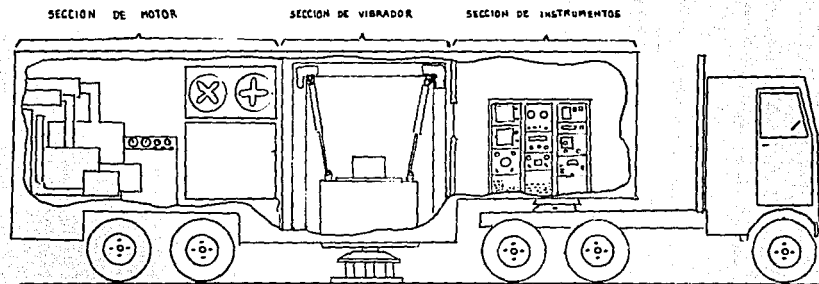


FIGURA 2-7. EQUIPO PARA ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (NDT)

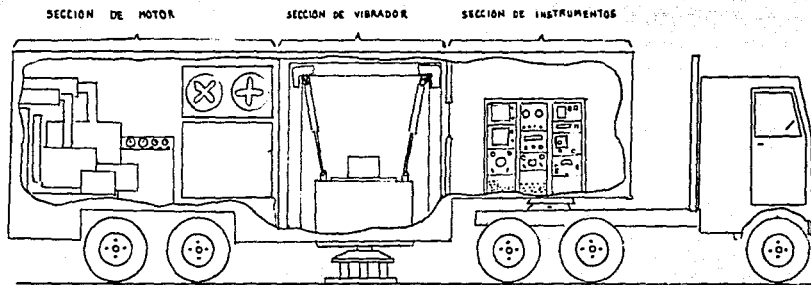


FIGURA 2-7. EQUIPO PARA ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (NDT)

### 2.8.2. COMPILACION DE DATOS.

En el procedimiento de evaluación, la reacción de la estructura del pavimento a la carga vibratoria se expresa en función del módulo de rigidez dinámica (DSM). Como el tiempo necesario para medir el valor DSM en cada punto de ensayo es breve (2 a 4 min), durante el período normal de evaluación pueden hacerse numerosas mediciones de dicho número. En pistas, calles de rodaje, los ensayos de DSM deberían efectuarse por lo menos cada 75m en lados alternos respecto al eje, a lo largo de las trayectorias de las ruedas del tren de aterrizaje principal. En cuanto a las vías secundarias, o a las pistas menos utilizadas, los ensayos DSM deberían hacerse cada 150m, aproximadamente, en lados alternos respecto al eje. Para zonas de plataforma, los ensayos DSM deberían efectuarse en una configuración de cuadrícula, con separaciones entre 75 y 150m. Donde se encuentran valores DSM que varían ampliamente deberían hacerse ensayos adicionales; esto dependerá de lo precisa que haya de ser la evaluación. Las mediciones del módulo DSM para pavimentos rígidos, deberían hacerse en el interior (cerca del centro) de la losa. La disposición del conjunto de los sitios de ensayo y la selección de valores DSM para evaluación del pavimento resulta particularmente útil para la elaboración del programa de ensayos. Una vez realizados los ensayos DSM y clasificados de acuerdo con el tipo y construcción del pavimento, deberá elegirse un valor DSM representativo (según se describe más adelante).

Se sitúa el equipo de carga en cada punto de ensayo, y la fuerza dinámica se hace variar entre 0 y 15 kips, a intervalos de 2 kips, a una frecuencia constante de 15 Hz. La deformación del revestimiento (carpeta asfáltica), medida por los transductores de velocidad, se lleva gráficamente en función de la carga aplicada según se indica en la figura 2-8. El DSM (corregido según se indica más adelante), es el valor inverso de la pendiente de la curva de deformación en función de la carga.

Además de la medición DSM, es necesario conocer el tipo de pavimento (rígido o flexible), el espesor y clasificación del material de cada capa que integra el pavimento. Estos parámetros se obtienen de los registros de construcción o mediante pequeñas perforaciones practicadas en el pavimento.

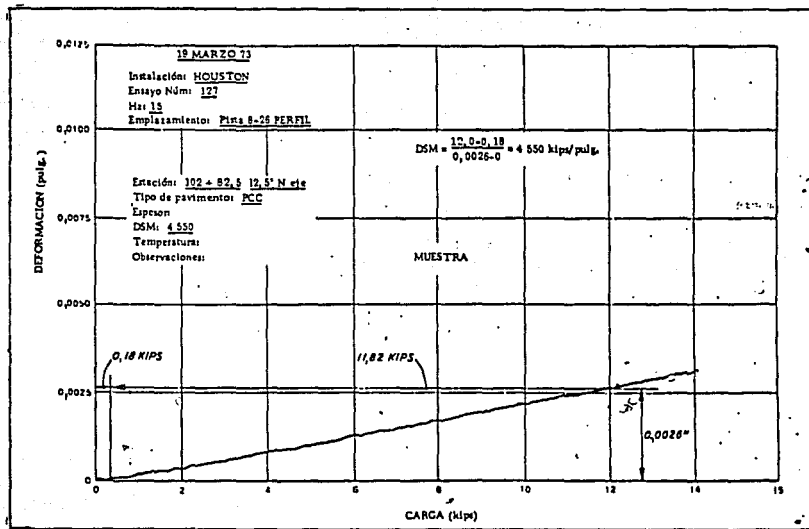


FIGURA 2-8. DEFORMACION EN FUNCION DE LA CARGA (GRAFICO DE MUESTRA)

Quando la evaluación se refiere a pavimentos flexibles, deberá determinarse la temperatura del material asfáltico en el momento del ensayo. Esto puede hacerse midiendo directamente las temperaturas con termómetros instalados a 2.5 cm por debajo de la cara superior, 2.5 cm por encima del fondo, y a mitad del espesor de la carpeta, promediando los valores a fin de obtener la temperatura media del pavimento.

### 2.8.3. CORRECCION DE DATOS.

La reacción o respuesta carga/deformación de muchos pavimentos, especialmente de los pavimentos flexibles, no es lineal para valores de fuerza bajos, pero resulta bastante lineal para valores de fuerza más elevados (12 a 15 kips). En tales casos, se aplica una corrección a la curva carga deformación, de manera que el DSM se obtenga de la parte lineal de la curva (Véase figura 2-8).

El módulo de los materiales asfálticos depende en alto grado de la temperatura, así que habrá que hacer una corrección en el DSM medido si la temperatura del material asfáltico en el momento del ensayo difiere de 21° C. La corrección se efectúa entrando en el gráfico de la figura 2-9 con la temperatura del pavimento, y determinando el factor de corrección de temperatura por el cual habrá que multiplicar el DSM medido.

Para cada grupo de pavimento que haya que evaluarse deberá elegirse un valor de DSM representativo. Aunque una sección de pavimento puede suponerse que es del mismo tipo de construcción, debería tratarse como si fuese de más de un grupo de pavimentos cuando los valores DSM medidos en una sección difieran grandemente de los obtenidos en otra sección. El valor DSM que ha de asignarse al grupo de pavimento para fines de evaluación se determinará --- restando, de la media estadística, una desviación característica.

Una vez determinada y corregida la medición del DSM, el procedimiento de evaluación dependerá de que un pavimento sea rígido o flexible.



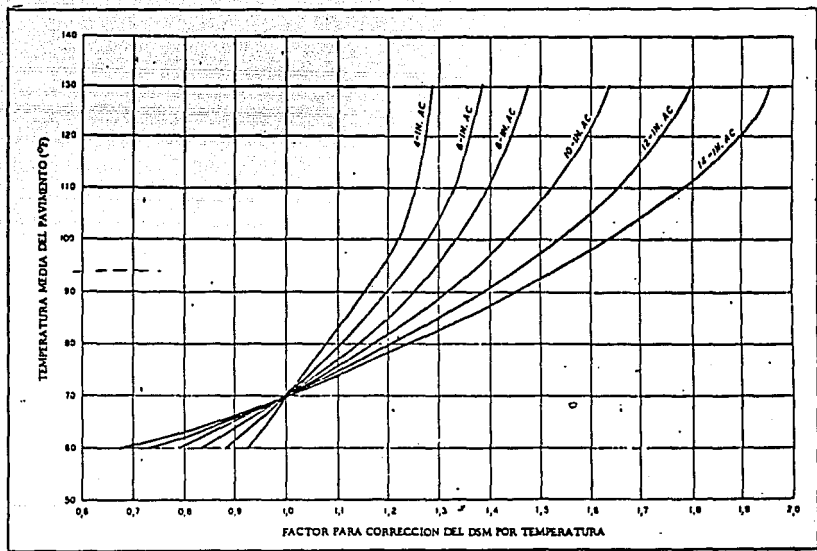


FIGURA 2-9. CURVAS DE CORRECCION DEL DSM POR TEMPERATURA.

## 2.9. EVALUACION DE PAVIMENTO RIGIDO.

## Etapa 1.

Se utiliza el DSM corregido para entrar en el gráfico de la --- figura 2-10 para determinar la carga admisible de rueda simple.

## Etapa 2.

El radio de rigidez relativa,  $l$ , se calcula con la fórmula:

$$l = 24.2 \sqrt[4]{\left(\frac{h^3}{F_r}\right)}$$

en donde:

$h$  = espesor de la losa de concreto, en pulgadas

$F_r$  = factor de resistencia del cemento, determinado a partir de -- la: figura 2-11, basándose en la clasificación de grupos de suelo para fines de cimentación, de la FAA.

## Etapa 3.

Sirviéndose del valor  $l$ , determinar de las figuras 2-12, 2-13, 2-14 o 2-15 según sea la configuración del tren de la aeronave para la cual se efectúa la evaluación el factor de carga  $F_L$ .

## Etapa 4.

Multiplicar la carga admisible de rueda simple, obtenida en la --- etapa 1, por el valor de  $F_L$  determinado en la etapa 3, a fin de obtener la carga bruta de la aeronave.

## Etapa 5.

Multiplicar la carga bruta de la aeronave, proveniente de la etapa 4, por el factor de tránsito apropiado, tomado de la tabla 2-1, para -- obtener la carga admisible bruta de la aeronave, relativa a las zonas críticas del pavimento que se evalúa. Cuando se trate de salidas para rodaje a gran velocidad, la carga bruta admisible calculada deberá -- aumentarse multiplicándola por el factor 1.18

## Etapa 6.

La carga admisible obtenida en la etapa 5 supone que el pavimento rígido que se evalúa es estructuralmente sólido y funcionalmente -- seguro. La carga admisible calculada deberá reducirse si en el momento de la evaluación existe una o más de las condiciones siguientes:

- 1) la carga admisible debería reducirse en un 10% si el 25% o más de las losas acusan desplazamiento vertical.

- 2) La carga admisible debería reducirse en un 25% si del 30 al 50% de las losas tienen agrietamiento estructural relacionado con la carga (en contraposición al agrietamiento de reducción de volumen, al de contracción no controlada, hinchamiento debido a la congelación, hinchamiento del suelo, etc.). Si más del 50% de las losas presentan agrietamiento inducido, el pavimento debería considerarse como inservible.
- 3) La carga admisible debería reducirse en un 25% si hay pruebas de destrozo excesivo en las juntas, por ejemplo, un continuo desconchamiento a lo largo de las juntas longitudinales, lo cual denotaría pérdida del mecanismo de transferencia de carga.

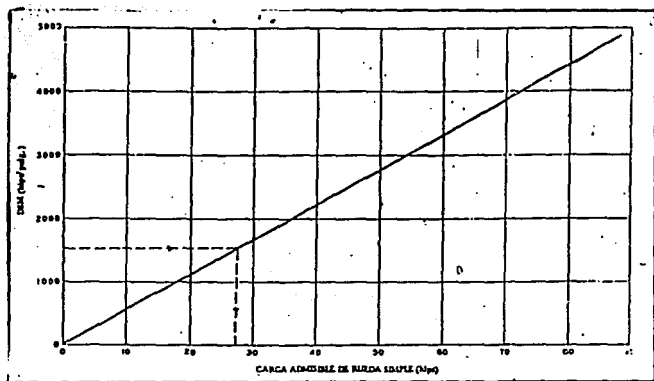


Figura 2-10. Curva de evaluación para pavimento rígido.

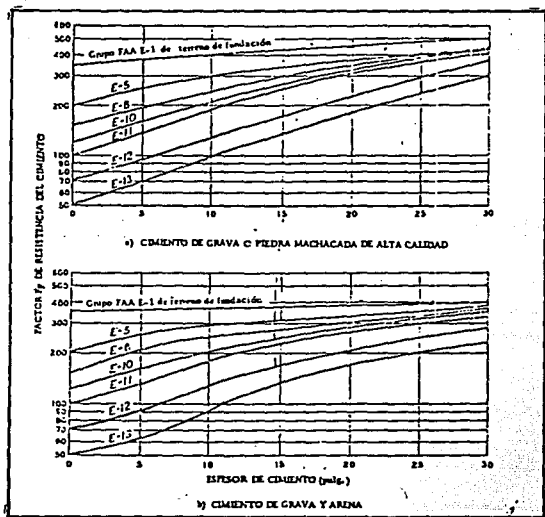


Figura 2-11.  $F_r$  en función del espesor del cemento.

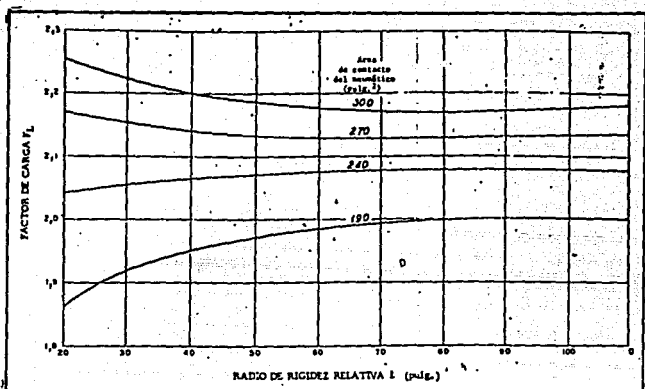


Figura 2-12.  $F_L$  en función de  $l$ , para aeronaves de ruedas simples sobre pavimento rígido.

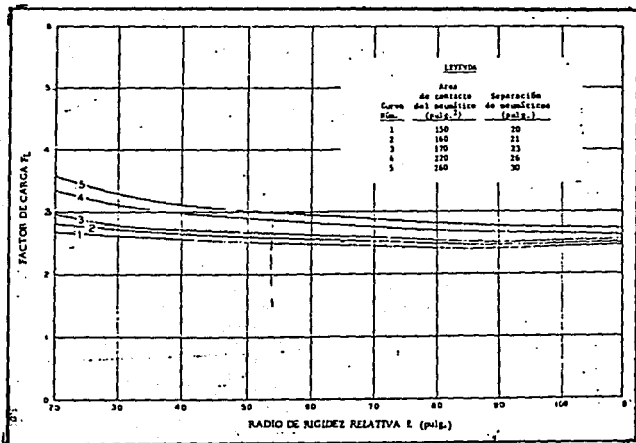


Figura 2-13.  $F_L$  en función de  $l$ , para aeronaves de ruedas cegadas sobre pavimento ríido.

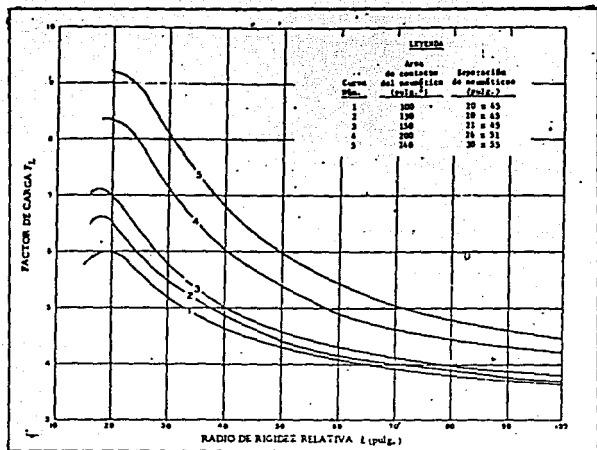


Figura 2-14.  $F_L$  en función de  $l$ , para aeronaves equipadas con bogies, sobre pavimento rígido.

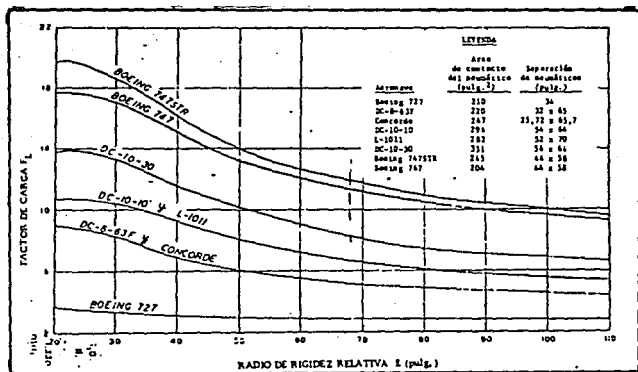


Figura 2-15.  $F_L$  en función de  $l$ , para varios aviones de reacción, sobre pavimento rígido.

## 2.10. EVALUACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

## Etapa 1.

Empleando el valor DSM corregido por efectos no lineales y - ajustado a la temperatura normalizada, determinar el índice,  $S_p$ , de resistencia estructural del pavimento, partiendo de la figura 2-16.

## Etapa 2.

Utilizando el espesor total,  $t$ , de pavimento flexible por -- encima del terreno de cimentación, calcular el factor  $F_t$  para pavimentos críticos tal que:

$$F_t = 0.067 t$$

o para calles de rodaje a gran velocidad, de la fórmula

$$F_t = 0.074 t$$

## Etapa 3.

Sirviéndose de  $F_t$  determinado en la etapa 2, entrar en el --- gráfico de la figura 2-17 y determinese la relación entre el -- factor de resistencia del terreno de cimentación y terracerías, ( $SSF$ ), y del índice  $S_p$  de resistencia de la estructura del pavimento.

## Etapa 4.

Calcular el factor  $SSF$  de resistencia del terreno de cimentación y terracerías, multiplicando el valor  $SSF/S_p$  por el valor de  $S_p$  determinado en la etapa 1.

## Etapa 5.

Evaluar el pavimento para cualquier aeronave que interese, en la forma siguiente:

- 1) elegir la aeronave o la configuración del tren de --- aterrizaje principal de la aeronave para la cual se - hace la evaluación, y determinar el área de contacto del neumático.  $A$ , de una rueda del tren de aterrizaje principal (véase tabla 2-2).

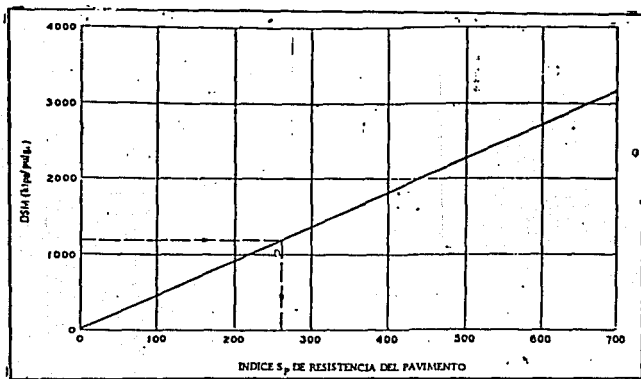


Figura 2-16. Curva de evaluación para pavimento flexible.

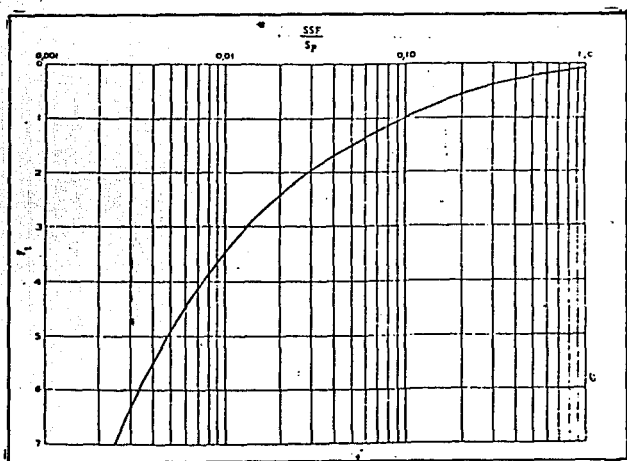


Figura 2-17.  $F_t$  en función de  $\frac{SSF}{S_p}$



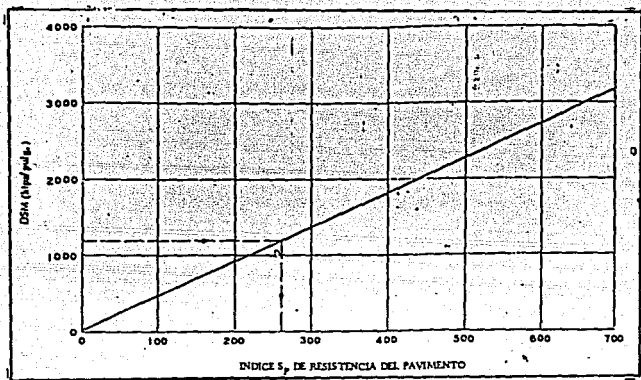


Figura 2-16. Curva de evaluación para pavimento flexible.

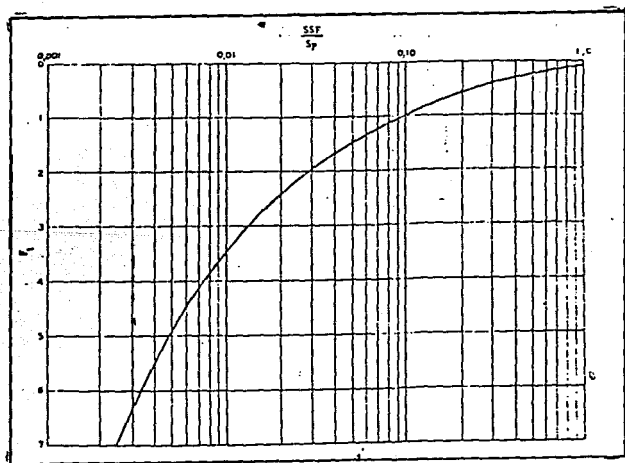


Figura 2-17.  $F_t$  en función de  $\frac{SSp}{S_y}$

- 2) elegir el nivel anual de salidas, respecto a cada aeronave para las cuales se hace la evaluación, determinar el factor de tránsito para cada aeronave a partir de la tabla 2-1.
- 3) calcular el factor Ft para cada aeronave cuya evaluación se efectúa en caso de pavimentos críticos por medio de la fórmula siguiente:

$$F_t = \frac{t}{\alpha \sqrt{A}}$$

o si se trata de calles de rodaje de gran velocidad:

$$F_t = \frac{t}{0.9 \alpha \sqrt{A}}$$

- 4) entrar en la gráfica de la figura 2-17 con el valor Ft y determinar SSF/Sp.
- 5) calcular el índice Sp de resistencia de la estructura del pavimento para la aeronave que se evalúa, dividiendo el valor SSF, obtenido en la etapa 4, por la relación SSF/Sp determinado en la etapa anterior.
- 6) multiplicar Sp por A, área de contacto del neumático, tomada de la tabla 2-2, a fin de obtener la carga equivalente de rueda simple (ESWL) de cada aeronave para la que se está haciendo la evaluación.
- 7) entrar en las gráficas de las figuras 2-18, 2-19 o 2-20 con el espesor total del pavimento t, y determinar la ESWL, en porcentaje, para que el número de ruedas de la aeronave que se está evaluando, es decir, si la aeronave tiene una disposición de ruedas gemelas con una separación de 26 pulg. se empleará la curva 4 de la figura 2-18, o bien si la evaluación se refiere al avión Boeing 747 STR, utilice la curva correspondiente al Boeing 747 STR de la figura 2-20.

| Aeronave                | Factor de tránsito referente al nivel anual de salidas citado,<br>para una duración (vida) prevista de 20 años |        |          |        |          |        |          |        |          |        |
|-------------------------|--|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
|                         | 1 200  |        | 3 000    |        | 6 000    |        | 15 000   |        | 25 000   |        |
|                         | Flexible   | Rígido | Flexible | Rígido | Flexible | Rígido | Flexible | Rígido | Flexible | Rígido |
| 30 kips rueda simple    | 0,94   | 1,00   | 1,01     | 0,93   | 1,05     | 0,86   | 1,11     | 0,79   | 1,14     | 0,75   |
| 45 kips rueda simple    | 0,94   | 1,00   | 1,01     | 0,92   | 1,05     | 0,85   | 1,11     | 0,78   | 1,14     | 0,75   |
| 60 kips rueda simple    | 0,94   | 1,00   | 1,01     | 0,91   | 1,05     | 0,85   | 1,11     | 0,78   | 1,14     | 0,74   |
| 75 kips rueda simple    | 0,94   | 1,00   | 1,01     | 0,91   | 1,05     | 0,84   | 1,11     | 0,77   | 1,14     | 0,74   |
| 50 kips ruedas gemelas  | 0,84   | 0,97   | 0,87     | 0,88   | 0,89     | 0,82   | 0,91     | 0,75   | 0,92     | 0,72   |
| 75 kips ruedas gemelas  | 0,84   | 0,96   | 0,87     | 0,87   | 0,89     | 0,82   | 0,91     | 0,75   | 0,92     | 0,72   |
| 100 kips ruedas gemelas | 0,84   | 0,96   | 0,87     | 0,87   | 0,89     | 0,81   | 0,91     | 0,75   | 0,92     | 0,72   |
| 150 kips ruedas gemelas | 0,84   | 0,95   | 0,87     | 0,86   | 0,89     | 0,81   | 0,91     | 0,74   | 0,92     | 0,71   |
| 200 kips ruedas gemelas | 0,84   | 0,95   | 0,87     | 0,86   | 0,89     | 0,81   | 0,91     | 0,74   | 0,92     | 0,71   |
| 100 kips bogies         | 0,78   | 0,99   | 0,79     | 0,89   | 0,80     | 0,83   | 0,81     | 0,77   | 0,82     | 0,73   |
| 150 kips bogies         | 0,78   | 0,98   | 0,79     | 0,88   | 0,80     | 0,82   | 0,81     | 0,76   | 0,82     | 0,73   |
| 200 kips bogies         | 0,78   | 0,97   | 0,79     | 0,88   | 0,80     | 0,82   | 0,81     | 0,75   | 0,82     | 0,72   |
| 300 kips bogies         | 0,78   | 0,95   | 0,79     | 0,87   | 0,80     | 0,81   | 0,81     | 0,75   | 0,82     | 0,72   |
| 400 kips bogies         | 0,78   | 0,95   | 0,79     | 0,86   | 0,80     | 0,81   | 0,81     | 0,74   | 0,82     | 0,71   |
| Boeing 727              | 0,84   | 0,95   | 0,87     | 0,87   | 0,89     | 0,81   | 0,91     | 0,75   | 0,92     | 0,71   |
| DC-8-63F                | 0,78   | 0,95   | 0,79     | 0,87   | 0,80     | 0,81   | 0,81     | 0,74   | 0,82     | 0,71   |
| Boeing 747              | 0,70   | 0,97   | 0,70     | 0,88   | 0,705    | 0,82   | 0,71     | 0,75   | 0,71     | 0,72   |
| DC-10-10                | 0,78   | 0,96   | 0,79     | 0,88   | 0,80     | 0,82   | 0,81     | 0,75   | 0,82     | 0,72   |
| DC-10-30                | 0,78   | 0,96   | 0,79     | 0,87   | 0,80     | 0,82   | 0,81     | 0,75   | 0,82     | 0,72   |
| LC-1011                 | 0,78   | 0,96   | 0,79     | 0,88   | 0,80     | 0,82   | 0,81     | 0,75   | 0,82     | 0,72   |
| Concorde                | 0,78   | 0,94   | 0,79     | 0,86   | 0,80     | 0,80   | 0,81     | 0,74   | 0,82     | 0,71   |

TABLA 2-1. FACTORES DE TRANSITO PARA PASAJEROS FLEXIBLES Y RIGIDOS.

| Aeronave                | Área de contacto del neumático |                       | Núm. total de ruedas del tren principal | Aeronave        | Área de contacto del neumático |                       | Núm. total de ruedas del tren principal |
|-------------------------|--------------------------------|-----------------------|---|-----------------|--------------------------------|-----------------------|---|
|                         | (cm <sup>2</sup> )             | (pulg. <sup>2</sup> ) |   |                 | (cm <sup>2</sup> )             | (pulg. <sup>2</sup> ) |   |
| 30 kips rueda simple    | 1 226                          | 190                   | 2                                       | 100 kips bogies | 645                            | 100                   | 8                                       |
| 45 kips rueda simple    | 1 548                          | 240                   | 2                                       | 150 kips bogies | 839                            | 130                   | 8                                       |
| 60 kips rueda simple    | 1 741                          | 270                   | 2                                       | 200 kips bogies | 968                            | 150                   | 8                                       |
| 75 kips rueda simple    | 1 935                          | 300                   | 2                                       | 300 kips bogies | 1 290                          | 200                   | 8                                       |
| 50 kips ruedas gemelas  | 968                            | 150                   | 4                                       | 400 kips bogies | 1 548                          | 240                   | 8                                       |
| 75 kips ruedas gemelas  | 1 032                          | 160                   | 4                                       | Boeing 727      | 1 355                          | 210                   | 4                                       |
| 100 kips ruedas gemelas | 1 097                          | 170                   | 4                                       | DC-8-63F        | 1 419                          | 220                   | 8                                       |
| 150 kips ruedas gemelas | 1 419                          | 220                   | 4                                       | Boeing 747      | 1 316                          | 204                   | 16                                      |
| 200 kips ruedas gemelas | 1 677                          | 260                   | 4                                       | Boeing 747 STR  | 1 580                          | 245                   | 16                                      |
|                         |                                |                       |   | DC-10-10        | 1 897                          | 294                   | 8                                       |
|                         |                                |                       |   | DC-10-3         | 2 135                          | 331                   | 10,0                                    |
|                         |                                |                       |   | LC-1011         | 1 619                          | 262                   | 8                                       |
|                         |                                |                       |   | Concorde        | 1 593                          | 247                   | 8                                       |

Tabla 2-2. Áreas de contacto de neumático de aeronaves y número total de ruedas del tren principal.

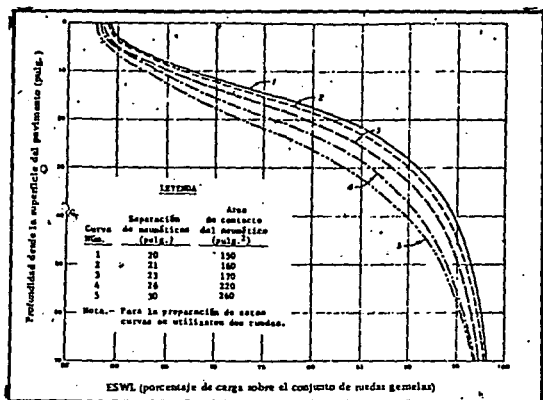


Figura 2-19. Curvas de ESWL para aeronaves de ruedas gemelas, sobre pavimento flexible.

- B) la carga bruta, admisible, de aeronave, para el pavimento que se evalúa y para el volumen de tránsito elegido, se obtiene luego de la fórmula:

$$\text{Carga bruta, admisible de aeronave} = \frac{\text{ESWL}}{\% \text{ ESWL}} \times \frac{1}{W_c} \times \frac{W_m}{0.95}$$

en donde:

ESWL = carga equivalente de rueda simple (determinada en el inciso 6)

% ESWL = carga equivalente de rueda simple en porcentaje (determinada en el inciso 7)

$W_c$  = número de ruedas reguladoras usado para determinar el porcentaje de ESWL de las figuras 2-18, 2-19 o 2-20.

$W_m$  = número total de ruedas de todas las piernas principales de la aeronave (véase tabla 2-2), para las que se efectúa la evaluación (no incluye las ruedas de la pierna de proa).

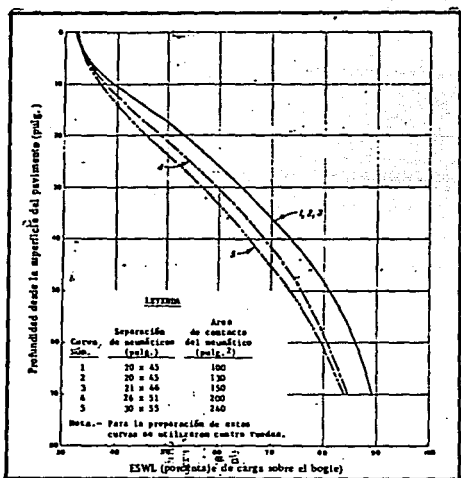


Figura 2-19. Curvas ESWL para aeronaves equipadas con bogie, sobre pavimento flexible.

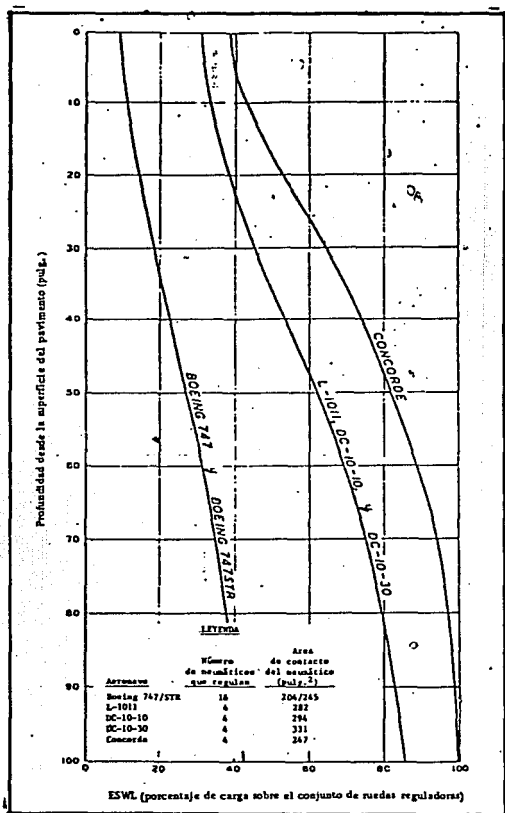


FIGURA 2-20. CURVAS DE ESWL PARA VARIOS AVIONES DE REACCION, SOBRE PAVIMENTO FLEXIBLE.

**2.11. DETERMINACION DE LA RESISTENCIA DE LOS PAVIMENTOS, MEDIANTE EL METODO NUMERO DE CLASIFICACION DE AERONAVE - NUMERO DE CLASIFICACION DE PAVIMENTO ( ACN - PCN ).**

Se determinará la resistencia de un pavimento destinado a las aeronaves de masa en plataforma (rampa) superior a 5,700 kg mediante el método del Número de Clasificación de Aeronaves - Número de clasificación de pavimentos (ACN-PCN), notificando la siguiente información:

- a) el número de clasificación de pavimento (PCN).
- b) el tipo de pavimento (rígido o flexible) para determinar el valor ACN-PCN.
- c) la categoría del terreno de cimentación.
- d) la presión máxima permisible de los neumáticos.
- e) la base de la evaluación (técnica o empírica).

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

|   |       |
|---|-------|
| a) Tipo de pavimento                                      | Clave |
| Rígido  | R     |
| Flexible  | F     |
| b) Resistencia del terreno de cimentación (véase 2.4.1.). |       |
| Resistencia alta  | A     |
| Resistencia mediana                                       | B     |
| Resistencia baja  | C     |
| Resistencia ultra baja                                    | D     |
| c) Presión máxima permisible de los neumáticos.           |       |
| Alta- sin límite de presión                               | W     |
| Mediana- presión limitada a 1.5 MP <sub>a</sub>           | X     |
| Baja- presión limitada a 1.0 MP <sub>a</sub>              | Y     |
| Muy baja- presión limitada a 0.5 MP <sub>a</sub>          | Z     |



## d) Método de evaluación:

Clave

Evaluación técnica.- Consiste en un estudio específico de las características de los pavimentos y en la aplicación de tecnología para determinar el comportamiento del pavimento.

T

Evaluación empírica.- Comprende el conocimiento del tipo y masa específicos de las aeronaves que los pavimentos resisten satisfactoriamente en condiciones normales de empleo.

U

## Ejemplo:

Se ha evaluado técnicamente que la resistencia de un pavimento rígido apoyado en un terrazo de cimentación de resistencia mediana es de 80 PCN y no hay límite de presión de los neumáticos, la información notificada sería:

$$PCN = 80/R/B/W/T$$

Para facilitar la debida comprensión y utilización del método - ACN-PCN, a continuación se explica:

- a) el concepto del método.
- b) como se determina el ACN de una aeronave.

## 2.11.1. CONCEPTO DEL METODO ACN-PCN.

ACN: Cifra que indica el efecto relativo de una aeronave -- sobre un pavimento para determinada resistencia normalizada del terreno de cimentación.

PCN: Cifra que indica la resistencia de un pavimento, para utilizarlo sin restricciones.

Según el método, la resistencia de un pavimento se notifica en función de la clasificación por carga de las aeronaves que el pavimento puede aceptar sin restricciones.

Las autoridades aeronáuticas pueden utilizar el método que deseen para determinar la carga de los pavimentos. Si, a falta de una evaluación técnica, se opta por continuar basándose en la experiencia adquirida con las aeronaves, deberá calcularse el ACN de la aeronave más crítica, convertir esta cifra en un PCN equivalente y publicarla en las publicaciones de información aeronáutica (AIP) como la clasificación por carga de su pavimento. 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 presión de neumáticos.

El método ACN-PCN prevé la notificación de resistencias de los pavimentos siguiendo una escala continua. El extremo inferior de la escala es cero y no existe límite superior. La misma escala se utiliza, además, para clasificar tanto las aeronaves como pavimentos en función de las cargas.

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, a saber: la masa máxima en la plataforma y una masa representativa de operación en vacío, tanto sobre pavimentos rígidos como flexibles y para cuatro categorías normalizadas de resistencia del terreno de cimentación.

#### 2.11.2. PROCEDIMIENTO GRAFICO PARA DETERMINAR EL ACN.

**Pavimentos rígidos.**- En este procedimiento se utiliza el gráfico de conversión que se muestra en la figura 2-21 y los gráficos de espesor del pavimento requerido que proporcionan los fabricantes de las aeronaves. En esta figura se vincula la carga derivada de rueda simple, a una presión constante de los neumáticos de  $1.25 \text{ MP}_a$  con un espesor del pavimento utilizado como referencia. Toma en cuenta los valores de  $k$  normalizados del terreno de cimentación que se han detallado anteriormente, un esfuerzo normalizado sobre el concreto de  $2.75 \text{ MP}_a$ . La figura incluye asimismo una línea de ACN que permite leer directamente el ACN. Para determinar el ACN de una aeronave se procede de la siguiente manera:

- a) Utilizando el gráfico de pavimento requerido publicado -- por el fabricante, obténgase el espesor de referencia para la masa dada de la aeronave, el valor  $k$  del terreno de cimentación y el esfuerzo normalizado del concreto para la notificación, o sea,  $2.75 \text{ MP}_a$ .
- b) Mediante el espesor de referencia mencionado y la figura 2-21, obténgase la carga derivada de rueda simple (DSWL) - para el terreno de cimentación seleccionado.
- c) El número de clasificación de la aeronave, para los valores seleccionados de masa y  $k$  del terreno de cimentación, es el doble de la carga derivada de rueda simple de 1000 kg. Obsérvese que también puede leerse directamente el ACN a partir del gráfico.

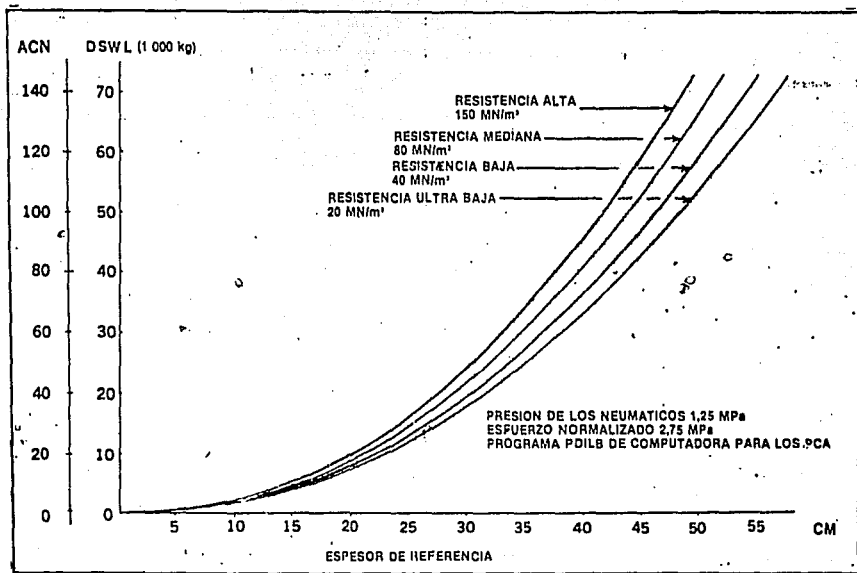


FIGURA 2-21 ESPESOR DE REFERENCIA .

Pavimentos flexibles.- En este procedimiento se utiliza el -- gráfico de conversión que se muestra en la figura 2-22 y los --- gráficos de espesor de pavimento requerido publicados por los -- fabricantes, en base al procedimiento VRS del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de E.U. Se ha elaborado el gráfico de la figura 2-22, utilizando la siguiente expresión:

$$t = \sqrt{\frac{DSWL}{C_1 VRS} - \frac{DSWL}{C_2 P_s}}$$

en donde:

- t = espesor de referencia en cm  
 DSWL = carga de rueda simple con 1.25 MP<sub>a</sub> de presión de neumáticos  
 P<sub>s</sub> = 1.25 MP<sub>a</sub>  
 VRS = valor relativo de soporte del terreno de cimentación normalizado (Observese que el gráfico emplea cuatro valores normalizados: 3,6,10 y 15)  
 C<sub>1</sub> = 0.5695  
 C<sub>2</sub> = 32.035

Estos últimos factores (C<sub>1</sub> y C<sub>2</sub>) se emplean para obtener la equivalencia entre el efecto del grupo de ruedas del tren de aterrizaje y una carga derivada de rueda simple mediante los coeficientes de deformación de Boussinesq. Para determinar el ACN de una aeronave se siguen los siguientes pasos:

- Utilizando el gráfico de pavimento requerido publicado por el fabricante, determinese el espesor de referencia para la masa de la aeronave y el tipo de terreno de cimentación dado y 10,000 coverteduras.
- Búsquense en la figura 2-22 el espesor de referencia determinado en el inciso anterior y el VRS correspondiente a la categoría del terreno de cimentación y léase la carga derivada de rueda simple.
- El ACN para la masa y la categoría del terreno de cimentación seleccionado es el doble de la carga derivada de rueda simple de 1000 kg. Obsérvese que el ACN puede leerse directamente a partir del gráfico.

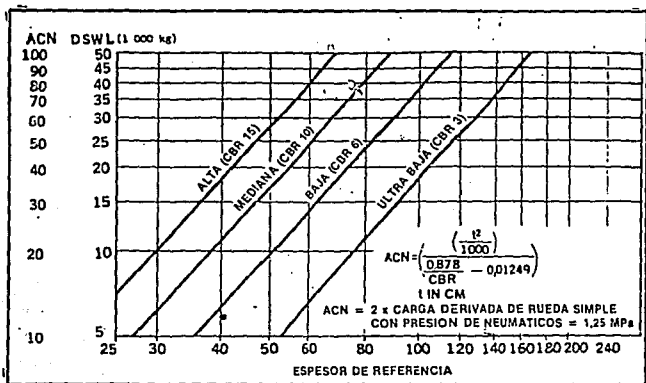


Figura 2-22. Gráfico de conversión del ACN para pavimentos flexibles.

## 2.11.3. DETERMINACION DEL PCN.

La determinación del PCN es una operación larga y complicada. Los cálculos comprenden las etapas sucesivas siguientes:

- 1) Establecer una lista de aeronaves que utilizan o es probable que utilicen el pavimento que se estudia.
- 2) Cálculo con ayuda del método inverso de la carga admisible ( $P_0$ ) de las diferentes aeronaves en términos de las características del terreno de cimentación.
- 3) Cálculo del ACN para cada categoría del terreno típico, que corresponde a la carga  $P_0$ . Posteriormente, en cada categoría se considera el PCN incluido entre los valores ACN máximo y mínimo obtenidos. El PCN se expresa mediante dos cifras significativas.
- 4) Búsqueda entre los pares (categoría del terreno, PCN) del valor que producirán las cargas  $P_0$  admisible que sean más próximas a  $P_0$ .

La clave de cuatro letras que sigue al PCN, se selecciona del mismo modo en que se hizo para el ACN.

Utilización de los valores publicados.

## a) Determinación de las cargas admisibles:

En el método ACN-PCN, la carga admisible  $P_0$  de una aeronave se calcula en base al PCN publicado por los fabricantes de las aeronaves, mediante la relación:

$$P_0 = m + (M-m) \cdot \frac{PCN - ACN \text{ mín}}{ACN \text{ máx} - ACN \text{ mín}}$$

ACN máx : Valor ACN correspondiente a la masa máxima

ACN mín : Valor ACN correspondiente a la masa mínima  
( masa de operación en vacío)

m : Peso en vacío de la aeronave

M : Peso máximo de la aeronave (de despegue)

## b) Uso de las cargas admisibles:

- si la carga real  $P$  fuera inferior a la carga admisible  $P_0$ , no se dará restricción alguna (carga, número de movimientos) para la aeronave que se estudia, dentro del límite general de fatiga del pavimento.
- si la carga real  $P$  fuera superior a la carga admisible  $P_0$ , debe llevarse a cabo un estudio especial que puede presentar los siguientes resultados para la aeronave en cuestión:
  - sin restricciones
  - operación limitada (en lo que respecta a la masa o al número de operaciones)
  - prohibición de acceso.

## Ejemplo:

Determinación del PCN de una pista de pavimento flexible con las características siguientes:

Espesor equivalente total del pavimento  $e = 70$  cm  
 VRS del terreno de cimentación  $B_0$   
 La pista recibe tráfico consistente en su mayoría en: B-727-200, Airbus A-300 B2 y B-747-100.

## Solución:

## Etapa 1.

El terreno de cimentación puede clasificarse en la categoría B (resistencia mediana) y también en la categoría C (resistencia -- baja). Estas dos categorías las someteremos a prueba.

## Etapa 2.

Características generales de las aeronaves (proporcionadas por el fabricante).



|   | A- 300 B2 | B-727-200<br>(estandar) | B-747-100 |
|---|-----------|-------------------------|-----------|
| Peso máximo<br>( de despegue )  | 142 Tn    | 84 Tn                   | 329 Tn    |
| Porcentaje del peso<br>máximo, sobre cada -<br>pierna del tren de<br>aterriaje principal. | 46.5 %    | 46.4 %                  | 23.125 %  |
| Peso sobre cada pier-<br>na del tren de ate-<br>rriaje principal.                         | 66 Tn     | 39 Tn                   | 76 Tn     |
| Peso en vacío.  | 85.69 Tn  | 44.29 Tn                | 162.7 Tn  |
| ACN máximo  | 45        | 43                      | 50        |
| ACN mínimo  | 23        | 22                      | 20        |
|   |           |                         |           |

## Etapa 3.

Cálculo del ACN correspondiente a la carga admisible determi-  
nada para cada aeronave.

## Categoría B.

$$A-300 B2 \quad \text{ACN} = 23 + (45 - 23) \times \frac{142,000 - 85,690}{142,000 - 85,690} = 45$$

$$B-727-200 \text{ (estandar)} \quad \text{ACN} = 22 + (43 - 22) \times \frac{84,000 - 44,293}{78,471 - 44,293} = 46$$

$$B-747-100 \quad \text{ACN} = 20 + (50 - 20) \times \frac{329,000 - 162,703}{334,751 - 162,703} = 49$$

## Categoría C.

|                      |                       |  |
|----------------------|-----------------------|--|
| A-300 82             | ACN= 26 + (55 - 26) : | $\frac{142,000 - 85,690}{142,000 - 85,690} = 55$   |
| B-727-200 (estandar) | ACN= 24 + (49 - 24) : | $\frac{84,000 - 44,293}{78,471 - 44,293} = 53$     |
| B-747-100            | ACN= 22 + (60 - 22) : | $\frac{329,000 - 162,703}{334,751 - 162,703} = 59$ |

## Etapa 4.

El valor PCN que debe determinarse oscila entre 45 y 49 si se adopta la categoría B y entre 53 y 59 en el caso de la categoría C. Ahora bien, cabe observar que el B-727 es aceptable en ambos casos con una carga superior al peso total máximo de despegue. Por lo que respecta al A-300 82 y al B-747-100 exclusivamente, la elección queda limitada dentro del margen de 55 a 59 para la categoría C.

## Etapa 5.

Se hace la selección final entre los valores medios PCN = 47 y PCN = 57, obtenidos de las categorías B y C respectivamente.

|             | Carga admisible<br>deducida del PCN | Carga admisible<br>verdadera | Diferencia |
|-------------|-------------------------------------|------------------------------|------------|
| Categoría B | A-300 82: 147.2 Tn                  | 142 Tn                       | 5.2        |
| PCN = 47    | B-747-100: 317.5 Tn                 | 329 Tn                       | 11.5       |
| Categoría C | A-300 82: 145.8 Tn                  | 142 Tn                       | 3.8        |
| PCN = 57    | B-747-100: 321.2 Tn                 | 329 Tn                       | 7.8        |

La diferencia entre las cargas admisibles calculadas por --- medio de las dos categorías es inferior en la segunda.

## Etapa 6.

Publicación.

PCN 57 F/C/W/T

## 2.12. PRACTICA DE CANADA PARA LA EVALUACION DE PAVIMENTOS.

## 2.12.1. ESPESORES DEL PAVIMENTO Y ESPESOR GRANULAR EQUIVALENTE.

La evaluación de las estructuras del pavimento para las cargas de las aeronaves requiere información precisa sobre el espesor de las capas dentro de la estructura y las propiedades físicas de los materiales que forman estas capas. Se lleva a cabo un estudio, practicando perforaciones, para determinar esta información, cuando no se dispusiera de la misma en los registros de la construcción. Espesor granular equivalente es un término que se aplica a las estructuras de pavimentos flexibles y forma la base para comparar pavimentos contruidos con espesores diferentes de materiales que tienen características diferentes de distribución de cargas. El espesor granular equivalente se calcula utilizando los factores de equivalencia granular para los materiales de construcción de pavimentos que aparecen en la tabla 2-3. El factor de equivalencia granular de un material es la profundidad de base granular en centímetros, que se considera equivalente a un centímetro del material a base de las características de distribución de la carga. Los valores que se indican en la tabla 2-3 son prudentes y los factores reales de equivalencia granular son normalmente superiores a los valores de esta lista. Para determinar el espesor granular equivalente de la estructura de los pavimentos flexibles, el espesor de cada capa de estructura se multiplica por el factor de equivalencia granular para el material de la capa. El espesor granular equivalente del pavimento es la suma de estos espesores de capa convertidos.

Tabla 2-3. Factores de equivalencia granular.

| Material del pavimento.                            | Factor de equivalencia granular. |
|--|----------------------------------|
| Cimiento granular seleccionado                     | 1.0                              |
| Grava machacada o firme de piedra                  | 1.0                              |
| Firme de macadam ligado con agua                   | 1.5                              |
| Firme estabilizado asfáltico                       | 1.5                              |
| Firme estabilizado de cemento                      | 2.0                              |
| Concreto asfáltico (en buen estado)                | 2.0                              |
| Concreto asfáltico (en mal estado)                 | 1.5                              |
| Concreto de cemento Portland (en buen estado)      | 3.0                              |
| Concreto de cemento Portland (en estado aceptable) | 2.5                              |

### 2.12.2. MEDICIONES DE LA RESISTENCIA DE LOS PAVIMENTOS.

La práctica de Transport Canada consiste en llevar a cabo mediciones de resistencias en las superficies de los pavimentos flexibles. El ensayo no se lleva a cabo antes de dos años por lo menos después de la construcción, a fin de permitir que la humedad del terreno de cimentación alcance un estado de equilibrio. Normalmente no se mide la resistencia de los pavimentos rígidos, ya que las resistencias --- calculadas a base del espesor de la losa y el módulo de resistencia estimado, se consideran como suficientemente precisas. La medida estándar de la resistencia es la carga en Kilonewtons que producirá una deflexión de 12.5 mm después de 10 repeticiones de carga, aplicando esta carga a través de una placa circular de 762 mm de diámetro. Esta determinación tiene validez tanto para la resistencia del terreno de cimentación como para las mediciones llevadas a cabo en la superficie de un pavimento flexible. En la práctica, se emplean varios métodos de ensayo para medir la resistencia. Estos métodos comprenden tanto los procedimientos de ensayo con placa de carga repetitivos como no repetitivos, en los cuales pueden utilizarse placas de diferente tamaño. Los procedimientos de ensayo de viga Penkelman pueden utilizarse en lugar del ensayo con viga sobre placa, en pequeños aeropuertos --- destinados únicamente a aeronaves ligeras.

### 2.12.3. RESISTENCIA DEL TERRENO DE CIMENTACION.

Si se ha efectuado una medición de resistencia en la superficie de un pavimento flexible y se conoce el espesor granular equivalente de la estructura del pavimento, la resistencia del terreno de cimentación en ese emplazamiento puede estimarse a partir de la figura 2-23. La resistencia del terreno de cimentación varía de un emplazamiento a otro en la zona del pavimento. En los pavimentos sometidos a la penetración de la helada en invierno, la variación ocurre simultáneamente con la estación del año, alcanzándose los valores más bajos --- durante el período de deshielo de primavera. La resistencia del terreno de cimentación que se utiliza para identificar una zona del pavimento es el 75 percentil inferior; valor reducido de primavera. --

El valor del 75 percentil de varias mediciones de resistencia, efectuadas en una zona del pavimento, es el valor para el cual el 75% de las mediciones son mayores en magnitud. Esto se calcula como:

$$(x - 0.675) / s \quad \text{donde,}$$

X: Es el promedio de las mediciones efectuadas.

s: Desviación estándar

En el caso de pavimentos sometidos a la penetración de la helada, en invierno, se estiman las condiciones de deshielo de primavera aplicando un factor de reducción al 75 percentil de las resistencias del terreno de cimentación, calculado a partir de las mediciones de verano y otoño. El factor de reducción aplicado depende de la graduación del terreno de cimentación, como se indica en la figura 2-74; en la tabla 2-4 figuran factores de reducción de primavera típicos a base de la clasificación de los suelos. Cuando la capa de agua subterránea se encuentre dentro de 1m de la superficie del pavimento, los factores de reducción de primavera que figuran en la tabla 2-4 se aumentan en 10 para cada tipo de suelo. Las resistencias del terreno de cimentación se establecen normalmente en los aeropuertos actuales mediante programas de medición de la resistencia. Los valores de resistencia del terreno de cimentación calculados a partir de las mediciones se utilizan al proyectar nuevas instalaciones de pavimentos en el aeropuerto, siempre que las condiciones del terreno de cimentación sean similares en todo el lugar. Al proyectar o evaluar pavimentos de un aeropuerto en que no se hayan efectuado mediciones de la resistencia se selecciona a partir de la tabla 2-4 el valor de resistencia del terreno de cimentación, a base de la clasificación de ese terreno.

| Tipo de terreno de cimentación | Reducción usual en primavera (%) | Resistencia del terreno de cimentación (kN). |                  |           |
|--------------------------------|----------------------------------|--|------------------|-----------|
|                                |                                  | Gama de otoño                                | Valor de cálculo |           |
|                                |                                  |  | Otoño            | Primavera |
| GJ- grava bien graduada        | 0                                | 290-400                                      | 290              | 290       |
| GP- grava mal graduada         | 10                               | 180-335                                      | 220              | 200       |
| GR- grava con finos barrozos   | 25                               | 135-335                                      | 180              | 135       |
| GC- grava con finos arcillosos | 25                               | 110-245                                      | 145              | 110       |
| SJ- arena bien graduada        | 10                               | 135-335                                      | 180              | 160       |
| SP- arena mal graduada         | 20                               | 110-200                                      | 135              | 110       |
| SM- arena con finos barrozos   | 45                               | 95-190                                       | 120              | 65        |
| SC- arena con finos arcillosos | 25                               | 65-155                                       | 65               | 65        |
| ML- barro con bajo límite liq. | 50                               | 90-180                                       | 110              | 55        |
| CL- arcilla con bajo lím. liq. | 25                               | 65-135                                       | 85               | 65        |
| MH- barro con alto límite liq. | 50                               | 25- 90                                       | 40               | 20        |
| CH- arcilla con alto lím. liq. | 45                               | 25-90  | 55               | 30        |

Tabla 2-4. Resistencias típicas del terreno de cimentación.

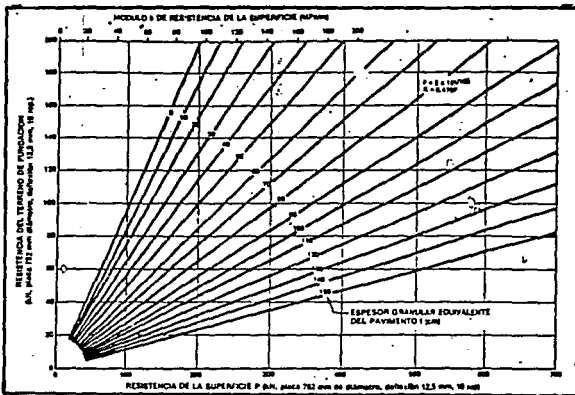


Figura 2-23. Resistencia de la superficie y módulo de resistencia como función de la resistencia del terreno de cimentación y espesor granular equivalente del pavimento.

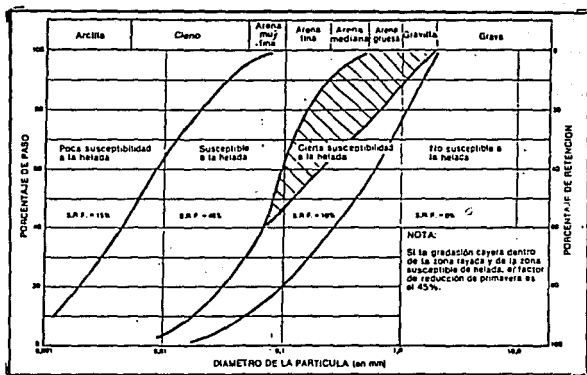


Figura 2-24. Susceptibilidad del terreno de cimentación a la helada y factor de reducción de primavera (SRF).

#### 2.12.4. MÓDULO DE RESISTENCIA DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS.

El módulo de resistencia se basa en la carga que producirá una deflexión de 1.25 mm cuando se aplique la carga a través de una placa circular rígida de 762 mm de diámetro. Esta carga se divide entonces por el desplazamiento volumétrico de la placa durante la deflexión ( $0,57 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ ) para calcular el módulo de resistencia en unidades megapascales por metro. El módulo de resistencia de los pavimentos rígidos es el módulo de resistencia de la superficie del firme (base más subbase) sobre el cual se apoya la losa de concreto. No es frecuente medirlo directamente para el proyecto de pavimentos ni para fines de evaluación. En cambio, el módulo de resistencia en la parte superior del firme se estima según la figura 2-23 a base de la resistencia del terreno de cimentación, del espesor granular equivalente de las capas de cimentación y de las capas de base y subbase que se encuentran entre el terreno de cimentación y la losa de concreto.

#### 2.12.5. NOTIFICACION DE LA RESISTENCIA DEL PAVIMENTO.

Los dos parámetros que rigen la resistencia de un pavimento flexible son el espesor granular equivalente del pavimento ( $t$ ) y la resistencia del terreno de cimentación. La resistencia del pavimento se notifica en términos del coeficiente de carga del mismo, que se determina con ayuda de la figura 2-25, utilizando como coordenadas los valores del pavimento ( $t$ ) y ( $s$ ).

El coeficiente de carga notificado para el pavimento es el valor numérico de la carga del tren típico, cuya curva de cálculo se encuentra por sobre de este punto. Los dos parámetros que rigen la resistencia de un pavimento rígido son: el módulo de resistencia ( $k$ ) y el espesor de la losa de concreto ( $h$ ). Estos valores se grafican en la figura 2-26 para determinar el coeficiente de carga de los pavimentos rígidos de un modo similar al de los pavimentos flexibles. Puede aplicarse una restricción en cuanto a la presión de los neumáticos en los pavimentos flexibles. La restricción que se aplica es la presión de los neumáticos para la cual el asfalto del pavimento y los espesores de base y subbase cumplirán con los requisitos de cálculo, como se indica en la tabla 2-5.



Tabla 2-5. Espesores de cálculo de las capas del pavimento  
(en cm)

| Capa del pavimento.                         | Presión del neumático de cálculo (MPa)  |              |              |             |
|---|---|--------------|--------------|-------------|
|   | Inferior a 0.4  | de 0.4 a 0.7 | de 0.7 a 1.0 | Mayor a 1.0 |
| Concreto asfáltico.                         | 5.0   | 6.5          | 9.0          | 10.5        |
| Base de grava machacada o piedra machacada. | 15.0  | 23.0         | 23.0         | 30.0        |
| Capa de cimentación granulada seleccionada. | En la medida de lo necesario para otorgar el espesor total requerido del pavimento. |              |              |             |

El espesor de las capas que componen el pavimento dependerá de las presiones de los neumáticos que han de tenerse en cuenta, como se establece en la tabla 2-5.

No se aplica restricción alguna en cuanto a la presión de los neumáticos en pavimentos de concreto. Las aeronaves que posean un coeficiente de carga (ALR) y una presión de neumáticos igual o inferior a los valores notificados para una estructura de pavimento, están autorizados para operar en ese pavimento sin restricción alguna. En el caso de operaciones propuestas para una aeronave de coeficiente de carga o una presión de neumáticos que exceda los valores notificados, se deberá consultar con la autoridad aeroportuaria pertinente para una evaluación técnica y administrativa.

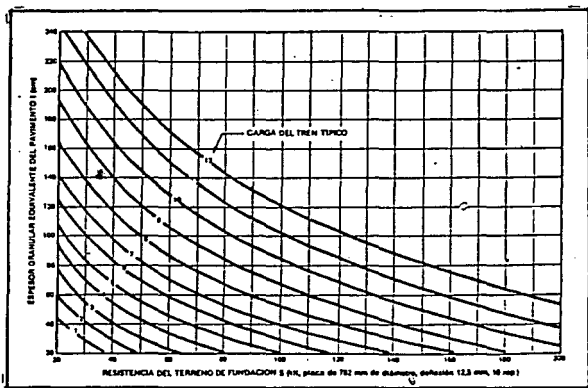


Figura 2-25. Curvas de cálculo de pavimento flexible para cargas de tren típico.

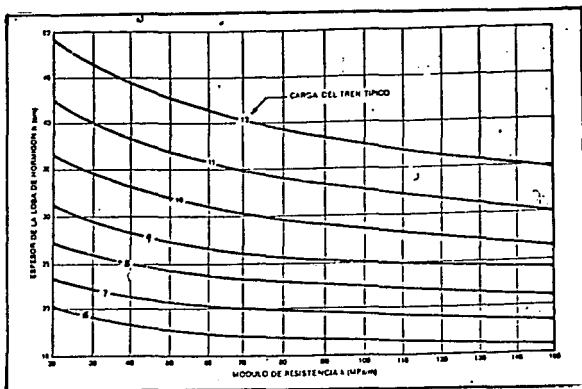


Figura 2-26. Curvas de cálculo de pavimento rígido para cargas de tren típico.

## 2.13. PRACTICA DE FRANCIA PARA LA EVALUACION DE PAVIMENTOS.

### 2.12.1. GENERALIDADES.

La evaluación de los pavimentos actuales es un elemento indispensable para asegurar la utilización eficaz de sus posibilidades. Cumple con tres objetivos principales, que son:

- a) Determinar el momento en que deben emplearse las obras de mantenimiento, o bien trabajos más amplios.
- 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.
- c) Determinar en cualquier momento que tipo de aeronave puede utilizar un pavimento dado, su masa y su frecuencia de movimientos.

En la evaluación del pavimento es preciso tener en cuenta tanto las características estructurales como funcionales de los pavimentos. Las características estructurales del conjunto del pavimento y del terreno de cimentación determinan su resistencia, sea su capacidad para resistir las cargas impuestas por las aeronaves, sin detrimento de la integridad estructural durante una vida útil. Las características funcionales afectan el estado de la superficie del pavimento y el modo en que el pavimento puede ser utilizado por las aeronaves en condiciones de seguridad. Estas características son:

- a) Calidad del perfil longitudinal y, en particular, la uniformidad que determina el grado de vibraciones producidas por la aeronave durante el rodaje.
- b) Fricción superficial, que determina el grado de mando direccional y de frenado de la aeronave.
- c) Calidad de la superficie (descarado o desintegración, rotura del asfalto, etc.), ya que estos efectos pueden dañar a la aeronave (ingestión de piedrecitas en los reactores, reventones de los neumáticos, etc.).

Por otro lado, las características estructurales y funcionales no son independientes; en consecuencia, el estado de la superficie puede revelar los posibles defectos de la estructura y, a la inversa, una estructura no apta para el tráfico causa deterioros en la superficie.

La evaluación de pavimentos es un procedimiento complejo que exige una síntesis por parte de un equipo de especialistas, de los elementos siguientes:

- a) Datos sobre el cálculo del pavimento y del terreno de cimentación y también de las posibles tareas ulteriores (mantenimiento, refuerzo, etc.)
- b) Datos climatológicos (hidrología, aguas subterráneas, helada, etc.)
- c) Inspecciones visuales del estado del pavimento, vigilancia del deterioro y examen del drenaje.
- d) Varias mediciones que permiten determinar ciertos parámetros relacionados con las características del pavimento (uniformidad, resistencia, etc.).
- e) Medición del espesor y evaluación cualitativa de las capas del pavimento y de las características del terreno de cimentación.

En los parámetros siguientes se trata únicamente de la evaluación de la resistencia del pavimento. El objeto de esta evaluación consiste en asignar los siguientes parámetros estructurales representativos a un pavimento existente para representar su resistencia actual, que puede aplicarse directamente para determinar la carga admisible y los refuerzos que se requieran:

- a) El VRS del terreno de cimentación y el espesor equivalente total de un pavimento flexible
- b) El módulo de reacción del terreno de cimentación ( $k$ ), el espesor de la losa de concreto y la tensión de flexión admisible del concreto en caso de pavimentos rígidos.

Para determinar estos parámetros pueden utilizarse dos métodos:

- a) Siguiendo un procedimiento que es la inversión exacta del procedimiento de cálculo (método de cálculo inverso).
- b) Mediante ensayos no destructivos con placa de carga en la superficie del pavimento, que indica la carga real admisible en caso de una pata de rueda simple.

En la práctica, la evaluación de la resistencia del pavimento debe efectuarse mediante una síntesis de los resultados de estos dos métodos complementarios.

#### 2.13.2. METODO DE CALCULO INVERSO.

El objeto de este método de cálculo consiste en determinar una estructura de pavimento que pueda soportar un tráfico dado durante una cierta vida útil, siempre que puedan llevarse a cabo trabajos normales de mantenimiento. A la inversa una vez conocidas las características del terreno de cimentación y de la estructura del pavimento, este método permite determinar el tráfico que puede aceptarse durante un tiempo dado. Lo dicho representa una base de evaluación de la resistencia por medio del cálculo inverso. Sin embargo, se encuentran considerables dificultades si se utiliza este método por sí solo para determinar parámetros estructurales que deben tenerse en cuenta para evaluarse un pavimento actual y su terreno de cimentación. Asimismo, si se dispusiera de los registros de la construcción del pavimento, de todo trabajo de mantenimiento y de refuerzo llevado a cabo en el pasado y también de registros de tránsito habido, este método exige muchas perforaciones de prueba y ensayos del pavimento. Más aún, siempre quedará cierta incertidumbre en lo relativo a los resultados, debido a la dificultad de evaluar ciertos parámetros (coeficientes de equivalencia de las capas en un pavimento flexible, transferencia de cargas entre las losas de concreto, etc.).

El método de cálculo inverso sólo puede utilizarse para un pavimento correctamente constituido (en el caso de los pavimentos flexibles, las capas deben ser de calidad que vayan aumentando desde la parte inferior hasta la parte superior, y han de tener cierta adherencia).

### 2.13.3. ENSAYOS DE PLACA NO DESTRUCTIVOS.

Los ensayos no destructivos efectuados sobre placas, interpretados por especialistas calificados, pueden proporcionar directamente la carga admisible para una rueda simple en un gran número de puntos de un pavimento flexible y la carga admisible en las esquinas de las losas en el caso de un pavimento rígido. Estos ensayos son insuficientes para determinar la carga admisible de las aeronaves con trenes de aterrizaje de ruedas múltiples o para servir como base para proyectar un refuerzo, en cuyo caso se ha de adoptar el método de cálculo inverso. Con todo, los ensayos de placa reducen considerablemente el número de ensayos destructivos necesarios con el propósito de aplicar una verificación fiable en el caso de pavimentos flexibles y de permitir elevar la capacidad de transferencia de carga en el caso de pavimentos rígidos, como se explica en el párrafo siguiente.

Programa de ensayo para evaluar la resistencia. La importancia del equipo requerido depende del objetivo que se persiga y de los datos que se tengan del pavimento en cuestión.

- a) Si el pavimento fuera viejo y no se conocieran mucho sus características, deberá utilizarse todo el equipo que se considere necesario, incluso se recomiendan ensayos destructivos para conocer con certeza las condiciones que presenta el pavimento.
- b) Si el pavimento fuera reciente y se dispusiera de registros suficientes o al pavimento hubiera sido objeto de una evaluación amplia del tipo que se describió anteriormente y sólo hubiera que determinar las modificaciones en cuanto a resistencia, por lo general es suficiente efectuar ensayos no destructivos sobre placa. Esto rige también para un pavimento que haya sido objeto de una evaluación completa después de las tareas de refuerzo, en cuyo caso basta con verificar los resultados de dichos trabajos.

#### 2.13.4. DETERMINACION DE ZONAS HOMOGENEAS.

La primera fase del estudio persigue el propósito de determinar las zonas cuyas estructuras y estados son idénticos y de determinar su homogeneidad con el propósito de reducir el número de los demás ensayos necesarios para determinar la estructura del pavimento. Para completar la información disponible de los registros, debe llevarse a cabo en primer lugar una inspección visual detallada del pavimento, inclusive un estudio y una clasificación de su deterioro e igualmente la inspección del sistema de drenaje.

Finalmente, se lleva a cabo un número relativamente grande de ensayos no destructivos sobre placa (de 80 a 100), que no solo permiten evaluar la homogeneidad del comportamiento del pavimento, sino también evaluar la carga admisible para una rueda simple en cada uno de esos puntos.

Una vez determinada la carga admisible  $P_0$  para cada zona homogénea, deben efectuarse uno o varios sondeos para evaluar cada zona. -- estos sondeos se llevan a cabo en uno o en varios puntos en los cuales se realizarán ensayos de placa produciendo el resultado  $P_i$  -- próximo a la carga admisible  $P_0$  adoptada para esa zona. También se efectuarán algunos sondeos ocasionales en puntos específicos (por ejemplo, allí donde la carga visible  $P_i$  es particularmente baja). -- Como orden de magnitud, un total de 6 a 12 sondeos de prueba generalmente son suficientes, para un aeropuerto de tamaño mediano, lo cual depende de la homogeneidad de los pavimentos que se estudian. Estos sondeos deben abarcar un área de  $1.5 \text{ m}^2$  aproximadamente, y se llevan a cabo:

- a) Para determinar la estructura del pavimento, particularmente el espesor de las capas y para verificar la calidad de los materiales encontrados, si fuera necesario en el laboratorio.
- b) Para llevar a cabo ensayos VRS in situ o bien ensayos del módulo de reacción  $k$  del terreno de cimentación cuando sea posible.
- c) Para medir el contenido de humedad y la densidad en seco del terreno de cimentación y terracerías, y para tomar muestras intactas o tratadas para análisis de laboratorio.

### **CAPITULO 3.- METODOS PARA EL ACONDICIONAMIENTO DE PAVIMENTOS DE AEROPUERTOS.**



### 3.1. METODO DE LA FAA PARA DETERMINAR EL REFUERZO NECESARIO EN PAVIMENTOS (FLEXIBLES Y RIGIDOS).

#### 3.1.1. GENERALIDADES.

- a) Por varias razones pueden requerirse refuerzos sobre los pavimentos de aeropuertos. Un pavimento puede haber sido dañado por sobrecargas, de manera que no se le pueda mantener satisfactoriamente a un nivel de servicio. De modo similar, un pavimento en buen estado puede requerir refuerzos para servir a aeronaves más pesadas que aquéllas para las cuales fué diseñado. El pavimento también puede requerir un aumento de espesor simplemente por que el pavimento original ya ha cumplido su vida útil prevista y está desgastado. En general, los refuerzos de los pavimentos de aeropuertos consisten en capas de concreto hidráulico o de concreto asfáltico.
- b) Definiciones aplicables a los pavimentos con refuerzos:
- 1) Pavimento de refuerzo.- Pavimento que se ha construido sobre la parte superior de un pavimento anterior.
  - 2) Sobrecarpeta asfáltica.- Pavimento de concreto asfáltico colocado sobre un pavimento anterior.
  - 3) Sobrelasas de concreto.- Pavimento de concreto hidráulico colocado sobre un pavimento anterior.
  - 4) Pavimento sandwich.- Pavimento con refuerzo que contiene una capa de separación granular.

**Cálculo de refuerzos asfálticos.-** Pueden aplicarse refuerzos asfálticos a los pavimentos flexibles o rígidos. Hay ciertos criterios aplicables al cálculo de refuerzos asfálticos que deben aplicarse sobre pavimentos anteriores, rígidos o flexibles.

- a) No se admiten los pavimentos con refuerzos que tienen una capa de separación granular entre la superficie antigua y nueva. Los pavimentos con refuerzo que tienen capas de separación granular se consideraran como pavimentos sandwich. No se admite este tipo de pavimento debido a que la capa de separación es probable que resulte saturada de agua y que su comportamiento no sea predecible.

La saturación de la capa de separación puede ser causada por la infiltración de la capa superficial, entrada de -- agua subterránea o capilar o bien por condensación de -- agua de la atmósfera. En todo caso, el agua en la capa de separación por lo general no puede ser drenada suficientemente y reduce mucho la estabilidad del refuerzo.

- b) Los refuerzos asfálticos para aumentar la resistencia ... deberán tener un espesor mínimo de 3 pulg. ( 7,5 cm ).

### 3.1.2. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA AERONAVE.

Carga.- El método de cálculo se basa en el peso bruto de la aeronave. Para fines de cálculo del pavimento, debería preverse el peso máximo de despegue de la aeronave. El procedimiento de cálculo supone que el 95 % del peso bruto es soportado por los trenes de aterrizaje principal y el 5 % por el tren de nariz. El peso máximo de -- despegue debe utilizarse en el cálculo del espesor de refuerzo requerido. Se recomienda utilizar el peso máximo de despegue para -- proporcionar cierto grado de seguridad en el cálculo, justificado -- por el hecho de que pueden presentarse cambios en el uso operacional y reconociendo el hecho de que el tráfico previsto es a lo sumo aproximado. Si no se tiene en cuenta el tráfico de llegada se anula el factor de seguridad.

Tipo y geometría del tren de aterrizaje.

- a) El tipo de tren de aterrizaje y su configuración determinan de que modo se distribuye el peso de la aeronave en el pavimento y se establece la respuesta del pavimento a las cargas producidas por la aeronave.
- b) La presión de los neumáticos varía entre 75 y 200 lb/pulg<sup>2</sup> (0.52 a 1.38 MP<sub>a</sub>), en función de la configuración del tren de aterrizaje y del peso bruto. Debería tomarse en cuenta que la presión de los neumáticos ejerce menos influencia sobre las tensiones de los pavimentos a medida que aumenta el peso bruto y que el máximo supuesto de 200 lb/pulg<sup>2</sup> --- (1.38 MP<sub>a</sub>) puede excederse en condiciones de seguridad, -- siempre que no se excedan los demás parámetros.

Volumen de tráfico.- Es necesario disponer de pronósticos de -- salidas anuales por tipo de aeronave, para calcular el refuerzo del pavimento. La información sobre las operaciones de aeronaves está -- disponible en el plan maestro del aeropuerto, en los pronósticos de área terminal, en el plan nacional del sistema de aeropuertos, etc. Dichas publicaciones deberán consultarse para la preparación de -- pronósticos de salidas anuales por tipo de aeronave.

### 3.1.3. DETERMINACION DE LA AERONAVE DE CALCULO.

El pronóstico de salidas anuales por tipo de aeronave da por -- resultado una lista de varias aeronaves diferentes. La aeronave de cálculo deberá seleccionarse a base de la que requiera el mayor -- espesor de pavimento. Deberá verificarse cada tipo de aeronave del pronóstico para determinar el espesor de pavimento requerido, utilizando las curvas de cálculo apropiadas (que dependiendo del tipo de tren de aterrizaje y del tipo de pavimento que se trate será -- su elección) y el pronóstico del número de salidas anuales para -- cada aeronave. El tipo de aeronave que determine el mayor espesor de pavimento será la aeronave de cálculo, que no necesariamente es la más pesada.

Determinación de las salidas anuales equivalentes de la aeronave de cálculo.

Como el pronóstico de tráfico es una mezcla de diferentes aeronaves que pesen diferentes tipos de trenes de aterrizaje y de diferentes pesos, hay que tener en cuenta los efectos de todo el tráfico en lo tocante a la aeronave de cálculo. En primer lugar deben convertirse todas las aeronaves al mismo tipo de tren de aterrizaje que el de la aeronave de cálculo. Deberán utilizarse los siguientes factores de conversión para pasar de un tipo de tren a otro.

| Para convertir de | A              | Multiplíquese a las salidas por: |
|-------------------|----------------|----------------------------------|
| 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                              |
| ruedas dobles     | ruedas gemelas | 1.7                              |

Las tablas 3-1 y 3-2 muestran las configuraciones más comunes de los diferentes trenes de aterrizaje.

En segundo lugar, una vez que se han agrupado las aeronaves en la misma configuración de tren de aterrizaje, la conversión a salidas equivalentes de la aeronave de cálculo, deberá determinarse según la fórmula siguiente:

$$\log R_1 = \log R_2 \times \left( \frac{W_2}{W_1} \right)^{1/2} \quad \text{donde:}$$

$R_1$ : salidas anuales equivalentes a la aeronave de cálculo.

$R_2$ : salidas anuales expresadas en el tren de aterrizaje de la aeronave de cálculo.

$W_1$ : carga sobre la rueda de la aeronave de cálculo.

$W_2$ : carga sobre la rueda de la aeronave en cuestión.

#### 3.1.4. REFUERZOS ASFALTICOS SOBRE PAVIMENTOS FLEXIBLES EXISTENTES.

Utilícense las curvas básicas apropiadas para el diseño de flexibles, según el tipo de tren de aterrizaje que tenga la aeronave de cálculo (ver fig. 3-1.) y el número de salidas equivalentes. Se requiere un valor VRS para el terreno de cimentación y de las terrazas.

Puede ser necesario efectuar ajustes en las diferentes capas del pavimento existente para completar el cálculo. La carpeta asfáltica puede tener que convertirse a capa de base y ésta a su vez a capa de subbase. Un material de alta calidad puede convertirse a un material de calidad inferior. Un material existente no puede convertirse a un material de calidad superior. Los factores de equivalencia que se indican en las tablas 3-3 y 3-4 pueden utilizarse como guía de conversión de las capas. Debe indicarse que los valores indicados son para materiales nuevos y la asignación de factores para los pavimentos existentes debe basarse en el criterio y experiencia del calculista.

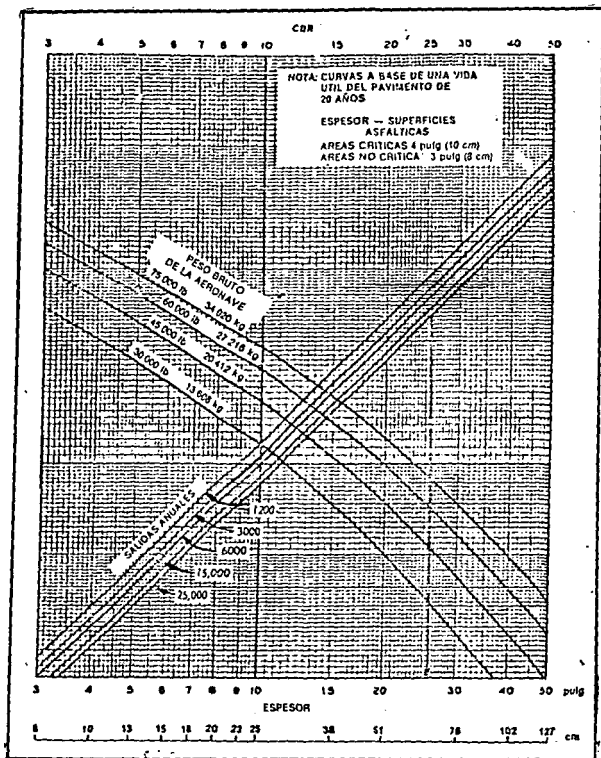


FIGURA 3-1.

Curvas de diseño de pavimentos flexibles, para aeronaves con tren de rueda simple.

( para cada tipo de tren de aterrizaje existen curvas de diseño ).





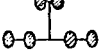
| CONFIGURACION                  | EJEMPLOS  | CONFIGURACION  | EJEMPLOS  |              |
|--------------------------------|---|--|---|--------------|
| <u>RUEDA SENCILLA</u>          | <u>PIERNAS TREN PRINCIPAL Y AUXILIAR</u><br><br>DC-3<br>DAROT C-47<br>CURTIS C-48 COM-LANDO<br>BRISTOL T70 FREIGHTER<br>CONSOLIDATED CATALINA<br>ANTONOV AN-2<br>DE HAVILLAND DHC-6 STENO OTTER<br>DOUGLAS B-23<br>SHORT SC7 SKYVAN<br>FORD TRI-MOTOR/BUSHMASTER<br>GRUMMAN GOOSE<br>GRUMMAN P-600DM<br>GRUMMAN MALLARD<br>HAWKER SIDDELEY HIRON<br>LOCKHEED 10 ELECTRA<br>LOCKHEED 18 LODESTAR/LEARSTAR<br><br><u>PIERNA TREN DE NARIZ</u><br>DC-7<br>DC-8<br>DC-4 | <u>RUEDAS EN DOBLE TREN</u><br><br>   | <u>PIERNAS TREN PRINCIPAL</u><br>B-747<br>B-707<br>B-710<br>CV-580<br>CV-590<br>L-1011<br>L-1011<br>DC-10-30 (Piermas laterales)<br>CC-40-200 (Piermas laterales)<br>DC-10-10<br>DC-8-43<br>DC-8-62<br>DC-8-61<br>DC-8<br><br>CONCORDE<br>CARAVELLE |              |
| <u>RUEDAS DOBLES</u>           | <u>PIERNAS TREN PRINCIPAL</u><br><br>B-727-200<br>B-727-300<br>B-737<br>L-1049<br>L-108<br>L-749<br>L-649<br>L-49<br>DC-10-30 (Piermas laterales)<br>DC-10-200 (Piermas laterales)<br>DC-7<br>DC-8<br>DC-8<br>DC-8<br>DC-8<br>DC-8-62<br>DC-8-61<br>DC-8<br>CONCORDE<br>BAC-18<br>VISCONTI 745D<br>VISCONTI 745D  | <u>PIERNA TREN DE NARIZ</u><br>B-747<br>B-707<br>B-710<br>B-727<br>B-727<br>B-737<br>CV-580<br>CV-590<br>L-1011<br>L-1049 A<br>L-100<br>L-1049<br>L-108<br>L-149<br>L-49<br>L-49<br>DC-10-10<br>DC-10-20<br>DC-10-30<br>DC-8-63<br>DC-8-62<br>DC-8-61<br>DC-8<br>CONCORDE<br>BAC-18<br>VISCONTI 745D<br>VISCONTI 745D<br>CARAVELLE | <u>RUEDAS EN DOBLE TREN DOBLE GEMELO</u><br><br>   | AVION VULCAN |
|                                |   | <u>RUEDAS EN DOBLE TREN TRIPLE</u><br><br>  | <u>PIERNAS TREN PRINCIPAL</u><br><br>B-270T (SST)<br>L-1011-B   |              |
|                                |   | <u>RUEDAS EN DOBLE DOBLE</u><br><br>  | <u>PIERNA TREN DE NARIZ</u><br><br>L-850<br>C-5A GALAXY   |              |
| <u>RUEDAS EN TREN SENCILLO</u> | <u>PIERNAS TREN PRINCIPAL</u><br><br>L-100<br>BAGLEY 941<br>C-130 HERCULES  | <u>RUEDAS EN DOBLE TRIANGULAR</u><br><br>  | <u>PIERNAS TREN PRINCIPAL</u><br><br>C-5A GALAXY  |              |

Tabla 3-1. Varios tipos de configuraciones de piernas de trenes de aterrizaje.

ESTA PAGES NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

| CONFIGURACION                        | EJEMPLOS   | CONFIGURACION                                      | EJEMPLOS   |
|--------------------------------------|--|--|--|
| <p><u>BICICLETA SENCILLA</u></p>     | <p>AVION MILITAR U-2</p> <p>AVION MILITAR 6-47</p>   | <p><u>TRICICLO SENCILLO</u></p>                    | <p><u>BOEING</u></p> <p>B-701<br/>B-720<br/>B-727<br/>B-737</p> <p><u>LOCKHEED</u></p> <p>L-149<br/>L-549<br/>L-49</p> <p><u>DOUGLAS</u></p> <p>DC-10-10<br/>DC-8<br/>DC-7<br/>DC-8<br/>DC-8<br/>DC-4<br/>CONCORDE<br/>BAC-111<br/>VISCOUITE 810<br/>VISCOUITE 745<br/>CARAVELLE</p> |
| <p><u>BICICLETA DOBLE</u></p>        | <p>AVION MILITAR B-52</p>  | <p><u>CONEXION BICICLETA-TRICICLO SENCILLO</u></p> | <p><u>DOUGLAS</u></p> <p>DC-10-30 CF<br/>DC-10-30<br/>DC-10-20CF<br/>DC-10-20</p>  |
| <p><u>CONVENCIONAL (Antiguo)</u></p> | <p>DOUGLAS DC-3<br/>DARTON C-47<br/>CURTIS C-46 COMANDO<br/>DOUGLAS B-25<br/>FORD TR-MOTOR/BUSHMASTER<br/>GRUMMAN GOOSE<br/>GRUMMAN PIGEON<br/>LOCKHEED 10 ELECTRA<br/>LOCKHEED 18 LOESTAR/ELANSTAR<br/>ANTONOV AN-2</p> | <p><u>TRICICLO DOBLE</u></p>                       | <p><u>BOEING</u></p> <p>B-747-F<br/>B-747-C<br/>B-747-B<br/>B-747</p> <p><u>LOCKHEED</u></p> <p>L-500</p>  |

Tabla 3-2. Varios tipos trenes de configuraciones de piernas de trenes de aterrizaje.

| Material                                 | Valores del factor de equivalencia |
|--|------------------------------------|
| Capa de rodadura asfáltica               | 1.7-2.3                            |
| Capa de base asfáltica                   | 1.7-2.3                            |
| Capa de base asfáltica aplicada en frío  | 1.5-1.7                            |
| Capa de base mezclada en el lugar        | 1.5-1.7                            |
| Capa de base tratada con cemento         | 1.6-2.3                            |
| Capa de base 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                                |

Al establecer los factores de equivalencia indicados anteriormente, se supone que el VRS de la capa de cimentación de grava era de 20.

Tabla 3-3. Gamas del factor de equivalencia recomendadas para la capa de cimentación estabilizada.

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

En los valores de equivalencia indicados se supone un valor VRS de 80 para la base de árido machacado.

Tabla 3-4. Factores de equivalencia recomendados para la capa de base estabilizada.



El agrietamiento superficial, el alto grado de oxidación, la evidencia de poca estabilidad, etc., son sólo algunas de las consideraciones que tendrían que reducir el factor de equivalencia. Toda capa asfáltica emplazada entre las capas granulares en el pavimento existente deberán evaluarse pulgada per pulgada como base granular o capa subrasante.

Para ilustrar el procedimiento de cálculo de un refuerzo asfáltico, supongamos un pavimento de calle de redaje existente compuesto de la siguiente sección: El VRS del terreno de cimentación es de 7, la carpeta asfáltica tiene un espesor de 4 pulg (10 cm), la capa de base 6 pulg (15 cm) de espesor, la capa subrasante es de 10 pulg. (25 cm) de espesor y su VRS es de 15. El efecto de la helada es despreciable. Se supone un pavimento existente que ha de reforzarse para poder recibir una aeronave con tren de aterrizaje de ruedas gemelas, cuyo peso es de 100,000 lb (45,000 Kg), con un nivel de 3,000 salidas anuales. El pavimento flexible requerido para estas condiciones es:

|                                    |                       |
|------------------------------------|-----------------------|
| Carpeta asfáltica                  | 4 pulg (10 cm)        |
| Capa de base                       | 9 pulg (23 cm)        |
| Capa subrasante                    | 10 pulg (25 cm)       |
| <hr/> Espesor total del pavimento: | <hr/> 23 pulg (58 cm) |

El espesor total del pavimento debe ser de 23 pulg. (58 cm) con el propósito de proteger un terreno de cimentación con un VRS = 7. Los espesores combinados de carpeta y base deben ser de 13 pulg. -- (33 cm) para proteger una capa de cimentación con un VRS de 15. En consecuencia, el pavimento existente tiene 3 pulg. (7.5 cm) menos en el espesor total y esta cifra pertenece a la capa de base. Como --- ilustración supongamos que la carpeta asfáltica existente se encuentra en un estado tal que puede sustituir a la capa de base con una relación de equivalencia de 1.3 a 1.0. Si se convierten 2.5 pulg -- (6 cm) de carpeta a capa de base, esto nos da un espesor de 9.2 pulg (23 cm) para la capa de base, dejando 1.5 pulg (4 cm) de carpeta no convertida. Un refuerzo de 2.5 pulg (6 cm) será necesario para lograr un espesor de carpeta de 4 pulg (10 cm). En este caso el factor determinante sería el espesor mínimo de refuerzo de 3 pulg (7.5 cm).

La parte más difícil del cálculo de los refuerzos asfálticos -- para los pavimentos flexibles es la determinación de los valores VRS para el terreno de cimentación, las capas de terracerías y la compactación de las capas. Los valores VRS del terreno de cimentación y de las terracerías pueden determinarse óptimamente llevando a cabo ensayos VRS en el lugar mismo. Tanto el terreno de cimentación --- como las terracerías deben contener humedad en equilibrio cuando se lleven a cabo los ensayos VRS in situ. Normalmente, un pavimento que ha estado colocado por lo menos durante 3 años estará en equilibrio. Las conversiones entre capas, o sea la conversión de base a subbase o a capa subrasante, etc., son en gran medida cuestión de -- criterio. Al llevar a cabo las conversiones, se recomienda no redondear los espesores convertidos.

### 3.1.5. REFUERZO ASFALTICO SOBRE PAVIMENTOS RIGIDOS EXISTENTES.

Para establecer el espesor requerido de refuerzo asfáltico de un pavimento rígido existente, es necesario en primer lugar determinar el espesor simple del pavimento rígido requerido para cumplir con las condiciones de cálculo. Este espesor se modifica entonces por un factor "F" que determina el grado de agrietamiento que ocurrirá en el pavimento existente.

El espesor efectivo del pavimento rígido existente se ajusta -- también mediante un factor de estado o condición entre " $C_b$ ". Los factores "F" y " $C_b$ " cumplen dos funciones diferentes en la determinación del refuerzo asfáltico, como se verá a continuación.

- a) El factor F, que determina el grado de agrietamiento que presentarán las capas de base y subbase, es una función de la magnitud del tránsito y de la resistencia del terreno de cimentación. El factor F determinado indicará el estado final del refuerzo y de las capas de base y subbase. El factor F, indica en efecto, que no es necesario el espesor total de la losa simple de concreto determinada a partir de las curvas de cálculo, debido a que se admite que un pavimento con refuerzo asfáltico se agriete y deflexione más que un pavimento rígido clásico, ya que el refuerzo asfáltico no se disgregará y puede adaptarse a mayores deflexiones. La figura 3-2 muestra el gráfico que permite seleccionar el valor F pertinente.

- b) El factor de estado o condición  $C_b$  se aplica al pavimento rígido existente. El factor  $C_b$  es una evaluación de la integridad estructural del pavimento existente. La determinación del valor  $C_b$  correspondiente es una decisión para la cual -- sólo pueden proporcionarse directrices generales. Deberá -- utilizarse un valor  $C_b$  de 1.0 cuando las leasas existentes -- presenten un agrietamiento incipiente y de 0.75 cuando las -- leasas presenten agrietamiento múltiple. Se advierte que la -- gama de valores  $C_b$  en el cálculo de los refuerzos asfálticos es diferente de los valores  $C_r$  que se utilizan para el cálculo de los refuerzos rígidos. El valor  $C_b$  mínimo es de 0.75. Deberá de fijarse un solo valor  $C_b$  para toda la zona. El valor  $C_b$  no deberá modificarse dentro de un pavimento del mismo tipo.
- c) Una vez que se hayan determinado los factores  $F$  y  $C_b$ , y el -- espesor simple del pavimento rígido, el espesor del refuerzo asfáltico se calcula con la fórmula siguiente:

$$t = 2.5 (F h - C_b h_g) \quad \text{donde,}$$

- $t$  : espesor del refuerzo asfáltico en pulgadas.  
 $F$  : factor que determina el grado de agrietamiento en el -- pavimento.  
 $h$  : espesor simple de pavimento rígido requerido para las -- condiciones de cálculo, en pulgadas. Utilizar el valor -- exacto de  $h$ ; no hay que redondear.  
 $C_b$  : factor de estado para el pavimento con capa de base, que va de 1.0 a 0.75  
 $h_g$  : espesor del pavimento rígido existente en pulgadas.

El cálculo del espesor del refuerzo en unidades métricas -- deberá llevarse a cabo con la fórmula siguiente:

$$t = 6.3 (F h - C_b h_g)$$

en donde los espesores están dados en centímetros.

- d) El cálculo de un refuerzo asfáltico para un pavimento rígido que ya posea un refuerzo anterior, es algo diferente. El problema se tratará como si no existiera refuerzo alguno y ajustando el espesor calculado para compensar el refuerzo existente. Si no se sigue este procedimiento, con frecuencia se producirán resultados incompatibles.

Ejemplo de procedimiento.

Supongamos que un pavimento existente consiste en un pavimento rígido de 10 pulg. (25 cm) con un refuerzo asfáltico de 3 pulg (7.5 cm). El pavimento existente se ha de reforzar para que sea equivalente a un espesor de pavimento rígido simple de 14 pulg (36 cm). Supongamos un factor  $F$  de 0.9 y  $C_b$  de 0.9, como apropiadas para las condiciones existentes.

- 1) Calcúlese el espesor requerido del refuerzo asfáltico, como si no existiera el refuerzo de 3 pulg (7.5 cm).

$$t = 2.5 (0.9 \times 14 - 0.9 \times 10)$$

$$t = 9 \text{ pulg (23 cm)}$$

Se prevé una tolerancia para el refuerzo asfáltico --- existente en su espesor. En este ejemplo se supone que el refuerzo existente se encuentra en un estado tal que su espesor efectivo es sólo de 2.5 pulg (6 cm). El --- espesor requerido de refuerzo sería entonces de:

$$9 - 2.5 = 6.5 \text{ pulg (17 cm)}.$$

La determinación del refuerzo existente es una cuestión de criterio técnico.

- e) La fórmula para calcular el espesor del refuerzo asfáltico sobre los pavimentos rígidos se limita a la aplicación de los refuerzos cuyo espesor sea igual o menor que el de la subbase. Si el espesor del refuerzo fuera superior al de la subbase, se deberá 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 flexión resulta despreciable para los refuerzos asfálticos gruesos.

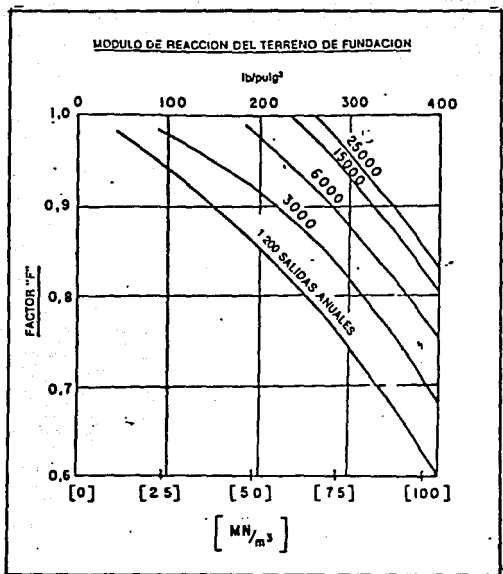


Figura 3-2. Gráfico del factor "F" en función del módulo de reacción del terreno de cimentación para diferentes niveles de tráfico.

### 3.1.6. CALCULO DE LOS REFUERZOS DE CONCRETO.

Los refuerzos de concreto pueden construirse sobre los pavimentos rígidos o flexibles existentes. El espesor mínimo admisible para los refuerzos de concreto es de 5 pulg (13 cm) cuando se colocan sobre un pavimento flexible, directamente sobre un pavimento rígido o sobre una capa de nivelación. El espesor mínimo de un refuerzo de concreto que está ligado a un pavimento rígido existente es de 3 pulg (7.5 cm). El cálculo de los refuerzos de concreto se basa en la ecuación de la sección de la capa de base más subbase y del refuerzo con el espesor de una losa simple. Las formulas que se presentan se prepararon a -- base de la investigación sobre pavimentos con tramos de prueba y --- observaciones efectuadas en pavimentos en servicio.

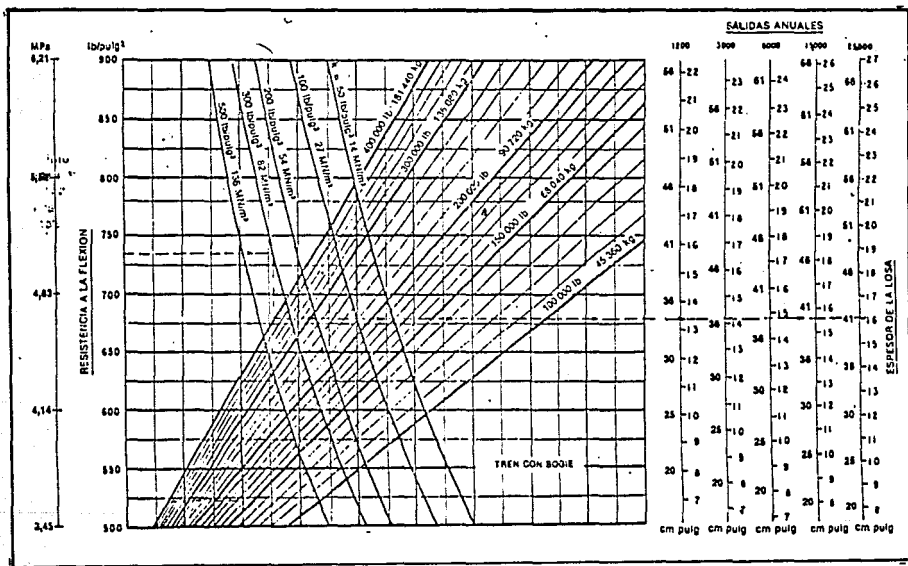
#### 3.1.6.1. REFUERZOS DE CONCRETO SOBRE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

El cálculo de los refuerzos de concreto sobre los pavimentos flexibles existentes se basa en las curvas de diseño (fig 3-1.). El pavimento flexible existente se considera como un cimiento para la losa de refuerzo.

- a) Para el cálculo de un pavimento rígido, al pavimento flexible existente se le asigna un valor utilizando la figura 3-4. o llevando a cabo un ensayo con la placa de carga --- sobre el pavimento flexible existente. En cualquier caso el valor asignado a  $k$  no deberá exceder de 500.
- b) Cuando las condiciones de helada requieran un espesor ---- mayor, no se admite utilizar el material no estabilizado, ya esto tendría como consecuencia un pavimento sandwich. La - protección contra la helada tiene que ser proporcionada por un material estabilizado.

#### 3.1.6.2. REFUERZO DE CONCRETO SOBRE PAVIMENTO RIGIDO.

El cálculo de refuerzos de concreto sobre pavimentos rígidos existentes también se basa en las curvas básicas de diseño (fig. 3-3), --- Estas curvas indican el espesor del concreto necesario para cumplir con las condiciones de cálculo para un espesor simple de pavimento de concreto. La utilización de este método exige que el calculista asigne un valor  $k$  a la cimentación existente.



El valor  $k$  puede determinarse mediante ensayos de resistencia en el lugar mismo mediante sondeos o bien consultando los registros de construcción. El cálculo de un refuerzo de concreto 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. La realización de ensayos no destructivos (NDT) puede ser de valor considerable en la evaluación del estado de un pavimento. También pueden aplicarse NDT para la determinación de los emplazamientos de las perforaciones de prueba. Con el propósito de proporcionar una evaluación más 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 tiene 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.

Las tres condiciones que se discuten anteriormente se utilizan para ilustrar el factor de estado y no para establecer los únicos valores disponibles para el calculista. Las condiciones de un emplazamiento dado pueden exigir la utilización de un valor intermedio de  $C_r$ , de la gama recomendada.

### 3.1.6.3. REFUERZO DE CONCRETO SIN CAPA DE NIVELACION.

El espesor de la losa de refuerzo de concreto aplicada directamente sobre el pavimento rígido existente se calcula según la fórmula:

$$h_c = 1.4 \sqrt{\frac{1.4 - C_r h_e^{(1.4)}}{h}} \quad \text{donde:}$$

- $h_c$  : espesor requerido de refuerzo de concreto
- $h$  : espesor requerido de losa simple, determinado según las curvas de diseño.
- $h_e$  : espesor del pavimento rígido existente
- $C_r$  : factor de estado o de condición



Debido a la incomodidad de los exponentes de la fórmula anterior, en las figuras 3-5 y 3-6 se ofrecen datos gráficos de la solución de la fórmula. Estos gráficos se prepararon sólo para dos factores de estado diferentes,  $C_r = 0.75$  y  $1.0$ . La utilización de un pavimento con refuerzo de concreto directamente aplicado sobre un pavimento rígido existente con un factor de estado inferior a  $0.75$  no es recomendable debido a la probabilidad de agrietamiento por reflexión.

#### 3.1.6.4. REFUERZO DE CONCRETO CON CAPA DE NIVELACION.

En algunos casos puede ser necesario aplicar una capa de nivelación de concreto asfáltico a un pavimento rígido existente, antes de aplicar el refuerzo de concreto hidráulico. En estas condiciones se requiere una fórmula diferente para calcular el espesor de refuerzo. Cuando se separan el pavimento existente y el de refuerzo, las losas actúan con mayor independencia que cuando se encuentran en contacto unas con otras. La fórmula para el espesor de una losa de refuerzo cuando se utiliza capa de nivelación, es la siguiente:

$$h_c = \sqrt{h^2 - C_r h_a^2} \quad \text{donde:}$$

- $h_c$ : espesor requerido del refuerzo de concreto
- $h$ : espesor requerido de losa simple, determinado según las curvas de diseño.
- $h_a$ : espesor del pavimento rígido existente
- $C_r$ : factor de estado

La capa de nivelación debe construirse con concreto asfáltico -- muy estable. No se admite ninguna capa de separación granular, ya que esto significaría una construcción sandwich. Las soluciones gráficas se indican en las figuras 3-7 y 3-8. Estos gráficos se prepararon -- para factores de estado de  $0.75$  y  $0.35$ . Normalmente pueden calcularse otros factores de estado entre estos valores, con precisión suficiente, mediante interpolación.

## 3.1.6.5. REFUERZO DE CONCRETO LIGADO.

En ciertas condiciones, a veces se utilizan refuerzos de concreto que van ligados a los pavimentos rígidos existentes. Mediante liga de refuerzo de concreto con el pavimento rígido existente, la nueva sección se comporta como una losa monolítica. El espesor del refuerzo ligado requerido se calcula sustrayendo el espesor del pavimento existente a partir de la losa requerida, determinando a partir de las curvas de diseño.

$$h_c = h - h_e$$

$h_c$  : espesor de refuerzo de concreto requerido.

$h$  : espesor requerido de la losa simple, determinado a partir de las curvas de diseño.

$h_e$  : espesor del pavimento rígido existente.

Los refuerzos ligados deberán utilizarse cuando el pavimento rígido existente se halle en buen estado. Es más probable que los efectos de un pavimento existente se reflejen a través de un refuerzo ligado, que en los otros tipos de refuerzo de concreto. El problema mayor que es probable encontrar en el caso de los refuerzos de concreto ligado es lograr una liga suficiente. Para asegurar esta liga, se requiere una preparación cuidadosa de la superficie y rigurosas técnicas de construcción.

### 3.1.6.6. COLOCACION DE REFUERZOS.

Un pavimento rígido le podemos reforzar con una sobrelosa de concreto hidráulico, o bien con una carpeta asfáltica, siendo este último la más común, ya que un refuerzo a base de losas de concreto hidráulico acarrea mayores problemas de construcción. El procedimiento de construcción de un refuerzo asfáltico sobre un pavimento rígido en general consiste en:

- 1) Calafateo de grietas
- 2) Barrido de la superficie
- 3) Riego de liga con cemento # 6 a razón de  $1 \text{ lt/m}^2$ .
- 4) Tendido de membrana petromat (geotextil)
- 5) Colocación de sobrecarpeta.

La figura 3-9 (a) muestra un pavimento rígido reforzado a base de sobrecarpeta asfáltica.

Se puede reforzar también un pavimento flexible con una sobrelosa de concreto hidráulico, aunque no es muy común este tipo de refuerzo, ya que presenta mayores problemas de construcción, y actualmente no existe en México ningún pavimento de aeropuertos que haya sido reforzado de esta forma.

La figura 3-9 (b) muestra un pavimento flexible reforzado a base de sobrelosas de concreto hidráulico.

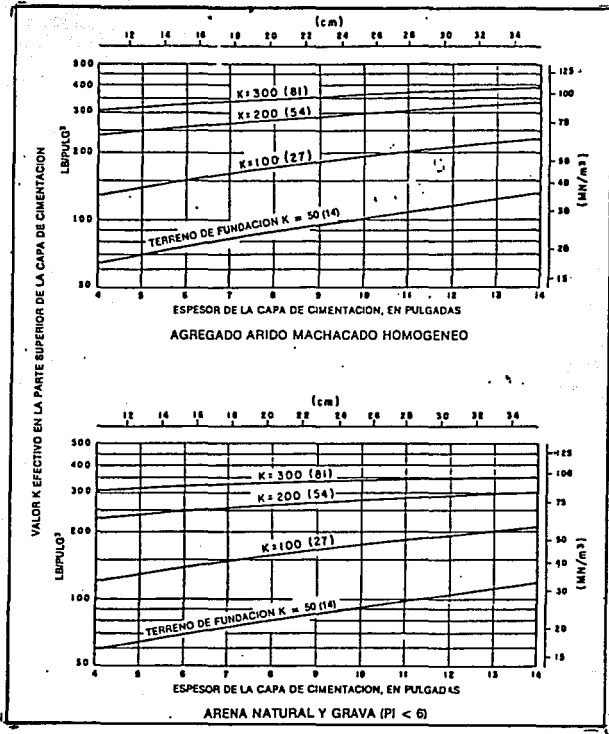


Figura 3-4. Efecto de la capa de cimentación sobre el módulo de reacción del terreno de cimentación.

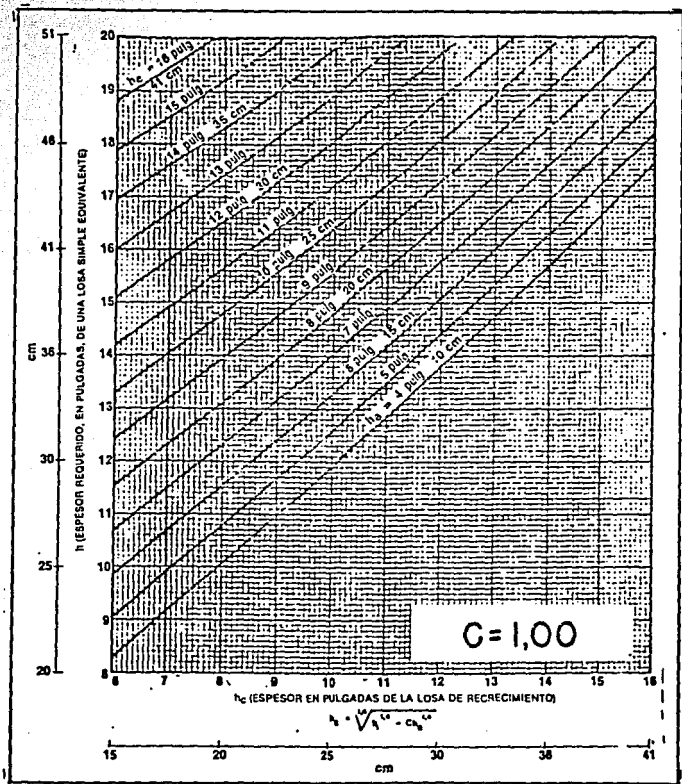


Figura 3.5. Refuerzo de concreto sobre pavimento rígido.

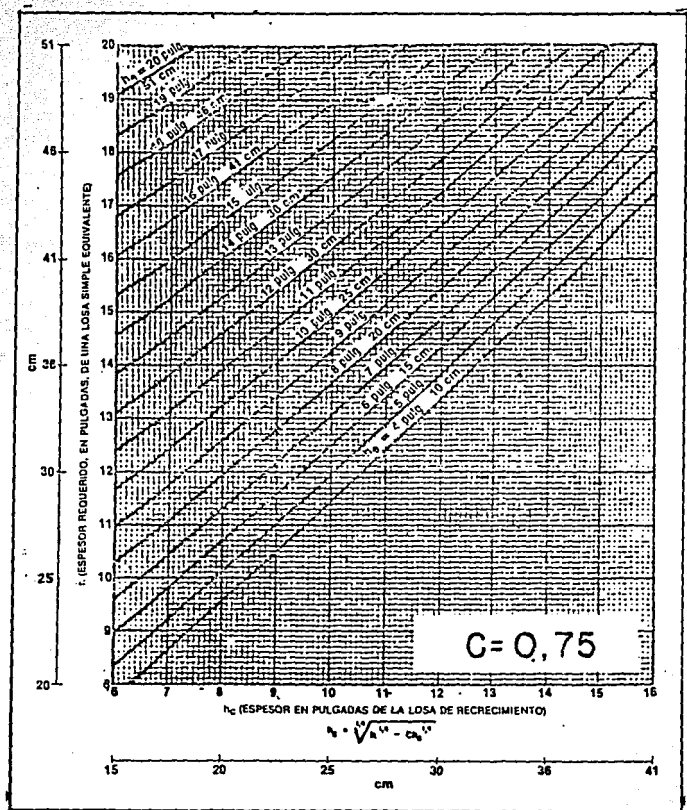


Figura 3-6. Refuerzo de concreto sobre pavimento rígido.

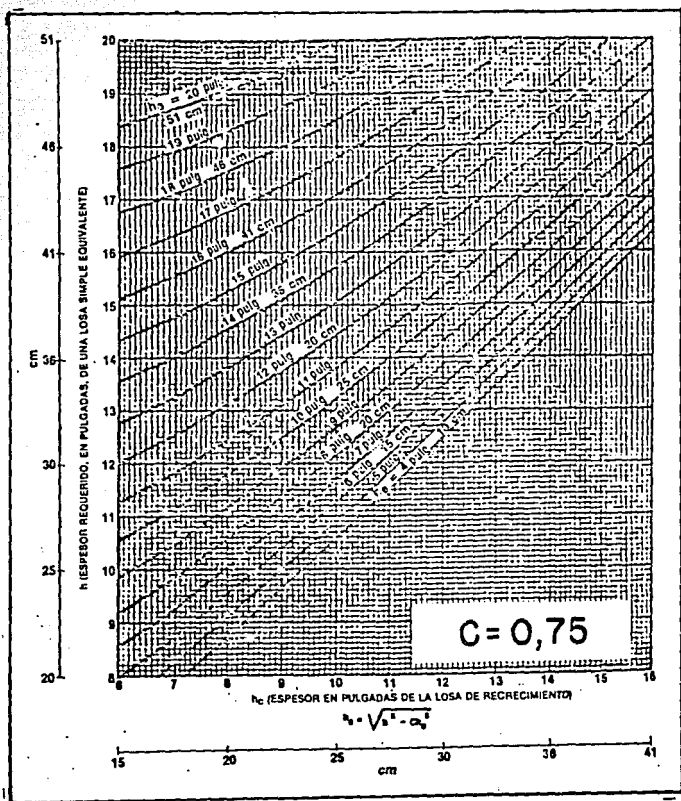


Figura 3-7. Refuerzo de concreto sobre pavimento rígido con capa de nivelación.

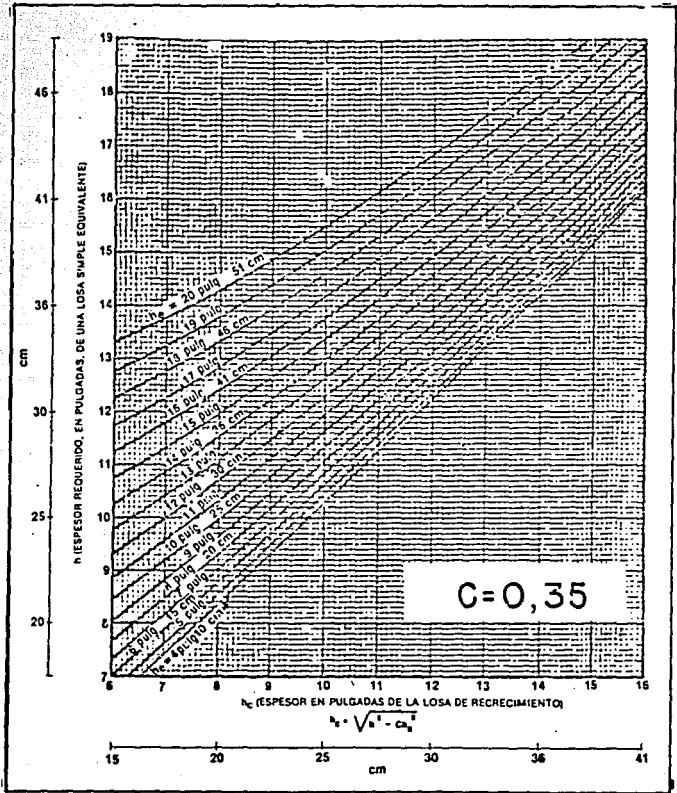


Figura 3-8. Refuerzo de concreto sobre pavimento rígido con capa de nivelación.



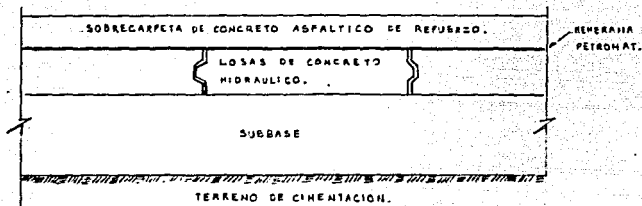


Figura 3-9.(a). Pavimento rigido reforzado a base de una sobrecarpeta de concreto hidráulico.

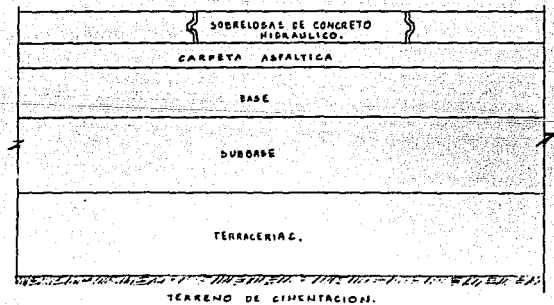


Figura 3-9 (b). Pavimento flexible reforzado a base de sobrelasas de concreto hidráulico.

### 3.2. PRACTICA DE FRANCIA PARA DETERMINAR EL REFUERZO DE PAVIMENTOS. .

#### 3.2.1. GENERALIDADES.

El problema del refuerzo de pavimentos de aeropuertos puede surgir cuando los pavimentos existentes deban modificarse a fin de satisfacer exigencias futuras que impondrán aeronaves más pesadas, o cuando los pavimentos han de ser reforzados para satisfacer necesidades -- inmediatas del tráfico actual. En la práctica estos dos problemas se confunden con frecuencia. Sin embargo el refuerzo no constituye la -- única solución cuando un determinado pavimento no es adecuado para el tránsito presente o futuro.

- A veces puede preferirse construir un nuevo pavimento en otro sitio. Esta solución resuelve la dificultad de mantener la corriente de tránsito durante los trabajos de refuerzo; permite asimismo introducir una configuración de pistas mejorada, más apta a las nuevas condiciones de utilización.
- Puede adoptarse también el método llamado de "sustitución". Este método consiste en levantar el pavimento existente y -- construir uno nuevo al mismo nivel. Esta solución que en el caso de una pista puede limitarse a 15 m a cada lado del eje, evita que se mezclen los problemas. Sin embargo, de todas las posibles soluciones ésta es la más costosa.

**Elección de la solución.** - El refuerzo de un determinado pavimento (rígido o flexible), puede ser del mismo tipo o diferente. La elección viene regida por consideraciones técnicas y económicas, por las restricciones que imponga la solución en la utilización del aeropuerto mientras se ejecutan los trabajos.

**Elección del perfil transversal.** - Puede conseguirse un ahorro apreciable en el costo del refuerzo de un pavimento, reduciendo el espesor del pavimento que quede fuera de la faja central de 30 m de anchura. Aparte de ahorrar en material de refuerzo, la disminución en espesor -- hacia los bordes, a veces hasta cero, hace mínima o incluso nula la -- necesidad de elevar el nivel de los márgenes de la pista.

## 3.2.2. RESISTENCIA DEL TERRENO DE CIMENTACION.

El módulo de reacción  $k_0$  del terreno de cimentación 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. Es conveniente que transcurra cierto tiempo entre la compactación y el ensayo, para permitir que el terreno se estabilice en su contenido de humedad libre. El número y la distribución de los puntos de ensayo deben conducir a la obtención de resultados significativos. El módulo de reacción del terreno de cimentación se corrige posteriormente en lo tocante al espesor equivalente del cemento. Para este objeto se utiliza la figura 3-10.

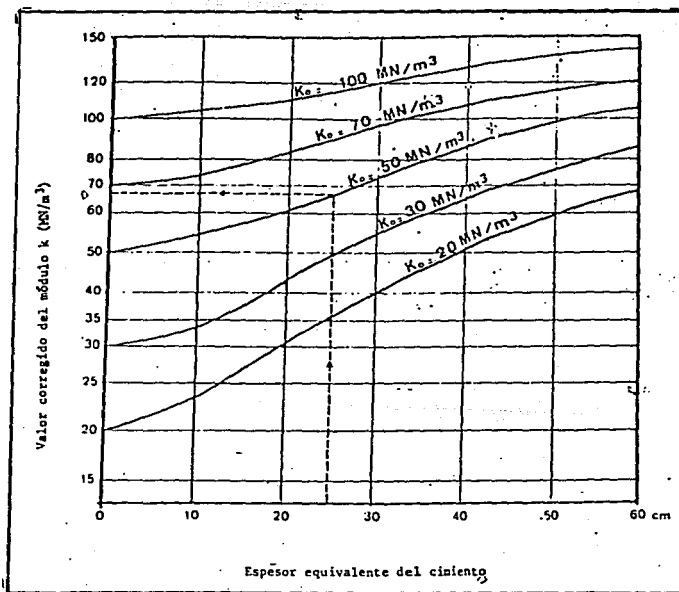


Figura 3-10. Módulo de reacción del cemento. Corrección del módulo de reacción del terreno de cimentación a base del espesor equivalente del cemento.

## 3.2.3. ESPESOR EQUIVALENTE.

El espesor equivalente "e" de una capa 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 3-5 pueden utilizarse como referencia en el caso de nuevos materiales.

| Nuevos materiales  | Coficiente de equivalencia. |
|--|-----------------------------|
| Mezcla asfáltica densa del tipo de concreto  | 2.0                         |
| Mezcla de arena-grava ligada con asfalto   | 1.5                         |
| Emulsión arena-grava   | 1.2                         |
| Arena-grava tratada con ligantes hidráulicos (cemento, escoria, ceniza, barro, etc.) | 1.5                         |
| Grava machacada de grano uniforme  | 1.0                         |
| Arena tratada con ligantes hidráulicos (cemento, escoria)                            | 1.0                         |
| Gravilla   | 0.75                        |
| Arena  | 0.50                        |

Tabla 3-5 Coeficientes de equivalencia.

El espesor equivalente del refuerzo flexible puede obtenerse mediante la relación:

$$e = 3.75 (F_{ht} - h)$$

donde:

e : es el espesor equivalente

h : es el espesor de la losa de concreto existente

ht: es el espesor teórico de una nueva losa que hace falta para soportar la carga de cálculo. Este valor se calcula teniendo en cuenta el esfuerzo admisible del concreto y el valor k corregido a la losa existente.

F : es un coeficiente de reducción del espesor  $h_e$ , cuyo valor viene dado en la figura 3-11 como función del  $k$  antes mencionado (el espesor teórico del concreto se reduce por que se supone que la losa se agrietará hasta un cierto grado en servicio)

El espesor equivalente del refuerzo no deberá ser inferior a 20cm salvo que se utilicen capas de nivelación especiales para corregir deformaciones. Debido a la presencia de las juntas y al movimiento de las losas, el concreto tendrá que cubrirse con una capa de espesor suficiente para evitar la aparición de defectos en la superficie.

### 3.2.4. REFUERZO DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Refuerzo flexible.- El espesor del refuerzo está determinado por la diferencia entre el espesor equivalente requerido para un nuevo pavimento y el pavimento existente. Al determinarse este último debe considerarse:

- 1) Los coeficientes de equivalencia tienen que corregirse de acuerdo con el estado real de las capas del pavimento.
- 2) El coeficiente de equivalencia de una capa de pavimento en un nivel dado no puede ser mayor que 1 de la capa que se encuentra sobre la misma. Por ejemplo, si una mezcla asfáltica en buen estado (coeficiente 2) se encontrara cubierta por una capa de cemento árido hasta (coef. 1.5), el coeficiente de la primera también sería 1.5

Refuerzo rígido.- Si un pavimento flexible estuviera reforzado con una losa de concreto, esta losa se considera únicamente como una capa de cimentación para el cálculo. El valor  $k$  que se atribuye a esta capa se determina con referencia en la figura 3-10. El espesor de la losa se determina entonces como nueva.

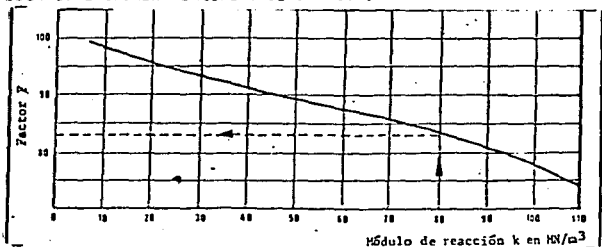


FIGURA 3-11 REFUERZO FLEXIBLES EN UN PAVIMENTO RIGIDO - FACTOR F

### 3.2.5. REFUERZO DE LOS PAVIMENTOS RIGIDOS.

**Refuerzo flexible.**- Si el pavimento existente se encontrara apreciablemente fragmentado, es aconsejable considerarlo como pavimento flexible del mismo espesor, al calcular el espesor de refuerzo. Por lo tanto, resulta el mismo caso que se describió anteriormente. La descripción que se da a continuación supone que el pavimento rígido existente sigue estando en buenas condiciones (en este caso, es posible considerar el pavimento rígido existente como pavimento flexible del mismo espesor, si esto resultara favorable para el cálculo)

**Refuerzo rígido.**- El espesor de la losa de refuerzo se obtiene aplicando la siguiente fórmula.

$$h_r = 1.4 h_t^{1.4} C h^{1.4} \quad \text{donde:}$$

$h_t$  : espesor teórico de una nueva losa, determinada a base de la tensión admisible en el nuevo concreto y del módulo corregido de reacción para el terreno de cimentación existente.

$h$  : espesor de la losa de concreto existente

$C=1.0$  para un pavimento en buen estado

$C=0.75$  para un pavimento que presente cierto agrietamiento en las esquinas, pero no este muy deteriorado

$C=0.35$  para un pavimento muy fragmentado

En la práctica, se aplica por lo general uno de los dos últimos valores.

La relación anterior se aplica únicamente si la losa reforzada se apoya directamente sobre el pavimento existente. Si se interpusiera una capa de material (usualmente una mezcla asfáltica) entre las dos, por ejemplo para modificar el perfil del pavimento actual, la fórmula de cálculo del espesor del refuerzo resulta:

$$h_r = \sqrt{h_t - C h^2}$$

En esta expresión, el significado de los parámetros y de los valores para los coeficientes  $C$  son iguales que en la nomenclatura anterior. Esta fórmula tiene como consecuencia un espesor ligeramente mayor para el refuerzo.

### 3.3. PRACTICA DE CANADA PARA DETERMINAR EL REFUERZO DE PAVIMENTOS.

El refuerzo a los pavimentos flexibles o rígidos se da de acuerdo a los procedimientos siguientes:

- a) Refuerzo asfáltico sobre pavimentos flexibles.- Un pavimento flexible revestido con varias capas de concreto asfáltico se evalúa como pavimento flexible que posee un espesor granular equivalente determinado como se indica en la sección 2.12.1.
- b) Refuerzo asfáltico sobre pavimento rígido.- Un pavimento rígido sobre el cual se aplica una carpeta asfáltica inferior a 25 cm de espesor se evalúa como pavimento rígido, con los espesores de la losa de concreto y de carpeta asfáltica convertidos a un espesor equivalente de losa simple, como se indica en la figura 3-12. Un pavimento rígido sobre el cual se aplica una carpeta asfáltica de espesor superior a 25 cm se evalúa como pavimento flexible con un espesor granular equivalente como se indica en la sección 2.12.1.
- c) Refuerzo de concreto hidráulico sobre pavimento flexible.- Un pavimento flexible sobre el cual se aplique una losa de concreto hidráulico se evalúa como pavimento rígido, constituyendo la estructura del pavimento flexible la base de la losa de concreto.
- d) Refuerzo de concreto sobre pavimento rígido.- Un pavimento rígido sobre el cual se aplique una losa de concreto se evalúa como pavimento rígido con las dos losas convertidas a un espesor de losa equivalente, como se indica en la figura 3-12, salvo que se introduzca entre las dos losas una capa de separación de espesor superior a 15 cm, cuando esto ocurra se considera que la losa superior actúa independientemente, como una losa simple, siendo la losa inferior una parte de la subbase.

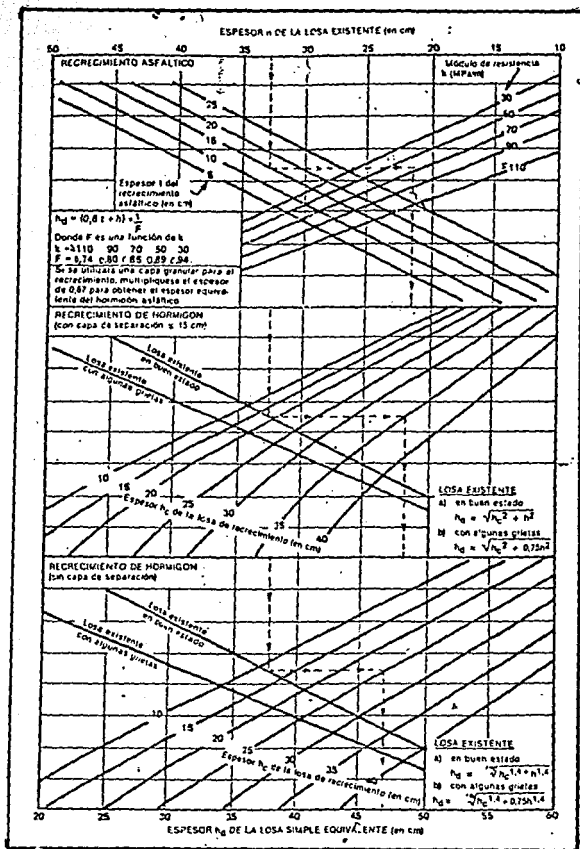


Figura 3-12. Espesor de losa simple equivalente de la losa de concreto superpuesta.



## 3.4. METODO DEL CUERPO DE INGENIEROS DEL EJERCITO DE E.U.

## 3.4.1. DETERMINACION DE CARGA EQUIVALENTE.

El Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los E.U. utiliza un método para encontrar la carga equivalente en estudio de pavimentos flexibles, basado en igualdad de deformaciones; se usa la teoría original de Boussinesq, y el área de contacto de la llanta equivalente es igual a la de una de las reales; así (figura 3-13).

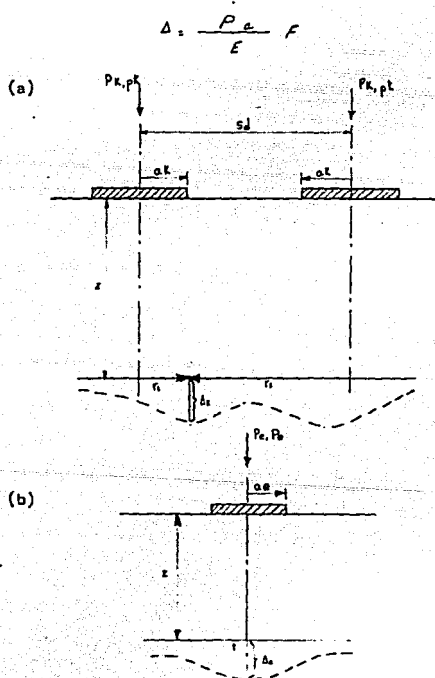


Figura 3-13. Figura que muestra los elementos para encontrar, por medio de igualdad de deflexión, la carga equivalente de acuerdo al método del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los E.U.

En donde  $f$  es el factor de deflexión, que es función de la profundidad ( $z$ ) y la distancia ( $r$ ) al punto considerado, que en este caso - lo relaciona con el radio " $a$ " de la superficie de contacto:

$$f = f\left(\frac{z}{a}, \frac{r}{a}\right)$$

Este factor se obtiene de las gráficas de las figuras 3-14 y 3-15.

$$\Delta x = \Delta_1 + \Delta_2 = \frac{P_0 a_0}{E_1} (f_1 + f_2)$$

La deflexión para la rueda equivalente será:

$$\Delta_0 = \frac{P_0 a_0}{E_1} F_0 ; \text{ donde } F_0 = f\left(\frac{z}{a_0} ; \frac{r}{a_0}\right)$$

$\Delta_0$ , es máxima para  $r=0$  y  $\Delta_2$ , lo es para el punto donde  $r = r_2$ , sea - máximo, debemos tener:

$$\frac{P_0 a_0}{E_1} \sum_{i=1}^n F_i \text{ max.} = \frac{P_0 a_0}{E_1} F_0$$

$$\text{como } a_x = a_0 \text{ tenemos: } F_0 a_0^3 = \frac{P_0}{F_0} = \frac{P_0}{F_0}$$

$$\text{y sustituyendo } F_0 = \frac{P_0 \sum_{i=1}^n F_i \text{ max.}}{F_0}$$

Para el caso de  $F_0$ , que corresponde a la deflexión en el centro de línea de la huella equivalente:

$$F_0 = \frac{1.5}{[1 + (z/a)^2]^{3/4}}$$

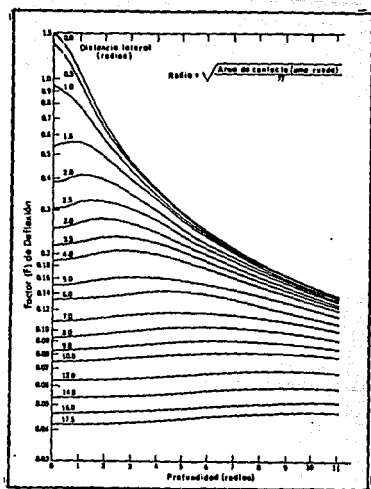


Figura 3-14. Gráficos para encontrar factores  $F_1$  de acuerdo con el método del Cuerpo de Ingenieros de los E.U. para una sola capa.

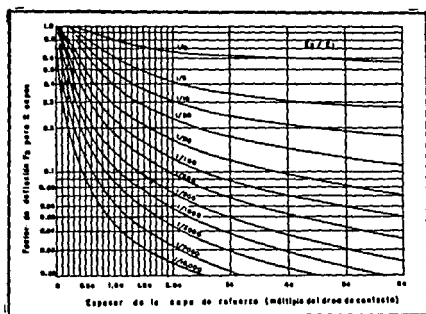


Figura 3-15. Gráficos para encontrar factores  $F_2$  de acuerdo con el método del Cuerpo de Ingenieros de los E.U. para la teoría de la doble capa.

Los valores de  $f_e$  pueden obtenerse también de la tabla 3-6.

| $z/a$ | $f_e$  | $z/a$ | $f_e$ |
|-------|--------|-------|-------|
| 0     | 1.5000 | 4.0   | 0.364 |
| 0.5   | 1.3420 | 5.0   | 0.294 |
| 1.0   | 1.0610 | 6.0   | 0.247 |
| 1.5   | 0.8320 | 7.0   | 0.212 |
| 2.0   | 0.6710 | 8.0   | 0.186 |
| 2.5   | 0.5570 | 9.0   | 0.166 |
| 3.0   | 0.4740 | 10.0  | 0.149 |

Tabla 3-6. Tabla que proporciona los factores  $f_e$  a diferentes profundidades (para una sola capa). Método para encontrar la carga equivalente de acuerdo al Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los E.U.

Los valores máximos de  $\sum E$  para ejes con llantas dobles se presentan ya sea al centro de una o en el punto intermedio entre ellas; para el caso de eje dual con llanta doble, este máximo se puede presentar al centro de una de las llantas, a la distancia media de una de ellas o en el centro de las cuatro.

#### 3.4.2. DETERMINACION DE ESPESORES DE PAVIMENTOS.

El Cuerpo de Ingenieros cambió la forma de compactación de estática a dinámica y desarrollaron una tecnología propia que consiste en obtener curvas de compactación (figura 3-16) de los materiales de terracería para tres energías diferentes utilizando un pistón de 4.5 kg de peso, con caída libre de 46 cm en tres capas: la primera curva es para una energía correspondiente a 12 golpes por capa, la 2a para 28 golpes y la 3a para 56; para obtener estas curvas se requiere cuando menos cuatro especímenes para cada una o sea 12 especímenes por sondeo, los cuales se tiran para que la porción más compacta quede hacia arriba y de esta manera se introducen en un tanque de saturación en donde permanecen hasta que cesa la expansión. Se sacan del tanque de saturación y se procede a obtener los VRS de estos especímenes saturados graficándolos en relación a la humedad (figura 3-17) y para cada energía de compactación; con los valores

que se dan en estas gráficas VRS ., a veces la curva correspondiente a 56 golpes corta a las de 26 y 12 golpes, lo cual sucede por que pertenecen a un material de tiro expansivo que al ser penetrado, después de la saturación, presentó una parte de la curva, menor resistencia que -- los especímenes elaborados con una energía menor; si el material no es muy expansivo o de plano es inerte, ese fenómeno es menos importante o no se presenta.

A partir de las familias de curvas anteriores, se obtiene una tercera de la siguiente manera: para la humedad determinada ( $W_1$ ) se grafican, (figura 3-18) el PVS en las abscisas y el valor relativo de --- soporte en las ordenadas, obtenidos de cada una de las curvas para 12, 26 y 56 golpes, uniendo estos puntos se obtiene una curva para la humedad  $W_1$ ; lo mismo se hace para las otras humedades ( $W_2, W_3$ , etc.), obteniéndose la familia de curvas que se muestran.

En este método, se indica que el VRS de proyecto (para un sondeo) se obtiene de aquellas zonas de la tercera familia de curvas en que las características de VRS, PVS y humedad sean estables, es decir, en aquellas zonas en las que no se vislumbra una pérdida de VRS al aumentarse la humedad y el peso volumétrico. Como ya se dijo, para encontrar el VRS de un sondeo se requiere de 12 especímenes dinámicamente compactados y -- saturados; debido a que la compactación es de este tipo, los resultados tienen alta variabilidad, además el tiempo de prueba es mayor que cuando se compacta el espécimen en forma estática, pues en este caso se --- elabora en 5 min y una prueba de compactación de tipo dinámico se realiza cuando menos en dos horas y el ciclo para un sondeo se lleva varios días.

Para el proyecto el Cuerpo de Ingenieros utilizó al principio las curvas del estado de California obtenidas en relación a la prueba de - Forter estándar y posteriormente han desarrollado curvas propias, principalmente para aeropuertos, como las que se muestran en las figuras -- 3-19, 3-20 y 3-21, que corresponden a tres tipos diferentes de -viones y para diferentes pesos de éstos. El modelo matemático que utilizan en - la actualidad es el siguiente:

$$t = \alpha \sqrt{\frac{ES_{3L}}{81(VRS)}} = \frac{A}{\pi} \quad \text{donde:}$$

- ESWL = Carga equivalente de rueda sencilla (lb).  
 A = Area de contacto ( $\text{plg}^2$ ).  
 $\phi$  = Factor de repetición de carga, que es función de la cantidad de operaciones y ruedas en el tren que se utilizó para calcular la carga equivalente en rueda sencilla. Este valor varía de 0.2 a 1.12.

El modelo matemático que ha utilizado el Cuerpo de Ingenieros ha cambiado conforme ha transcurrido el tiempo y se han tenido mayores datos de correlación en cuanto al comportamiento de los materiales, a la vez que también influyen en forma importante los cambios en el tipo y peso de las aeronaves.

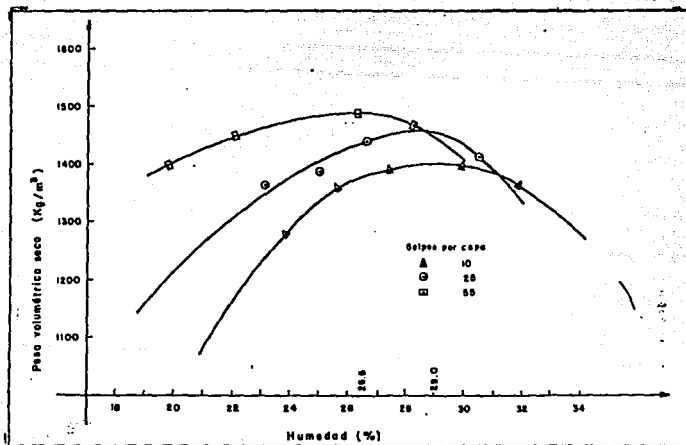


Figura 3-16. Curvas de compactación de acuerdo al método del Cuerpo de Ingenieros para 12, 28 y 56 golpes por capa con un pistón de 4,5 Yg.

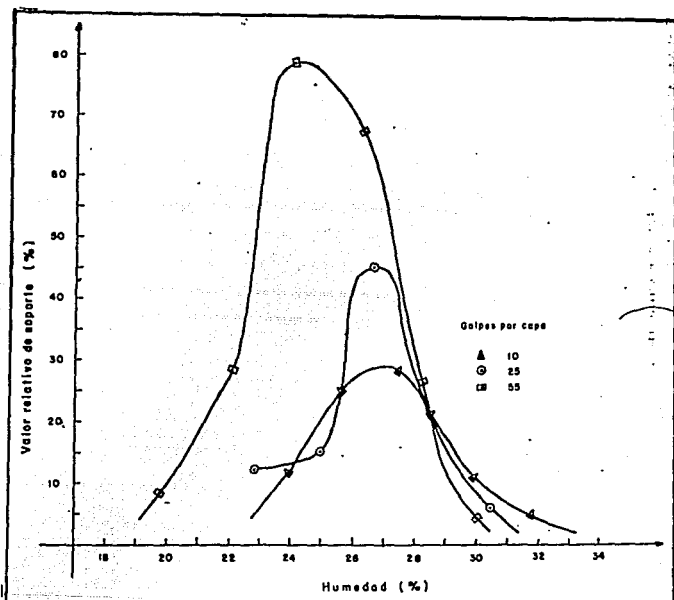


Figura 3-17. Curvas VRS-humedad, de acuerdo al método del Cuerpo de Ingenieros para 10, 25 y 55 golpes en la compactación con un pistón de 4,5 Kg.

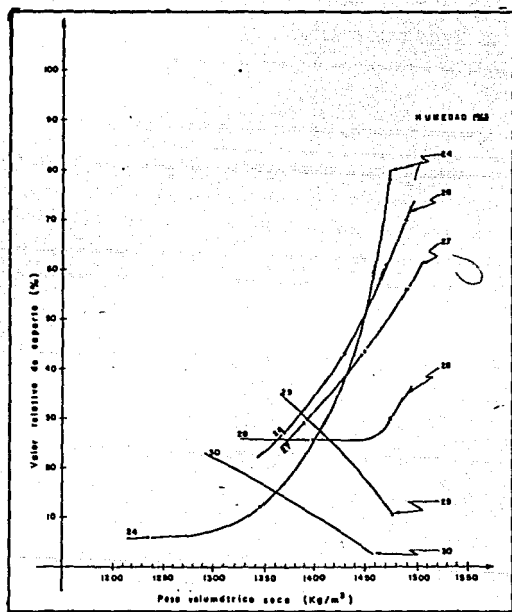


Figura 3-18. Curvas VRS-PVS para diferentes humedades obtidas de las dos series de curvas anteriores (Figuras 3-15 y 3-17).



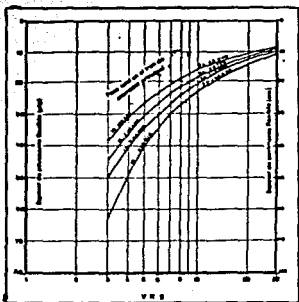


Figura 3-19. Nomograma para encontrar el espesor de pavimento flexible para una pista en la que el avión de diseño es: DC-8-55F, de acuerdo al método del Cuerpo de Ingenieros de E.U.

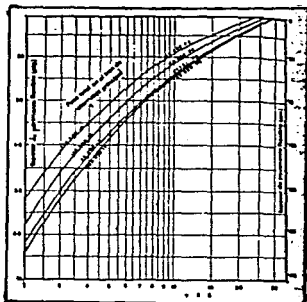


Figura 3-20. Nomograma para encontrar el espesor de pavimento flexible para una pista en la que el avión de diseño es: 7-72-100, de acuerdo al método del Cuerpo de Ingenieros de E.U.

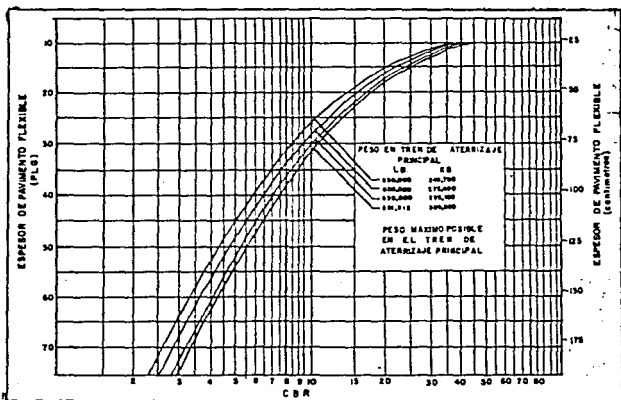


Figura 3-21. Nomograma para encontrar el espesor de pavimento flexible para una pista en la que el avión de diseño es: 9-747-100, de acuerdo al método del Cuerpo de Ingenieros de E.U.

### 3.5. EJEMPLOS DE PROYECTO DE REFUERZO A LOS PAVIMENTOS DE LOS AEROPUERTOS DE MATAMOROS, TAMPS. Y MERIDA, YUC.

#### 3.5.1. AEROPUERTO DE MATAMOROS, TAMPS.

##### ANTECEDENTES.

A fin de establecer la posible necesidad de reforzar los pavimentos actuales (1982) del aeropuerto de Matamoros, Tamps. para dar servicio a las aeronaves hasta el año 2000 se presentan en la tabla 3-7 las estadísticas de operaciones de aviones comerciales en el aeropuerto en estudio, del año de 1967 al año de 1981 y el pronóstico de operaciones comerciales hasta el año 2000.

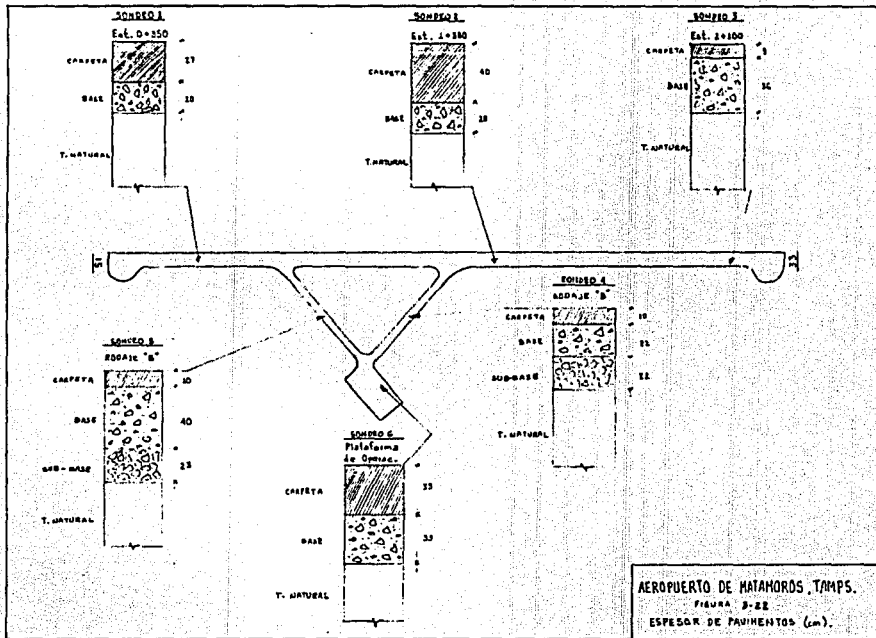
De igual manera en la tabla 3-8 se presentan las operaciones comerciales anuales por tipo de avión, en el año de 1981.

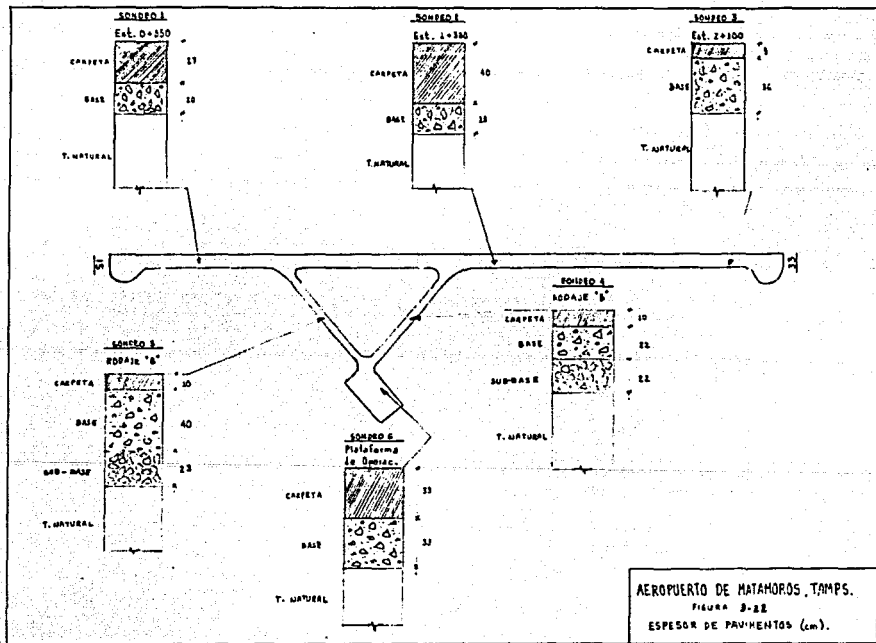
En la tabla 3-9 se ha calculado la mezcla de tráfico comercial esperada del año de 1983 a 2000.

La figura 3-22 muestra los espesores del pavimento y la localización de los sondeos realizados para conocer las características de la estructura de los pavimentos.

Para la determinación de un posible refuerzo de los pavimentos se ha utilizado el método de la Administración Federal de Aviación de los E.U., por lo cual la tabla 3-10 muestra resumidos los cálculos para la determinación del número de salidas equivalentes anuales del avión de proyecto.

El avión de proyecto resultó ser el Douglas DC-8 con un peso de despegue de 147,500 Kg. (325,000 lb) y una carga por rueda de 17,522 Kg (38,594 lb).





| AÑO   | OPERACIONES | ACUMULADO |
|-------|-------------|-----------|
| 1967  | 1,103       |           |
| 1968  | 1,411       |           |
| 1969  | 1,108       |           |
| 1970  | 959         |           |
| 1971  | 849         |           |
| 1972  | 838         |           |
| 1973  | 954         |           |
| 1974  | 1,115       |           |
| 1975  | 935         |           |
| 1976  | 1,092       |           |
| 1977  | 1,790       |           |
| 1978  | 1,415       |           |
| 1979  | 1,540       |           |
| 1980  | 2,043       |           |
| 1981  | 2,517       |           |
| 1982* | 2,626       | 22,231    |
| 1983  | 2,742       | 2,742     |
| 1984  | 2,866       |           |
| 1985  | 2,998       | 8,606     |
| 1986  | 3,139       |           |
| 1987  | 3,290       |           |
| 1988  | 3,450       |           |
| 1989  | 3,617       |           |
| 1990  | 3,794       | 25,896    |
| 1991  | 3,961       |           |
| 1992  | 4,137       |           |
| 1993  | 4,322       |           |
| 1994  | 4,515       |           |
| 1995  | 4,719       | 47,550    |
| 1996  | 4,908       |           |
| 1997  | 5,108       |           |
| 1998  | 5,315       |           |
| 1999  | 5,553       |           |
| 2000  | 5,760       | 74,174    |

\* Inicio de pronóstico.

Tabla 3-7. Estadística y pronóstico de operaciones comerciales anuales.

| AVION                                 | OPERACIONES | PORCENTAJE |
|---------------------------------------|-------------|------------|
| DC-9-30 y 32                          | 766         | 30.4       |
| DC-9-15 y 10                          | 622         | 24.7       |
| Aviones pequeños<br>(menos de 8 pas.) | 1,129       | 44.9       |
| TOTAL                                 | 2,517       | 100.0      |

Tabla 3-8. Operaciones comerciales anuales por tipo de avión  
año 1981.

| TIPO DE AVION       | FORCENTAJE<br>ESPERADO. | NUMERO DE<br>OPERACIONES<br>ESPE-<br>RADAS. | NUMERO DE<br>SALIDAS<br>ESPERADAS. | NUMERO DE<br>SALIDAS<br>ANUALES. |
|---------------------|-------------------------|---|------------------------------------|----------------------------------|
| DC-10               | 0.2                     | 148   | 74                                 | 4                                |
| DC-8, 9-707         | 0.8                     | 593   | 297                                | 17                               |
| B-727-200           | 5.0                     | 3,709                                       | 1,855                              | 103                              |
| 9-727-100           | 10.0                    | 7,417                                       | 3,709                              | 206                              |
| DC-9-30             | 30.0                    | 22,253                                      | 11,127                             | 618                              |
| DC-9-15             | 22.0                    | 16,310                                      | 8,159                              | 453                              |
| Aviones<br>pequeños | 32.0                    | 23,736                                      | 11,868                             | 659                              |
| TOTAL               | 100.0                   | 74,174                                      | 37,089                             | 2,060                            |

Tabla 3-9. Mezcla de tráfico comercial esperado de 1983 a 2000.  
Tráfico acumulado esperado = 74,174 operaciones (en 18 años).

Nota.- Una operación se considera como salida y llegada de una  
aeronave.

TABLA 3-10.. DETERMINACION DEL NUMERO DE SALIDAS EQUIVALENTES ANUALES DEL AERONAVE DEL AERONAVE DE PROYECTO.

| AVION     | TREN DE ATERRIZAJE | NUMERO DE SALIDAS ANUALES | PESO DE DESPERQUE $W_2$ (Lb) | ESPEJOR DE PAVIMENTO PARA TRES-9 $(p_{1/2})$ | FACTOR DE CONVERSION TREN DE ATERRIZAJE | NUMERO DE RUEDAS EN TREN DE TANDEN $(R_1)$ | CARGA POR RUEDA $W_1$ (Lb) | NUMERO DE SALIDAS EQUIVALENTES ANUALES DEL AERONAVE DE PROYECTO $(R_2)$ |
|-----------|--------------------|---------------------------|------------------------------|--|---|--|----------------------------|---|
| DC-10-10  | DOBLE TANDEN       | 4                         | 195,200<br>(430,000)         | 53.8<br>(21.2)                               | 1.0                                     | 4  | 16,174<br>(35,625)         | 4   |
| DC-8      | DOBLE TANDEN       | 17                        | 147,500<br>(325,000)         | 54.9 <sup>*</sup><br>(21.6)                  | 1.0                                     | 17   | 17,522<br>(38,594)         | 17  |
| B-727-200 | RUEDAS DOBLES      | 103                       | 78,100<br>(172,000)          | 54.6<br>(21.5)                               | 0.6                                     | 62   | 18,546<br>(40,890)         | 70  |
| B-727-100 | RUEDAS DOBLES      | 206                       | 72,600<br>(160,000)          | 53.3<br>(21.0)                               | 0.6                                     | 124  | 17,552<br>(38,000)         | 119   |
| DC-9-30   | RUEDAS DOBLES      | 618                       | 49,030<br>(108,000)          | 47.0<br>(18.5)                               | 0.6                                     | 371  | 11,645<br>(25,690)         | 124   |
| DC-9-15   | RUEDAS DOBLES      | 453                       | 41,170<br>(90,700)           | 44.5<br>(17.5)                               | 0.6                                     | 272  | 9,780<br>(21,541)          | 66  |
|           |                    | 1,401                     |                              |  |   |  |                            | 400   |

\* AERONAVE DE PROYECTO: DC-8 :  $W_1 = 17,522$  Ks. (38,594 Lb)

$$\text{Log } R_1 = \text{Log } R_2 + \left( \frac{W_1}{W_2} \right)^{0.75}$$

Determinación de los espesores requeridos de pavimento por el método de la FAA.

Fista 15-33.

Datos:

- VRS de proyecto para la subrasante <sup>o</sup>
- Peso total de la aeronave de proyecto 147,507 Kg. (325,000 Lb)
- Tren de aterrizaje en doble tandem.
- Número de salidas equivalentes anuales del avión de proyecto 400.

Espesor requerido de pavimento:

h= 66 cm (26 pulg)

Espesor mínimo de carpeta:

- En áreas críticas 10 cm (4 pulg)
- En orillas 5 cm (2 pulg)

Espesor mínimo de base:

29 cm (11.3 cm)

Espesores faltantes de pavimento:

| Elemento                    | Espesor requerido (cm) |         | Espesor* existente equivalente (cm) | Espesor faltante de carpeta (cm) |
|-----------------------------|------------------------|---------|-------------------------------------|----------------------------------|
|                             | Total** (Equivalentes) | Carpeta |                                     |                                  |
| Fista 15-33                 | 66                     | 10      | 55                                  | 11                               |
| Primer tercio (cabecera 15) | (72)                   |         |                                     |                                  |
| Segundo tercio (medio)      | 66 (72)                | 10      | 72                                  | --                               |
| Tercer tercio (cabecera 33) | 66 (72)                | 10      | 48                                  | 15                               |

\* Factor de equivalencia de carpeta existente: 1.3

\*\* Factor de equivalencia de carpeta nueva: 1.6



Rodajes Alfa y Bravo.

## Datos:

- VRS de proyecto para la capa subrasante 11
- Peso total del avión de proyecto 147,500 Kg (325,000 Lb)
- Número de salidas equivalentes del avión de proyecto 400

## Espesor requerido de pavimento:

h= 57 cm (22.5 pulg)

## Espesor mínimo de carpeta:

- En áreas críticas 10 cm (4 pulg)
- en orillas 5 cm (2 pulg)

## Espesor mínimo de base:

28 cm (11 pulg)

## Espesores faltantes de pavimento:

| Elemento     | Espesor requerido (cm) |         | Espesor existente (cm) |         | Espesor faltante de carpeta (cm) |
|--------------|------------------------|---------|------------------------|---------|----------------------------------|
|              | Total ** (Equivalente) | Carpeta | Total * (equivalente)  | Carpeta |                                  |
| Rodaje Alfa  | 57<br>(63)             | 10      | 73<br>(76)             | 10      | --                               |
| Rodaje Bravo | 57<br>(63)             | 10      | 54<br>(57)             | 10      | 4                                |

\* Factor de equivalencia de carpeta existente 1.3

\*\* Factor de equivalencia de carpeta nueva 1.6

Plataforma de operaciones.

## Datos:

- VRS de proyecto para la subrasante 9
- Peso total del avión de proyecto 147,000 Kg (325,000 Lb)
- Tren de aterrizaje en doble tandem
- Número de salidas equivalentes anuales del avión de proyecto 400.

## Espesor requerido de pavimento:

h = 66 cm (26 pulg)

## Espesor mínimo de carpeta:

- En áreas críticas 10 cm (4 pulg)
- En orillas 5 cm (2 pulg)

## Espesor mínimo de base:

29 cm (11.3 pulg)

## Espesores faltantes de pavimento:

| Elemento                        | Espesor requerido<br>(cm)     |         | Espesor existente<br>(cm)   |         | Espesor faltante<br>de car-<br>peta (cm). |
|---------------------------------|-------------------------------|---------|-----------------------------|---------|---|
|                                 | Total<br>(Equivalente)<br>* * | Carpeta | Total<br>(Equivalente)<br>* | Carpeta |   |
| Plataforma<br>de<br>Operaciones | 66<br>(72)                    | 10      | 66<br>(72)                  | 33      | --  |

\* Factor de equivalencia de carpeta existente 1.3

\* \* Factor de equivalencia de carpeta nueva 1.6

## CONCLUSIONES.

- a) De acuerdo con los cálculos estructurales, la pista 15-33 requiere de una sobrecarpeta de 11 cm en el primer tercio (cerca a la cabecera 15), no requiere refuerzo en el --- tercio medio y requiere un espesor de 15 cm de sobrecarpe ta en el tercer tercio (cerca a cabecera 33); sin embargo, dada la heterogeneidad de los valores representativos - obtenidos, la diversidad de los espesores de la estructura de los pavimentos a lo largo de la pista (corroborada con estudios anteriores), y las características pobres que pre senta la capa de base, se recomienda que a lo largo de toda la pista se coloque una sobrecarpeta de 12 cm.
- b) El rodaje Alfa, conforme a los cálculos estructurales, no - requiere ser reforzado con una sobrecarpeta, sin embargo, con base en la inspección visual, la carpeta existente --- presenta tramos con material de pobre calidad. Se recomien da pues, recortar los 2 o 3 cm superiores de la carpeta -- existente, por medio de una perfiladora en frío, y colocar una sobrecarpeta de 6 cm.
- c) El rodaje Bravo requiere ser reforzado con 4 cm de sobre- carpeta, según los cálculos estructurales. Se recomienda - recortar los 2 o 3 cm superiores de la carpeta existente, utilizando una perfiladora en frío y colocar una sobrecar peta de 7 cm.
- d) La plataforma de operaciones no requiere ser reforzada, de acuerdo a los cálculos estructurales, sin embargo con el fin de restaurar la parte de la carpeta afectada por derrames de combustibles, se recomienda recortar los 3 o 4 cm - de la carpeta existente, con una perfiladora en frío, y --- colocar una sobrecarpeta de 6 cm.

### 3.5.2. ESTUDIO DE EVALUACION DE PAVIMENTOS EN EL AEROPUERTO DE MERIDA, YUC. (1986).

La presente evaluación comprende las pistas 10-28 y 17-35 con una longitud de 2700 y 2300m respectivamente, con un ancho de 45m, los rodajes Alfa, Coca, Travo, Delta y Eco, y la plataforma de aviación general.

Se realizó una inspección física en las pistas, rodajes y plataforma de aviación general, áreas que están formadas por pavimentos asfálticos, a excepción del inicio de las pistas en cabeceras 10 y 17 en una longitud de 100m aproximadamente, las cuales están constituidas por losas de concreto hidráulico, cuyo comportamiento en general es aceptable.

El área donde se presente un mayor número de fallas del pavimento, es en la parte central de la sección transversal de la pista 10-28, y casi a todo lo largo, presentándose grietas tipo piel de cocodrilo y de mapa, grietas longitudinales y transversales, deformaciones ligeras a regulares y algunos baches. Esta pista que es la principal opera durante 9 meses del año y en consecuencia es la que tiene el mayor número de operaciones.

Otra zona afectada es la correspondiente al rodaje Alfa, donde se tienen el mismo tipo de fallas, pero de menor magnitud.

El resto de los pavimentos muestra algunos deterioros como los ya mencionados, pero de poca consideración y en forma aislada.

Por otra parte, todos los rodajes y un 80 % de la pista 17-35 cuentan con una capa de mortero asfáltico y en la plataforma de aviación comercial se aprecian indicios de la aplicación de un producto para proteger la carpeta asfáltica de la acción de los combustibles y lubricantes.

En general los pavimentos están integrados por uno o varias capas de carpeta asfáltica, base hidráulica y capa subrasante, exceptuando la pista 10-28 donde se cuenta además con capa de subbase.

A continuación se anota la estructura del pavimento encontrada en cada uno de los sondeos efectuados; aclarándose que en las pistas dichos sondeos se ubicaron a 15 y 10m del eje, en pistas y rodajes, respectivamente.

| SONDEO<br>No. | UBICACION                      | ESPECRES DEL PAVIMENTO (cm) |                    |         |       |
|---------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------|---------|-------|
|               |                                | CARPETA<br>ASFALTICA        | BASE<br>HIDRAULICA | SUBBASE | TOTAL |
| 1             | Pista 10-28 Km<br>0+500, Der.  | 13                          | 13                 | 25      | 51    |
| 2             | Pista 10-28 Km<br>1+100, Izq.  | 11                          | 16                 | 29      | 56    |
| 3             | Pista 10-28 Km<br>1+600, Der.  | 20                          | 15                 | 27      | 62    |
| 4             | Pista 10-28 Km<br>2+200, Izq.  | 7                           | 19                 | 15      | 41    |
| 5             | Rodaje Bravo<br>Km 0+300, Der. | 8                           | 20                 | --      | 28    |
| 6             | Rodaje Bravo<br>Km 0+800, Izq. | 9                           | 27                 | --      | 36    |
| 8             | Rodaje Bravo<br>Km 1+400, Der. | 12                          | 22                 | --      | 34    |
| 7             | Rodaje Delta<br>Km 0+120, Izq. | 9                           | 27                 | --      | 36    |
| 9             | Pista 17-35 Km<br>0+800, Der.  | 13                          | 18                 | --      | 31    |
| 10            | Pista 17-35 Km<br>1+100, Izq.  | 14                          | 13                 | --      | 27    |
| 11            | Pista 17-35 Km<br>1+700, Izq.  | 11                          | 14                 | --      | 25    |
| 12            | Rodaje Alfa Km<br>0+400, Izq.  | 7                           | 24                 | --      | 31    |
| 15            | Rodaje Alfa Km<br>1+270, Der.  | 8                           | 20                 | --      | 28    |
| 13            | Rodaje Coca Km<br>0+100, Der.  | 8                           | 20                 | --      | 28    |

|    |                                  |    |    |    |    |
|----|----------------------------------|----|----|----|----|
| 14 | Rodaje Eco Km<br>0+100, Der.     | 10 | 15 | -- | 25 |
| 16 | Plataf. de Avia-<br>ción General | 5  | 10 | -- | 15 |

La figura 3-23 muestra la localización de los sondeos que se realizarán para conocer las características de los pavimentos.

#### REVISIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.

##### Datos de proyecto:

- a) Número de operaciones anuales en el año 1986 20,860
- b) Número de operaciones anuales en el año 2006 31,020
- c) Distribución de operaciones por tipo de aeronave (%)
  - B-727-200 30.00
  - DC9-80 20.06
  - DC9-32-30 24.04
  - DC9-15 25.90
- d) Salidas anuales equivalentes al avión de proyecto (B727-200).
  - a 10 años 9,440
  - a 20 años 13,759
- e) VRS de diseño de la capa subrasante determinada por --- medio de pruebas VRS directo (en el lugar), para todas -- las áreas de operación = 20

##### Métodos de diseño.

Los métodos de diseño para la revisión de la estructura del -- pavimento, fueron los del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los E.U. y el de la Administración Federal de Aviación (FAA), habiéndose obtenido los siguientes resultados:

## a) Método del Cuerpo de Ingenieros.

El análisis bajo este método se hizo calculando por separado los diferentes tipos de áreas de operación, tomando en cuenta que el 75 % de las operaciones se tienen en la pista 10-28 y demás rodajes. La canalización del tráfico en las pistas, se consideró en un ancho de 37,5' (11.5m) y en rodajes de 7.5' (2.3m). Por lo que se refiere a la plataforma de aviación general, la revisión se llevó a cabo con 4,500 y 22,000 operaciones (10 y 20 años) con una aeronave de 30,00 lb de peso.

| AREA DE OPERACION           | ESPEORES REQUERIDOS A PARTIR DE LA CAPA SUBRASANTE (cm), 4: |         |
|-----------------------------|---|---------|
|                             | 10 AÑOS   | 20 AÑOS |
| Pista 10-28                 | 46.7  | 51.1    |
| Pista 17-35                 | 41.9  | 46.1    |
| Rodaje Bravo                | 54.1  | 58.3    |
| Rodajes (Alfa, Delta y Eco) | 49.2  | 53.4    |
| Plataforma de Av. Gral.     | 10.3  | 12.2    |

Comparando los espesores requeridos con los existentes, y tomando en cuenta la calidad de las capas y estado de la carpeta, considerando en esta última factores de equivalencia de 1.2 en pista 10-28 y de 1.5 en el resto de los pavimentos -- llegamos a la conclusión de que para una vida de 10 y 20 -- años se requerirá refuerzo en todos los pavimentos, exceptuando de la plataforma de aviación general.

Para la conclusión anterior, se tomó en cuenta que los -- espesores en varias áreas son heterogéneos, y que aunque en promedio como es el caso de las pistas 10-28 y 17-35 cumplen o se acercan al espesor requerido, presentan zonas con escaso espesor, además de que en la mitad de los sondeos, la capa -- subrasante presenta espesores inferiores a los mínimos recomendados.

## b) Método de la FAA.

En esta revisión se considerarán tres grupos de áreas, la primera corresponde a la pista 10-28 y rodaje Gravo, la segunda a la pista 17-35 y el resto de los rodajes y en el tercero, la plataforma de aviación general, obteniéndose los siguientes resultados:

| AREA DE OPERACION              | ESPESORES REQUERIDOS<br>A PARTIR DE LA CIP1<br>SUBRASANTE (cm), A: |         |
|--------------------------------|--|---------|
|                                | 10 AÑOS  | 20 AÑOS |
| Pista 10-28 y rodaje Gravo     | 38.8   | 39.9    |
| Pista 17-35 y resto de rodajes | 35.0   | 36.3    |
| Plataforma de aviación general | 13.9   | 14.7    |

Como se podrá observar, los espesores requeridos con este método son inferiores a los determinados por el primero, pero tomando en cuenta las mismas consideraciones anotadas en el análisis por el método del Cuerpo de Ingenieros, se manifiesta la necesidad aunque en menor grado, de reforzar la estructura actual del pavimento.

De acuerdo con lo antes expuesto, salvo la plataforma de aviación general en donde el pavimento cubre las necesidades estructurales a 10 y 20 años, proporcionándole solamente el mantenimiento normal, ocasionalmente reforzado mediante un tratamiento superficial, a fin de protegerlo del desgaste y de los agentes atmosféricos, en el resto de los pavimentos se recomienda colocar una sobrecarpeta de 7 cm de espesor.



## PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.

Primeramente se llevará a cabo el bacheo y calafateo de grietas de acuerdo con los siguientes procedimientos.

## a) Bacheo.

Abrir caja hasta la profundidad necesaria, en forma rectangular orientada en el sentido de la pista o el rodaje, -- delimitando el área fallada y de dimensiones tales que pueda operar libremente el equipo de construcción adecuado.

Se extrae el material inestable y se compacta la superficie descubierta al 95 % mínimo.

Se rellena el bache, empleando material de base hidráulica hasta 5 cm abajo del nivel inferior de la carpeta actual, compactando por capas al 95 % y terminando con -- concreto asfáltico cuyo espesor será mayor en 5 cm al de la carpeta actual, también se compactará en capas no mayores de 7 cm al 95 %.

En caso de que la profundidad del bache sea reducida, se podrá rellenar totalmente con concreto asfáltico.

## b) Calafateo de grietas.

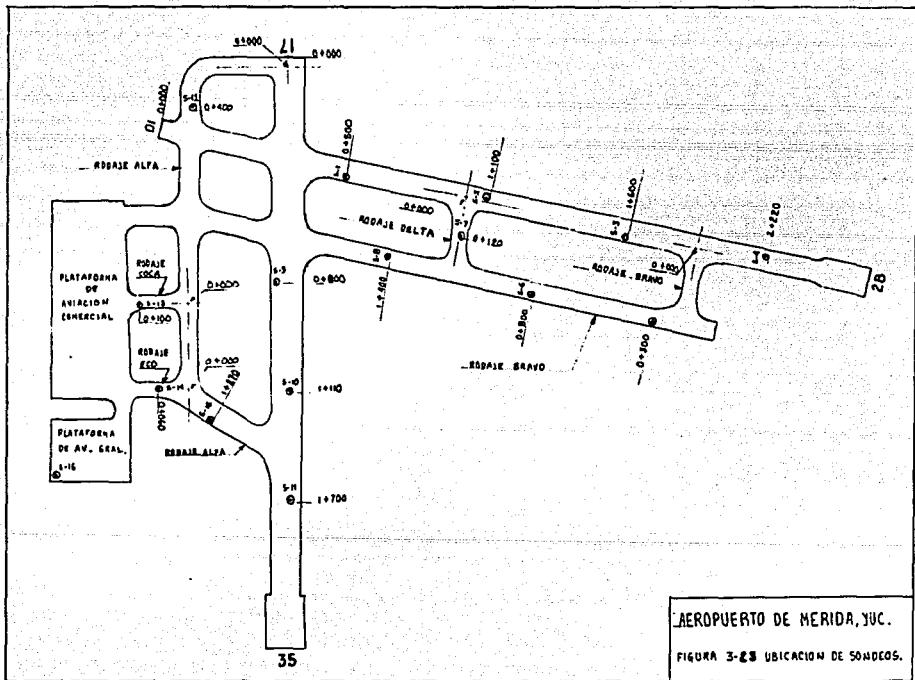
Para el caso de las grietas aisladas de regular magnitud (hasta 3 mm de ancho), no asociadas a deformaciones importantes, únicamente se calafatearán con producto asfáltico de fraguado rápido de manera que la grieta quede sellada debidamente.

Las grietas con ancho mayor de 3mm, se sellarán con mortero asfáltico que garantice una adecuada penetración

En lo que se refiere a la pista 10-28 y debido a las fallas que presenta la carpeta en el tercio central de la misma, conforme a su sección transversal, y en casi un 80 % de su longitud, se recomienda eliminar mediante fresado un espesor de 6 cm; este espesor es el -- espesor promedio de la última capa de mezcla asfáltica que le fue colocada, la que en los sondeos efectuados se observó más deteriorada que las capas de mezcla construidas con anterioridad.

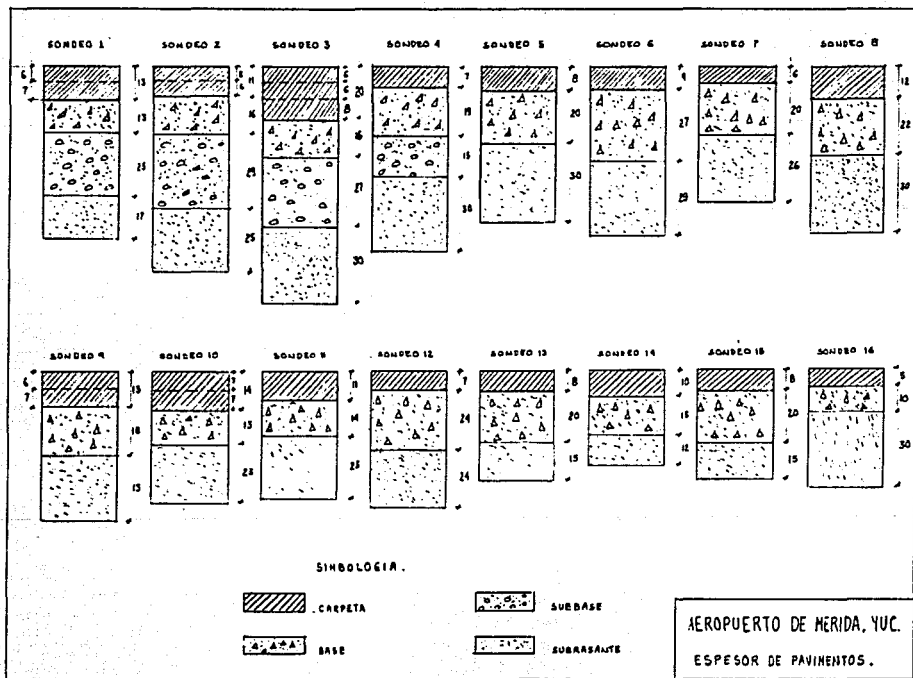
Una vez efectuado el fresado, bacheo y calafateo de grietas, se procederá en el caso de la pista 10-28, a reponer el espesor de la carpeta cortada, para lo cual previamente se deberá barrer la zona correspondiente, aplicando a continuación un riego de liga en proporción de  $0.7 \text{ lt/m}^2$ , aproximadamente.

En el resto de las áreas, sobre la carpeta antigua, y en la carpeta nueva de la parte fresada, se aplicará también un riego de liga con producto asfáltico tipo FR-3, con una dosificación del orden de los  $0.5 \text{ lt/m}^2$ , para después construir la sobre Carpeta de 7 cm de espesor.



AEROPUERTO DE MERIDA, YUC.

FIGURA 3-23 UBICACION DE SONDOS.



#### **CATITULO 4.- PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION.**

#### 4.1. GENERALIDADES.

En cada caso en que se requiera un refuerzo, renovación o en -- general algún tratamiento para que los pavimentos trabajen adecuadamente siempre existirán características específicas en cada problema, por lo que en este capítulo se trata en forma genérica las fallas -- más comunes tanto en los pavimentos de tipo flexible como los de tipo rígido, así como sus respectivos procedimientos de construcción para la reparación de las mismas. Se presentan además fotografías que --- ilustran algunos tipos de fallas que se presentan en pavimentos rígi dos y flexibles.

#### 4.2. FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Las fallas en los pavimentos (flexibles y rígidos) pueden ser de tipo estructural o funcional.

La falla estructural ocurre cuando se presenta la destrucción de la estructura del pavimento, y que puede ser ocasionada por que el -- tránsito que ha soportado es mayor que el que se calculó para su vida útil, a que los materiales que se usaron fueron de mala calidad, a menu do combinados con un mal drenaje y baja compactación.

Se dice que existe falla funcional en los pavimentos cuando las - deformaciones presentadas en la superficie de rodamiento son mayores a las tolerables y presentan incomodidades al tránsito.

Es necesario un análisis concienzudo para seleccionar el método y los materiales adecuados para la reparación de los pavimentos flexi- bles. Ambos factores deben ser considerados de acuerdo con las condi- ciones locales, aunque en principio los trabajos de mantenimiento --- siguen una misma secuencia. El primer paso para proceder a la repara- ción es determinar la causa de la falla, para poder atacar el proble ma desde la raíz, ya que de nada serviría por ejemplo, sólo reponer una carpeta fallada si la causa de la falla es una base pobre o se tienen problemas de drenaje, ya que la falla pronto volvería a aparecer.

Los defectos en los pavimentos asfálticos pueden ser el resultado de fallas estructurales por consolidación o corte desarrollados en la subrasante, subbase, base o en la carpeta; o bien por un drenaje --- defectuoso que torna críticas las condiciones de trabajo del pavimen- to. La figura 4-1 muestra las fallas que comunmente se presentan en - pavimentos flexibles.

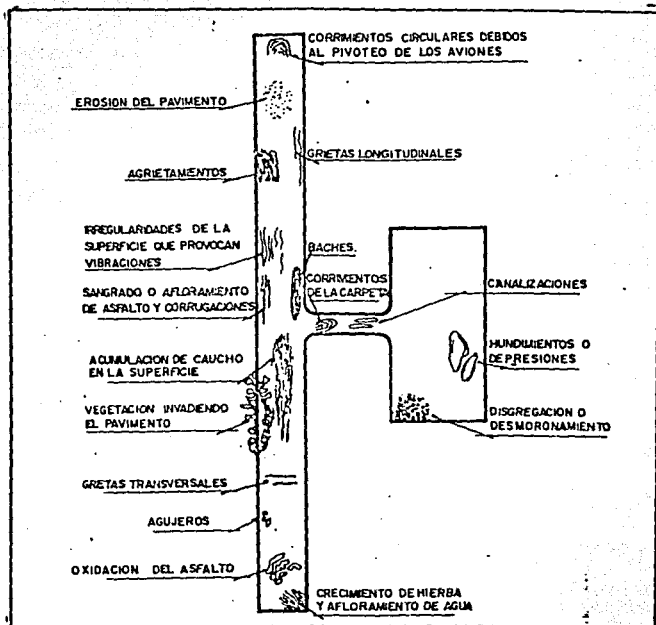


Figura 4-1. Conservación y detalles a observar en pavimentos flexibles.

#### 4.2.1. EROSION DEL PAVIMENTO.

En los pavimentos de concreto asfáltico la erosión se manifiesta por el desprendimiento del material pétreo más superficial. Esta erosión puede ser provocada por el chorro de las turbinas y/o por el peso de las ruedas de los aviones a gran velocidad.

Es determinante, para el desarrollo de esta falla, las condiciones de adherencia existentes entre el material pétreo y el asfalto.

La elaboración defectuosa del concreto asfáltico durante la construcción del pavimento, la utilización de agregados pétreos hidrófilos o de poca afinidad con el asfalto, y efectos circunstanciales como derrame de combustibles y lubricantes, son las causas de una pobre adherencia entre el material pétreo y el asfalto.

Cuando la erosión se encuentre en etapa inicial, los trabajos correctivos podrán consistir en un riego de mortero asfáltico (Slurry Seal). Como trabajo de urgencia con carácter provisional se han de utilizar los "riegos de taponamiento" consistentes en la aplicación de emulsiones asfálticas rebajadas con agua entre un 50% y un 70%. La dosificación podrá variar entre 0.2 y 0.6 lt/m<sup>2</sup> y podrá aplicarse en dos riegos. Deberá tenerse especial cuidado en que no quede una superficie muy lisa ya que puede disminuirse peligrosamente el coeficiente de fricción. Se recomienda que por ningún motivo se den riegos de sello (riego asfáltico con material pétreo) a la superficie de pavimentos de uso aeronáutico, pues el material pétreo queda suelto en la superficie y puede ser absorbido por las turbinas de los aviones de turbo reacción y dañadas seriamente, y aún las hélices de los aviones de pistón o turbohélice; asimismo, puede golpear con relativa fuerza contra el fuselaje e introducirse en los huecos de las ruedas del tren de aterrizaje.

Se puede decir que el objetivo principal de un mortero asfáltico es el de rejuvenecer, en cierto sentido, la superficie de un pavimento que tiene daños superficiales como pudieran ser oxidaciones, pérdida de aglutinante, desmoronamientos ligeros y agrietamientos. Uno de sus principales efectos es el mejorar la impermeabilidad y la resistencia al derrape.



El procedimiento para la aplicación del mortero asfáltico sobre la superficie de un pavimento en términos generales consiste en lo siguiente:

Primeramente la superficie debe de estar libre de marcas de pintura y libre de arcilla, para poder proporcionar una mejor adherencia entre el mortero asfáltico y la superficie del pavimento a tratar. En seguida se deben rellenar los agujeros existentes a base de mezcla asfáltica, dejando una superficie uniforme. Completando lo anterior se aplica el mortero asfáltico en forma líquida, por medio de un camión mezclador de tambor que lo extiende; la profundidad del mortero es regulada por una hoja o cuchilla de hule.

El período de secado varia dependiendo del clima de que se trate y del tipo de emulsión. Para climas calurosos es de 20 minutos a seis horas; si son fríos, alrededor de dos días con temperaturas arriba de la congelación de agua.

Un mortero asfáltico bien aplicado, resiste el chorro de las turbinas y el impacto producido por los aviones sobre la superficie de rodamiento debido a los aterrizajes.

#### 4.2.2. SANGRADO O AFLORAMIENTO DE ASFALTO

El sangrado o afloramiento de asfalto, que generalmente ocurre durante épocas de calor, consiste en la aparición del asfalto sobre la superficie del pavimento, formando una película extremadamente lisa, la cual bajo condiciones de lluvia presenta serios problemas al reducirse el coeficiente de fricción.

Las causas de esta falla pueden ser: un exceso de asfalto en la mezcla asfáltica empleada en la construcción, un riego de liga o de impregnación excesivos, o bien solventes que acarrear al asfalto a la superficie. Adicionalmente, el paso de las cargas del tráfico pesado pueden ocasionar compresiones en un pavimento con exceso de asfalto, forzándolo a que aflore en la superficie.

El procedimiento para corregir este tipo de fallas será el de remover o raspar el exceso de asfalto aflorado y efectuar un tratamiento superficial. En virtud de que los riesgos de sello tipo carretera son peligrosos ya que pueden dañar las turbinas de los aviones por la ingestión del material pétreo, los tratamientos superficiales deben aplicarse con mortero asfáltico ( Slurry Seal ).

#### 4.2.3. HUNDIMIENTOS O DEPRESIONES.

Esta falla se presenta en forma de áreas de bajas dimensiones -- variables (hundimientos diferenciales) y pueden no estar acompañadas de grietas. En época de lluvias se acumula el agua en estas depresiones formando charcos; los cuales pueden constituir un peligro para las operaciones de los aviones ante la posibilidad de que se produzca el fenómeno de hidroplaneo. Por otra parte los charcos presentes en las pistas ponen en peligro las partes integrantes de los aviones, cuando estas reciben el impacto del agua al ser levantada por el tren de aterrizaje a las altas velocidades de operación; asimismo, los charcos pueden incrementar peligrosamente las distancias de despegue de los aviones. Además el agua así acumulada acelera el proceso de deterioro del pavimento.

Los hundimientos o depresiones pueden ser provocados por la operación de cargas superiores a las correspondientes al diseño del pavimento; también pueden ser debidas a una falta de compactación de las capas inferiores del pavimento o bien a asentamientos del terreno de cimentación. En algunos suelos constituidos por arcillas con muy baja capacidad de soporte, la falla se puede presentar por flujo del suelo de cimentación hacia los lados de la pista.

Los procedimientos de construcción para corregir las depresiones en los pavimentos son:

- Cuando existen hundimientos debidos a la compactación del terreno de cimentación o de las capas del pavimento, se define el área por renivelar, se abre una caja perimetral de aproximadamente 5 cm de ancho y 5 cm de espesor, con objeto de evitar espesores pequeños en las orillas de la renivelación; así como para evitar que la mezcla se corra; se pica la superficie por renivelar y se limpia; se aplica un riego de liga de acuerdo a lo indicado en las Especificaciones Generales de Construcción de S.C.T.; se coloca la mezcla asfáltica y se compacta desde las orillas hacia el centro, ver figura 4-2. Se recomienda dar un tratamiento superficial por medio de un mortero asfáltico (Slurry Seal) para proporcionar mayor impermeabilidad al pavimento.

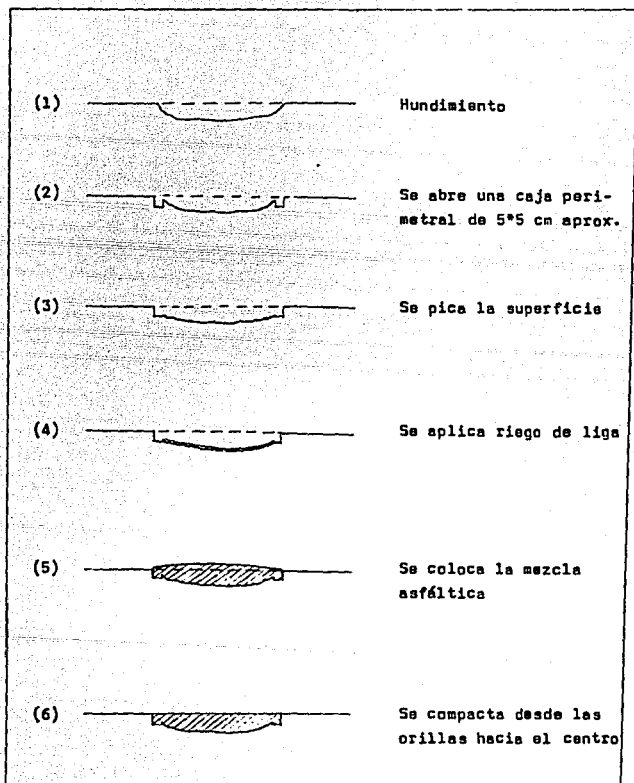


Fig. 4-2 Renivelación de hundimientos

- Cuando existen asentamientos causados por fallas de tuberías o alcantarillas, éstas deben ser reparadas previamente, lo que requerirá la completa remoción del pavimento en la zona afectada y de las capas inferiores.
- Cuando existen hundimientos acompañados de grietas, es necesario efectuar estudios para determinar la causa de la falla y suprimirla. En general las renivelaciones no son aplicables a estos casos; se deben extraer los materiales fallados y -- reponerlos con materiales de buena calidad, además de eliminar la causa.

#### 4.2.4 BACHEO.

Cuando a un pavimento existente se le va a colocar una sobrecarpeta para incrementar su vida útil y/o su capacidad estructural, es muy -- importante que previamente se le someta a un bacheo adecuado dejando su superficie uniforme para recibir la sobrecarpeta. La figura 4-3 a) muestra el procedimiento incorrecto que se traducirá en una superficie terminada con irregularidades. La figura 4-3 b) muestra el procedimiento correcto.

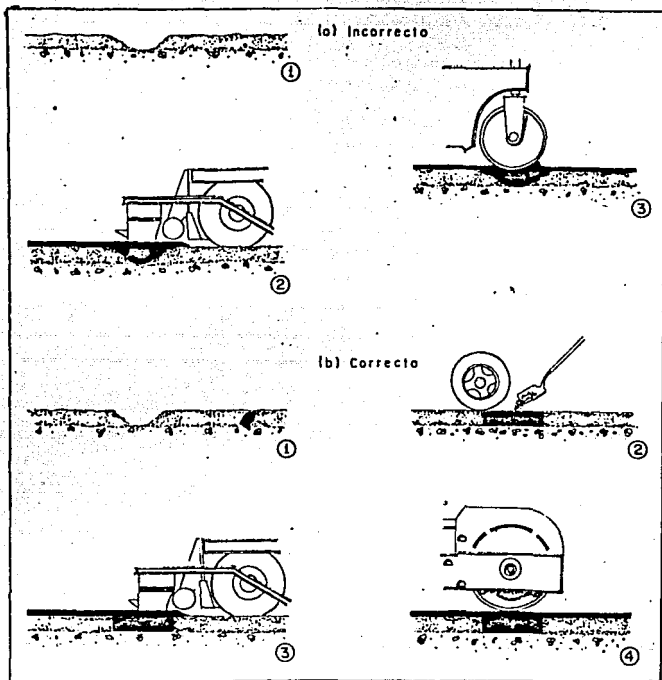


Figura 4-3. Los baches deben ser rellenados convenientemente antes del tendido de la sobrecarpeta.

### 4.3. FALLAS EN PAVIMENTOS RIGIDOS.

Las reparaciones que es necesario efectuar a los pavimentos rígidos, caen, por lo general, en tres grandes clases; (1) El reemplazo del pavimento que ha sido cortado totalmente, para colocar o reparar tuberías u otras instalaciones; (2) la reparación de hoyos o depresiones causadas ya sea por falla original en la construcción o por el efecto normal de desgaste; y (3) las reparaciones a lo largo de las juntas de expansión o las grietas formadas por sí solas, en el pavimento.

Los parches de reparación debidamente efectuados deben probar ser tan duraderos como el pavimento original y no deben ser notorios después de haber sido expuestos al tráfico, por corto tiempo.

La figura 4-4. muestra las fallas que comúnmente se presentan en los pavimentos rígidos.

#### 4.3.1. DESINTEGRACION DEL CONCRETO.

La desintegración del concreto puede ser debida al uso de materiales poco durables en combinación con severas condiciones del clima, con frecuentes ciclos de heladas, deshielos y con el escaso o nulo aire incluido en el concreto.

Este tipo de falla es fácilmente distinguible de las estructurales, pues se manifiesta, en sus inicios, por grietas semicirculares del ancho de un cabello, que nacen de las juntas o en las orillas del pavimento.

Este tipo de falla es progresiva y va cubriendo cada vez mayor superficie; si no se detiene en sus etapas iniciales, puede progresar hasta que el pavimento requiera su completa sustitución. En este caso será necesario demoler y reponer con concreto hidráulico el tramo fallado. Podrán utilizarse productos especiales como aditivos o adhesivos, dependiendo de las condiciones particulares de cada caso.

- Aditivos para las mezclas del concreto utilizadas en la reparación, que tengan prioridades acelerantes (para proporcionar alta resistencia a corta edad) y aquellos que tienen propiedades para evitar las contracciones debidas al fraguado.
- Adhesivos a base de resinas, para pegar concreto fresco a concreto endurecido, para resanes de alta resistencia y rápido endurecimiento, para relleno de las grietas, para unir concreto hidráulico a asfalto, etc.

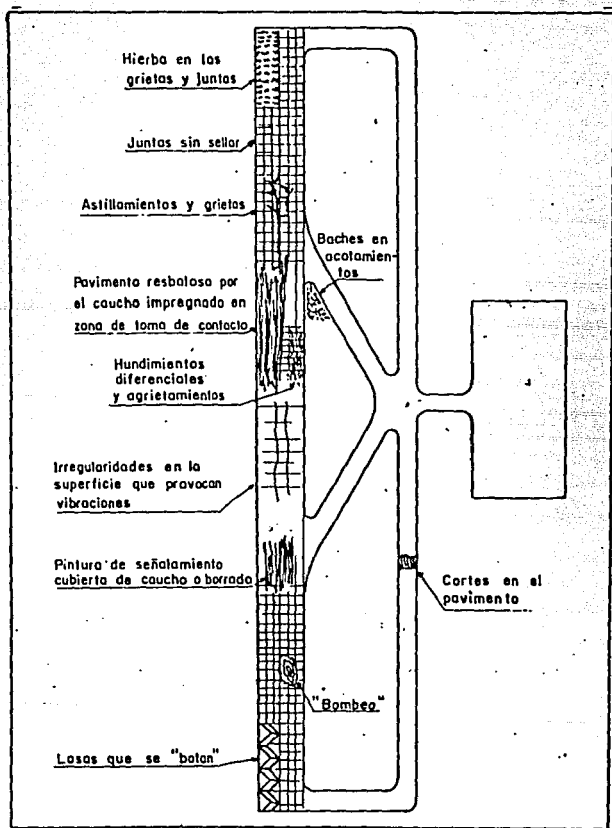


Figura 4-4. Fallas comunes en pavimentos rígidos.

Como solución provisional se acostumbra utilizar concreto asfáltico en el parche; en este caso se requerirá abrir una caja hasta la profundidad necesaria para alojar el pavimento flexible con el espesor equivalente que se requiera, con el fin de obtener la misma capacidad de carga que la del pavimento original. Para esto será necesario recurrir al laboratorio de campo. Dichos parches pueden ser abiertos al tráfico en pocas horas, si se utilizan materiales apropiados y las capas que lo constituyen han sido construidas adecuadamente.

#### 4.3.2. ASTILLAMIENTOS O DESCONCHAMIENTOS CERCANOS A LAS JUNTAS.

Pueden ser debidos a la infiltración de material pétreo en las juntas, a una instalación inadecuada de los dispositivos encargados de la transferencia de carga (pasajuntas), a un concreto poco resistente, al manejo inadecuado o poco cuidadoso de las formas o cimbras durante la construcción, a un manejo excesivo del concreto para el acabado de las juntas y/o a un manejo extemporáneo del mismo.

Los astillamientos debidos a la infiltración de material pétreo pueden resultar cuando el material entra a la junta (con sellado defectuoso) por arriba, o bien cuando es forzado hacia arriba, desde la base (hombreo). Esta falla es muy común en lugares donde los materiales son predominantemente arenosos y es el resultado de las grandes concentraciones de esfuerzos que ocasiona el material que ha invadido la junta y que impide los movimientos de expansión de la losa. En esta circunstancia, el paso de las cargas torna aun más críticos los esfuerzos en el concreto.

Los astillamientos debidos a la fijación de pasajuntas generalmente se originan cuando estos tienen un alineamiento o lubricación inadecuada, lo cual no permite la libre expansión y contracción de la losa. Desde el momento en que la barra de un pasajunta no tiene libertad de movimiento, aparece el astillamiento, debido a los esfuerzos cortantes resultantes de los ciclos de expansión-contracción.

Los astillamientos generalmente no se extienden a gran distancia dentro de la losa; sin embargo, ocasionan una disminución del peralte efectivo de la losa en la orilla lo que causa debilidad en la estructura del pavimento. Asimismo pueden constituir irregularidades que afectan la operación de los vehículos.



Para proceder a la reparación de los astillamientos o desconchamientos por medio de concreto hidráulico, es necesario eliminar primeramente la causa que los provocan. Cuando la causa es la infiltración de material en las juntas, es necesario limpiarlas, retirando el material de sello defectuoso; a continuación se coloca el parche de concreto hidráulico como se indica más adelante y una vez endurecido se procede al sellado de la junta. Cuando la falla es debida a un mal funcionamiento del pasajuntas debido a que éste se encuentra desalineado horizontal o verticalmente, o adherido al concreto, es necesario corregir previamente su mal funcionamiento, para lo cual se requerirá, en algunos casos, descubrirlo desolviendo el concreto necesario. En el área de astillamiento se debe remover el concreto cercano para formar un cajón en las orillas escuadradas y sus paredes verticales lo mejor posible.

Todo el concreto débil o fallado debe ser removido. En seguida se limpia perfectamente el área con aire a presión; se recomienda utilizar adhesivo a base de resinas epóxicas o polímeros para asegurar la perfecta unión entre el concreto viejo y el nuevo. Puede emplearse un aditivo acelerante cuando se requiera poner el pavimento en servicio lo antes posible. Debe tenerse cuidado en respetar las dimensiones de la junta adyacente y de evitar que el concreto se adhiera a la losa contigua, lo cual puede lograrse colocando un inserto con su cara adyacente al concreto nuevo, debidamente lubricada. Para terminar debe darse a la superficie del parche un acabado similar al del pavimento viejo cuidando que su superficie quede al mismo nivel que el de la losa.

Cuando la reparación de los astillamientos se efectúa con mezcla asfáltica, es necesario retirar todo el concreto fallado y formar un cajón con las orillas escuadradas y sus paredes verticales lo mejor posible. En seguida se limpia perfectamente el área con aire a presión y se efectúa un riego de impregnación con asfalto rebajado de fraguado rápido; a continuación se rellena con concreto asfáltico y se compacta debidamente, de preferencia con un compactador vibratorio. Debe asegurarse que la superficie del parche quede al mismo nivel que el de la losa.

Otra manera de reparar los astillamientos o desconchamientos -- consiste en utilizar una pieza prefabricada de concreto hidráulico en forma de paralelepípedo y de tamaño ligeramente superior al de la superficie fallada, para lo cual es necesario formar un cajón -- para alojar la pieza prefabricada, la que se fijará por medio de -- mortero cemento con adhesivo a base de resinas epóxicas, como se muestra en la figura 4-5. Este procedimiento tiene la ventaja de -- que se puede poner en operación el tramo reparado más rápidamente que cuando se usa mezcla de concreto hidráulico para el parchado.

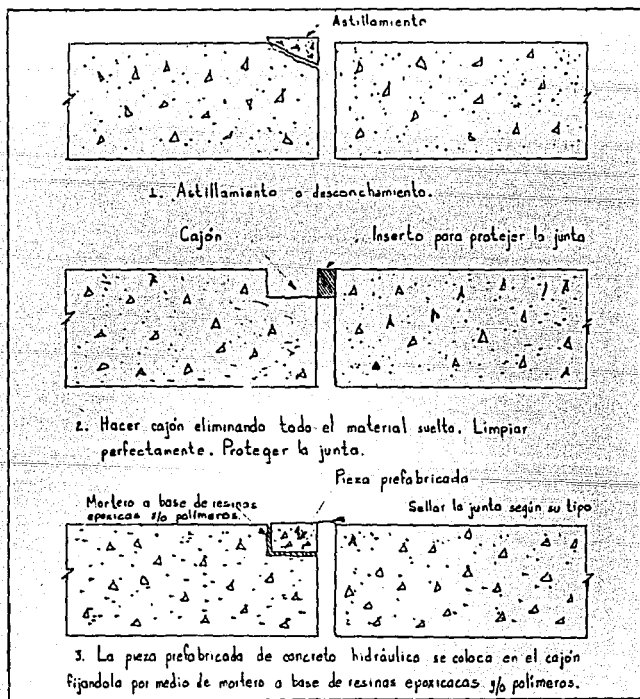


FIGURA 4-5. REPARACION DE ASTILLAMIENTOS CON INSERTOS PREFABRICADOS.

#### 4.2.4. HUNDIMIENTOS DIFERENCIALES Y AGRIETAMIENTOS CON HUNDIMIENTOS

Los hundimientos diferenciales, consisten en una diferencia de nivel entre dos losas en una junta o en una grieta y pueden ser debidos a una inadecuada transferencia de cargas, combinada con una consolidación o contracción de las capas de cimentación de la losa. También pueden ser debidos al bombeo de los materiales de cimentación.

El bombeo consiste en el movimiento de la losa causado por las cargas del tráfico y que ocasiona la expulsión de mezclas de agua, arena, arcilla y/o limo a través de las juntas longitudinales o transversales, a través de las grietas y/o a través de las orillas del pavimento.

El bombeo de los materiales finos es debido a la presencia de agua libre en la subrasante o subbase combinada con las cargas pasadas que pasan sobre la superficie del pavimento y que flexionan la losa.

Los trabajos correctivos podrán consistir en lo siguiente:

- a) Los hundimientos diferenciales y las depresiones que fuerón causadas por un asentamiento, pueden ser corregidos, ya sea levantando la losa o losas a su posición original y llenando el espacio entre la losa y la subrasante original, o bien, recubriendo la porción baja de la losa.

Para levantar las losas a su posición original se procede de la siguiente manera: Se remueve el material de sello viejo, si existe, hasta la profundidad de 25mm; de ser necesario se limpian las caras verticales de la junta o grietas con una máquina limpiadora de juntas y con chorro de agua se remueve todo el material extraño de la superficie del pavimento al menos hasta una distancia de 25 mm a cada lado de la junta o grieta y se rellena hasta la mitad con material de sello; en seguida se eleva la losa a su nivel original mediante el inyectado de una mezcla de asfalto y arena, de mortero de cemento o lodo bentonítico; el inyectado se efectúa a través de una o varias perforaciones practicadas en la losa; finalmente se completa el relleno de las juntas y grietas con el material sellante.

Quando se desse nivelar un pavimento que presente -- hundimientos diferenciales, aplicando material adicional a su superficie, puede utilizarse una capa de concreto hidráulico si su espesor es superior a 7cm; para menores espesores se deben utilizar morteros de cemento -- con resinas epóxicas y/o polímeros o bien utilizar -- concreto asfáltico con agregado fino. Sin embargo, los parches de asfalto en un pavimento de concreto hidráulico generalmente se desgastan más rápidamente que el concreto adyacente y además dan un mal aspecto.

Quando se utilizan parches de concreto asfáltico, la -- superficie vieja se pica y las orillas de la depresión se llevan a la vertical, se remueve todo el material -- extraño de la superficie y se limpia perfectamente con aire a presión. La superficie debe estar seca antes de aplicar el riesgo de liga, para lo cual se utiliza un -- asfalto rebajado de fraguado rápido; la cavidad se -- llena con concreto asfáltico fino y se compacta debidamente de preferencia con un compactador vibratorio.

- b) Los agrietamientos con hundimientos pueden ser el resultado de la falla estructural del pavimento combinada con una resistencia inadecuada de la subrasante o una compactación insuficiente de la misma y pueden ser corregidos como se indica a continuación: Primeramente se demuele y se retira el concreto fallado lo mismo -- que el material que se encuentre abajo hasta la profundidad requerida.

Quando la profundidad de subrasante removida sea mayor de 20 cm, como se indica en la figura 4-6, los -- primeros 20 cm a partir del fondo se rellenan con material de subbase (a en la figura) perfectamente compacta; el espacio sobrante se llena con concreto hidráulico que se extenderá por debajo de las orillas del -- pavimento viejo. Se recomienda reforzar este concreto con una parrilla de acero (c) a razón de 4 Kg/m<sup>2</sup> colgada aproximadamente 5 cm arriba de la superficie -- inferior de la losa original y de preferencia con una segunda perilla (d), localizada 5 cm arriba de la superficie inferior del parche de concreto.

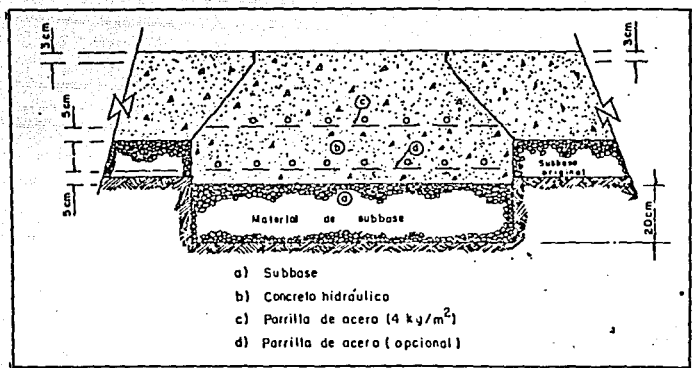


Figura 4-6. Reparación de fallas de pavimentos.

#### 4.2.5. LOSAS QUE SE BOTAN.

Las losas que se botan se deben primordialmente a una excesiva expansión de las mismas durante el tiempo de calor. La presión aumenta hasta que las losas no pueden resistir más y entonces se pandean o se fracturan desmoronándose a lo largo de la junta transversal o de la grieta.

Para corregir esta falla será necesario remover la parte dañada, pudiendo utilizar discos diamantados para el aserrado. De ser necesario se remueve la subbase; se aplica un riego de impregnación y se coloca concreto asfáltico compactándolo adecuadamente. La superficie terminada del parche deberá quedar al mismo nivel que el pavimento adyacente.

Si se desea efectuar el parche con concreto hidráulico, se debe construir una junta de expansión. Las caras expuestas del pavimento viejo deben limpiarse perfectamente; se recomienda usar un adhesivo a base de resinas epóxicas y/o pilómetros, para asegurar la perfecta unión entre el concreto viejo y el parche; en seguida se coloca la mezcla de concreto nuevo el cual podrá contener algún aditivo acelerante que facilite su puesta rápida en servicio. Una vez endurecido el concreto del parche; se sella la junta de expansión.

#### 4.2.6. ACUMULACION DE CAUCHO EN LA SUPERFICIE.

La acumulación de caucho en las zonas de toma de contacto de las pistas no es precisamente una falla del pavimento, sino que es el resultado de las operaciones de aterrizaje de los aviones, en las que una capa de caucho se funde, quedando adherido a la superficie del pavimento. Cuando ha habido un considerable número de aterrizajes en una pista, el caucho acumulado en las zonas de toma de contacto hace que se pierdan las características originales del pavimento en su superficie, particularmente en lo que respecta al coeficiente de fricción. Esta condición resulta de especial importancia en el caso de los aviones de reacción, ya que debido a sus altas velocidades de despegue y de aterrizaje, su comportamiento en el frenado depende en un alto grado de la fricción existente entre las llantas y la pista. La situación se puede tornar crítica si la superficie cubierta con caucho está mojada. El caucho adherido en grandes cantidades, en las pistas de mucho tráfico impide el drenaje de la lluvia proporcionando de esta manera las condiciones en que se produce el peligroso fenómeno de "hidroplaneo", lo que incrementa las distancias de aterrizaje.

La tecnología actual disponible para afrontar este problema -- se puede resumir en los tres siguientes métodos:

- a) Solventes químicos.
- b) Chorros de agua a alta presión.
- c) Solventes químicos combinados con chorros de agua a alta presión.
- d) Tratamiento mecánico.

Los solventes químicos han sido utilizados con éxito para remover el caucho impregnado tanto en pistas de concreto asfáltico como de concreto hidráulico. Algunos de estos solventes tienen una base de ácido cresílico (un derivado de la creosota) y una mezcla de -- benceno, con un detergente sintético como humectante y se utilizan en pistas de concreto hidráulico. Para pistas de concreto asfáltico se utilizan solventes químicos alcalinos.

La naturaleza volátil y tóxica de los solventes químicos implica que se deben tomar estrictas precauciones durante y después de su aplicación, para evitar daños al señalamiento de pintura, a la superficie del pavimento, a la vegetación cercana, al sistema de drenaje, así como contaminación de corrientes de agua cercanas.

Existe en el mercado un producto químico denominado Turco 5787 cuyos fabricantes aseguran que no contiene ningún ingrediente proscribido por los reglamentos de contaminación de los E.U.A.; informan que no contiene fenoles, ácido cresílico creosotas orto-di-clorobenceno, ni causticos.

Generalmente los sistemas basados en chorros de agua a presión (con o sin arena) son razonablemente efectivos en áreas con ligera acumulación de caucho, pero su efectividad decrece conforme aumenta el espesor de la película de caucho. Dependiendo del tipo y volumen de tráfico, se puede llegar a requerir una limpieza cada seis meses. Una práctica moderna es la de disolver el caucho impregnado con -- solventes químicos y terminar la limpieza con chorro de agua a -- presión.

Existen informes de la Administración Federal de Aviación de los E.U.A. que indican que es posible que un chorro de agua a alta presión pule en cierto grado el pavimento, por lo cual se podría causar de hecho una disminución del coeficiente de fricción al efectuar la limpieza.

Los tratamientos mecánicos utilizan máquinas rebajadoras o ranuradores, para formar corrugaciones transversales a través del caucho y del pavimento, lo cual tiene dos efectos positivos: en primer lugar acelera el drenaje de la lluvia, y en segundo lugar aumenta la textura superficial del pavimento. El objetivo de esta técnica no es tanto eliminar el caucho, sino devolver a la pista su coeficiente de fricción.

En México se ha utilizado el procedimiento de remoción de caucho con base en el producto químico denominado Turco 5787; asimismo, se han utilizado tratamientos mecánicos para solucionar dicho problema. Los resultados en ambos casos han sido satisfactorios.

En lo que se refiere a los tratamientos mecánicos, por una parte se ha procedido al "rebajado" longitudinal, consistente en ranurar el pavimento longitudinalmente por medio de una máquina con rodillo de discos diamantados separados aproximadamente 0.5 cm centro a centro; con este procedimiento el caucho queda eliminado completamente. Por otra parte se ha procedido al "ranurado" transversal con una máquina similar, pero la separación de los discos diamantados se aumentó a 5 cm centro a centro; el costo obtenido fué del orden de la mitad del correspondiente al rebajado. En ambos casos el coeficiente de fricción obtenido fué satisfactorio. Con base a las consideraciones anteriores se recomienda, por ser más ventajoso económicamente, el procedimiento de ranurado transversal.



**ILUSTRACIONES DE FALLAS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RIGIDOS.**

AEROPUERTO DE CAXACA, OAX. (pavimento flexible)

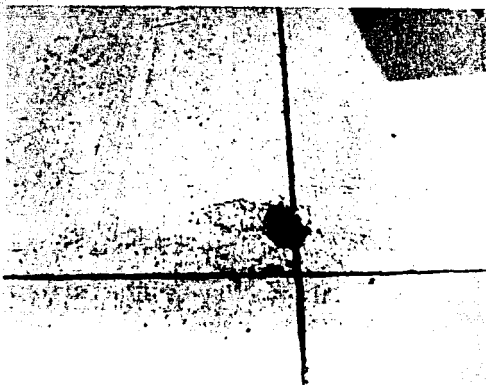


GRIETAS LONGITUDINALES.

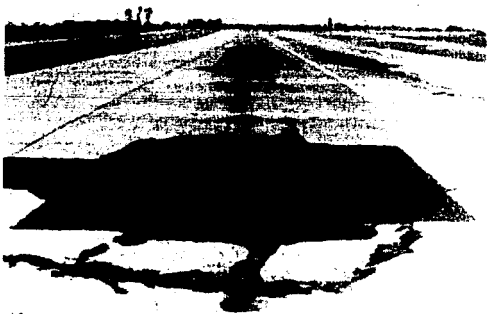


DESPRENDIMIENTO DE MORTERO ASFALTICO (SLURRY SEAL). FOTO 01-19.

AEROPUERTO DE GUADILAJARA, JAL. (pavimento rígido)



DESCONCHAMIENTO DE LOSA EN ESQUINA, CALLE DE RODAJE BRAVO.



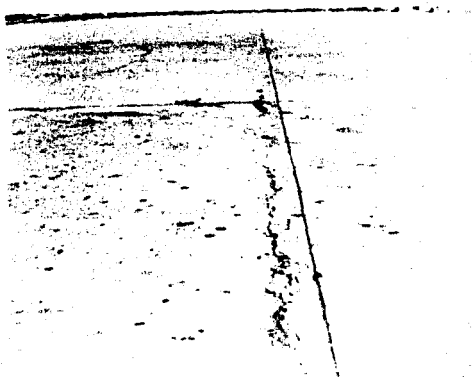
REPARACION DE LOSAS EN CALLE DE RODAJE ALFA.

AEROPUERTO DE PTO. VALLARTA, JAL. (pavimento rígido)

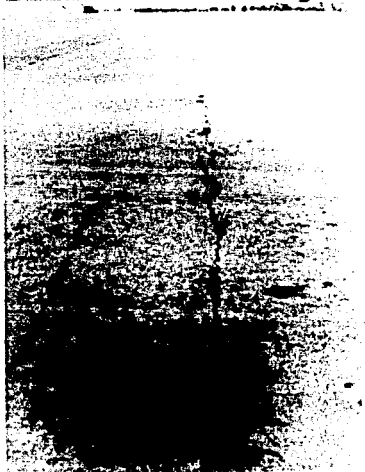


PISTA 04-22. YERVA EN JUNTAS ZONA DE PARADA Y PRINCIPIO DE PISTA.

AEROPUERTO DE GUADALAJARA, JAL. (pavimento rígido)



DESCONCHAMIENTO EN ORILLA DE JUNTA, PLATAFORMA DE OPERACIONES.

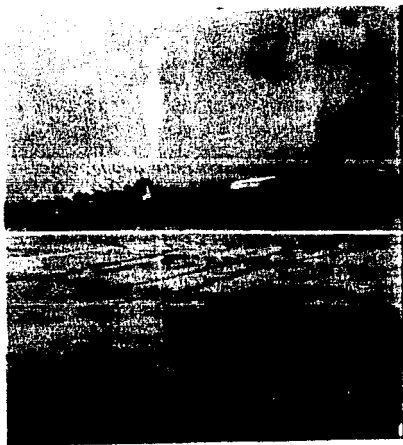


FRACTURA DE LOSA A 2.5 m DE DUCTO, PLATAFORMA DE OPERACIONES.

AEROPUERTO DE REYNOSA, TAMP. (pavimento flexible).



BACHE MAL REPARADO, FISTA 13-31.



GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES EN UNION CON RODAJE ALFA.

## **CATITULO 5.- CONTROL DE CALIDAD.**

## CONTROL DE CALIDAD

Se define el control de calidad como el conjunto sistemático de esfuerzos, principios, prácticas y tecnología de una organización de producción o industria para asegurar, mantener o superar la calidad de un producto al menor costo posible.

La palabra calidad quiere decir lo mejor para el consumidor o el usuario, dentro de las condiciones siguientes: el costo inicial del producto y el servicio que proporcione, incluyendo los problemas de operación o uso del mismo. Es decir que la calidad no es lo mejor sino lo más conveniente.

El control de calidad considera cuatro aspectos:

- Establecimiento de normas de calidad
- Estimación de la concordancia de las mismas
- Información oportuna y clara
- Acción cuando no se coincide con las normas

Los responsables del control de calidad son tanto el productor como el consumidor o usuario. El industrial es responsable de obtener los productos, por lo que debe tener elementos de apoyo para realizar su control y junto con él también tiene responsabilidad todo el personal que interviene en la elaboración, como son: los jefes de departamento de producción u obra, los operarios, obreros, etc.

El usuario o consumidor también tiene responsabilidad del control de calidad al aceptar un producto elaborado sin exigir lo que él solicitó a la empresa productora o constructora; dependiendo de la magnitud y costo del producto, será el grado de control que se tenga.

En el caso de obras públicas el control de calidad corre a cargo de las autoridades públicas que encargaron la ejecución de las obras, por lo que deberán contar con un buen sistema de control de calidad propio o contratado para poder garantizar un nivel aceptable en la calidad de los trabajos realizados.

Controlar rigurosamente cada paso conducirá a un perfeccionamiento rígido, incompatible con las realidades de la construcción pesada. Definir los puntos vitales y ejercer sobre ellos una vigilancia razonable parece ser el secreto para obtener un control de calidad exitoso.



La intensidad del control de calidad depende de la importancia, - necesidades y magnitud de la obra o producción; del conocimiento que - tengan las personas, especialmente los ejecutivos sobre su utilidad y de los elementos y organización con que se cuenta.

Las actividades del control de calidad son:

- Preventivos. La realización de investigaciones y elaboración de especificaciones y proyectos realistas.
- Control de proceso, durante el cual se debe exigir el cumplimiento a las especificaciones y proyecto, en las etapas intermedias de producción o construcción.
- Verificación del producto u obra a su terminación en que se debe cumplir con la meta propuesta y, de acuerdo con lo alcanzado, se realizarán los pagos y ajustes correspondientes; - asimismo, se debe observar el comportamiento que se tenga - durante la operación o uso del producto elaborado.
- Motivación. El control de calidad debe motivar en forma adecuada al personal, desde los ejecutivos hasta los operarios para alcanzar la meta propuesta.
- El control de calidad debe realizar la retroalimentación, - para que las experiencias que se hayan tenido durante la construcción o elaboración, se tomen en cuenta para modificar total o parcialmente las especificaciones y proyectos.

Para la ejecución del control de calidad se cuenta con diferentes herramientas, como son las especificaciones y los proyectos; los procedimientos de prueba y aparatos de medición; la estadística y los sistemas de procesamiento de datos.

Un aspecto importante en la planeación y ejecución de un buen programa de control es la definición previa del nivel de calidad requerido en la construcción, ésta puede definirse en base a los siguientes factores:

- Qué se desea? o Qué se requiere?
- Cómo pueden ordenarse y programarse las actividades que conduzcan a la meta?
- Cómo determinar que se ha alcanzado esta meta?

En rigor, se necesita un sistema de acción susceptible a ser retroalimentado de manera que los requerimientos estén continuamente interaccionados con los logros parciales y finales de la obra.

Los dos primeros factores mencionados tienen que ver con la esencia del proyecto y con la contratación. Al formular la filosofía del proyecto el ingeniero debe entender que la construcción no debe clasificarse simplemente en buena o mala, rechazable o aceptable; habrá siempre toda una graduación posible a partir de las condiciones óptimas y deberán considerarse posibilidades de variación dentro del mismo diseño, en relación a materiales y técnicas constructivas, así como tolerancias en prácticamente todas las actividades. Estas tolerancias deben estar claramente especificadas en los documentos de contratación. Sólo dentro de este marco flexible podrán definirse realísticamente las aspiraciones y requerimientos del ingeniero. El tercer factor exige un sistema de inspección, muestreo y pruebas que permitan analizar las realidades de la construcción, así como las tendencias y oscilaciones de los trabajos. Este sistema debe estar dirigido a los aspectos fundamentales de la obra y no a los accesorios; además la interpretación debe ser clara y poco controversial.

Un aspecto fundamental en la definición del programa de control de calidad es el conjunto de especificaciones que se manejen, pues ellas fijan de un modo u otro muchas de las metas que se persiguen, los procedimientos de construcción, la forma de medición de los volúmenes de obra, las bases de pago y la forma de verificación si se ha alcanzado lo que se desea (procedimiento de prueba y normas de calidad).

Un cuadro de especificaciones técnicas es indispensable para manejar de un modo claro y razonable todos los aspectos legales de la construcción, la contratación, etc., pero también es un hecho que la aplicación rígida de cualquier conjunto de especificaciones conduce a la rigidez mental y al aqulosamiento de las técnicas empleadas. La aplicación de las especificaciones debe estar a cargo de personas con suficientes estudios técnicos y prácticos capaces de dar una interpretación adecuada y realista al conjunto de especificaciones.

Las especificaciones o normas de construcción es el resultado de investigaciones y estudios minuciosos de correlación, que toman en cuenta todos los datos y experiencias recabadas durante la construcción y operación de las obras, tomando en cuenta condiciones de clima, geología, tránsito, etc., que las afectan; para fijar las especificaciones se requiere de personal profesional con reconocida capacidad técnica (teórica y práctica), y puede ser auxiliado por instituciones especializadas, como lo son en general los centros de estudios superiores.

Se pueden distinguir tres tipos de especificaciones.

- a- Normas o especificaciones institucionales que se refieren a la construcción de un tipo general de obra. Estas normas se aplican, por ejemplo, a todos los tipos de caminos que se construyen en un país.
- b- Especificaciones particulares. Se refieren a la construcción especial de un tipo de obra, de los contemplados en las normas.
- c- Especificaciones complementarias. Son las que se indican en el proyecto de una obra particular, por ejemplo, las que se deben aplicar en la construcción de un camino que va a unir la población "A" con la "B".

En la aplicación de estas especificaciones, tienen más valor las complementarias, después las particulares y por último, las normas, cuando se tengan conceptos en las que se contrapongan.

Es probable que los investigadores encargados de la elaboración de las normas tengan en mente que sus recomendaciones finales han de aplicarse a una obra cuyas características y circunstancias él no conoce; esta idea puede obligarles a ser prudentes, por lo que no es raro que la obediencia ciega de normas técnicas preestablecidas a nivel internacional o nacional conduzca a trabajos conservadores y no óptimos, desde el punto de vista económico.

Las especificaciones deben ser realistas, ajustadas a lo que debe y puede lograrse dadas las características del país en donde se construirán las obras. Es común que las naciones cuyas especificaciones se transcriben, tengan problemas de tipo económico, tecnológico o de clima, que las que las adoptan; como consecuencia, las vías terrestres de las primaras pueden mover volúmenes de tránsito que son excepcionales o desconocidos en éstas últimas, ello va a conducir a rechazar materiales que las obras con niveles de tránsito inferiores, podrían utilizar perfectamente, sin embargo pueden servir de base para formular especificaciones realistas en cada caso.

Otro aspecto importante de todo programa de control de calidad, lo constituye el conjunto de pruebas de laboratorio, que proporciona lo que pudiera considerarse como la base metodológica y técnica del programa. Las pruebas de laboratorio con fines de control deben cumplir algunas características, como:

- Estar dirigidas a la comprobación de las características esenciales.
- Estar basadas en amplios estudios locales
- Ser rigurosamente estandarizadas
- Ser rápidas y sencillas en su realización
- Ser de fácil interpretación
- Ser confiables
- Que requieran de equipos económicos y de fácil reparación y calibración.

Sólo así se podrán tener resultados confiables en los laboratorios de pie de obra, que son los que han de realizar el control, sin interferir o frenar los programas de construcción.

Un defecto común en los programas de control de calidad, tal como se aplican algunas veces, es el ejercer la actividad después de ejecutada la obra objeto de control. Este orden de realizaciones conduce al planteamiento de situaciones de hecho consumado, en las que el responsable del control no tiene más disyuntiva que la aceptación de la obra defectuosa o su rechazo, que siempre produce trastornos de tiempo y dinero y contra el cual suelen concitarse fuertes presiones.

El personal encargado de la ejecución de las pruebas debe tener - práctica y habilidad además de mostrar interés en su trabajo, para que los resultados obtenidos sean de utilidad para la obra, además la moralidad del laboratorista es de suma importancia para que no altere los resultados obtenidos de las pruebas al verse presionado por el programa o costos de la obra, o simplemente por decidida, deberá ser capaz de aceptar sus errores y tomar las medidas necesarias para no volver a - incurrir en ellos.

El jefe del laboratorio debe ser un profesionalista que conozca la - realización de las pruebas, para que pueda detectar posibles errores - de los laboratoristas y controlar y organizar los trabajos. Debe saber interpretar en forma adecuada los resultados de las pruebas para poder hacer las observaciones y recomendaciones al proyecto y ejecución de las obras.

En general el control de calidad en las obras de rehabilitación, - ampliación, etc. de los pavimentos de uso aeronautico sigue los lineamientos descritos anteriormente. En nuestro país el organismo encargado de estos trabajos es Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA), para lo cual cuenta con un equipo de supervisores, de tal forma que según la magnitud e importancia de los trabajos que se realicen, cada obra cuenta con el número necesario de supervisores.

Las empresas constructoras encargadas de realizar los trabajos de rehabilitación reciben por parte de ASA junto con el proyecto de la obra el conjunto de especificaciones en las cuales deberán basarse.

Para llevar a cabo el control de calidad en la etapa de verificación ASA contrata empresas particulares y en algunas ocasiones solicita el apoyo de otros organismos gubernamentales, como por ejemplo la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Para la correcta ejecución de los trabajos deberá existir una buena coordinación entre todo el personal que interviene en ellos.

Las limitaciones en el presupuesto otorgado para realizar los trabajos de conservación tienen repercusión en la calidad de estos ya, que en algunos casos sólo se hacen trabajos que no atacan el problema desde la raíz sino que se dan soluciones temporales y al poco tiempo de ser expuestos nuevamente al tráfico de las aeronaves se vuelve a - presentar el mismo problema.

Los horarios de los trabajos también influyen en el control de calidad, pues cuando no se cierra el área de trabajo completamente al tránsito, estos se realizan por lo general en las noches, ya que es cuando se presenta el menor número de operaciones.

Otra situación que se presenta es el enfrentamiento entre las empresas de proyecto y la constructora, ya que algunas veces los proyectos marcan trabajos con características que retrasan el avance de las obras, por ejemplo, se piden cortes en áreas y espesores muy pequeños que implican movimiento excesivo de maquinaria, en otras ocasiones se presentan cambios de última hora en el proyecto cuando ya se iniciaron los trabajos. En el primer caso la compañía constructora debe programar su avance y su equipo de acuerdo a lo contratado, pero además se podría ver la posibilidad que con igual o menor costo se atacaran áreas o espesores mayores que lo proyectado inicialmente, lo cual es posible ya que en ocasiones se dejaría de usar maquinaria especial. En el segundo caso se debe tener cuidado de no entregar el proyecto de reconstrucción a las empresas concursantes hasta que no este completamente terminado y revisado, ya que de otra manera se encarecerá la obra; sin embargo si en un momento dado se requiere alguna modificación, es mejor que se hagan las correcciones necesarias para que la obra sea la correcta.

Un problema que se presenta comúnmente y que repercute directamente en el control de calidad es que las empresas constructoras encargadas de realizar las obras de construcción o rehabilitación no cuentan con un laboratorio en campo y dejan la responsabilidad del control al contratante, siendo que éste sólo debería de encargarse de la verificación de los trabajos que tengan la calidad requerida como lo marcan las Especificaciones Generales de Construcción en la sección 5.05.8, la cual dice: "Durante el periodo de ejecución de los trabajos en el sitio de ejecución de los mismos, el contratista mantendrá un laboratorio de campo, con el personal, equipo y demás elementos necesarios para que pueda controlar adecuadamente la calidad de los materiales de construcción y de la obra ejecutada. Para los distintos tipos de obra la Secretaría podrá eximir al contratista de esta obligación cuando lo estime conveniente, expresandose por escrito."

Pero quizá el mayor problema para tener un control efectivo es - el tiempo tan reducido que se tiene para la ejecución de los trabajos, ya que el cerrar una pista para hacer trabajos de reparación - acarrea una serie enorme de problemas, principalmente en aeropuertos que cuentan con una sola pista, ya que se tendría que hacer uso de - aeropuertos alternos y estos pueden estar bastante retirados, de ahí la importancia de hacer los trabajos en el menor tiempo posible, - esto implica que se debe contar con un control de calidad competente que vaya al tanto de los trabajos y que reporte oportunamente - las desviaciones que se presenten para tomar las medidas pertinentes, esto desafortunadamente no siempre ocurre en nuestro país ya - en algunos casos se contratan empresas que no cuentan con la capacidad o experiencia necesarias para llevar un efectivo control.

**CONCLUSIONES.**

Actualmente para la evaluación de pavimentos existe una gran cantidad de métodos y equipos para su realización, que dependiendo de las necesidades y de los recursos con que se cuente será la elección de éstos. Existen equipos muy sofisticados y costosos de alta precisión, pero que no necesariamente son los más convenientes, de tal modo que algunas veces se utiliza equipo más simple, pero de una precisión aceptable y que resulta más económico.

Por otro lado la elección del método de evaluación deberá hacerse según las características propias de cada obra y tener cuidado de no adoptar métodos que puedan acarrear problemas, por no ser compatibles con las necesidades reales que se presentan en cada obra.

Sería recomendable que la información obtenida de las evaluaciones una vez utilizada se archive para poder contar con un historial de los pavimentos que se están evaluando y que sería de gran utilidad para trabajos posteriores.

Esto podría ser aplicable también en la localización de bancos de materiales ya que el contar con estos lo más cerca posible de las obras de construcción o mantenimiento ayudaría enormemente a tener proyectos más económicos, pues se reducirían los acarreos que representan uno de los costos más fuertes, pero desafortunadamente es muy frecuente que se pierda la información referente a cada banco una vez realizada la obra de tal manera que los ingenieros que hayan de conservarla o de construir otra vuelvan a enfrentarse al problema original de buscar materiales donde otros ya los habían encontrado.

Parece ser pues una labor importante la de condensar la información que se va teniendo sobre los materiales utilizables, localización, volúmenes disponibles, tratamientos de conservación o trabajos de reconstrucción durante la operación de las obras, ya que teniendo la historia de las obras en particular o a nivel nacional se podrán obtener considerables ahorros en la búsqueda de materiales y, a la vez disponer de la experiencia de quienes hayan utilizado el mismo banco para los mismos fines o similares.



Otro aspecto muy importante en la construcción y el mantenimiento de pavimentos es el control de calidad ya que parece que no se le da la debida importancia, pues no se cuenta con el equipo necesario o éste está muy deteriorado y además el personal algunas veces no cuenta con la experiencia necesaria para interpretar adecuadamente los resultados de las pruebas esto trae como consecuencia que se tengan trabajos de baja calidad. Lo anterior es tanto en el control de calidad que debería llevar el contratista y el personal encargado de la verificación por parte del contratante.

Es pues de suma importancia contar con el equipo y personal adecuado para ejercer un efectivo control que redunde en trabajos bien hechos y duraderos. De la misma manera es vital que las altas autoridades conozcan los beneficios del control de calidad y apoyen decididamente esta actividad.

## BIBLIOGRAFIA.

FERNANDO OLIVERA BUSTAMANTE  
ESTRUCTURACION DE VIAS TERRESTRES  
EDITORIAL CECSA  
México, 1986

ALFONSO RICO RODRIGUEZ Y HERMILIO DEL CASTILLO  
LA INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES  
EDITORIAL LIMUSA  
México, 1978

FRANCISCO FDO. RODARTE LAZO  
CONSERVACION DE AEROPUERTOS  
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES  
México, 1986

## ANEXO 14

ORGANIZACION DE AERONAUTICA CIVIL INTERNACIONAL (OACI)  
1984

MANUAL DE PROYECTO DE AERODROMOS  
PARTE 3 PAVIMENTOS  
ORGANIZACION DE AERONAUTICA CIVIL INTERNACIONAL (OACI)

JAVIER E. HERRERA LOZANO  
ESTUDIO DE EVALUACION DE PAVIMENTOS DE USO AERONAUTICO DEL AEROPUERTO  
DE MERIDA, YUC.  
AEROPUERTOS Y SERVICIOS AUXILIARES  
México, 1986

FRANCISCO FDO. RODARTE LAZO  
ESTUDIO DE EVALUACION DE PAVIMENTOS DE USO AERONAUTICO DEL AEROPUERTO  
DE MATAMBROS, TAMP. S.  
AEROPUERTOS Y SERVICIOS AUXILIARES  
México, 1982