

INTRODUCCIÓN

1.1.- INTRODUCCION

En la actualidad se define como aeropuertos como terminales en tierra donde se inician y concluyen los viajes de [transporte aéreo](#) en [aeronaves](#). Las funciones de los aeropuertos son varias, entre ellas el [aterri-zaje](#) y [despegue](#) de [aeronaves](#), embarque y desembarque de pasajeros, equipajes y mercancías, reabastecimiento de combustible y mantenimiento de aeronaves, así como lugar de estacionamiento para aquellas que no están en servicio. Los aeropuertos sirven para [aviación militar](#), [aviación comercial](#) o [aviación general](#).

En vista de la función vital que desempeñan las pistas en lo que respecta a la seguridad y eficiencia del aterrizaje y despegue de las aeronaves, al proyectar esas instalaciones y servicios, es imprescindible tener en cuenta las características operacionales y físicas de los aviones que habrán de utilizar las pistas, así como consideraciones de ingeniería y de orden económico.

Existen varios manuales de diseño de aeropuertos los cuales poseen varias características y metodologías de cómo diseñar estos aeropuertos, especialmente es usado el Manual de Diseño de Aeródromos de la OACI el cual en nuestro medio es el más usado.

En la actualidad en el departamento de Tarija sólo existen 3 aeropuertos los cuales son el Aeropuerto Oriel Lea Plaza, el de Yacuiba y el de Bermejo los cuales no están acordes con las necesidades y requerimientos que un aeropuerto deba poseer tanto en ubicación, dimensionamiento, infraestructura, tecnificación etc.

El aeropuerto Oriel Lea Plaza que está ubicado en la capital de Tarija es el más utilizado para transporte interno y con algunos viajes al exterior, más propiamente a la ciudad de Salta Argentina.

Los otros 2 aeropuertos es solo para la comunicación entre ellos y el aeropuerto Oriel Lea Plaza.

Existen varias técnicas mundiales para el desarrollo o diseño de pavimentos para aeropuerto los cuales deben ser recolectados, analizados y apropiados para el diseño de nuestros propios aeropuertos, pero sin descuidar que estos aeropuertos o manuales de diseños son de países exteriores los cuales quizás no sean adaptables todos los aspectos a nuestro medio.

Al evaluar una técnica o método de diseño de pavimentos se debe hacer un análisis meticulosos de todas las variables influyen para el diseño según esa técnica, ya que podrían existir con seguridad parámetros o características que no correspondan la objeto de nuestro estudio para la implementación del aeropuerto. Una vez analizados estos parámetros y características, se deben sintetizar todos aquellos parámetros para desarrollar un método de diseño de pavimentos para aeropuertos acorde a nuestro medio y que satisfaga nuestras necesidades locales cuyas necesidades no son similares a las necesidades de países industrializados, pero teniendo muy en cuenta que estas necesidades no deben afectar la operatividad de la pista.

1.2.JUSTIFICACION DEL TEMA

Existen varios métodos de diseño de pavimentos, pero todos ellos de diferentes países y en especial de países europeos o estadounidenses los cuales sí se cuenta con información, técnicas y tecnología que permita un buen diseño de aeropuertos.

Este tema posibilitará adecuar y sintetizar modelos o métodos de diseño de pavimentos para aeropuertos que se realizan en países desarrollados, y mediante esto, indicar que

método es el que se adapta a nuestro entorno y satisface las necesidades de nuestra región.

Los resultados que se esperan es seleccionar un método mediante análisis del aeropuerto existente de esta ciudad y de métodos de diseño de pavimentos de la OACI y otros, este método deberá estar adecuado a nuestro entorno contemplando todas las características necesarias para el diseño de un aeropuerto.

1.3.DISEÑO TEORICO

1.3.1. SITUACION PROBLEMÁTICA

En nuestro país, ni en el departamento se cuenta con un método de diseño de pavimentos de aeropuertos; los diseños que se realizan son copias de otros métodos por lo general de la OACI que es el organismo más reconocido mundialmente de diseño y manejo de aeropuertos, pero estos diseños, el ser una copia de otros lugares donde fueron implementados, no están acordes a nuestro departamento o sitio donde se vaya a aplicar, las características tanto climatológicas ambientales, económicas, tecnológicas etc. no son iguales en ningún lugar y especialmente en nuestro país porque se cuenta con niveles de altura diferentes, lo cual nos permite tener ecosistemas variados como ser altiplano, valle, llanos.

1.4. PROBLEMA

En Tarija no se cuenta con un método de diseño de pavimento de pistas de aeródromos adecuado a las características especiales que presenta nuestro entorno.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo General

Realizar una evaluación de métodos de diseño de pavimentos de aeropuertos para la adecuación a nuestro medio

1.5.2. Objetivos Específicos

- Analizar los métodos de diseño de pavimentos para aeropuertos.
- Analizar las propiedades de los pavimentos rígidos y flexibles para aeropuertos.
- Identificar los parámetros o variables más incidentes en cada uno de los métodos de diseño de pavimento para aeropuertos.
- Identificar los parámetros o variables más incidentes del aeropuerto Oriel La Plaza.
- Realizar una adecuación de los métodos de diseño de pavimentos para aeródromos y adecuar al aeropuerto Oriel Lea Plaza.

1.6 VARIABLES.

1.6.1 Variable Dependiente

Manuales de Diseño de Pavimentos de Aeropuertos

El diseño de pavimentos de aeródromos está sujeto a manuales de diseño de otros lugares siguiendo características y métodos propios del lugar para así garantizar su funcionalidad.

1.6.2 VARIABLE INDEPENDIENTE

Evaluación de métodos de diseño de pavimentos de aeropuertos pudiéndose lograr la adecuación de estos métodos a las características de la zona donde se va emplazar en este caso la ciudad de Tarija

1.7 CONTENIDO PRELIMINAR

CAPITULO I INTRODUCCIÓN

CAPITULO II ASPECTOS GENERALES SOBRE COMPONENTES DE LOS AEROPUERTOS

CAPITULO III METODOS DE DISEÑO EN PAVIMENTOS DE AEROPUERTOS

CAPITULO IV APLICACIÓN PRÁCTICA APLICANDO LOS METODOS A CONDICIÓN LOCAL DEL AEROPUERTO ORIEL LEA PLAZA.

CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.8 ALCANCE

El presente estudio tendrá como finalidad hacer extensivo la aplicación del método a seguir, a todo profesional dedicado a esta labor y en especial va dirigido al profesional técnico, para que dicho método pueda ser de utilización práctica y sencilla. Se realiza en este trabajo evaluación de métodos de diseño de pavimentos aeródromos. Se recaba toda la información necesaria de los parámetros de diseño que se consideren más apropiados para su aplicación, posteriormente se procedió al estudio teórico y práctico de los datos de entrada y los resultados obtenidos. Una vez realizados los estudios correspondientes se podrán elaborar las conclusiones y recomendaciones las cuales evidenciarán los aspectos que deben regir como proyectistas al momento de elegir un método para el dimensionamiento de pavimentos de aeródromos.

En primera instancia se estudiarán las propiedades y características de los pavimentos de aeródromos, tipos de pavimentos así como las variables a las cuales están sometidas en el diseño del mencionado pavimento de aeródromos.

Seguidamente, se analizarán las variables que afectan al aeropuerto Oriel Lea Plaza, haciendo una reseña histórica de cada uno, sus factores o parámetros de diseño y su flujograma de diseño, para tener un amplio conocimiento.

Se hace una comparación o síntesis de los métodos de diseño estudiados, de las ventajas y desventajas desde sus datos de entrada, procesamiento y resultados.

Luego se da paso a la aplicación práctica con el conocimiento adquirido en la parte teórica, en la síntesis de las metodologías estudiadas previamente, que nos permiten adecuar las metodologías con las características de nuestra región, los cálculos de diseño podremos llegar a los resultados esperados.

De acuerdo a los resultados que se obtengan, de la recolección de información está destinado a facilitar y uniformar criterios en la posterior valoración técnica del resultado, se realiza un análisis comparativo de los valores obtenidos por los diferentes métodos de diseño de pavimentos de aeródromos estudiados para poder determinar qué variables pueden ser aceptadas para el diseño.

Finalmente, se rescatan todas las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron a lo largo del desarrollo del proyecto, tanto en su parte teórica como en la práctica, para dejar un registro de datos y resultados que pueden ser de mucho beneficio para otros estudiantes o personas que requieran información sobre el tema de investigación.

1.9 DISEÑO METODOLÓGICO

1.9.1 UNIDAD

Diseño de pavimentos para aeródromos.

1.9.2 POBLACIÓN

Conjunto de estudios, manuales y/o métodos de diseño de pavimentos de aeródromos utilizados en Bolivia

1.9.3 MUESTRA

Métodos de diseño de pavimentos aeródromos de la PCA, FAA, Método de Canadá, Método de Francia y análisis del aeropuerto Oriel Lea Plaza.

1.9.4 MUESTREO

Se estudian los manuales de diseño de pavimentos para aeródromos de la PCA Y FAA, además se realizara el análisis del aeropuerto Oriel Lea Plaza de sus características, metodología, parámetros y se procede a realizar un análisis de estos para posteriormente aplicarlos en nuestros medios.

1.9.5 MEDIOS

- Computadora para documentar datos obtenidos y procesar

- Programas de computación (Google Earth, Civil 3d, Excel, Word)
- Material de escritorio.
- Calculadora científica Hp 50g
- Cámara fotográfica
- Manuales de diseño de pavimentos.

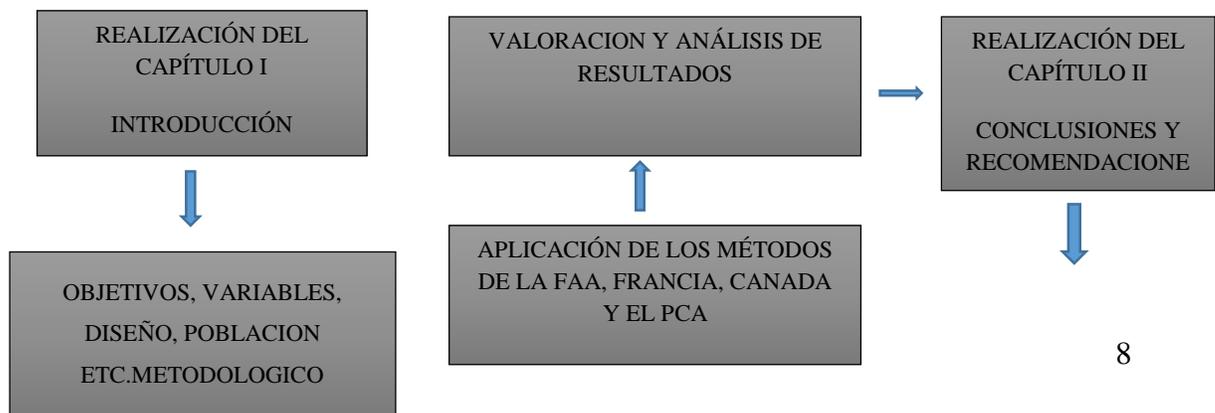
1.9.6 TÉCNICAS

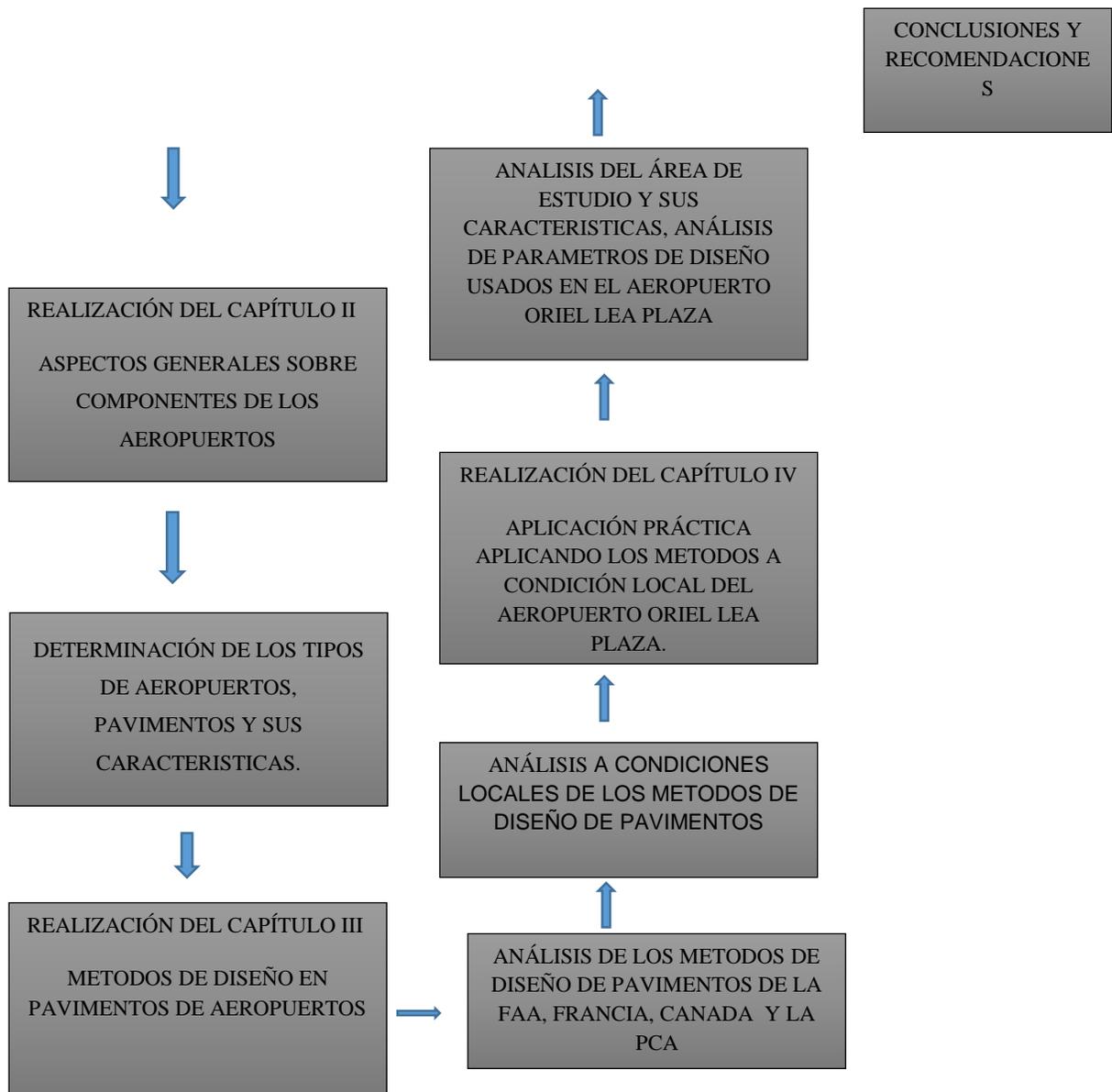
Dentro de los métodos cualitativos se incluyen:

- Entrevistas: Información recolectada al hablar y escuchar a gente, ya sea cara a cara o por teléfono. Pueden ser estructuradas (ej, encuesta) o conversacionales
- Entrevistas individuales. Éstas deben ser entrevistas estructuradas, en las cuales las preguntas se determinan de antemano, o conversaciones no estructuradas, en las que se permite cierta flexibilidad para evaluar hacia dónde quiere llegar el entrevistado en relación a un tema general
- Entrevistas grupales. Son similares a las entrevistas individuales, pero incluyen a dos o más entrevistados al mismo tiempo, en lugar de uno (algunas veces son participantes inesperados. Las entrevistas grupales tienen algunas ventajas, en el sentido de que los entrevistados pueden corroborar la información
- Observación: La colección de información a través de la vista y oído. Pueden ser estructuradas y no estructuradas.
- Análisis de documentación: El uso de análisis de contenido y otras técnicas para analizar y resumir material impreso y otra información existente.
- Caso de estudio: Examinación profunda de un caso en particular (programa, grupo de participantes, individuo, sitio). Los casos de estudio usan múltiples fuentes de información y métodos que proveen una imagen tan completa posible.
- Evaluación de Grupo: Se usa un grupo para recolectar información de valoración como técnicas nominales, grupos de enfoque, Delphi, lluvias de ideas y foros de comunidad.

- Experto o peer review: Examinación por un comité o panel de expertos.
- Repaso de portafolio: Recopilación de materiales, incluyendo muestras de trabajos que traten el tema del caso siendo estudiado.

1.9.7 METODOLOGÍA





ASPECTOS GENERALES SOBRE COMPONENTES DE LOS AEROPUERTOS

2.1 GENERALIDADES.

Los aeropuertos son las terminales en tierra donde se inician y concluyen los viajes de [transporte aéreo](#) en [aeronaves](#). Las funciones de los aeropuertos son varias, entre ellas el [aterrizaje](#) y [despegue](#) de [aeronaves](#), embarque y desembarque de pasajeros, equipajes y mercancías, reabastecimiento de combustible y mantenimiento de aeronaves, así

como lugar de estacionamiento para aquellas que no están en servicio. Los aeropuertos sirven para [aviación militar](#), [aviación comercial](#) o [aviación general](#). Fuente:

ANEXO 14 OACI MANUAL DE DISEÑO DE AERODROMOS PARTE II CALLES DE RODAJE, PLATAFORMAS Y APARTADEROS DE ESPERA.

El área de movimiento abarca: la pista de aterrizaje, calles de rodaje y la plataforma. Cada una de estas áreas tiene una función específica con el fin de permitir el movimiento seguro y fluido de las aeronaves.

Figura 2.1: Área de movimiento de un aeropuerto



Fuente: CEJUDO, P. Gestión Aeroportuaria. (En línea). Curso en Gestión Aeronáutica y Aeroportuaria. Consulta: 08 de Junio del 2011 (http://193.146.228.22/ga/jar/aeropuertos/tema3pag1_23.pdf).

2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS AEROPUERTOS.

Los aeropuertos se dividen en dos partes:

1. El "lado aire" (del inglés air-side), que incluye la [pista](#) (para despegue y aterrizaje), las [pistas de carreteo](#), los [hangares](#) y las zonas de aparcamiento de los aviones (zonas [Apron](#)).

2. El "lado tierra" del aeródromo (del inglés land-side) está dedicado al pasajero, e incluye la terminal de pasajeros, las zonas de comercio, [aduanas](#), servicios, estacionamientos de automóviles y demás.

Según la OACI se pueden definir las siguientes áreas características:

- **Accesos:** La dimensión de estos, su longitud y ubicación dentro de la terminal responde a la capacidad de la misma y a las actividades que en el complejo, así como a la disposición y esquema de funcionamiento de los estacionamientos.
- **Puertas de embarque y pasillos:** Existen dos actividades esenciales en el funcionamiento diario de un aeropuerto; éstas son el embarque y desembarque de carga y pasajeros, para esto es necesario tener en cuenta el flujo máximo de pasajeros los cuales vienen determinados por los horarios proyectados de los vuelos, de esta manera se puede obtener un promedio de usuarios en horas pico para así poder determinar el funcionamiento óptimo de las instalaciones. La función de embarque sólo requiere una sala de espera para captar a los pasajeros hasta que suban al avión. En el caso de la función de desembarque la situación es diferente dada la cantidad de formalidades a las que deben atender los pasajeros; por lo que esta función es la determinante más importante al momento de dimensionar pasillos y puertas de embarque.
- **Salas de espera:** Una sala de espera es un edificio, o una parte de un edificio donde la gente se sienta o permanece de pie hasta que el hecho que está esperando ocurre.

La capacidad de éstas depende del número de aviones al que sirve.

- **Vestíbulos:** La dimensión de éstos dependerá del volumen de usuarios en las instalaciones, como ser empleados, pasajeros, acompañantes y visitantes.
- **Áreas de equipaje:** Esta área se divide en:
 - a) Área de equipaje de pasajeros que llegan
 - b) Área de equipaje de pasajeros que se van.
 - c) Zonas de retiro de equipaje

d) Zonas de equipaje en tránsito

— **Área necesaria para mercancía transportada por aviones:** La mercancía debe estar cercana al avión para ser cargada. Se necesitan espacios de recepción y emisión para manejar contenedores de equipaje.

— **Área de oficina:** Son espacios requeridos de acuerdo a las necesidades individuales de cada aerolínea, autoridades municipales, gubernamentales u otras dependencias del aeropuerto.

— **Área de servicios:** Son espacios necesarios alrededor del avión para prestar servicio al mismo tales como:

- Servicio de cabina
- Limpieza del avión
- Suministro de gasolina
- Instalación para el traslado de equipaje, auxiliares de energía y los reactores de arrastre.

— **Área de operaciones:** Son zonas operativas y áreas dedicadas a la administración de vuelos y a la tripulación, estos espacios tiene relación con las zonas públicas y el área de movimientos máximos de los aviones.

— **Áreas de gobierno:** Instalaciones gubernamentales de inmigración y aduanas. La disposición interna de las instalaciones del aeropuerto debe garantizar el cumplimiento de este requisito por parte de los pasajeros.

— **Torre de control:** Torre en donde se realiza control de tráfico aéreo en la zona de un aeropuerto y sus inmediaciones, es decir, el control de rodaje, el despegue, la aproximación y el aterrizaje de los aviones. La ubicación y la altura de ésta determinarán el área de alcance y control de la misma.

— **Área de mantenimiento de aviones:** Esta área se divide en 4 según el tipo de avión y el tipo de mantenimiento a prestar al mismo:

a) Centros de mantenimiento intensivo y revisión completa

b) Capacidad de revisión de algunas partes del avión tales como motor, instrumentos de aterrizaje y otros.

- c) Mantenimiento ligero, que precisa de mecanismos capaces de hacer reparaciones menores, tales como cambiar neumático y ajustar altímetro.
- d) Estación de bomberos, área destinada a la ubicación de la estación de bomberos situada en las adyacencias de la pista a fin de prestar un servicio eficiente al momento de cualquier imprevisto.

2.3 TIPOS DE AEROPUERTOS.

La OACI clasificó los aeropuertos de la siguiente manera:

- a) Aeropuertos transoceánicos: aptos para admitir aviones de hasta 135 toneladas
- b) Aeropuertos transcontinentales: aptos para admitir aeronaves de 90 toneladas.
- c) Aeropuertos internacionales: Que admiten aeronaves de 60 toneladas.
- d) Aeropuertos nacionales: admiten aeronaves de 40 toneladas
- e) Aeropuertos locales: Admiten aeronaves de 27 toneladas
- f) Admiten hasta 18 toneladas de carga total, pero a los cuales no les hace falta balizamiento de noche, ni medios de radio navegación
- g) Que se construirán para una carga mínima de 11 toneladas.
- h) Pequeños aeropuertos: Construidos para aviones de peso menor a 7000 kg.
- i) Helipuertos.

2.4 COMPONENTES DE LOS AEROPUERTOS.

En un aeropuerto, desde el punto de vista de las operaciones aeroportuarias, se pueden distinguir dos partes: el denominado lado aire y el llamado lado tierra. La distinción entre ambas partes se deriva de las distintas funciones que se realizan en cada una.

En el lado aire la atención se centra en las aeronaves y todo se mueve alrededor de lo que éstas necesitan. El principal componente de esta parte es la [pista de aterrizaje](#), pero dependiendo del tipo de aeropuerto, puede que tenga [calles de rodaje](#), [plataformas de estacionamiento](#) y [hangares](#) de mantenimiento. La plataforma (también conocida como aprox del inglés) es el área destinada a dar cabida a las aeronaves mientras se llevan a cabo las operaciones de embarque y desembarque de pasajeros o mercancías, así como

otras operaciones de atención a la aeronave (abastecimiento de [combustible](#), mantenimientos menores, limpieza).

En el lado tierra los servicios se concentran en el manejo de los pasajeros y sus necesidades. Su principal componente es la terminal (para un aeropuerto comercial de pasajeros) o las bodegas y terminal de carga (para un aeropuerto de carga). Usualmente todos los aeropuertos tienen ambos componentes. Es posible que un juego de [pistas de aterrizaje](#) sea también utilizadas por aviones militares.

El volumen de pasajeros y el tipo de tráfico (regional, nacional o internacional) determina las características que debe tener la infraestructura.

Un área importante en todo aeropuerto es el denominado [centro de control de área](#) o ACC, en el cual se encuentran los llamados [controladores del tráfico aéreo](#) o ATC (por sus siglas en inglés), encargados de dirigir y controlar todo el movimiento de aeronaves en el aeropuerto y en la zona aérea bajo su jurisdicción.

2.4.1 Terminal

Una terminal aeroportuaria es un edificio en un [aeropuerto](#) donde los pasajeros pasan del transporte terrestre y las instalaciones que estas contienen para embarcar y desembarcar de los [aviones](#).

Dentro de la terminal, los pasajeros adquieren billetes, facturan sus equipajes, y pasan los controles de seguridad. Los edificios que dan acceso directo al avión (a través de [puertas](#)) son conocidos comúnmente como sala de embarque. Sin embargo, los términos "terminal" y "sala de embarque" son a veces usados indistintamente, dependiendo de la configuración del aeropuerto.

2.4.1.1 Características.

La área de terminal deberá ser localizado respecto a las pistas; para éstos se deberá tener en cuenta los vientos, ya que las calles de rodaje deberán ser lo más cortas posibles

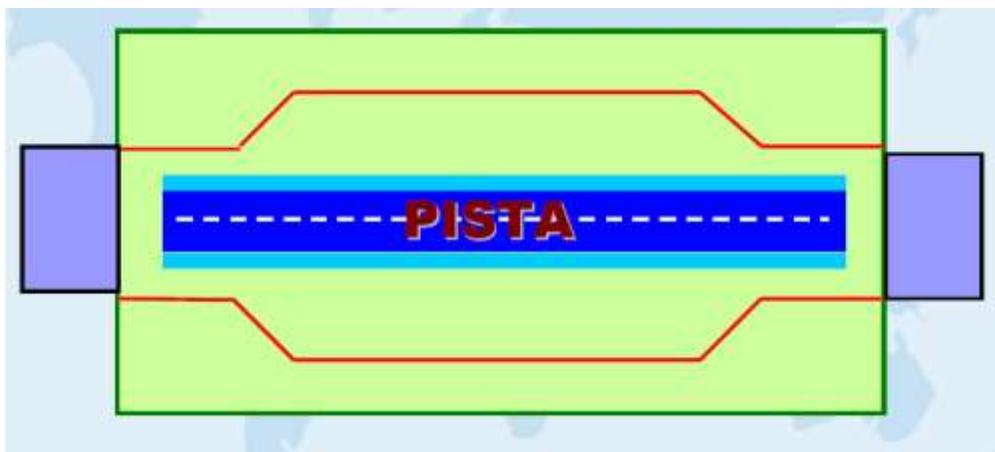
de manera que si tienen vientos en ambos sentidos se procura poner la terminal al centro de la pista, pero si se tiene condiciones ideales de vientos en calma y además no hay un tráfico fuerte se desplaza el área terminal de manera que reduzcan los recorridos de despegue y aterrizaje. Cabe hacer notar que las calles de rodaje de despegue son las que se deben hacer más cortas, pues son las que salen más costosas, ya que es cuando el avión tiene su carga completa

2.4.2 Pistas

El autor CRESPO VILLALAZ (2008 pág. 35) dice que: *“La pista de aterrizaje tiene un área rectangular definida en un aeródromo terrestre preparada para que los aviones tomen tierra y frenen, Además son al mismo tiempo la pista de despegue, en la que los aviones aceleran hasta alcanzar la velocidad que les permite despegar”*

Una parte indispensable en un aeropuerto son las pistas de aterrizaje y despegue, que necesitan ser lo suficientemente largas y anchas para que permitan operaciones de aterrizaje y despegue de las mayores aeronaves que permitan operaciones de aterrizaje y despegue de las mayores aeronaves que usen en el aeropuerto. Además de eso, necesitan ser planas, sin o con la mínima inclinación posible.

Figura 2.2: Pista de un Aeropuerto



Fuente: OACI y ALACPA. Anexo 14 y Documentos afines (diapositivas). (En línea).
Lima: 2005. Consulta: 24 de Juniodel 2011.

(<http://www.lima.icao.int/MeetProg/2005/AIRPORTPAVEMENT/04%20Cap.%203%20-%20Pistas.pdf>)

Existen las siguientes clases de pistas:

- Pista única
- Pista paralelas
- Pistas de doble calzada
- Pistas cruzadas
- Pista en V abierta

2.4.2.1 Características

Características físicas de las pistas.

— **Ancho**

La anchura de toda pista no debería ser menor de la dimensión apropiada especificada en la Tabla 2.1

En la Tabla 2.1 figuran los anchos mínimos de pista consideradas necesarias para garantizar la seguridad operacional. Los factores que influyen en el ancho de la pista son:

- a) Desviación de la aeronave fuera del eje al momento de tomar contacto;
- b) Condición de viento de costado;
- c) Contaminación de la superficie de la pista (p. ej., lluvia, nieve, nieve fundente o hielo);
- d) Depósitos de caucho;
- e) Aproximaciones en vuelo diagonal para aterrizaje con condiciones de viento transversal;
- f) Velocidades de aproximación empleadas;
- g) Visibilidad; y
- h) Factores humanos

Tabla N° 2.1 Ancho de pista

Núm. De clave	Letra de clave					
	A	B	C	D	E	F
1	18 m	18 m	23 m	---	---	---
2	23 m	23 m	30 m	---	---	---
3	30 m	30 m	30 m	45 m	---	---
4	---	---	45 m	45 m	45 m	60 m
a. La ancho de toda pista de aproximación de precisión no debería ser menor de 30 m, cuando el número de clave sea 1 ó 2.						

Fuente: Manual de Diseño de Aeródromos de la OACI

Los estudios en simulador de despegues interrumpidos en pistas contaminadas, con falla de un motor y condiciones de viento transversal, así como las observaciones reales efectuadas en muchos aeropuertos, indican que los anchos de pista especificadas para cada clave de referencia de aeródromo son necesarias desde el punto de vista operacional. En caso de planificarse operaciones de aeronaves en pistas con anchos inferiores a las especificadas anteriormente, será necesario estudiar las repercusiones de ello en la seguridad, eficiencia y regularidad de las operaciones, así como en la capacidad de los aeropuertos.

— **Pendientes longitudinales**

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 debería exceder del:

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

— 2%, cuando el número de clave sea 1 ó 2.

Cambios de pendiente longitudinal

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

— 1,5%, cuando el número de clave sea 3 ó 4; y

— 2%, cuando el número de clave sea 1 ó 2.

— **Distancia visible.**

Cuando no se pueda evitar un cambio de pendiente, el cambio debería ser tal que desde cualquier punto situado a:

3 m por encima de una pista sea visible todo otro punto situado también a 3 m por encima de la pista, dentro de una distancia igual, por lo menos a la mitad de la longitud de la pista cuando la letra de clave sea C, D o E;

— 2 m por encima de una pista sea visible otro punto situado también a 2 m por encima de la pista, dentro de una distancia igual, por lo menos, a la mitad de la longitud de la pista, cuando la letra de clave sea B; y

— 1,5 m por encima de una pista sea visible otro punto situado también a 1,5 m por encima de la pista, dentro de una distancia igual, por lo menos, a la mitad de la longitud de la pista, cuando la letra de clave sea A

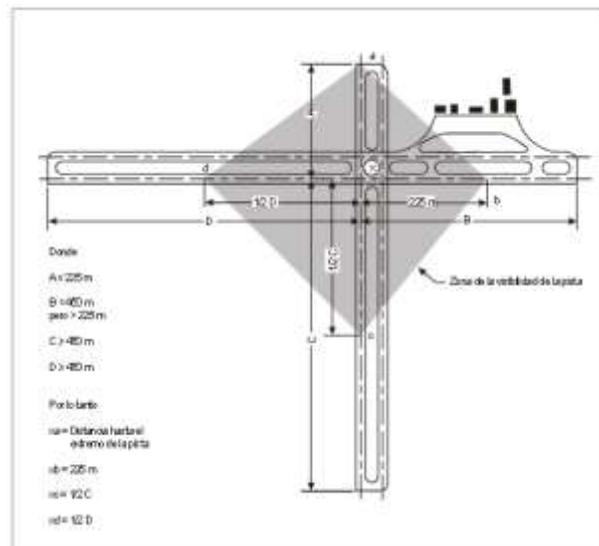
— **Distancia entre cambios de pendiente**

A lo largo de una pista deberían evitarse ondulaciones o cambios de pendiente apreciables que estén muy próximos. La distancia entre los puntos de intersección de dos curvas sucesivas no debería ser menor que:

- a) La suma de los valores numéricos absolutos de los cambios de pendiente correspondientes, multiplicada por el valor que corresponda entre los siguientes:

- 30 000 m cuando el número clave sea 4;
 - 15 000 m cuando el número clave sea 3; y
 - 5 000 m cuando el número clave sea 1 ó 2; o
- b) 45 m; tomando la que sea mayor.

Figura N° 2.3 Zona de visibilidad de la pista



Fuente: Manual de Diseño de Aeródromos de la OACI

— **Pendientes transversales**

Para facilitar la rápida evacuación del agua, la superficie de la pista, en la medida de lo posible, debería ser convexa, excepto en los casos en que exista una pendiente transversal única que descienda en la dirección del viento que acompaña a la lluvia con mayor frecuencia, que asegure el rápido drenaje de aquella. La pendiente transversal ideal debería ser de:

- 1,5%, cuando la letra de clave sea C, D, E o F;
- 2%, cuando la letra de clave sea A o B;

Pero, en todo caso, no debería exceder del 1,5 ó 2%, según corresponda, ni ser inferior al 1%, salvo en las intersecciones de pistas o de calles de rodaje en que se requieran

pendientes más aplanadas. En el caso de superficies convexas, las pendientes transversales a ambos lados del eje de la pista deberían ser simétricas. En pistas mojadas con viento transversal, es probable que se acentúe el problema de hidroplaneo debido al drenaje defectuoso.

— **Superficie**

La superficie de la pista debería construirse sin irregularidades que den como resultado la pérdida de la eficacia del frenado, o afectar adversamente de cualquier otra forma el despegue y el aterrizaje de un avión. Las irregularidades de superficie pueden afectar adversamente el despegue o el aterrizaje de un avión por causar rebotes, cabeceo o vibración excesivos, u otras dificultades en el manejo del avión

— **Textura superficial**

La superficie de una pista pavimentada se construirá de modo que proporcione buenas características de rozamiento cuando la pista esté mojada. Los análisis y la experiencia en operaciones han demostrado que en las superficies debidamente diseñadas y mantenidas de hormigón asfáltico o de hormigón de cemento portland, se dan esas condiciones.

Esto no excluye el uso de otros materiales que satisfagan los mismos criterios

— **Márgenes de pista**

Se deben proporcionar márgenes de pista para asegurar una transición del pavimento de resistencia total a la franja de pista no pavimentada. Los márgenes pavimentados protegen el borde del pavimento de la pista, contribuyen a la prevención de erosión del suelo causada por el chorro de reactor y mitigan los daños de los reactores producidos por objetos extraños. Donde el suelo sea susceptible de erosión, el ancho de los márgenes puede ser mayor de los valores mínimos recomendados.

— **Pendientes**

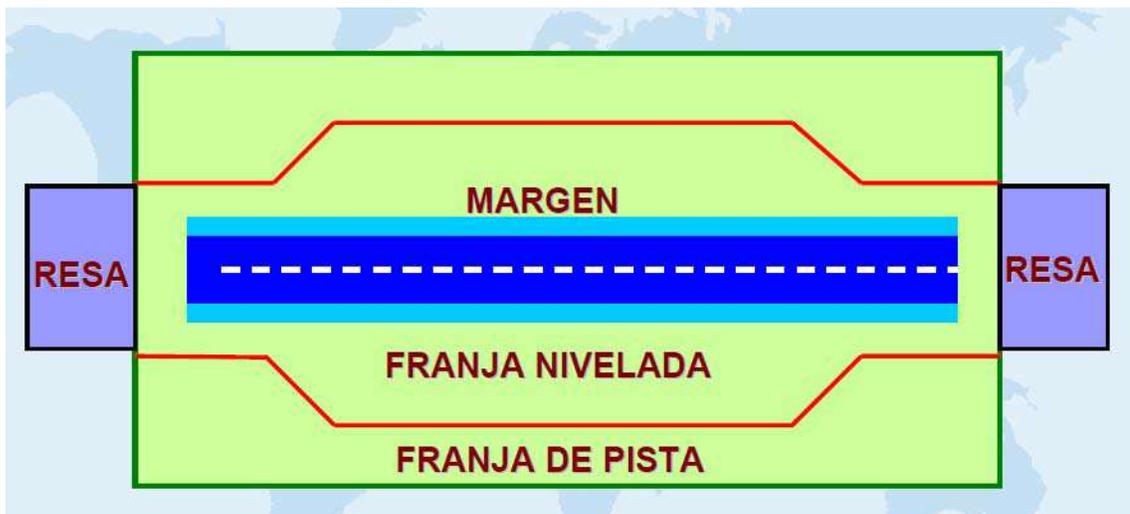
La superficie de los márgenes adyacentes a la pista debería estar al mismo nivel que la de ésta, y su pendiente transversal descendente no debería exceder del 2,5%.

— **Resistencia**

Los márgenes de la pista deberían prepararse o construirse de manera que puedan soportar el peso de un avión que se salga de la pista, sin que éste sufra daños estructurales, y soportar los vehículos terrestres que puedan circular sobre el margen.

— **Franjas de pista**

Figura 2.4: Franja de pista



Fuente: OACI y ALACPA. Anexo 14 y Documentos afines (diapositivas). (En línea).

Lima: 2005. Consulta: 24 de Junio del 2011.

(<http://www.lima.icao.int/MeetProg/2005/AIRPORTPAVEMENT/04%20Cap.%203%20-%20Pistas.pdf>)

— **Propósito de la franja de pista**

La franja de pista se extiende lateralmente hasta una distancia específica desde el eje de la pista, longitudinalmente hasta antes del umbral, y más allá del extremo de la pista. Provee un área libre de objetos que pudieran poner en peligro a las aeronaves.

La franja incluye una porción nivelada que debe prepararse de forma tal que no cause el desplome del tren de proa al salirse la aeronave de la pista.

Existen ciertas limitaciones respecto de las pendientes permisibles en la zona nivelada de la franja. La franja de pista también es necesaria para proteger las áreas sensibles y críticas del ILS/MLS. La franja tiene una zona despejada de obstáculos.

Todo equipo o instalación requeridos para propósitos de navegación aérea ubicados en esta zona despejada de obstáculos, debe ser frangible y estar montado lo más bajo posible. La franja abarca la pista y cualquier zona asociada de parada.

— **Longitud**

Toda franja debería extenderse, antes del umbral y más allá del extremo de la pista o de la zona de parada, hasta una distancia de por lo menos:

- 60 m cuando el número de clave sea 2, 3 ó 4;
- 60 m cuando el número de clave sea 1 y la pista sea de vuelo por instrumentos; y
- 30 m cuando el número de la clave sea 1 y la pista sea de vuelo visual.

— **Anchura**

Siempre que sea posible, toda franja que comprenda una pista para aproximaciones de precisión se extenderá lateralmente en una distancia de por lo menos:

- 150 m cuando el número de clave sea 3 ó 4; y
- 75 m cuando el número de clave sea 1 ó 2;

A cada lado del eje de la pista y de su prolongación a lo largo de la franja.

— **Áreas de seguridad de extremo de pista**

• **Propósito de las RESA**

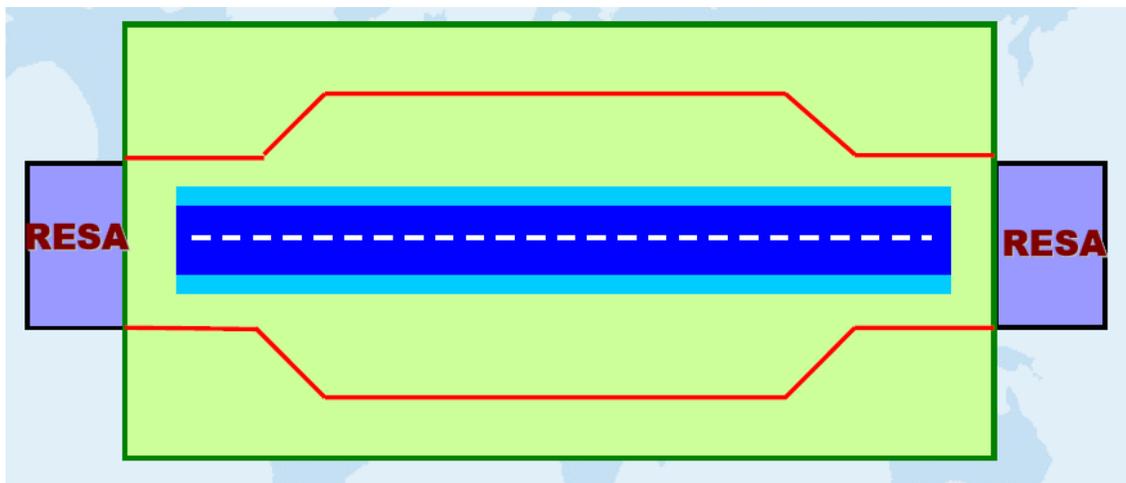
Los informes del sistema de notificación de datos sobre accidentes/incidentes (ADREP) de la OACI han indicado que las aeronaves que realizan aterrizajes y despegues demasiado cortos o largos sufren daños significativos. Para minimizar dicho daño se estima necesario proveer una zona adicional que se extienda más allá de los extremos de la franja de la pista. Estas zonas conocidas como áreas de seguridad de extremo de pista deben tener la capacidad suficiente para resistir aeronaves que realicen

aterrizajes demasiado cortos o largos y deberán estar libres de equipos e instalaciones no frangibles.

Debe proveerse un área de seguridad de extremo de pista en cada extremo de una franja de pista cuando:

- el número de clave sea 3 ó 4; y
- el número de clave sea 1 ó 2 y la pista sea de aterrizaje por instrumentos.

Figura 2.5: Área de seguridad de extremo de pista



Fuente: OACI y ALACPA. Anexo 14 y Documentos afines (diapositivas). (En línea).
Lima: 2005. Consulta: 24 de Junio del 2011.
(<http://www.lima.icao.int/MeetProg/2005/AIRPORTPAVEMENT/04%20Cap.%203%20-%20Pistas.pdf>)

- **Longitud**

El área de seguridad de extremo de pista debe extenderse desde el extremo de una franja de pista hasta la mayor distancia posible, y por lo menos hasta 90 m.

Las áreas de seguridad de extremo de pista deberían, en la medida de lo posible, extenderse desde el extremo de la franja de la pista hasta una distancia de por lo menos:

- 240 m cuando el número de clave sea 3 ó 4;
- 120 m cuando el número de clave sea 1 ó 2.

Al decidir la longitud que debe proveerse, debería considerarse el proporcionar un área suficientemente larga como para contener los aterrizajes largos y cortos que resulten de una combinación, razonablemente probable, de factores operacionales adversos. En una pista para aproximaciones de precisión, el localizador del ILS es normalmente el primer obstáculo y las áreas de seguridad de extremo de pista deberían llegar hasta esa instalación. En otras circunstancias y en una pista para aproximaciones que no sean de precisión o de vuelo visual, el primer obstáculo puede ser una carretera, una vía férrea u otra característica artificial o natural. En tales circunstancias, las áreas de seguridad de extremo de pista deberían extenderse tan lejos como el obstáculo.

- **Ancho**

La anchura de un área de seguridad de extremo de pista debe ser por lo menos el doble de la anchura de la pista correspondiente.

- **Objetos**

Con excepción del equipo o las instalaciones requeridas para fines de navegación aérea, todo objeto situado en un área de seguridad de extremo de pista, que pueda poner en peligro a los aviones, debería considerarse como obstáculo y eliminarse, siempre que sea posible. Cualquier equipo o instalación requerida para fines de navegación aérea que deba estar emplazado en el área de seguridad de extremo de pista debería ser frangible e instalarse a la menor altura posible y situarse de tal modo que el peligro para las aeronaves se reduzca al mínimo.

- **Eliminación de obstáculos y nivelación**

La superficie de las áreas de seguridad de extremo de pista debería estar despejada y nivelada para recibir los aviones para los que está destinada la pista en caso de que un avión efectúe un aterrizaje demasiado corto o se salga del extremo de la pista. No es preciso que la calidad de la superficie del terreno en el área de seguridad de extremo de pista sea igual a la de la franja de pista.

- **Pendientes combinadas**

Las pendientes de un área de seguridad de extremo de pista deberían ser tales que ninguna parte de dicha área penetre en las superficies de aproximación o de ascenso en el despegue.

— **Pendientes longitudinales**

Las pendientes longitudinales de un área de seguridad de extremo de pista no deberían sobrepasar una inclinación descendente del 5%. Los cambios de pendiente longitudinal deberían ser lo más graduales posible, debiendo evitar los cambios bruscos o las inversiones repentinas de pendiente.

Con el fin de que puedan servirse del aeropuerto los aviones que efectúan aproximaciones y aterrizajes con el piloto automático acoplado (independientemente de las condiciones meteorológicas), es conveniente que los cambios de pendiente se eviten o reduzcan a un mínimo en un área simétrica con respecto a la prolongación del eje de la pista de aproximadamente 60 m de anchura y 300 m de longitud antes del umbral de una pista de vuelo por instrumentos. Esto es conveniente porque estos aviones están equipados con un radio altímetro para la guía final de altura y enderezamiento, y cuando el avión está sobre el terreno inmediatamente anterior al umbral el radio altímetro empieza a proporcionar al piloto automático información para el enderezamiento. Cuando no puedan evitarse cambios de pendiente, el régimen de cambio entre dos pendientes consecutivas no debería exceder del 2% en 30 m.

— **Pendientes transversales**

Las pendientes transversales de un área de seguridad de extremo de pista no deberían sobrepasar una inclinación, ascendente o descendente, del 5%. Las transiciones entre pendientes diferentes deberían ser lo más graduales posible.

Resistencia

Un área de seguridad de extremo de pista debería estar preparada o construida de modo que reduzca el riesgo de daño que pueda correr un avión que efectúe un aterrizaje demasiado corto o que se salga del extremo de la pista, aumente la desaceleración del avión y facilite el movimiento de los vehículos de salvamento y extinción de incendios.

— Zonas libres de obstáculos

Emplazamiento

El origen de la zona libre de obstáculos debería estar en el extremo del recorrido de despegue disponible.

— Longitud

La longitud de la zona libre de obstáculos no debería exceder de la mitad de la longitud del recorrido de despegue disponible.

— Ancho

La zona libre de obstáculos debería extenderse lateralmente hasta una distancia mínima de 75 m a cada lado de la prolongación del eje de la pista.

— Pendientes

El terreno de una zona libre de obstáculos no debería sobresalir de un plano inclinado con una pendiente ascendente del 1,25%, siendo el límite inferior de este plano una línea horizontal que:

- a) esté perpendicular al plano vertical que contenga el eje de la pista; y
- b) pase por un punto situado en el eje de la pista, al final del recorrido de despegue disponible.

En ciertos casos, cuando una pista, un margen o una franja, presenten una pendiente transversal o longitudinal, el límite inferior de la zona libre de obstáculos, especificada precedentemente, podría tener un nivel inferior al de la pista, del margen o de la franja. No se pretende que dichas superficies tengan un nivel igual a la altura del límite inferior del plano de la zona libre de obstáculos ni que se eliminen del terreno los accidentes o los objetos que sobresalgan por encima de esta superficie, más allá del extremo de la franja pero por debajo del nivel de la misma, a menos que se consideren peligrosos para los aviones.

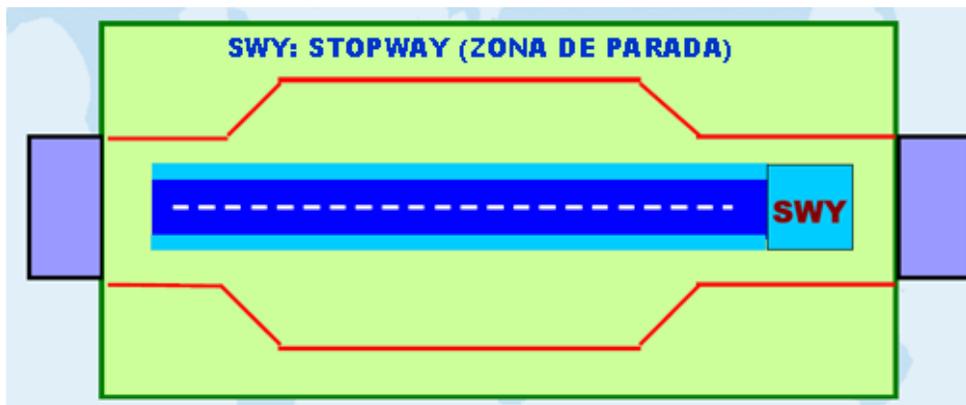
Deberían evitarse los cambios bruscos ascendentes de pendientes cuando la pendiente de una zona libre de obstáculos sea relativamente pequeña o cuando la pendiente media sea ascendente. Cuando existan estas condiciones, en la parte de la zona libre de obstáculos comprendida en la distancia de 22,5 m a cada lado de la prolongación del eje, las pendientes, los cambios de pendiente y la transición de la pista a la zona libre de obstáculos generalmente deberían ajustarse a los de la pista con la cual esté relacionada dicha zona.

— **Objetos**

Todo objeto situado en una zona libre de obstáculos, que pueda poner en peligro a los aviones en vuelo, debería considerarse como obstáculo y eliminarse. Cualquier equipo o instalación requerida para fines de navegación aérea que deba estar emplazado en la zona libre de obstáculos, debería tener la menor masa y altura posibles, ser de diseño y montaje frangibles y situarse de tal modo que el peligro para las aeronaves se reduzca al mínimo.

Zonas de parada

Figura 2.6: Zona de parada



Fuente: OACI y ALACPA. Anexo 14 y Documentos afines (diapositivas). (En línea). Lima: 2005.

Consulta: 24 de Junio del 2011.

<http://www.lima.icao.int/MeetProg/2005/AIRPORTPAVEMENT/04%20Cap.%203%20-%20Pistas.pdf>

— **Ancho**

La zona de parada tendrá el mismo ancho que la pista con la cual esté asociada.

Pendientes

Las pendientes y cambios de pendientes en las zonas de parada y la transición de una pista a una zona de parada, deberían cumplir las especificaciones en la cual esté asociada la zona de parada, con las siguientes excepciones:

- a) no es necesario aplicar a la zona de parada las limitaciones que se dan en del 0,8% de pendiente en el primero y el último cuartos de la longitud de la pista; y
- b) en la unión de la zona de parada y la pista, así como a lo largo de dicha zona, el grado máximo de variación de pendiente puede ser de 0,3% por cada 30 m (radio mínimo de curvatura de 10 000 m) cuando el número de clave de la pista sea 3 ó 4.

— Resistencia

Las zonas de parada deberían prepararse o construirse de manera que, en el caso de un despegue interrumpido, puedan soportar el peso de los aviones para los que estén previstas, sin ocasionar daños estructurales a los mismos.

— Superficie

La superficie de las zonas de parada pavimentadas debería construirse de modo que proporcione un buen coeficiente de rozamiento compatible con el de la pista asociada cuando la zona de parada esté mojada.

Las características de rozamiento de una zona de parada no pavimentada no deberían ser considerablemente inferiores a las de la pista con la que dicha zona de parada esté asociada

2.4.3. Calles de Rodaje

Los criterios para el diseño de las calles de rodaje son menos estrictos que los relativos a las pistas, ya que las velocidades de las aeronaves en las calles de rodaje son mucho más lentas que en las pistas. En la Tabla 2.2 figuran los criterios principales para el

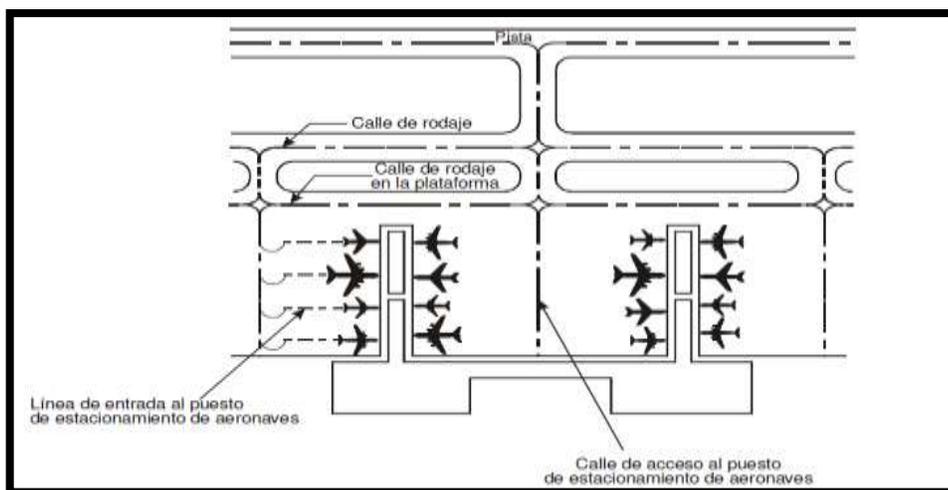
diseño de las características físicas recomendadas para una calle de rodaje de acuerdo con las especificaciones del anexo 14, Volumen I. Cabe señalar que con respecto a la distancia libre entre la rueda principal exterior de la aeronave y el borde de la calle de rodaje, se considera que el puesto de pilotaje de la aeronave permanece sobre la señal de eje de calle de rodaje.

Figura 2.7: Calle de rodaje de salida rápida



Fuente: OACI. Manual de Diseño de aeródromos - Parte II, Calles de Rodaje.
Canadá: 2005.

Figura 2.8: Calle de rodaje en la plataforma y de acceso al puesto de estacionamiento



Fuente: OACI. Manual de Diseño de Aeródromos - Parte II, Calles de Rodaje.

Canadá: 2005.

Requisitos funcionales.

1. La máxima utilización de la capacidad y eficacia de un aeródromo sólo puede conseguirse logrando un equilibrio apropiado entre las necesidades relativas a pistas, terminales para pasajeros y mercancías y áreas de aparcamiento y servicio de aeronaves. Estos elementos funcionales de aeródromo separados y distintos están enlazados por el sistema de calles de rodaje sirven para establecer el enlace con las funciones del aeródromo y son necesarios para alcanzar la utilización óptima del mismo.
2. El diseño del sistema de calles de rodaje debería ser tal que redujera al mínimo las restricciones a los movimientos de aeronaves entre las pistas y plataformas. En un sistema con el diseño adecuado debería mantenerse un flujo uniforme y continuo del tráfico de aeronaves en tierra a la velocidad máxima factible con un mínimo de aceleración o desaceleración. Este requisito garantiza que el sistema de calles de rodaje funcionará con los más elevados grados tanto de seguridad como de eficacia.
3. En todo aeródromo, el sistema de calles de rodaje deberían permitir atender (sin considerable demora) la demanda de llegadas y salidas de aeronaves para el sistema de pistas. Cuando la utilización de las pistas es reducida, éstos se logra con un mínimo de componentes del sistema de calles de rodaje. Sin embargo, a medida que aumenta el régimen de aceptación de las pistas, hay que ampliar suficientemente la capacidad del sistema de calles de rodaje con objeto de evitar que éstos se convierta en un factor que límite la capacidad del aeródromo. En el caso extremo de que se produzca una saturación de la capacidad de las pistas, ocasión en que las aeronaves llegan y salen con una separación mínima, el sistema de calles de rodaje deberían permitir que las aeronaves salgan de la pista tan pronto sea factible después de aterrizar y entren en la misma inmediatamente antes de despegar. Sé

logra así que los movimientos de aeronaves en la pista se efectúen con una mínima separación.

4. Las pistas y calles de rodaje son elementos menos flexibles el aeródromo y, por lo tanto, deben tenerse en cuenta en primer lugar cuando se planifica la construcción de un aeródromo. Los pronósticos sobre las actividades futuras deberían identificar las variaciones en el ritmo de los movimientos de aeronaves, modalidad de tráfico, el tipo de aeronaves y otros factores que inciden en la configuración y las dimensiones de los sistemas de pistas y calles de rodaje. Debería tenerse cuidado de que la atención que se preste a las necesidades actuales del sistema no haga que descuiden las ulteriores de desarrollo, que tienen igual o mayor importancia. Por ejemplo, si se pronostica que un aeródromo ha de servir en el futuro a aeronaves de mayor tamaño, el actual sistema de calles de rodaje debería trazarse de manera que se tenga en cuenta separaciones mayores que serán finalmente necesarias.

2.4.3.1 Características de calles de Rodaje

- **Clave de referencia de aeródromo.**
- El propósito de la clave de referencia es proporcionar un método simple para relacionar entre sí las numerosas especificaciones en materia de las características de aeródromos, a fin de garantizar que las instalaciones aeroportuarias convienen a los aviones destinados a operar en el aeródromo. La clave consta de dos elementos que se relacionan con las características y dimensiones del avión. El elemento 1 es un número basado en la longitud del campo de referencia del avión y el elemento 2 es una letra basada en la envergadura del avión y en la anchura total del tren de aterrizaje principal.
- Una especificación en particular se relaciona con el más apropiado de los dos elementos de la clave o con una combinación apropiada de los mismos. La letra o número de la clave dentro de un elemento seleccionado para fines de diseño, se relaciona con las características críticas del avión para el que se proporciona

la instalación. Al aplicar las disposiciones pertinentes del anexo 14, Volumen I se indica en primer lugar los aviones para los que se destina el aeródromo y luego los dos elementos de la clave.

- El número de clave para el elemento 1 se determina por medio de la Tabla 2.3, seleccionado el número de clave que corresponda al valor más elevado de las longitudes de campo de referencia de los aviones para los que se destina la pista. La longitud del campo de referencia del avión se define como la longitud de campo mínima necesaria para el despegue con la masa de despegue máxima homologada, la nivel del mar, en atmósfera tipo, sin viento y con pendiente de pista cero, según las indicaciones del manual de vuelo del avión, prescrito por la autoridad que otorga el certificado o según los datos equivalentes que proporcione el fabricante del avión. En consecuencia, si el valor más elevado de la longitud de campo de referencia del avión es de 1650 m, el número clave seleccionado será “3”.
- La letra de clave para el elemento 2 se determina por medio de la tabla 2.3. seleccionando la letra de clave que corresponda a la envergadura más grande, o el ancho total más grande de tren de aterrizaje principal, la que las dos del valor más crítico para la letra de clave de los aviones para los que se destina la instalación. Por ejemplo, si la letra de clave C corresponde al avión que tenga la envergadura más grande y la letra clave D corresponde al avión que tenga la anchura total más grande de tren de aterrizaje principal, la letra de clave seleccionada será “D”.
- **Ancho de las calles de rodaje.**

En la Tabla 2.1 se muestran los anchos mínimos de las calles de rodaje. Los valores seleccionados se basan en la suma de la distancia libre entre las ruedas y el borde del pavimento, más la altura total máxima del tren de aterrizaje principal de la aeronave para la letra de clave seleccionada.

— **Curvas de las calles de rodaje.**

Los cambios de dirección de las calles de rodaje no deberían ser numerosos ni pronunciados en la medida de lo posible. El diseño de la curva debería ser tal que cuando el puesto de pilotaje del avión permanezca sobre las señales de eje de calle de rodaje, la distancia libre entre las ruedas principales exteriores y el borde de la calle de rodaje no sea inferior a las especificadas en la Tabla 2.1

Si la existencia de curvas es inevitable, los radios de las mismas deberían ser compatibles con la capacidad de maniobra y las velocidades de rodaje normales de las aeronaves a las que se destina dicha calle de rodaje. En la Tabla 2.4 figuran los valores de las velocidades admisibles correspondientes a los determinados radios de curvatura basándose en un factor de carga lateral de 0,133 g... Cuando se prevean curvas muy pronunciadas con un radio insuficiente para impedir que las ruedas de la aeronave en rodaje se salgan del pavimento, puede ser necesario ensanchar la calle de rodaje a fin de conseguir la distancia libre a la rueda que se especifica en la Tabla 2.1. Debe tenerse en cuenta que las curvas compuestas pueden reducir o eliminar la necesidad de una calle de rodaje más ancha.

— **Uniones e intersecciones.**

Deberían suministrarse superficies de enlace en las uniones e intersecciones de las calles de rodaje con pistas, plataformas y otras calles de rodaje, a fin de mantener la distancia libre mínima establecida en la Tabla 2-1.

— **Separación mínima entre las calles de rodaje**

La separación entre el eje de una calle de rodaje y el eje de una pista, de otra calle de rodaje o un objeto no deberían ser inferior a la dimensión apropiada que se especifica en la Tabla 2-1. Sin embargo, podrían permitirse operaciones con separaciones menores en un aeródromo ya existente cuando un estudio aeronáutico indicara que tales separaciones no afectarían la seguridad ni significativamente la regularidad de las operaciones.

Las distancias se basan en la envergadura máxima de un grupo y en la desviación de una aeronave en respecto del eje de la calle de rodaje en una distancia igual a la distancia libre de las ruedas y el borde del pavimento para dicho grupo. Cabe observar que, aún en los casos en que debido al diseño de una aeronave (con una combinación inusitada de una gran envergadura y una anchura reducida del tren de aterrizaje), el extremo del ala se encuentra más alejado del eje, la distancia libre resultante seguirá siendo considerable mayor que la necesaria para que la aeronave pudiera pasar.

2.4.4 Plataforma

La plataforma se entiende como una zona definida destinada a dar cabida a las aeronaves, para los fines de embarque o desembarque de pasajeros, correo o carga, abastecimiento de combustible, estacionamiento o mantenimiento. La plataforma suele ser pavimentada; en algunos casos, una plataforma por vista de césped puede ser adecuada para aeronaves pequeñas. *Fuente: Manual de Diseño de Aeródromos de la OACI*

— **Tipos de plataformas.**

- **Plataforma de la terminal de pasajeros.**

La plataforma de la terminal de pasajeros es una zona designada para las maniobras y estacionamiento de las aeronaves que está situada junto a las instalaciones de la terminal de pasajeros o que ofrece fácil acceso a las mismas. Desde esta zona los pasajeros que salen de la terminal embarcan en la aeronave. La plataforma de la terminal de pasajeros facilita el movimiento de pasajeros y se utiliza para el abastecimiento de combustible y mantenimiento de las aeronaves, así como para el embarque y desembarque de carga, correo y equipaje. Cada uno de los lugares de estacionamiento de aeronaves en la plataforma de la terminal de pasajeros se denomina puesto de estacionamiento de aeronaves.

- **Plataforma de estacionamiento**

En los aeropuertos puede necesitarse una plataforma de estacionamiento, además de la plataforma de la terminal, donde las aeronaves puedan permanecer estacionadas

durante largos periodos. Estas plataformas pueden utilizarse durante la parada – estancia de la tripulación o mientras se efectúa el servicio y mantenimiento periódico menor de aeronaves que se encuentran separadas de las plataformas de la terminal, deberían emplazarse lo más cerca posible de estas a fin de reducir a lo mínimo el tiempo de embarque/ desembarque de pasajeros así como por razones de seguridad.

- **Plataformas de servicio y de hangares.**

Una plataforma de servicio es una zona descubierta adyacente a un hangar de aeronaves en la que puede efectuarse el mantenimiento de las aeronaves, mientras que una plataforma de hangar es una zona desde la cual las aeronaves entran y salen de un hangar de aparcamiento.

- **Plataformas para la aviación general.**

Para las aeronaves de la aviación general, utilizadas en vuelos de negocios o de carácter personal, se necesitan varias categorías de plataformas a fin de atender las distintas actividades de la aviación general.

- **Plataforma temporal**

Las aeronaves de la aviación general en tránsito (estadía transitoria) utilizan este tipo de plataforma como lugar de estacionamiento temporal, así como para tener acceso a las instalaciones de abastecimiento de combustible, servicio de las aeronaves y transporte terrestre. En los aeródromos utilizados solamente por las aeronaves de la aviación general, la plataforma temporal suele estar junto a un área perteneciente a un explotador que tiene su base de carácter fijo en el aeródromo, o bien dentro de dicha área. En la plataforma de la terminal, por lo general, se destinara una zona a las aeronaves de la aviación general en tránsito.

2.4.4.1 Características de plataforma.

El diseño de cualquiera de los diversos tipos de plataformas exige la evaluación de numerosas características relacionados entre si y a menudo contradictorias. A pesar de las distintas finalidades de los diferentes tipos de plataformas, numerosas

características generales del diseño relacionadas con la seguridad, eficacia, configuración geométrica, flexibilidad e ingeniería son comunes a todos los tipos. En los siguientes párrafos se describe brevemente estos requisitos generales de diseño.

- **Seguridad operacional.**

Al diseñarse una plataforma deberían tenerse en cuenta los procedimientos de seguridad operacional relativos a las aeronaves que realizan maniobras en la misma. La seguridad operacional en este contexto entraña que las aeronaves mantengan las distancias libres especificadas y sigan los procedimientos establecidos para entrar en las áreas de plataformas, desplazarse dentro de las mismas y salir de ella. Los servicios que se proporcionan a las aeronaves estacionadas en las plataformas deberían incluir procedimientos de seguridad, especialmente con respecto al abastecimiento de combustible. Los pavimentos deberían tener un declive a partir de los edificios de la terminal y otras estructuras para impedir la propagación de los incendios resultantes de los vertidos de combustible en la plataforma. En cada puesto de estacionamiento deberían instalarse tomas de agua para regar periódicamente la superficie de la plataforma. Debería también tenerse en cuenta la seguridad de la aeronave mediante el emplazamiento de la zona de la plataforma en un punto en que la aeronave pueda quedar protegida del personal no autorizado. Esto puede lograrse mediante la separación física de las zonas abiertas al público y las áreas de las plataformas.

- **Eficacia**

El diseño de la plataforma debería contribuir a un elevado grado de eficacia en los movimientos de las aeronaves y en el suministro de servicios en la plataforma. La libertad de movimiento, las distancias de rodaje mínimas y la mínima demora en la iniciación de los movimientos de las aeronaves en la plataforma son medidas de la eficacia de cualquiera de los tipos e plataformas. Si la disposición definitiva del puesto de estacionamiento de aeronaves puede determinarse durante la etapa inicial de planificación del aeródromo, los servicios y dispositivos de abastecimiento deberían instalarse de manera fija. La instalación de tuberías de combustible y tomas de agua, conexiones de aire comprimido y sistemas de energía eléctrica debe planificarse

cuidadosamente ya que estos sistemas generalmente se emplazan bajo el pavimento de la plataforma. El elevado coste inicial general de estos sistemas quedara compensado con el mayor rendimiento del puesto de estacionamiento, lo que permitirá una mayor utilización de la plataforma. El logro de estas medidas de eficacia asegurara el máximo valor económico de la plataforma.

- **Configuración geométrica**

La planificación y el diseño de cualquier tipo de plataforma dependen de diversas consideraciones geométricas. Por ejemplo, la longitud y anchura de la parcela de terreno disponible para el establecimiento de plataformas puede imposibilitar determinados conceptos. En el caso de un nuevo aeródromo, quizá sea posible adoptar la disposición más eficaz, basándose en la naturaleza de la demanda, y entonces reservar una zona de terreno perfectamente adecuada. Sin embargo, la ampliación o adición de plataformas en los aeródromos existentes tendrá, por lo general, una forma algo menos que ideal debido a las limitaciones que impone la configuración y dimensión de las parcelas disponibles. La superficie total que se necesita para cada puesto de estacionamiento incluye la superficie que se precisa para las calles de acceso al puesto de estacionamiento de aeronaves así como para las calles de rodaje en la plataforma utilizadas conjuntamente con otros puestos de estacionamiento de aeronaves. Por lo tanto, la superficie total que se necesita para el establecimiento de plataformas no solo depende del tamaño de las aeronaves, las distancias libres y el método de estacionamiento, sino también de la disposición geométrica de las calles de acceso al puesto de estacionamiento de aeronaves, de otras calles de rodaje, barreras contra el chorro, zonas utilizadas para estacionamiento de vehículos de servicio y caminos utilizados para el desplazamiento de los vehículos.

- **Flexibilidad**

La planificación de las plataformas debería comprender una evaluación de las siguientes características en cuanto a la flexibilidad.

Variedad en los tamaños de aeronaves

El número y dimensiones de los puestos de estacionamiento de aeronaves deberían ajustarse al número y tamaño de los tipos de aeronaves que se espera que utilicen la plataforma. Debe hallarse una solución intermedia entre dos condiciones extremas siguientes:

- a) Utilizar un puesto de estacionamiento de aeronaves de dimensiones suficientes para atender al tipo de aeronaves más grandes; y
- b) Utilizar distintos estacionamientos de aeronaves con dimensiones específicas para cada tipo de aeronave.

Con el primer método se utiliza de manera sumamente eficaz la superficie, en tanto que con el segundo se obtiene un bajo grado de flexibilidad operacional. Respecto a las plataformas en la terminal de pasajeros, una solución intermedia con la que se logra la flexibilidad apropiada consiste en agrupar las aeronaves en dos o cuatro clases de tamaños y establecer puestos de estacionamiento para una combinación de estos tamaños, en armonía con la demanda prevista. En el caso de espacios de estacionamiento para la aviación general puede utilizarse una mayor variedad de tamaños, ya que el espacio puede arrendarse y ser ocupado por una sola aeronave de dimensiones desconocidas.

- **Características comunes de diseño**

Numerosos requisitos técnicos del diseño para la construcción de las superficies de las plataformas, son comunes a todos los tipos de plataforma. En los párrafos siguientes.

- **Pavimentos.**

La elección de la superficie de un pavimento se determina evaluando la masa de las aeronaves, la distribución de la carga, el estado del suelo y el coste relativo de otros materiales que se elijan. El hormigón armado suele utilizarse en los aeródromos en que operan las aeronaves comerciales más grandes, donde se precisa una mayor resistencia y duración. La mayoría de los aeródromos necesitan al menos una superficie asfaltada para satisfacer los requisitos de resistencia, drenaje y estabilización, si bien se han usado satisfactoriamente en algunos lugares plataformas con una capa de césped y de

arena estabilizada con cemento. La instalación de hormigón armado suele ser mas cara que la de asfalto, pero su mantenimiento es menos costoso; además, dicho pavimento suele tener mayor duración. Por otra parte, los efectos de los derrames de combustible de los reactores son relativamente nulos en el hormigón, mientras que las superficies de asfalto sufren daños si el combustible permanece en la superficie incluso durante periodos cortos. Este problema puede solucionarse parcialmente cubriendo el asfalto con sustancias esenciales para el sellado y lavando frecuentemente el pavimento.

- **Pendiente del pavimento**

Las pendientes en una plataforma deberían tener un declive suficiente para impedir la acumulación de agua en la superficie de la plataforma, pero deberían mantenerse tan horizontales como lo permitan las exigencias de drenaje. El desagüe eficaz de aguas pluviales en las grandes zonas pavimentadas de la plataforma se logra normalmente mediante una pendiente pronunciada del pavimento y la instalación de numerosos drenajes en la superficie. Sin embargo, una pendiente demasiado pronunciada creara dificultades para las maniobras de las aeronaves y a los vehículos de servicio que se desplazan en la plataforma. Además, el abastecimiento de combustible a las aeronaves exige una superficie prácticamente horizontal para conseguir el equilibrio apropiado de la masa de combustible en los diversos depósitos de las aeronaves. Las pendientes y drenajes deberían diseñarse de modo que el combustible derramado se encauce en sentido distinto al de los edificios y zonas de servicio de la plataforma. Con objeto de satisfacer las necesidades relativas a drenaje, maniobrabilidad y abastecimiento de combustible, las pendientes de las plataformas deberían ser del 0,5 al 1 % en el puesto de estacionamiento de las aeronaves, y no mayores al 1,5 % en las demás zonas de la plataforma.

2.5 PAVIMENTOS EN EL AEROPUERTO

En la actualidad todos los aeropuertos requieren aeropistas pavimentadas, ya sea que utilicen un pavimento a base de materiales bituminosos o con cemento, lo importante es cumplir con las exigencias de la construcción tomando en cuenta aspectos como el clima, las cargas, tipo de suelo, etc.

Se define como pavimento a la construcción que tiene la finalidad de repartir las cargas producidas por las ruedas de los vehículos para así reducir las presiones sobre el terreno hasta que tengan una intensidad tolerable.

De los dos tipos generales de pavimento, rígido y flexible, el que ofrece mayor resistencia a la compresión es el rígido, el cual utiliza el concreto a base de cemento tipo Portland.

Mientras que el pavimento flexible se compone, generalmente, de capas de superficie bituminosas sobre capas de base granulares

También pueden utilizarse en la capa base materiales bituminosos.

Un aspecto que debe tomarse en cuenta durante el diseño del pavimento es la existencia de un buen drenaje, esto es, que no haya acumulaciones de agua sobre el pavimento que provoquen la inestabilidad del terreno, lo cual implica eliminar el agua superficial, controlar el agua que exista en la capa subterránea, el nivel de aguas freáticas y la capilaridad.

A diferencia de los pavimentos utilizados para carreteras, en las aeropistas la repetición de las cargas no es tan importante ya que la distribución de las cargas es mucho mejor, sin embargo, habrá repetición de las cargas en movimiento lento y estáticas en zonas como calles de rodaje, plataformas y extremos de pistas, por tal motivo se consideran zonas peligrosas desde el punto de vista del proyecto, debe recordarse que el desgaste de un pavimento es mucho mayor cuando la velocidad a la que van los vehículos es pequeña.

Con la aparición de los aviones de reacción surge un nuevo problema para los pavimentos, pues los materiales con los que estos se construyen deben cumplir con ciertos requisitos, esto es, ser resistentes al calor, al chorro de los reactores, a los combustibles vertidos y a los residuos ácidos de los aceites quemados. Se han buscado materiales especiales para los pavimentos, pero también se ha comprobado que una solución efectiva está en la etapa de operación.

Para reducir el desgaste de los pavimentos debido a los aviones de reacción se puede reducir el tiempo que los aviones emplean para calentamiento y realizándolo en secciones

2.5.1 Consideraciones Generales

Los parámetros que se consideran en el diseño son:

- Valor del CBR del terreno de fundación del pavimento
- Tráfico de diseño
- Espesores y capacidad estructural de capas que conforman el pavimento actual (para el recapado).CBR

Para determinar el valor del CBR de diseño del terreno de fundación se utilizan los valores obtenidos de los ensayos de laboratorio realizados en muestras representativas de los suelos de la subrasante obtenidas de las calicatas exploratorias. El número total de los ensayos de CBR realizados está en función de la homogeneidad del tipo de subsuelo en la zona investigada.

El CBR de diseño será calculado estadísticamente para un percentil 95%, según lo recomendado en el Manual de Proyecto de Aeródromos y la normativa de la FAA, utilizando los valores de CBR encontrados en este estudio.

MÉTODOS DE DISEÑO EN PAVIMENTOS DE AEROPUERTOS

3. INTRODUCCION.

En vista de la función vital que desempeñan las pistas en lo que respecta a la seguridad y eficiencia del aterrizaje y despegue de las aeronaves, al proyectar esas instalaciones y servicios es imprescindible tener en cuenta las características operacionales y físicas de los aviones que habrán de utilizar las pistas, así como consideraciones de ingeniería y de orden económico.

Los elementos de los aeródromos conexos a las pistas y que guardan relación directa con el aterrizaje y el despegue de los aviones son los siguientes: franjas de pista, márgenes de pista, zonas de parada, zonas libres de obstáculos y áreas de seguridad de extremo de pista. En éste trabajo se describe la instalación de pistas y de sus elementos conexos, y se resumen las especificaciones y los textos de orientación relacionados con su diseño.

3.1 MÉTODO ACN – PCN

3.1.1 Antecedentes.

En el Anexo 14 propuesto por la OACI, se especifica que la resistencia de un pavimento destinado a las aeronaves de masa superior a 5700 kg, se dará a conocer mediante el

método del número de clasificación de aeronaves – número de clasificación de pavimentos (ACN-PCN)

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

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

3.1.2 Principios

El principio u objetivo del método ACN-PCN es la difusión de los datos sobre la resistencia de los pavimentos en las publicaciones de información aeronáutica (AIP). Su finalidad no es el cálculo ni la evaluación de los pavimentos, ni en él se prevé que las autoridades empleen un método determinado, ya sea para el cálculo o para la evaluación de los pavimentos. El método ACN-PCN permite que los Estados o Países utilicen cualquier método de cálculo o evaluación. Por esta razón, el método asigna más importancia a la evaluación de la carga de las aeronaves (ACN) que a la de los pavimentos y comprenden un procedimiento normalizado de evaluación de las cargas de las aeronaves.

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

El método ACN-PCN prevé la notificación de las resistencias de los pavimentos siguiendo una escala continua. El extremo inferior de la escala es cero y no existe límite superior.

Para facilitar la utilización del método, los fabricantes de aeronaves publican las características de sus aeronaves, los ACN calculados con 2 masas diferentes. La masa máxima en la plataforma y una masa representativa de operación en vacío, tanto sobre pavimentos rígidos como flexibles, y para las cuatro categorías normalizadas de resistencia de terreno de fundación. En el anexo 14 apéndice 5 de la OACI se contempla una tabla con los ACN de varias aeronaves.

El método ACN-PCN prevé asimismo la notificación de la siguiente información con respecto al pavimento:

- a) Tipo de pavimento
- b) Categoría del terreno de fundación
- c) Presión máxima permisible de los neumáticos
- d) Método utilizado para la evaluación del pavimento.

Dichos datos están destinados primordialmente a permitir a los exploradores la determinación de los tipos de aeronaves y masas de operación admisibles, y a los fabricantes la posibilidad de garantizar la compatibilidad entre los pavimentos de los aeropuertos y sus aeronaves futuras. Sin embargo, no es necesario notificar la verdadera resistencia del terreno de fundación ni la máxima presión permisible real de los demás neumáticos. En consecuencia, las resistencias del terreno de fundación y las presiones de los neumáticos más comunes se han agrupado en las categorías que se indican más adelante.

3.1.2 Parámetros Generales.

La OACI nos indica en el anexo 14 que existen Valores normalizados que se emplean para la determinación de métodos de diseño de pavimentos para aeropistas los cuales son:

- a) Categoría de terreno de fundación,

En el método ACN-PCN se utilizan ocho valores normalizados de terrenos de fundación (es decir, cuatro valores “k” para pavimentos rígidos y cuatro valores CBR para pavimentos flexibles), en vez de una escala continua de resistencia del terreno de fundación. La concentración de los terrenos de fundación con un valor normalizado en el término medio de cada grupo, se considera un procedimiento totalmente adecuado para la notificación. Las categorías del terreno de fundación se clasifican como alta, mediana, baja y ultra baja y se asigna a cada grupo los siguientes valores numéricos:

Categoría de resistencia del terreno de fundación.

- Resistencia alta; para los pavimentos rígidos, el valor tipo es $k=150 \text{ MN/m}^3$ y comprende todos los valores de k superiores a 120 MN/m^3 ; para los pavimentos flexibles, el valor tipo es $\text{CBR}= 15$ y comprende todos los valores superiores a 13
- Resistencia media; para los pavimentos rígidos, el valor tipo es $k=80 \text{ MN/m}^3$ y comprende todos los valores de k entre 60 a 120 MN/m^3 ; para los pavimentos flexibles, el valor tipo es $\text{CBR}= 10$ y comprende todos los valores CBR entre 8 y 13.
- Resistencia baja; para los pavimentos rígidos, el valor tipo es $k=40 \text{ MN/m}^3$ y comprende todos los valores de k entre 25 a 60 MN/m^3 ; para los pavimentos flexibles, el valor tipo es $\text{CBR}= 6$ y comprende todos los valores CBR entre 4 y 8.
- Resistencia ultra baja; para los pavimentos rígidos, el valor tipo es $k= 20 \text{ MN/m}^3$ y comprende todos los valores de k inferiores a 25 MN/m^3 ; para los pavimentos flexibles, el valor tipo es $\text{CBR} = 3$ y comprende todos los valores inferiores a 4.

b) Esfuerzos de trabajo del hormigón para los pavimentos rígidos.

En el caso de pavimentos rígidos, se estipula un esfuerzo normalizado para la notificación ($\sigma=2,75 \text{ MPa}$), exclusivamente como medio de garantizar una notificación uniforme. El esfuerzo de trabajo que se ha de utilizar para el cálculo y/o evaluación de los pavimentos no tiene relación alguna con el esfuerzo normalizado para la notificación.

c) Presión de los neumáticos.

Las conclusiones que se deben de las investigaciones sobre pavimento y la resolución de los resultados de pasados ensayos confirman que, salvo para la construcción de pavimentos fuera de lo común (por ejemplo, salvo para la construcción de pavimentos cubierta de hormigón asfáltico o con capas superiores débiles), los efectos de la presión de los neumáticos son secundarios con respecto

a la carga y la separación de las ruedas y por lo tanto, la presión puede clasificarse, a los fines de la notificación en cuatro categorías: Alta, media, baja y muy baja y asignarse a ésta los siguientes valores numéricos.

- Alta – Sin límite de presión media
- Media - Presión limitada a 1.50 MPa.
- Baja - Presión limitada a 1.00 MPa.
- Muy baja – Presión limitada a 0.5 MPa.

Determinados con una placa de 75 cm de diámetro.

d) Carga de ruedas simples derivada matemáticamente.

En el método ACN-PCN se ha utilizado el concepto de carga de rueda simple derivada matemáticamente, como medio de definir la interrelación tren de aterrizaje / pavimento, sin especificar el espesor del pavimento con parámetro de ACN. Ésto se hace igualando el espesor proporcionado por el método matemático para el tren de aterrizaje de una aeronave al espesor correspondiente a una sola rueda con presión normalizada de 1.25 MPa. La carga de rueda simple obtenida así se utiliza sin referencia al espesor, ya que se asigna básicamente más importancia al hecho de los espesores sean idénticos- lo cual implica “que se aplica el mismo esfuerzo del pavimento” que a la longitud del espesor.

Las condiciones precedentes están de acuerdo con el objeto del método ACN-PCN de evaluar el efecto relativo de la carga de una aeronave sobre un pavimento.

e) Número de clasificación de las aeronaves. (ACN)

El ACN de una aeronave se define numéricamente con el doble de la carga derivada de rueda simple, la cual se expresa en miles de kg. Como ya se indicó, la presión normalizada de los neumáticos en rueda simple es de 1.25 MPa. Además la carga derivada de rueda simple es una función de resistencia del terreno de fundación. El número se clasifica de las aeronaves (ACN), se define para 4 categorías de terrenos de fundación (o sea de resistencia alta, media, baja y ultra baja). El factor “dos”(2) en la definición numérica del ACN se emplea para lograr una escala conveniente

del ACN con relación de masa bruta, de modo que todas las cifras de ACN pueda emplearse con razonable exactitud.

f) Dado que una aeronave opera en diferentes condiciones de masa y centro de gravedad, en los cálculos del ACN se adoptado las siguientes convenciones (ver figura 3.1)

- 1) El ACN máximo de una aeronave se calcula con la masa y cg que produce la máxima carga del tren de aterrizaje principal sobre el pavimento; generalmente se trata de la masa máxima sobre la plataforma y el correspondiente cg en posición retrasada, Se considera que los neumáticos de la aeronave están inflados, siguiendo la recomendación de los fabricantes para ese caso.
- 2) En las correspondientes cartas y tablas de la ACN de la aeronave, ésta aparece como función de la masa bruta de la aeronave y el cg de la misma con un valor constante correspondiente al valor máximo ACN (o sea, generalmente el centro de gravedad en posición retrasada para la masa máxima sobre la plataforma) y con los neumáticos inflados a la presión para la masa máxima sobre la plataforma.
- 3) Los valores ACN para condiciones específicas son los que se ajustan a los efectos de la presión de los neumáticos y/o la posición del cg con masa bruta específica para la aeronave.

- Parámetros de la aeronave

MRGM – Masa máxima total sobre la plataforma, en kilogramos.

- Parámetros del pavimentos y terreno de fundación

σ – Coeficiente de trabajo normalizado de notificación, 2,75 MPa.

T – Espesor del pavimento en centímetros

VER FIGURA N° 3.1. EN ANEXOS. CARGA DEL TREN DE ATERRIZAJE PRINCIPAL SOBRE EL PAVIMENTO MODELO DC-10 SERIES 30, 30 CF, 40 Y 40 CF

*VER FIGURA N° 3.2 EN ANEXOS. PAVIMENTO TEÓRICO DE ASFALTO
PAVIMENTO TEÓRICO DE HORMIGON DE CEMENTO*

k – Modulo de reacción del terreno de fundación de Wéstergaard, en MN/m³

ℓ - Radio de rigidez relativa de Wéstergaard, en centímetros. Se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$\ell = \sqrt[4]{\frac{E * t^3}{12(1 - \mu^2) * K}}$$

E es el módulo de elasticidad

μ es el coeficiente de (μ = 0,15) Poisson.

VER FIGURA N° 3 RADIO DE RIGIDEZ RELATIVA

CBR – Índice de resistencia de California (California Bearing Ratio), en porcentaje.

Presiones de los neumáticos.

Ps – Presión de los neumáticos para la carga derivada de rueda simple – 1,25 MPa.

Pq – Presión de los neumáticos para la aeronave en situación de masa máxima sobre la plataforma.

Se desarrollaron 3 métodos o medios para la determinación del ACN – PCN.

1. **Modelos matemáticos.** El método ACN – PCN se emplean dos modelos matemáticos; la solución de Wéstergaard, basada en una placa elástica cargada sobre un cimientto de winkler (caso de carga interior), para los pavimentos rígidos, y la solución Boussinesq para los pavimentos flexibles.

2. **Programas de computadora.** Se han desarrollado 2 programas, el programa desarrollado para evaluar las aeronaves sobre pavimentos RÍGIDOS formulado por el señor R.G. Packard de la PCA y el destinado a evaluar las aeronaves sobre pavimento flexible que está basado en el informe de instrucciones S-77-1 de la Estación experimental de vías acuáticas del Cuerpo de ingenieros del

Ejército estadounidense. (Procedimientos de formulación de curvas de cálculo CBR).

3. **Procedimientos gráficos.** Las aeronaves cuyos fabricantes han publicado gráficos de espesor del pavimento.

3.1.3 Metodología para Determinar el ACN.

En el organigrama que sigue a continuación se explica cómo se calcula el ACN de una aeronave según el método ACN-PCN.

- **Procedimientos gráficos.**

Las aeronaves cuyos fabricantes han publicado gráficos de espesor del pavimento requerido pueden evaluarse también empleando los procedimientos gráficos que se describen a continuación.

- **Para pavimentos rígidos.**

En éste procedimiento se utiliza el grafico de conversión que se muestra en la figura N° 3.4 y los gráficos de espesor del pavimento requerido que publican los fabricantes de aeronaves. Para elaborar la Figura N° 3.4 se utilizó el programa de computadora de la Asociación del Cemento Portland. En esa figura se vincula la carga derivada de rueda simple, a una presión constante de los neumáticos de 1,25 MPa con un espesor del pavimento utilizado como referencia. Toma en cuenta los cuatro valores k normalizados del terreno de fundación y un esfuerzo normalizado sobre el hormigón de 2,75 MPa. La figura incluye asimismo una escala de ACN que permite leer directamente el ACN. Para determinar el ACN de una aeronave se procede así:

- 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 fundación, y el esfuerzo normalizado del hormigón para la notificación, o sea, 2,75 MPa.
- b) Mediante el espesor de referencia mencionado y la figura N°4, obténgase la carga derivada de rueda simple para el terreno de fundación seleccionado.

VER FIGURA N° 3.4 EN ANEXOS. ESPESOR DE REFERENCIA

c) El número de clasificación de la aeronave, para los valores seleccionados de masa y k del terreno de fundación, 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. Obsérvese asimismo que cuando se utiliza el procedimiento indicado no es necesario hacer correcciones en la presión de los neumáticos.

Pavimentos flexibles. En éste procedimiento se utiliza el gráfico de conversión que se muestra en la Figura N° 5 y los gráficos de espesor del pavimento requerido publicados por los fabricantes de aeronaves, en base al procedimiento CBR de los ingenieros del ejército estadounidense. Se ha elaborado al gráfico precedente utilizando la siguiente expresión:

$$t = \sqrt{\left(\frac{DSWL}{C_1 * CBR} - \frac{DSWL}{C_2 * P_s}\right)}$$

Dónde:

t= espesor de referencia en cm

DSWL= carga de rueda simple con 1,25 MPa de presión de los neumáticos.

P_s= 1,25 MPa

CBR= terreno de fundación normalizado (obsérvese que el gráfico emplea cuatro valores normalizados: 2, 6, 10 y 15)

C₁=0,5695

C₂=0,5695

Estos últimos gráficos 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 Bousinesq. Para determinar el ACN de una aeronave se aplican los siguientes pasos:

- a) Utilizando el gráfico de pavimento requerido publicado por el fabricante, determínense el espesor de referencia para la masa de la aeronave y el grupo de terreno de fundación dados, y 10000 coberturas.
- b) Búsquese en la figura N° 5 el espesor de referencia determinado en el paso a) y el CBR correspondiente a la categoría del terreno de fundación y léase la carga derivada de rueda simple.
- c) El ACN para la masa y la categoría de terreno de fundación seleccionada es el doble de la carga derivada de rueda simple de 1000 kg. Obsérvese que el ACN puede leerse también directamente a partir del gráfico. Obsérvese además que cuando se emplea el procedimiento indicado no se necesitan las correcciones de presión de los neumáticos.

VER FIGURA N° 3.5 EN ANEXOS. GRÁFICO DE CONVERSIÓN DEL ACN PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES

— **Ajustes de la presión de los neumáticos al ACN.**

Normalmente, los neumáticos de las aeronaves se inflan a la presión correspondiente a la masa máxima bruta y se mantiene esta presión independientemente de las variaciones en las masas de despegue. Hay ocasiones, sin embargo, en que resultan productivas las operaciones con masas reducidas y presiones de los neumáticos reducidas, y es necesario cálculo de ACN reducidos. Para hacerlo con relación a los pavimentos rígidos, se ha preparado un gráfico que se utilizará en el programa de computadora PDILB de la PCA, que se muestra en la Figura N° 6.

Para los pavimentos flexibles se empleó la ecuación CBR:

$$t = \sqrt{\left(\frac{DSWL}{C1 * CBR} - \frac{DSWL}{C2 * Ps}\right)}$$

A fin de igualar el espesor y encontrar la solución para el ACN con presión reducida en términos del ACN con presión máxima de los neumáticos para masa reducida, que da la expresión

$$\text{ACN}_{\text{Presión reducida}} = \text{ACN}_{\text{Presión máxima}} \left(\frac{\frac{1}{C_1 \cdot \text{CBR}} - \frac{1}{C_2 \cdot \text{Pred}}}{\frac{1}{C_1 \cdot \text{CBR}} - \frac{1}{C_2 \cdot P_{\text{max}}}} \right)$$

(Para los valores de C₁ y C₂ véase párrafos anteriores)

VER FIGURA N° 3.6 EN ANEXOS. AJUSTE DE LA PRESIÓN DE LOS NEUMÁTICOS AL ACN PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS EXCLUSIVAMENTE

VER FIGURA N° 3.7 EN ANEXOS. REQUISITOS PARA PAVIMENTO RÍGIDO – MÉTODO DE CÁLCULO DE LA PORTLAND CEMENT ASSOCIATION

VER FIGURA N° 3.8 EN ANEXOS. REQUISITOS DEL DC -

10 - 10 – PARA PAVIMENTO FLEXIBLE 10000 COBERTURAS CON C.G. RETRASADO

— Metodología de cálculo de ACN-PCN para pavimentos destinados a aeronaves ligeras.

El método ACN-PCN que se describe anteriormente no se ha previsto para notificar la resistencia de los pavimentos destinados a aeronaves ligeras, o sea aquellas cuya masa es inferior a 5700 kg. La OACI en el anexo 14 nos indica un ejemplo para estos pavimentos. En éste procedimiento se prevé la notificación de dos elementos solamente: masa máxima admisible de la aeronave y presión máxima admisible de los neumáticos. Es importante observar que las categorías de presión de los neumáticos del método ACN – PCN no se utilizan para notificar la presión máxima admisible de los neumáticos. En cambio, los límites reales de presión de los neumáticos se notifican como se indica en el ejemplo siguiente:

Ejemplo: 4000kg/0,50 MPa

3.2 MÉTODO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS DE PISTAS DE CANADÁ

3.2.1 Antecedentes

En esta sección se describe brevemente las prácticas seguidas por Transport Canadá para el proyecto y la evaluación de los pavimentos de aeropuertos. En la colección de Manuales Técnicos de Transport Canada pueden encontrarse más detalles.

La mayoría de los emplazamientos de aeropuertos en Canadá están expuestos a la penetración de la helada en invierno; éste factor se tiene en cuenta en las prácticas de proyecto y evaluación que se describen. Estas prácticas no rigen para los pavimentos construidos en los suelos perennigélidos que exigen la adopción de medidas especiales. Las prácticas citadas dejan de lado varios tópicos indispensables para el proyecto de estructura de pavimentos, o relativos a las mismas. Estos tópicos son los estudios técnicos previos, tales como la investigación del suelo, de los materiales y de la topografía y consideraciones del proyecto tales como la estabilidad del talud del pavimento y su avenamiento. *FUENTE: • ANEXO 14 OACI MANUAL DE DISEÑO DE AERODROMOS PARTE III PAVIMENTOS.*

3.2.2 Principios

Como se mencionó anteriormente la mayoría de los aeropuertos en Canadá están expuestos a heladas y por sí el análisis del coste de la vida útil justifique otro procedimiento, el espesor de los pavimentos construidos en los terrenos de fundación que puedan sufrir heladas, no debe ser inferior al de los requisitos parciales de protección de la helada, como se indica en la Figura N°3.1. La susceptibilidad de los terrenos de fundación a la helada se evalúa a base de la gradación del terreno de fundación como se indica en la Figura N°3.2. El requisito parcial de protección de la

helada que se indica en la Figura N°3. 1 es una función del índice de congelamiento del lugar. Para un periodo invernal dado, éste índice, en días $^{\circ}\text{C}$, se calcula como la suma de las temperaturas medias diarias en $^{\circ}\text{C}$ para cada día durante toda la temporada de heladas con temperaturas inferiores a 0°C tomadas como positivas y por sobre 0°C , tomadas como negativas. El índice de congelamiento del lugar que se utiliza en la Figura N°3.1 representa el promedio de 10 años. Los requisitos de espesor de la Figura N° 1 no son suficientes para evitar el excesivo levantamiento diferencial del suelo debido a la helada, en el caso de los suelos muy susceptibles a éste fenómeno solo en ciertos puntos, dentro de un terreno de fundación libre de ese riesgo. Esta situación exige otras medidas de cálculo, tales como la excavación del suelo susceptible de helarse, hasta una profundidad conveniente, y su remplazo por materiales similares a los del terreno de fundación circundante.

3.2.3 Parámetros

— Requisitos de espesor de los pavimentos flexibles

Las etapas que se siguen para determinar los requisitos de espesor de los pavimentos asfálticos son las siguientes:

- a) Determinar la carga cálculo (ALR) para el pavimento, a base de los estudios y proyecciones del tráfico.
- b) Determinación de la resistencia del terreno de fundación.
- c) Determinación del requisito de espesor granular equivalente del pavimento, a base de la figura 3.4, para obtener el coeficiente de cálculo.
- d) Determinación del espesor del pavimento requerido para la protección parcial de la helada.
- e) El espesor del pavimento será como se determine en c) o en d), el que sea mayor. Al efectuar la comparación el espesor granular equivalente determinado en c), debe convertirse al espesor real del pavimento.

VER TABLA 3.1 EN ANEXOS. COEFICIENTES DE CARGA DE LAS AERONAVES

El espesor de las capas que componen el pavimento dependerá de las presiones de los neumáticos que ha de tener en cuenta, como se establece en la tabla siguiente.

TABLA 3.2 EN ANEXOS. ESPESOR DE CÁLCULO DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO (en cm)

— **Requisitos del espesor de los pavimentos rígidos**

Los pasos que se siguen para determinar el espesor de los pavimentos rígidos son los siguientes:

- a) Determinación de la carga de cálculo (ALR) para el pavimento, a base de los estudios y proyecciones del tráfico.
- b) Determinación del espesor total del pavimento requerido para la determinación parcial de la helada
- c) Estimación del espesor de la losa de hormigón que se ha de requerir.
- d) Determinación del espesor del firme requerido, mediante sustracción del espesor de la losa a partir del espesor total del pavimento, determinado en b)
- e) Determinación de los módulos de resistencia en la superficie de la capa de firme.
- f) Determinación del espesor de la losa del pavimento de hormigón, requerido para el módulo de resistencia figura 3.5
- g) Utilizando el espesor de la losa, determinado en f), como una nueva estimación de los requisitos, repítase los pasos c) a f) hasta que el espesor de la losa determinado por f) sea igual al supuesto en c)

El espesor mínimo de capa de firme es de 15 cm, aunque no se lo requiera para la protección de la helada. En el caso de los pavimentos calculados para un coeficiente de carga 12, la capa mínima de firme normalmente tendrá 20 cm de material estabilizado de cemento. Estos espesores mínimos se colocan sobre el material de cimiento granular seleccionado, cuando se requieran capas de firme de mayor espesor para fines de protección de la helada

— **Materiales y especificaciones de construcción**

En las prácticas de cálculo de pavimento indicadas anteriormente, se supone que el pavimento se construye según las normas estándar que rige la calidad de los materiales y de la mano de obra en la construcción del pavimento. Si no se cumpliera con los requisitos de las normas, pueden ser necesarios ciertos ajustes del cálculo y de las prácticas de evaluación citadas, siguiendo un criterio técnico. En la Tabla 3.3, 3.4, 3.5 se indican ciertos requisitos de construcción que se consideran indispensables para las prácticas normales de cálculo y evaluación.

— **Espesor del pavimento y espesor granular equivalente.**

La evaluación de las estructuras del pavimento para las cargas de las aeronaves requiere informaciones precisas sobre el espesor de las capas dentro de la estructura y las propiedades físicas de los materiales que conforman las capas. Se lleva a cabo un estudio, practicando taladros, para determinar esta información cuando no se dispusiera de la misma en los registros de la construcción. El espesor granular equivalente a 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 carga. El espesor granular equivalente se calcula utilizando los factores de equivalencia granular para los materiales de construcción de pavimentos que figuran en la tabla 3.6. El factor de equivalencia granular es un material es la profundidad de base granular en cm que se considera equivalente a un cm de material a base de las características de distribución de la carga. Los valores que se indican en la tabla 3.7 son prudentes a los factores reales de equivalencia granular son normalmente superiores a los valores de esa lista. Para determinar el espesor granular equivalente de la estructura de los pavimentos flexibles, el espesor de cada capa de la 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.

VER TABLA 3.3 EN ANEXOS. REQUISITOS DE COMPACTACIÓN

VER TABLA 3.4 EN ANEXOS. REQUISITOS DE MEZCLA DEL HORMIGÓN DE CEMENTO ASFALTICO Y PORTLAND

VER TABLA 3.5 EN ANEXOS. REQUISITOS DE LOS ÁRIDOS

VER TABLA 3.6 EN ANEXOS. FACTORES DE EQUIVALENCIA GRANULAR

VER TABLA 3.7 EN ANEXOS. RESISTENCIA TÍPICAS DEL TERRENO DE FUNDACIÓN

3.2.4 Metodología de Cálculo

Curvas de Cálculo de Pavimento Flexible

Una curva de cálculo de pavimento flexible para una aeronave dada es un gráfico del espesor del pavimento necesario para soportar la carga de la aeronave como función de la resistencia del terreno de fundación. La ecuación que se utiliza para trazar esta curva de cálculo es:

$$S = (ESWL) (C_1^{10-C_2t})$$

Dónde: S = resistencia del terreno de fundación (kN)

$ESWL$ = carga equivalente de rueda simple de la carga de una aeronave de cálculo (kN)

t = espesor granular equivalente del pavimento (cm)

c_1, c_2 = factores en función del área de contacto de la $ESWL$.

VER FIGURA N° 3.9 EN ANEXOS. REQUISITOS PARCIALES DE PROTECCIÓN DE LA HELADA

VER FIGURA N° 3.10 EN ANEXOS. SUSCEPTIBILIDAD DEL TERRENO DE FUNDACIÓN A LA HELADA Y FACTOR DE REDUCCIÓN DE PRIMAVERA (SRF)

VER FIGURA N° 3.11 EN ANEXOS. FACTORES DE LA ECUACIÓN DE CÁLCULO C_1 Y C_2

— Curvas de Cálculo de Pavimentos Rígidos

La curva de cálculo de un pavimento rígido para una aeronave dada es un gráfico del espesor de la losa de hormigón necesario para soportar la carga de la aeronave como función del módulo de resistencia de la superficie sobre la cual apoya la losa. El espesor

de la losa necesaria para soportar la carga de una aeronave, se basa en la limitación a 2.75 MPa de la tensión de flexión que se presenta en la parte superior de la losa, directamente debajo del centro de un neumático del tren de la aeronave. Los cálculos de tensión se lleva a cabo de acuerdo con el análisis Wéstergaard, para las condiciones interiores de carga de la losa, utilizando un programa de computadora similar a la figura del apéndice 2.

— **Curvas de cálculo para cargas normales de tren**

Los pavimentos de los aeropuertos están calculados generalmente para un grupo de aeronaves que poseen características de carga similares y no para una aeronave particular; éste objeto, se determinó una serie de 12 cargas típicas de tren que abarca la gama de aeronaves actuales. Las curvas de cálculo para pavimentos flexibles y rígidos correspondientes a estas cargas de tren típicas, se indican en la figura 3-4 y 3-5. Para comparar la carga de una aeronave dada con la carga típica de tren, se superpone las curvas de cálculo de pavimento flexible y rígido para la aeronave, sobre las correspondientes a las cargas de tren típico. A base de éste método de comparación en la tabla 3.1 figuran varias aeronaves y las cargas de tren típico y equivalente a las mismas. La carga de tren típico que es equivalente a la carga de una aeronave dada se considera como el “Coeficiente de carga” para esa aeronave (ALR).

VER FIGURA N° 3.12 EN ANEXOS. RESISTENCIA DE LA SUPERFICIE Y MÓDULO DE RESISTENCIA COMO FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA DEL TERRENO DE FUNDACIÓN Y ESPESOR GRANULAR EQUIVALENTE DEL PAVIMENTO

VER FIGURA N° 3.13. EN ANEXOS. CURVAS DE CÁLCULO DE PAVIMENTO FLEXIBLE PARA CARGAS DE TREN TÍPICO

VER FIGURA N° 3.14. EN ANEXOS. CURVAS DE CÁLCULO DE PAVIMENTO RÍGIDO PARA CARGAS DE TREN TÍPICO

3.3 MÉTODO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS DE PISTAS DE FRANCIA

3.3.1 Antecedentes.

El método de Francia está sujeto a 2 tipos de Diseño el Cálculo General y el Cálculo Optimizado los cuales son utilizados aun en el entorno.

3.3.2 Principios.

a) Estructura del pavimento.

Un pavimento normalmente comprende las capas siguientes, desde arriba hacia abajo:

- Una “capa superficial”, consiste en una “capa de rodamiento” y quizás una “capa de ligante”
- Una capa de firme
- Una capa de cimentación
- Quizás una capa de cimentación inferior o un terreno de fundación mejorado.

b) Tipos de estructura.

- Una “estructura flexible” consiste únicamente en capas de materiales que no se han ligado ni tratado con ligantes de hidrocarburos.
- Una “estructura rígida” presenta una capa de rodamiento compuesta por una losa de cemento Portland
- Una “estructura semirrígida” comprende una base tratada con ligantes de hidrocarburos.
- Una “estructura mixta o compuesta”, resulta del refuerzo de una estructura rígida con una estructura flexible o semirrígida.

c) Tipos de pavimento.

Por razones de simplificación, a continuación se hace una distinción solamente entre los dos tipos principales de pavimento, que se citan en términos generales del modo siguiente:

- “pavimento flexible”, que comprende estructuras flexibles y semirrígidas, y también ciertos tipos de estructuras compuestas (por ejemplo un antiguo pavimento rígido agrietado, que se ha reforzado con material tratado con ligantes de hidrocarburos).
- “pavimentos rígidos”, que comprenden estructuras rígidas y ciertos tipos de estructuras compuestas (por ejemplo un pavimento rígido renovado por la aplicación de una superficie de rodamiento tratada con ligantes de hidrocarburos).

d) Resistencias a las cargas.

La resistencia, llamada también “carga admisible”, es la capacidad de un pavimento de resistir las cargas impuestas por las aeronaves, manteniendo la integridad de su estructura.

e) Vida útil del pavimento.

Éste es el periodo al cabo del cual la resistencia del pavimento resulta insuficiente para soportar el mismo tráfico, sin correr riesgos a lo largo del año siguiente y requiere un refuerzo general o bien una reducción del volumen de tráfico. La “vida útil normal” de un pavimento es de 10 años y los pavimentos por lo general se calculan para ese periodo. Con todo, en las circunstancias que se describen más abajo, pueden establecerse otros valores para la vida útil de un pavimento.

f) Tráfico.

- Un “Movimiento (real)”. Aplicación al pavimento de una carga por una pata de tren de aterrizaje real durante una maniobra (despegue, aterrizaje, rodaje). El número de movimientos reales es generalmente mayor que el número de movimientos que el explotador tiene en cuenta (despegue y aterrizaje).
- Una “carga P real” es la carga realmente aplicada por una pata de tren de aterrizaje de aeronave.
- El “tráfico real” consiste en diferentes movimientos de varias cargas reales aplicadas por patas de tren de aterrizaje reales de diferentes categorías.

- La “carga P normal de cálculo” es la carga que se tiene en cuenta en las fórmulas o en los gráficos para fines de cálculo del pavimento. Esta carga puede ser “ponderada” o no, según la función del pavimento en cuestión.
- El “tráfico normal” es el tráfico que consiste en 10 movimientos por día, por parte de la aeronave que produce la carga de cálculo sobre una vida útil de pavimento prevista de 10 años como mínimo.
- La “carga Po admisible” de un pavimento, es la carga en una patas del tren de aterrizaje (real o ficticia) que se calcula de acuerdo con el concepto del cálculo como admisible al ritmo de 10 movimientos por día y a lo largo de 10 años.
- Un “movimiento equivalente” es la aplicación de una carga de referencia por una pata de tren de aterrizaje (real o ficticia).
- El “tráfico equivalente” corresponde al tráfico real reducido a un número de movimientos equivalentes.
- El “potencial” de un pavimento a una fecha dada se representa por el número de movimientos equivalentes que puede aceptar durante su vida útil restante.

g)Tipos de cálculo

- El “cálculo optimizado” (o método de cálculo optimizado): cálculo que tiene en cuenta todos los tipos de aeronaves que tienen un efecto importante sobre el pavimento. Éste método es el preferible si se dispone de pronósticos de tráfico suficiente fiables y precisos para la vida útil prevista del pavimento.
- El “cálculo general” (o método de cálculo general): cálculo en función de una carga de referencia que el pavimento de soportar. En la práctica, éste método se utiliza principalmente al nivel de los estudios preliminares o a falta de datos precisos. La carga de referencia se evalúa en términos de la utilización prevista del aeródromo, de las características de la aeronave en servicio o etapa de planificación y del papel concreto que ha de desempeñar el pavimento en cuestión.

3.3.3 Parámetros.

Características de las aeronaves que afectan al cálculo

- a) Masa de la aeronave. Es preciso considerar para cada aeronave:
 - En el caso del método de cálculo general: masa de despegue
 - En el caso del método de cálculo optimizado: masa de despegue, masa de aterrizaje.

La recopilación de datos sobre la masa de las diferentes aeronaves que han de considerarse en un proyecto es una tarea difícil, teniendo en cuenta:

- Las variaciones de la carga útil
- La incertidumbre de la composición del tráfico previsto (aeronaves, etapas) y la evolución en lo que respecta a las flotas de aeronaves.

Para los fines de estudio de un cálculo optimizado, un método útil consiste en establecer histogramas de masa con respecto a cada aeronave. Seleccionando un ancho de categorías de $1/20$ de la masa máxima, se logra una precisión suficiente.

b) Pata del tren de aterrizaje.

Conjunto de ruedas montado es una pata. El juego completo de patas del tren de aterrizaje constituye el tren de aterrizaje propiamente dicho. Se introduce una “pata típica de tren de aterrizaje” que es representativa de cada una de las tres categorías más utilizadas de trenes de aterrizaje (rueda simple, ruedas gemelas, bogie de cuatro ruedas). Las características de las patas típicas de aterrizaje son las siguientes:

VER TABLA 3.8. EN ANEXOS. CARACTERISTICAS DE LAS PATAS TIPICAS DE ATERRIZAJE

c) Distribución de la masa sobre las patas del tren de aterrizaje

1. Distribución estática.

La distribución general de la masa de la aeronave entre la pata de nariz y las patas del tren de aterrizaje principal depende de la distribución de la carga de la aeronave, o sea la posición del centro de gravedad, y no varía mucho. A falta de

datos, podría suponerse que la distribución es del 10 % de la pata de nariz (distribución de carga máxima hacia adelante), 95 % sobre las patas del tren de aterrizaje principal (distribución de la carga máxima hacia atrás), para los trenes de aterrizaje comunes.

2. Eficacia de frenado. El efecto de la eficacia del frenado no se tiene en cuenta en el cálculo de pavimentos. Solo desempeña un papel en estudios concretos (por ejemplo, estructuras debajo de la pista)

d) Cargas utilizadas en los cálculos.

En el caso de los trenes de aterrizaje de las aeronaves actuales, la distancia entre las patas es tal que justifica un estudio aparte del efecto de cada pata del tren de aterrizaje. La pata del tren principal por lo general causa las tensiones mayores. En algunos casos, la pata del tren de aterrizaje secundario puede ser la más crítica para el pavimento (ejem. Pata del morro del B-747, pata central del DC-10-30).

— **Ponderación de la carga de acuerdo con la función del pavimento.**

Cada tipo de instalación (pistas, calles de rodaje, plataformas, zonas de mantenimiento, etc.) debe designarse por separado para tener en cuenta diferentes condiciones de esfuerzo.

a) El tráfico es lento y se concentra en las plataformas y, a la inversa, es raro y se encuentra disperso en los márgenes de las pistas en las zonas de parada.

b) Consecuencia del efecto dinámico. Cuando una aeronave rueda a alta velocidad (por ejemplo en la parte central de la pista durante el despegue y en los primeros 1000 m más allá del umbral durante el aterrizaje), el fenómeno de carga es transitorio y, por lo tanto, menos marcado. Además, la carga se reduce por la sustentación de las alas. Las cargas que figuran con respecto a cada tipo de área se ponderan para tener en cuenta las diferentes condiciones de fatiga que se indican en la figura.

— **Cargas diferentes de las producidas por las aeronaves.**

Los pavimentos del aeródromo no solamente soportan las aeronaves sino también otros vehículos y maquinarias (por ejemplo vehículos de transporte de tierra – autobuses, camiones, remolques para equipaje, porta contenedores – vehículos de bomberos, pasarelas telescópicas, etc.) que a veces producen cargas más críticas (particularmente en las plataformas).

- a) Las zonas afectadas se calculan para soportar estas cargas
- b) Las superficies de las zonas donde circulan los vehículos o el equipo que producen tensiones, debe ser limitada (reglas de tránsito, señalización de superficie)
- c) Pueden estudiarse pavimentos especiales (por ejemplo revestimientos especiales)

VER FIGURA N° 3.15 EN ANEXOS. PONDERACIÓN DE LA CARGA P

3.3.4 Metodología de Cálculo.

3.3.4.1 Cálculo de pavimentos flexibles

El cálculo de un pavimento flexible comprende dos etapas:

- a) Recopilación de datos:
 - Tráfico (cargas, movimientos)
 - Características del terreno natural.
- b) Cálculo del espesor, que a su vez comprende dos etapas:
 - La determinación de un “espesor equivalente del pavimento”, utilizando el cálculo general o los métodos de cálculo optimizados
 - La selección de una estructura de pavimento que proporcione un espesor equivalente correspondiente al espesor determinado antes, o mayor.

3.3.4.2 Resistencia del terreno de fundación

- a) Caso general: La resistencia del terreno de fundación se designa por su índice de penetración Californiana (CBR). El valor de CBR adoptado es el más bajo que

se obtenga durante la serie de ensayos en el cual el número total de muestras se compacta al 95 % de la densidad óptima Proctor modificada, después de haberse sumergido en agua durante 4 días.

b) Suelos de grava y arena pura: En el caso de suelos de grava y de arena pura, la medición del CBR no tiene objeto alguno y se adoptan valores generales como se indican en la tabla siguiente:

VER TABLA N° 3.9 EN ANEXOS. VALORES GENERALES DE CBR

c) Terreno de fundación mejorado. Cuando el pavimento se asienta en un terreno de fundación mejorado (espesor considerable de materiales agregados de calidad media o no homogénea), ésto se tendrá en cuenta al efectuar los cálculos, del modo siguiente. Supongamos que las resistencias de los terrenos de fundación sin tratar y mejorados sean respectivamente CBR_1 y CBR_2 y que h_1 y h_2 , que se calculan según el método seleccionado (general u optimizado) correspondan a uno de estos CBR. Si “h” fuera el espesor del terreno de fundación mejorado, el espesor requerido del pavimento sobre éste terreno de fundación, o sea “e”, puede calcularse aplicando la fórmula:

$$e = h_1 - h \frac{CBR_2 - CBR_1}{CBR_2 + CBR_1}$$

Siempre que “e” exceda o sea al menos igual a h_2 . Si “e” fuera inferior a h_2 , el espesor del pavimento se fija en h_2 . Ésta se aplica también a los casos en que el suelo natural comprende un substrato que se cubre con una capa relativamente delgada de mayor resistencia. Esta capa superior puede considerarse entonces como un terreno de fundación mejorado, de manera que el método citado puede seguirse utilizando.

3.3.4.3 Cálculo de espesor equivalente del pavimento

Se analiza 2 métodos

3.3.4.3.1 Cálculo general

Principio. El método general de cálculo permite calcular un pavimento de acuerdo con una carga de referencia. Por ejemplo:

- La carga máxima de la aeronave que se considera ha de producir la tensión máxima;
- La carga conveniente para una categoría típica del tren de aterrizaje.

El proyecto se basa en las condiciones normales de tráfico, o sea 10 movimientos por día a lo largo de 10 años con la carga nominal.

Determinación del espesor del pavimento

Datos necesarios

1. Carga normal de cálculo P''
2. CBR del terreno natural (pavimentos flexibles)
3. Módulo de reacción k del terreno de fundación y tensión admisible de flexión del hormigón (pavimentos rígidos).

Método gráfico

Se utiliza el gráfico para el tren de aterrizaje típico

VER FIGURA N° 3.16 EN ANEXOS. PAVIMENTO FLEXIBLE – PATA DE TREN DE ATERRIZAJE TÍPICO – RUEDA SIMPLE

VER FIGURA N° 3.17 EN ANEXOS. PAVIMENTO FLEXIBLE – PATA DE TREN DE ATERRIZAJE TÍPICO – RUEDA GEMELAS

VER FIGURA N° 3.18. EN ANEXOS. PAVIMENTO FLEXIBLE – PATA DE TREN DE ATERRIZAJE TÍPICO – BOGIE DE CUATRO RUEDAS

VER FIGURA N° 3.19. EN ANEXOS. PAVIMENTO RÍGIDO– PATA DE TREN DE ATERRIZAJE TÍPICO – RUEDA SIMPLE AISLADA CARGAS INFERIORES A 10 t

VER FIGURA N° 3.20. EN ANEXOS. PAVIMENTO RÍGIDO– PATA DE TREN DE ATERRIZAJE TÍPICO – RUEDA SIMPLE AISLADA CARGAS DE 10 A 25 t

VER FIGURA N° 3.21 EN ANEXOS. PAVIMENTO RÍGIDO– PATA DE TREN DE ATERRIZAJE TÍPICO – RUEDA SIMPLE

VER FIGURA N° 3.22 EN ANEXOS. PAVIMENTO RÍGIDO– PATA DE TREN DE ATERRIZAJE TÍPICO – RUEDAS GEMELAS CARGAS INFERIORES A 15 t

VER FIGURA N° 3.23. EN ANEXOS. PAVIMENTO RÍGIDO– PATA DE TREN DE ATERRIZAJE TÍPICO – RUEDAS GEMELAS CARGAS DE 15 A 32,5 t

VER FIGURA N° 3.24. EN ANEXOS. PAVIMENTO RÍGIDO– PATA DE TREN DE ATERRIZAJE TÍPICO – RUEDAS GEMELAS CARGAS SUPERIORES A 32,5 t

VER FIGURA N° 3.25. EN ANEXOS. PAVIMENTO RÍGIDO– PATA DE TREN DE ATERRIZAJE TÍPICO – RUEDAS GEMELAS CARGAS SUPERIORES DE 15 A 30 t

VER FIGURA N° 3.26 EN ANEXOS. PAVIMENTO RÍGIDO– PATA DE TREN DE ATERRIZAJE TÍPICO – RUEDAS GEMELAS CARGAS SUPERIORES DE 30 A 55 t

VER FIGURA N° 3.27 EN ANEXOS. PAVIMENTO RÍGIDO– PATA DE TREN DE ATERRIZAJE TÍPICO – RUEDAS GEMELAS CARGAS SUPERIORES DE 55 A 75 t

VER FIGURA N°3.28. EN ANEXOS. PAVIMENTO RÍGIDO– PATA DE TREN DE ATERRIZAJE TÍPICO – RUEDAS GEMELAS CARGAS SUPERIORES A 75 t

VER FIGURA N° 3.29. EN ANEXOS. CORRECCIÓN DE LA CARGA DE CÁLCULO CON RELACIÓN A LA INTENSIDAD DEL TRÁFICO

3.3.4.3.2 Cálculo Optimizado

Principio.

El método de cálculo optimizado permite calcular un pavimento, teniendo en cuenta varios tipos de aeronaves a diferentes frecuencias. Éste método tiene la ventaja de que los movimientos reales de cada carga real que se considera pueden convertirse en movimientos equivalentes de la misma carga de referencia. En consecuencia, es posible comparar el efecto relativo de las diferentes aeronaves. Por lo tanto, en la práctica el método de cálculo optimizado se utiliza cuando hay que considerar diferentes tipos de aeronaves que producen aproximadamente las mismas tensiones

El cálculo optimizado tiene en cuenta el número preciso de movimientos reales de cada aeronave para la vida útil prevista del pavimento. Al inversa del método del cálculo general, no existe hipótesis mínima (un movimiento/día o 3650 movimientos a lo largo de 10 años): el pavimento calculado es más sensible a las variaciones de tráfico.

Vida útil del pavimento

La vida útil de un pavimento se selecciona normalmente a base de la tabla siguiente:

VER TABLA 3.10 EN ANEXOS. VIDA UTIL DEL PAVIMENTO

Normalmente se adopta un periodo de 10 años que corresponde a la práctica que se utiliza más ampliamente. El método de cálculo optimizado tiene en cuenta un número de movimientos reales durante una vida útil fija para el pavimento. Puede seleccionarse entonces cualquier valor para la vida útil.

Determinación para el espesor del pavimento

a) Datos requeridos

- Pronósticos de tráfico
- CBR del terreno natural (pavimentos flexibles).
- Módulo de reacción k del terreno de fundación y tensión admisible de flexión del hormigón (pavimentos rígidos).

b) Método de cálculo

El cálculo consiste en aplicar un “método iterativo” que permite verificar la integridad estructural bajo el tráfico previsto, con respecto a los valores de espesores sucesivos:

Etapas 1 – Se establece un espesor inicial

Etapas 2 – Se calcula el tráfico equivalente del tráfico real previsto, igual a un número de movimientos equivalentes de la carga P_o admisible de la estructura que se ensaya. El número total de operaciones que constituye el tráfico equivalente puede consolidarse en un cálculo siguiendo las líneas ya mencionadas (Figura 3-18).

Etapas 3 – Las etapas 1 y 2 se repiten con un espesor menor o mayor si el resultado fuera inferior o superior a 36500 movimientos equivalentes, respectivamente, hasta

encontrar un espesor en el que el tráfico equivalente sea igual o lo más cercano posible a los 36500 movimiento equivalentes.

c) Cálculo práctico.

De éste modo se puede calcular para cada aeronave considerada como la más crítica, el espesor requerido por su masa prevista máxima, teniendo en cuenta el número de movimientos reales previstos con esta masa y suponiendo que será la única aeronave que utilice el pavimento que se estudia. El espesor máximo obtenido de éste modo, mas unos pocos centímetros, usualmente da el espesor inicial que se encuentra bastante próximo al valor final a medida que se aumenta el espesor en las iteraciones (en cuanto P/P_o es inferior a 0,8) los efectos de algunas aeronaves son rápidamente despreciables. Las mismas pueden suprimirse de las tablas, lo cual simplifica los cálculos. Los incrementos mínimos en las iteraciones son generalmente de 1 cm para los pavimentos rígidos y 1 a 2 cm para los pavimentos flexibles, lo que representa la precisión máxima que puede esperarse de un cálculo optimizado.

VER FIGURA N° 3.30. EN ANEXOS. CÁLCULO DEL TRÁFICO EQUIVALENTE TOTAL

Aeronave tipo. Dos modelos de la misma aeronave debe considerarse como diferentes si fueran diferentes las características de sus trenes de aterrizaje (número de ruedas, tamaño, precisión).

- 1) Cargas reales P , consideradas para cada modelo.
- 2) Cargas admisibles P_o , calculadas por medio de los gráficos “pavimento flexible” y “pavimentó rígido”, como corresponda (Apéndice 3). Si no hubiera para la aeronave tipo, se utilizara el gráfico para la aeronave cuya características se aproximen más a la aeronave que se estudia.
- 3) Relación R de la carga real P con la carga admisible P_o . Esta relación no debe exceder de 1,2 para las plataformas y de 1,5 para los otros pavimentos (sin embargo se recomienda no exceder de 1,2).

- 4) Coeficiente de ponderación C_p . calculado por medio de la figura 3.19 o aplicando la fórmula:

$$C_p = 10^{5(R-1)}$$

- 5) Número total N de movimientos reales por aeronave a lo largo de la vida útil prevista del pavimento.
- 6) Numero N' de movimientos equivalentes con respecto a los movimientos reales calculados por medio de la fórmula:

$$N' = C_p \times N$$

El tráfico equivalente total se obtiene agregando el número de movimientos equivalentes en la columna 7.

VER FIGURA N° 3.31. EN ANEXOS. TRÁFICO EQUIVALENTE

Observación

El método de cálculo optimizado puede utilizarse para fines diferentes del cálculo de los espesores, por ejemplo:

- 1) Otorgamiento de concesiones
- 2) Potencial de vida útil restante del pavimento (comparando los equivalentes del tráfico total y pasado, para un pavimento existente)

3.3.4.4 Estructura del pavimento.

El concepto de espesor equivalente se introduce para tener en cuenta las diferentes cualidades mecánicas de cada capa. El espesor equivalente “e” de una capa es igual a su espesor real “er”, multiplicando por un coeficiente numérico “c” o coeficiente de equivalencia.

VER TABLA 3.11 EN ANEXOS. COEFICIENTE DE EQUIVALENCIA

3.3.4.5 Selección de una estructura

Conceptos generales:

a) **Conceptos de Construcción.** Se refiere a la naturaleza de los materiales que han de utilizarse, a la calidad y a la formulación de componentes, a los espesores mínimos y máximos, a la buena liga de las capas, etc.

b) **Conceptos Mecánicos.** Determinan los valores de coeficientes de equivalencia.

VER TABLA 3.12 CONCEPTOS MECÁNICOS

Con frecuencia las razones económicas obligan a considerar la utilización de materiales que han sido tratados con ligantes hidráulicos (hormigón de áridos gruesos, escorias sobre mezcla de arena- grava, mezcla de arena con grava y ceniza, etc.).

Los riesgos y consecuencia entre otros son:

a) Para los pavimentos: signos precoces de deterioro (grietas en las capas de rodamiento, desmenuzamiento, desgarramiento, desprendimiento de partículas o reaparición de finos de la lechada de cemento).

b) Para las aeronaves: ingestión de partículas de áridos por los motores de chorro.

c) Para la administración: mayores costos de mantenimiento.

En consecuencia, la utilización de material es tratados con ligantes hidráulicos se prescribe para el firme y no se aconseja para el cimientto. Se aconseja un cimientto de por lo menos 20 cm de materiales tratados con ligantes de hidrocarburos.

3.3.4.6 Espesor de materiales tratados

Es necesario un espesor suficiente de materiales tratados, para asegurar un comportamiento aceptable.

VER FIGURA N° 3.32. EN ANEXOS. ESPESOR EQUIVALENTE DE MATERIALES TRATADOS PAVIMENTOS FLEXIBLES: ESPESOR ÓPTIMO DE MATERIALES TRATADO: ESPESOR EQUIVALENTE DE MATERIALES TRATADOS EN RELACIÓN CON EL ESPESOR TOTAL DEL PAVIMENTO Y CON LA CBR

3.3.4.2 Cálculo de pavimento rígido

— **Etapas:** Comprende las dos etapas siguientes:

a) Recopilación de datos:

- Tráfico (cargas, movimientos).
- Características del terreno de fundación y del hormigón de cemento hidráulico.

b) Cálculo de espesor de losa de hormigón

— **Evaluación de la capa de cimientos**

Un pavimento rígido consiste normalmente en 2 capas sobre el terreno natural, o sea, un cimiento y una losa de hormigón de cemento hidráulico. La resistencia del terreno natural se expresa en forma de su “módulo de reacción” K_0 . Éste valor se corrige de acuerdo con el espesor equivalente del cimiento. El módulo corregido de éste modo (o sea el módulo de reacción del cimiento) posibilita tener en cuenta el terreno y el cimiento como un solo parámetro para el cálculo.

— **Resistencia del terreno natural (terreno de fundación)**

Se realiza el ensayo de la placa de carga llevado a cabo in situ sobre el terreno compactado al 95% de la densidad óptima pretor modificado.

— **Resistencia del cimiento**

El módulo de la reacción del cimiento de terreno natural se corrige posteriormente en lo referido al espesor equivalente del cimiento.

Aunque el cimiento solo afecta ligeramente al cálculo (como termino correctivo del módulo k , que en sí mismo solo tiene una ligera repercusión), tiene un papel múltiple que es importante:

- Asegura un apoyo continuo para la losa, particularmente en sus juntas y participa en la transmisión de las cargas.
- Debido a su peso, se opone a una posible hinchamiento del terreno de fundación y lo protege contra la helada.
- Ofrece una superficie estable para las operaciones posteriores de aplicación de hormigón.

- Evita que en las juntas asciendan partículas finas por bombeo (movimientos relativos de las capas)

VER FIGURA N° 3.33 EN ANEXOS. ESPESOR EQUIVALENTE DEL CIMIENTO MÓDULO DE REACCIÓN DEL CIMIENTO. CORRECCIÓN DEL MÓDULO DE REACCIÓN DEL TERRENO DE FUNDACIÓN A BASE DEL ESPESOR EQUIVALENTE DEL CIMIENTO.

— Estructura del cimiento

Es importante poseer un cimiento de alta calidad. Deben aplicarse las reglas siguientes:

- La capa de cimentación debe tratarse.
- Se aconseja utilizar hormigón con áridos gruesos.
- No se recomienda el hormigón de cemento pobre.
- El espesor real del cimiento debe ser de 15 cm por lo menos para asegurar un uso eficaz del material.
- Las especificaciones de los materiales que pueden usarse en un cimiento son similares a los pavimentos de carretera.

— Cálculo del espesor de la losa de hormigón

El criterio de cálculo para un pavimento rígido no es la presión máxima al nivel del terreno de fundación, si no el momento admisible de flexión de la losa. El cálculo, se adoptan valores constantes para describir al hormigón del modo siguiente:

- Módulo de elasticidad: $E = 30000 \text{ MPa}$
- Coeficiente de Poisson = 0,15

— Tensiones del Hormigón

La resistencia a la rotura por flexión se mide en probetas prismáticas después de 90 días.

- Factores de seguridad

El factor de seguridad depende del tipo de juntas que se dejen entre las losas del pavimento. Su valor se establece en 1,8, cuando se prevean juntas para la transferencia eficaz de cargas y de 2,6 en los otros casos.

VER TABLA 3.13 EN ANEXOS. FACTORES DE SEGURIDAD PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS

Condiciones desfavorables

- Terreno de fundación flojo ($k = 20 \text{ MN/m}^3$) o no homogéneo o propenso a sufrir las heladas.
- Cimiento delgado ($e < 20 \text{ cm}$) o sin tratar.
- Tráfico pesado que consiste en aeronaves de fuselaje pesado (B-747, DC-10, etc.)
- Gradiente significativo en la temperatura diaria.
- Ausencia de barras de unión entre las juntas.

— **Reglas de construcción**

- **Espesor de la losa de hormigón**

- Cálculo general

- Cálculo optimizado

El método de cálculo general es normalmente suficiente para el estudio de los pavimentos rígidos.

— **Reglas de construcción**

a) Juntas. Un pavimento rígido bien calculado debe respetar las reglas principales de construcción que se exponen.

b) Transferencia eficaz de las cargas. Ninguno de los dispositivos descritos proporciona una eficacia total. Los sistemas de ranura y lengüeta y las juntas de contracción – dilatación solo son eficaces cuando las juntas no se abren demasiado bajo el efecto combinado de contracción hidráulica (definitiva) y contracción térmica (periódica); por otro lado, con el transcurso del tiempo pierde cierta eficacia debida a que el tráfico y

los ciclos térmicos. La eficacia de las juntas con tarugos no está estrechamente relacionada con sus aberturas. Sin embargo, es probable también que con el tiempo disminuya la eficacia de las transferencias de carga, debido principalmente a que la cavidad cilíndrica en la cual encaja el tarugo en dirección longitudinal se agrande y ovalice.

Tal como se hizo constar, el cimientado puede mejorar la transferencia de cargas, siempre que tenga una rigidez. Sin embargo, su efecto favorable también se reduce con el tiempo, principalmente debido a la erosión superficial.

VER FIGURA N° 3.34 EN ANEXOS. JUNTAS EN LOS PAVIMENTOS DE HORMIGÓN DE CEMENTO

— **Influencia de los factores climáticos**

a) Factores de origen térmico o hidrométrico. Como regla general se acepta que, si se utilizan métodos apropiados para las juntas, no es preciso tener en cuenta las tensiones de origen térmico o hidrométrico al realizar el cálculo. Las tensiones de flexión producidas por las cargas durante la utilización del pavimento no son las únicas tensiones de tracción a las cuales puede haberse sometido el hormigón. Ante todo, las tensiones pueden ser la consecuencia de dilataciones diferenciales entre las superficies superior e inferior del hormigón debido a las diferencias entre estos dos aspectos

— Temperatura (gradiente de temperatura)

— Contenido de agua.

Otras tensiones pueden ser causadas por el roce del cimientado que resiste a una variación en la longitud de la losa en su totalidad cuando se presenta un cambio de temperatura o el contenido de agua.

c) Helada. Se recomienda efectuar una inspección para la helada y el deshielo de acuerdo con las explicaciones.

3.4 MÉTODO DEL REINO UNIDO

3.4.1 Cálculo y Evaluación de Pavimento

Se aplica el método de cálculo del reino unido para el uso operacional ilimitado de una aeronave dada, teniendo en cuenta la carga resultante de la interacción del conjunto de ruedas del tren de aterrizaje adyacente, cuando corresponda. Se designa a la aeronave como aeronave de cálculo para el pavimento. La clasificación de resistencia del pavimento se representa por el número de clasificación de pavimento correspondiente a la aeronave de cálculo, que identifica el nivel de severidad de carga.

El Reino Unido ha preparado la clasificación de construcción de referencia (RCC) a base del número de clasificación de cargas de Gran Bretaña (LCN) y del grupo de clasificación (LCG).

Para la reacción de la aeronave sobre el pavimento rígido, se adopta un modelo simple de dos capas. Para establecer una construcción con profundidad de referencia teórica para la aeronave, en una gama de valores de apoyo del terreno de fundación comparable con el método de notificación ACN-PCN de la OACI.

Para resolver problemas prácticos de cálculo y evaluación se adopta una serie de factores de equivalencia apropiados para la resistencia relativas de los materiales naturales de construcción, para poder efectuar la conversión entre las profundidades de construcción de referencia para el modelo y los espesores reales de los pavimentos.

La reacción de las aeronaves para los pavimentos flexibles sigue el mismo modelo básico que el de los pavimentos rígidos. En éste caso se analiza un cuarto modelo de pavimento, utilizando el índice de penetración en California (CBR).

3.4.2 Notificación de Resistencia del Pavimento

La práctica del Reino Unido consiste en seguir el método de notificación ACN-PCN, para los pavimentos de las aeronaves. La aeronave crítica se identifica como aquella que impone una severidad de carga próxima a la máxima permitida en un pavimento.

3.5 MÉTODO FAA (EE UU)

3.5.1 Antecedentes

La Administración Federal de Aviación (FAA) de los Estados Unidos, ha adoptado el método de calcular y notificar la resistencia de los pavimentos de aeropuerto en función del peso bruto de la aeronave, para cada tipo de tren de aterrizaje.

Ésto permite evaluar un pavimento respecto a su idoneidad para soportar los varios tipos y pesos de aeronaves. La comparación entre la resistencia del pavimento (notificada como peso bruto que se refiere a aeronaves equipadas con trenes de aterrizaje de ruedas simples, ruedas gemelas y ruedas dobles en tándem). Y el peso bruto efectivo de una determinada aeronave, establecerá la idoneidad del pavimento para que en el opere la aeronave. En 1978, la Federal Aviation Administration de Estados Unidos adoptó el método del índice de resistencia de California (CBR) para el cálculo de pavimentos flexibles, la hipótesis de carga sobre los bordes para el cálculo de los pavimentos rígidos y el sistema de clasificación de terrenos unificado, vigentes, que la FAA de los Estados Unidos ha considerado necesario seguir al proyectar los pavimentos y al llevar a cabo una evaluación de la resistencia de los mismos.

3.3.1.1 Principios

Los Estados Unidos están convencidos de que no existen ningún método rápido o abreviado para analizar la resistencia de un pavimento y que son esenciales los servicios de un ingeniero calificado para garantizar una evaluación realista. El espesor de éste y sus componentes no constituye sino uno de los factores que se han de estudiar.

Las características locales, tanto climáticas como topográficas, la cimentación, la calidad de los materiales y los métodos de construcción, son todos ellos elementos esenciales de cualquier técnica de evaluación, la cual debe comprender las investigaciones siguientes:

- a) Examen detallado del estado de los pavimentos existentes, que muestra la forma en que estos se comportan bajo el tránsito. Deben representarse exactamente en un plano todas las zonas de falla e indagarse sus causas. Es sumamente importante distinguir entre roturas debidas al tránsito y las cargas, y a los

debidos al clima, drenaje o deficiencia de los materiales, así como a mano de obra defectuosa.

- b) La investigación de suelo deberá ser completa, a fin de que revele las variaciones importantes en su estructura, cambios de contenido de humedad, capas que retengan el agua, nivel de aguas freáticas, y otros datos similares.
- c) Deben efectuarse ensayos adecuados, tanto en el terreno como de laboratorio, para evaluar los cimientos, así como los componentes del pavimento.
- d) Estudio de las características de drenaje del terreno, para comprobar si han de tomarse medidas correctivas antes de emprender cualquier trabajo de reparación.
- e) Deberá emprenderse un análisis de los antecedentes del tránsito en el aeropuerto, tanto por lo que se refiere al peso de las aeronaves como el número de operaciones asociadas con la densidad de tránsito en la zona que se estudia, relacionándola debidamente con la actuación del pavimento.
- f) Deberán evaluarse la calidad de los materiales del pavimento y la bondad de los métodos y procedimientos de construcción, para determinar el grado de conformidad con las normas y especificaciones.

El estudio del terreno no se limita a los terrenos descubiertos por los trabajos de nivelación, ni forzosamente a la zona del aeropuerto. Deberían investigarse también los lugares de origen de los materiales disponibles en la zona, tales como las canteras de préstamo o la fuente de los agregados de áridos.

Deberían obtenerse y ensayarse en laboratorio las muestras representativas de las diferentes capas de los suelos encontrados y de los diferentes materiales de construcción descubiertos, con el propósito de determinar sus propiedades físicas y técnicas. Como los resultados de un ensayo han de ser tan buenos como la muestra, reviste suma importancia que cada muestra sea representativa de un tipo particular de material de terreno y no una mezcla descuidada e indiscriminada de diferentes materiales.

Puede ser necesario hacer perforaciones y cortes a cielo abierto para efectuar ensayos de resistencia in situ, para tomar muestras no perturbadas, para registrar los diferentes estratos del terreno, etc. Éste tipo de investigación complementaria del terreno se recomienda para las situaciones que justifican un alto grado de precisión, o bien cuando las condiciones locales son complejas y exigen una investigación amplia.

— **Ensayos de terrenos**

• **Propiedades físicas de los terrenos.**

Para determinar las propiedades físicas del terreno y proporcionar una estimación de comportamiento bajo diferentes condiciones es preciso llevar a cabo ciertos ensayos. Se han preparado y normalizado varios ensayos en el lugar mismo y en laboratorio. En las publicaciones de la American Society for Testing of materials se encuentran métodos completos y detallados para realizar ensayos de terrenos.

Requisitos de los ensayos.

- a) Preparación en seco de muestras de terrenos para análisis granulométricos y determinación de las constantes del terreno (ASTM B-421) o preparación en húmedo de muestras de terreno para análisis granulométrico y determinación de las constantes del terreno (ASTM B-2217).
- b) Análisis granulométrico de los terrenos (ASTM C – 422).
- c) Límite de plasticidad de los terrenos (ASTM B – 424)
- d) Límite líquido de los terrenos (ASTM B-423)
- e) Índice de plasticidad de los terrenos (ASTM B-424)
- f) Relaciones de humedad – densidad de los terrenos (ASTM B-698, D-1557)
 - 1. Para los pavimentos previstos para servir a las aeronaves cuyo peso sea de 30000 lb (13000 kg) o más, utilícese el método ASTM D-1557.
 - 2. Para los pavimentos previstos para servir a las aeronaves con un peso inferior a 30000 lb (13000 kg), utilícese el método ASTM D-698

• **Ensayos complementarios.**

- a) Factores de contracción de los terrenos (ASTM B-427)

- b) Permeabilidad de los terrenos granulares (ASTM B/2434).
- c) Determinación del material orgánico en los terrenos por combustión en húmedo (AASHTO T-194).
- d) Índice de resistencia de los suelos compactados en laboratorio (ASTM D-1883)
- e) Módulo de reacción del terreno (AASHTO T-222).
- f) Índice de Resistencia California, ensayos realizados en el lugar.

• **Sistema unificado de la clasificación de los suelos.**

Como se indica en la tabla la división inicial se basa en la separación de terrenos de grano grueso, grano fino y terrenos de alto contenido orgánico. La distinción entre terrenos de grano grueso y grano fino se determinara según el material retenido en la criba N° 200 los terrenos de grano grueso se subdividen en grava y arena, a base de la cantidad de material retenido en la criba NUM. 4. La grava se clasifica entonces de acuerdo con la presencia o ausencia de material fino. Los suelos de grano fino se subdividen en 2 grupos, a base de límite líquido. Se establece una división parte de suelos de alto contenido orgánico, para los materiales que generalmente no son adecuados para fines de construcción.

VER TABLA N° 14 EN ANEXOS. DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Se sub dividen en 15 grupos diferente:

- a) GW – gravas homogéneas y mezclas gravas – arena, con poco o ningún fino.
- b) GP – Grava no homogénea y mezclas grava - arena, con poco o ningún fino.
- c) GM – arcilla limosa, mezclas grava – arena – limo.
- d) GC – grava arcillosa, mezclas grava – arena – arcilla
- e) SW – arenas homogéneas y arenas con grava, poco o ningún fino.
- f) SP – Arena no homogénea y arena con grava, poco o ningún fino.
- g) SM- Arena limosa, mezclas arena – limo.
- h) SC – Arena arcillosa, mezclas arena – arcilla.
- i) ML – Limo inorgánico, arena muy fina, polvo de roca, arena fina limosa o arcillosa

- j) CL – Arcilla inorgánica de plasticidad baja a mediana, arcilla con grava, arcilla limosa, arcilla pobre.
- k)OL – Limo orgánico y arcilla limosa orgánica de baja plasticidad.
- l) MH – Limo inorgánico, arena fina micácea o diamacea o limo, limo plástico
- m) CH – Arcilla inorgánica de alta plasticidad, arcilla grasa.
- n)OH – Arcilla orgánica de plasticidad media a alta.
- o) PT – Turba, barro y otros suelos muy orgánicos.

VER FIGURA N° 3.35 EN ANEXOS. CRITERIOS DE CLASIFICACION DE SUELO

- **Ensayos de resistencia del terreno**

Índice de penetración california. El ensayo CBR es básicamente es básicamente un ensayo de penetración llevado a cabo con un régimen de tensión uniforme.

- a) Los ensayos CBR en laboratorio se lleva a cabo con materiales extraídos del lugar y remoldeados a la densidad que se obtendrá durante la construcción. Las muestras se impregnan durante 4 días para permitir que el material alcance la saturación.
- b) Los ensayos CBR realizados en el campo `pueden proporcionar información valiosa sobre los cimientos que se encuentran tendidos hace varios años.
- c) Los ensayos CBR sobre ensayos de grava son difíciles de interpretar. La información que se ofrece en la tabla puede proporcionar una guía útil para seleccionar un valor CBR para el cálculo.
- d) Como regla practica aproximada, debería considerar la realización de 3 ensayos CBR en cada tipo principal de terreno.

- **Ensayos con placa de carga**

Como el nombre indica, el ensayo con placa de carga mide la capacidad de resistencia del cimiento del pavimento el resultado de éste ensayo s expresa como un valor k con las unidades de presión sobre la longitud.

- a) El cálculo de pavimentos rígidos no es demasiado sensible al valor k . un error en el establecimiento del valor k no tendrá ninguna repercusión seria sobre el espesor nominal del pavimento rígido.
- b) Los ensayos con placa de carga son relativamente costosos. Por lo general, solo puede llevarse a cabo 2 o tres ensayos.
- c) Las curvas de cálculo y evaluación de un pavimento rígido que se presentan aquí, se basan en un valor k determinado por su Ensayo con carga de placa estático, utilizando una placa de 30 “ (762 mm) de diámetro.
- d) La figura v muestra el aumento de valor k para diferentes espesores de la capa de cimentación, sobre un terreno de fundación k dado.
- e) La determinación del valor k para las capas estabilizadas es un problema dificultoso. Normalmente, hay que estimar el valor k . Se recomienda que el valor k se estime del modo siguiente. El espesor de la capa estabilizada debería multiplicarse por un factor que vaya desde 1,2 – 1,6, para determinar el espesor equivalente del agregado árido machacado homogéneo. El valor real se encuentra en la gama de 1,2 – 1,6, y debería basarse en la calidad de la capa estabilizada y en el espesor de la losa con relación al espesor de la capa estabilizada
- f) Se recomienda no exceder ningún cimiento el valor k de cálculo de $500/plg^3$ (136 MN/m³). La información que se presenta en la tabla... Ofrece una orientación general en cuanto a los valores k probables para varios tipos de terreno.

— **Principio de cálculo de pavimentos**

El criterio de FAA, de tratar el cálculo de trenes de aterrizaje de aeronaves y el cálculo y evaluación de los pavimentos de aeropuertos como tres unidades separadas. Las curvas de cálculo sé que se presentan en esta sección se basan en el método CBR de cálculo de pavimentos flexibles y un análisis de tensiones en los bordes de las, para los pavimentos rígidos.

— **Pavimentos Flexibles.**

Las curvas de cálculo de pavimento flexible que se presenta en esta sección se basan en el Índice de Penetración California (CBR). EL método de cálculo CBR es básicamente empírico: con todo, el método ha sido objeto de numerosas investigaciones y se han preparado correlaciones fiables las configuraciones de los trenes se relacionan utilizando conceptos teóricos igualmente datos preparados empíricamente. Las curvas de cálculo proporcionan el espesor total requerido de los pavimentos flexibles (superficie, firme y capa de cimentación) necesarios para soportar un peso dado de aeronaves sobre un terreno de fundación dado. Las curvas muestran así mismo los espesores de superficies requeridos. Los espesores mínimos de la capa del firme se indican en una curva separada. En el apéndice 4 se presenta una discusión más detallada del CBR.

— **Pavimentos Rígidos.**

Las curvas de cálculo de pavimentos rígidos en esta sección se basan en el análisis Wéstergaard de cargas en los bordes. El análisis de cargas en los bordes se ha modificado para simular una condición de borde de junta. Las curvas de cálculo se proporcionan para las zonas en las cuales el tráfico sigue un dirección predominantemente paralela a las juntas y para las áreas en las cuales es probable que el tráfico cruce las juntas con un ángulo aproximadamente agudo. Los criterios anteriores sobre pavimentos rígidos de la FAA se basan en una hipótesis de carga interior, Las tensiones de los pavimentos son mayores en los bordes de juntas que en el interior de las losas las convalidaciones del ensayo y el comportamiento en el campo indican que prácticamente todas las grietas producidas por carga se producen en el borde de la junta y se propagan hacia el interior de la losa por estas razones, la base del diseño se modificó desde el interior hasta el borde de la junta. En las curvas de cálculo se encuentra en líneas para 5 volúmenes diferentes de tráfico anual. El espesor del pavimento determinado a partir de estas curvas se refiere únicamente al espesor de la losa. El espesor de la capa de cimentación se determina por separado. Ver Anexos.

— Antecedentes

La determinación de los requisitos del pavimento es un problema técnico complejo. Los pavimentos se encuentran sometidos a una amplia variedad de cargas y efectos climáticos. El proceso de cálculo comprende un gran número de variables interrelacionadas que con frecuencia resulta difícil cuantificar. Aunque sea ha llevado a cabo numerosas investigaciones y algunas otras se han realizado actualmente, ha sido imposible a una solución matemática directa de los requisitos relativos al espesor, por esta razón la determinación del espesor del pavimento debe basarse en el análisis teórico de la distribución de las cargas por los pavimentos y los terrenos. En el análisis de los datos experimentales relativos al pavimento y en un estudio de comportamiento de los pavimentos en condiciones de servicio real las curvas de espesores de pavimentos que se presentan en esta sección se han preparado mediante correlación de los datos obtenidos de estas fuentes. Los pavimentos calculados de acuerdo con estas normas están previstos para proporcionar una vida útil estructural de 20 años, libres de grandes obras de mantenimiento, salvo que ocurra modificaciones de magnitud en el tráfico previsto. Es probable que el reacondicionamiento de la superficie y la renovación de las propiedades de resistencia al resbalamiento sean necesarios antes de los 20 años debido a los efectos climáticos destructivos y a los efectos del deterioro causados por el uso normal.

— Consideraciones relativas a la aeronave

• Carga.

El método de cálculo del pavimento se basa en el peso bruto de la aeronave. Para fines de cálculo del pavimento, deberían preverse el peso máximo de despegue de la aeronave. El procedimiento de cálculo se 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 debería utilizarse en el cálculo del espesor del pavimento requerido. Se recomienda utilizar el peso máximo de despegue para proporcionar cierto grado de prudencia 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 una parte de la prudencia.

- **Tipo y geometría del tren de aterrizaje**

a) El tipo de tren de aterrizaje y su configuración determinan de qué modo se distribuye el peso de la aeronave en el pavimento y establecen la respuesta del pavimento a las cargas producidas por la aeronave.

1) **Aeronave de tren simple.** No requiere una hipótesis especial

2) **Aeronave de ruedas gemelas.** Un estudio del espacio entre las ruedas gemelas para estas aeronaves indicaba que una dimensión de 20 pulg (0,51 m) entre el eje de los neumáticos, parecía razonable para las aeronaves ligeras y una dimensión de 34 pulg (0,86 m) entre el eje de los neumáticos, parecía razonable para las aeronaves más pesadas.

3) **Aeronave con bogie de cuatro ruedas.** El estudio indicaba que un espacio entre ruedas gemelas de 20 pulg (0,51m) y un espaciado entre bogies de 45 pulg (1,14m) para las aeronaves ligeras y un espacio entre ruedas gemelas de 30 pulg (0,76 m) y un espaciado entre bogies de 55 pulg (1.4 m) para las aeronaves más pesadas, eran los valores apropiados para el cálculo.

4) **Aeronaves de fuselaje ancho.** Las aeronaves de fuselaje ancho, por ejemplo, el B-747, el DC-10 y el L-1011, representan una diferencia radical con respecto a la geometría supuesta para las aeronaves de tren bogie que se describen en 3). Debido a las grandes diferencias en peso bruto y en geometría de tren de aterrizaje, se han preparado curvas de cálculo separadas para las aeronaves de fuselaje ancho.

b) La presión de los neumáticos varían entre 75 y 200 lb/pulg² (0,52 a 1,38 MPa), en función de la configuración del tren y del peso bruto. Debería tomarse nota de 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/pulg² (1,38 MPa) 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 el diseño de pavimento.

— **Determinación de la aeronave de cálculo.**

El pronóstico de salidas anuales por tipo de aeronave da por resultado una lista de varias aeronaves diferentes. La aeronave de cálculo debería seleccionarse a base de la que requiera el mayor espesor de pavimento. Debería verificarse cada tipo de aeronave del pronóstico para determinar el espesor de pavimento requerido, utilizando la curva de cálculo apropiada, con el número de pronóstico de salidas anuales para cada aeronave.

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

Como el pronóstico de tráfico es una mezcla de diferentes aeronaves que poseen diferentes tipos de trenes de aterrizaje y 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 la aeronave de cálculo. Deberían utilizarse los siguientes factores de conversión para pasar de un tipo a otro.

VER TABLA N° 3.15 EN ANEXOS. FACTORES DE CONVERSION DE RUEDAS

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

$$\log R1 = \log R2 \times \left(\frac{W2}{W1}\right)^{1/2}$$

Dónde:

R1= salidas anuales equivalentes de la aeronave de cálculo

R2=Salidas anuales expresadas en el tren de aterrizaje de la aeronave de cálculo

W1= carga sobre la rueda de la aeronave de cálculo

W2= carga sobre la rueda de la aeronave en cuestión.

Para éste cálculo se supone que al 95 % del peso bruto de la aeronave ha de ser soportado por el tren de aterrizaje principal.

Cálculo de pavimentos flexibles

Los pavimentos flexibles consisten en una capa de rodadura asfáltica colocada sobre una capa de firme y, cuando lo requieran las condiciones del terreno de fundación, una capa de cimentación. Toda la estructura del pavimento flexible en último término esta soportada por el terreno de fundación.

La utilización de las curvas de cálculo para los pavimentos flexibles requiere un valor para el material del terreno de fundación, un valor CBR para el material del cimiento, el peso bruto de la aeronave de cálculo y el número de salidas anuales de la misma aeronave.

VER FIGURA N° 3.36 EN ANEXOS. CURVAS DE CÁLCULO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA ÁREAS CRÍTICAS, TREN DE RUEDA SIMPLE

VER FIGURA N°3.37 EN ANEXOS. CURVAS DE CÁLCULO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA ÁREAS CRÍTICAS, TREN DE RUEDAS GEMELAS

VER FIGURA N°3.38 EN ANEXOS. CURVAS DE CÁLCULO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA ÁREAS CRÍTICAS, TREN DE ATERRIZAJE CON BOGIE

VER FIGURA N°3.39 EN ANEXOS. CURVAS DE CÁLCULO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA ÁREAS CRÍTICAS, B-747-100,SR, 200 B, C, F

VER FIGURA N°3.40 EN ANEXOS. CURVAS DE CÁLCULO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA ÁREAS CRÍTICAS, B-747-100-SP

VER FIGURA N°3.41 EN ANEXOS. CURVAS DE CÁLCULO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA ÁREAS CRÍTICAS, DC-10-10, 10CF

VER FIGURA N°3.42 EN ANEXOS. CURVAS DE CÁLCULO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA ÁREAS CRÍTICAS, DC-10-30, 30CF, 40, 40 CF

VER FIGURA N°3.43 EN ANEXOS. CURVAS DE CÁLCULO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA ÁREAS CRÍTICAS, L-1011-1, 100

VER FIGURA N°3.44 EN ANEXOS. CURVAS DE CÁLCULO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA ÁREAS CRÍTICAS, L-1011-100, 200

VER FIGURA N°3.45 EN ANEXOS. REQUISITOS MÍNIMOS DE ESPESOR DE LA CAPA DE FIRME

- **Áreas críticas y no críticas.**

Las curvas de cálculo se utilizan para determinar el espesor total “T” crítico del pavimento y los requisitos de espesor de la capa de rodadura. El factor 0,9 T para el pavimento no crítico se aplica a las capas de firme y de cimentación; el espesor de la capa de rodadura es el que se registra en las curvas de cálculo. En la parte variable de la sección de transición y en el borde adelgazado, la reducción se aplica únicamente a la capa del firme. El espesor de 0,7 T para el firme debería ser el mínimo admisible, y el espesor de la capa de cimentación debería aumentarse o modificarse para proporcionar un avenamiento superficial positivo para toda la superficie del terreno de fundación. Para las fracciones de pulgada de 0,5 o más, utilícese el número entero inmediatamente superior; para las inferiores a 0,5, el número entero inmediatamente inferior.

- **Capa de firme y de cimentación estabilizadas.**

Las capas estabilizadas del firme y de la cimentación son necesarias para los nuevos pavimentos calculados para las aeronaves de reacción cuyo peso sea de 100 000 lb (45350 kg.) o más. Estas capas estabilizadas pueden sustituir a las capas granuladas que utilicen los factores de equivalencia que se tratan más adelante. Se indica una serie de factores de equivalencia debido a que el factor es sensible a diferentes variables, tales como el espesor de la capa, el tipo y la cantidad del agente estabilizador, el emplazamiento de la capa estabilizada en la estructura del pavimento, etc.

Las excepciones a los criterios que requieren capa de firme y de cimentación estabilizadas deberían basarse en el comportamiento probado de un material granular.

El comportamiento probado en éste caso significa antecedentes de pavimentos de aeropuerto satisfactorios deberían tratar de casos de carga de aeronaves y de condiciones climáticas comparables a las previstas.

Pueden hacerse otras excepciones a base de materiales disponibles, tales como la piedra machacada, dura y de graduación densa. Estos materiales deberían presentar un CBR remoldeado e impregnado mínimo de 100 para el firme y de 35 para la cimentación.

El espesor total mínimo del pavimento no debería ser inferior al espesor total del pavimento requerido por un terreno de fundación de 20 CBR en la curva de cálculo pertinente. A veces se encuentran grietas por reflexión, cuando se utilizan firmes tratados con cemento. El espesor de la capa de rodadura asfáltica debería ser por lo menos de 4 pulg (10 cm) para reducir las posibilidades de agrietamiento por reflexión cuando utiliza un firme tratado con cemento.

- **Factores de equivalencia de la cimentación y del firme estabilizado.**

Las capas de cimentación estabilizadas ofrecen ciertas ventajas estructurales para el pavimento flexible. Estas ventajas pueden expresarse en forma de factores de equivalencia que indican las relaciones del espesor de sustitución aplicable a las diferentes capas estabilizadas. El espesor del material estabilizado puede calcularse dividiendo el requisito de espesor de la capa de cimentación granular por el factor de equivalencia.

TABLA N° 3.16 EN ANEXOS. GAMAS DEL FACTOR DE EQUIVALENCIA RECOMENDADAS PARA LA CAPA DE CIMENTACIÓN ESTABILIZADA.

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

Las capas de firme estabilizadas ofrecen ventajas estructurales para el pavimento flexible, aproximadamente del mismo modo que una capa de cimentación estabilizada. Las ventajas se expresan como factores de equivalencia similares a los indicados para la capa de cimentación estabilizada. Estas relaciones se utilizan para calcular el espesor

del firme estabilizado, dividiendo el requisito de firme granular por el factor de equivalencia. En la tabla siguiente se presentan los valores del factor de equivalencia.

VER TABLA N° 3.17 EN ANEXOS. FACTORES DE EQUIVALENCIA RECOMENDADOS PARA EL FIRME ESTABILIZADO

En los factores de equivalencia indicados se supone un valor CBR de 80 para el firme de árido machacado.

- **Cálculo de pavimentos rígidos.**

Se han preparado curvas de cálculo para pavimentos rígidos, similares a las de los pavimentos flexibles, o sea curvas separadas para trenes de aterrizaje simple, de ruedas gemelas y de bogíes y curvas de cálculo separadas para aeronaves de reacción de fuselaje ancho. Estas curvas se basan en una hipótesis de carga en bordes de junta en que la carga es tangente a la junta. El uso de las curvas de cálculo requiere cuatro parámetros de entrada: resistencia del hormigón a la flexión, módulo de terreno de fundación, peso bruto de la aeronave de cálculo y salidas anuales de la misma aeronave. Las curvas de cálculo del pavimento rígido indican únicamente el espesor del hormigón. Los espesores de los demás componentes de la estructura del pavimento rígido deben determinarse por separado.

- **Resistencia del hormigón a la flexión.**

El espesor requerido del pavimento de hormigón está relacionado con la resistencia del hormigón utilizado en el pavimento. La resistencia del hormigón se evalúa por el método de resistencia a la flexión, ya que el trabajo primario de una losa de pavimento de hormigón es a la flexión. La resistencia del hormigón a la flexión debería determinarse por el método de ensayo de la norma ASTM C- 78. Normalmente se utiliza para el cálculo una resistencia a la flexión del hormigón de 90 días será un 10 % mayor que la resistencia de 28 días.

- **Valor k.**

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

Peso bruto de la aeronave. El peso bruto de la aeronave de cálculo se indica en cada curva de cálculo. Las curvas de cálculo se agrupan de acuerdo con el tipo de tren de aterrizaje principal, excepto para las aeronaves de fuselaje ancho, que se indican en curvas separadas. En todas las curvas se indica una amplia gama de pesos brutos que se indica es suficiente para abarcar los pesos de las aeronaves actuales.

- **Salidas anuales de la aeronave de cálculo.**

El cuarto parámetro de entrada es el de salidas anuales de la aeronave de cálculo. Las salidas deberían calcularse utilizando el procedimiento que se explica anteriormente.

- **Utilización de las curvas de cálculo.**

Las curvas de cálculo del pavimento rígido se trazan de manera que se registren los datos de cálculo en el mismo orden que se trató anteriormente. El primer dato se refiere a la resistencia del hormigón a la flexión. La ordenada izquierda de la curva de cálculo se registra con la resistencia del hormigón a la flexión. Se traza una proyección vertical a partir del punto de intersección hasta el peso bruto pertinente de la aeronave de cálculo. Se traza una proyección horizontal hasta la ordenada derecha, de indica las salidas anuales. Se lee el espesor del pavimento a partir de la línea de salidas anuales. Se lee el espesor del pavimento a partir de la línea de salida anual pertinente. El espesor del pavimento indicado se refiere únicamente al espesor del pavimento de hormigón, sin tener en cuenta el de la capa de cimentación.

- **Requisitos de la capa de cimentación**

El objeto de una capa de cimentación debajo de un pavimento rígido es el de proporcionar un apoyo estable y uniforme para las losas del pavimento. Se requiere un espesor mínimo de 4 pulg (10 cm) de cimiento, debajo de todos los pavimentos rígidos, excepto lo que se indica en la siguiente tabla.

*VER TABLA N° 3.18 EN ANEXOS. CONDICIONES EN QUE NO SE REQUIERE
CAPA DE CIMENTACIÓN*

Puede utilizarse una capa de cimentación con un espesor superior a 4 pulg (10 cm) para aumentar el módulo de reacción del terreno y reducir el espesor requerido del concreto necesario, si resulta económico. Los costes de la utilización del espesor extra de la capa de cimentación deberían ponderarse en función del ahorro en el espesor de hormigón. A continuación se una lista de materiales adecuados para capas de cimentación debajo de pavimentos rígidos:

1. Capa de cimentación de grava
2. Capa de firme asfáltico
3. Capa de firme de árido
4. Capa de firme de árido machacado
5. Capa de firme de cemento sobre el terreno
6. Capa de firme tratada de cemento.

*VER FIGURA N° 3.46 EN ANEXOS. CURVAS DE CÁLCULO DE PAVIMENTOS
RÍGIDOS – TREN DE RUEDA SIMPLE.*

*VER FIGURA N° 3.47 EN ANEXOS. CURVAS DE CÁLCULO DE PAVIMENTOS
RÍGIDOS – TREN DE RUEDAS GEMELAS.*

*VER FIGURA N° 3.48 EN ANEXOS. CURVAS DE CÁLCULO DE PAVIMENTOS
RÍGIDOS – TREN DE BOGIE.*

*VER FIGURA N°3.49 EN ANEXOS. CURVAS DE CÁLCULO DE PAVIMENTOS
RÍGIDOS – B-747-100, SR, 200 B, C, F.*

*VER FIGURA N° 3.50 EN ANEXOS. CURVAS DE CÁLCULO DE PAVIMENTOS
RÍGIDOS – B-747-SP.*

*VER FIGURA N° 3.51 EN ANEXOS. CURVAS DE CÁLCULO DE PAVIMENTOS
RÍGIDOS – DC-10-10, 10CF.*

*VER FIGURA N° 3.52 EN ANEXOS. CURVAS DE CÁLCULO DE PAVIMENTOS
RÍGIDOS – DC-10-30, 30CF, 40, 40 CF.*

VER FIGURA N° 3.53 EN ANEXOS. CURVAS DE CÁLCULO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS – 1-1011-1,100.

VER FIGURA N° 3.54 EN ANEXOS. CURVAS DE CÁLCULO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS – 1-1011-100, 200.

- **Áreas críticas y no críticas**

Las curvas de cálculo, anteriormente mostradas, se utilizan para determinar el espesor de hormigón para las áreas de pavimento críticas. El espesor de 0,9 T para las áreas no críticas se aplica al espesor de la losa de hormigón. Para la sección de espesor variable del borde adelgazado y la sección de transición, se aplica la reducción al espesor de la losa de hormigón. El cambio de espesor en las transiciones debería llevarse a cabo en toda la longitud o la anchura de la losa. En las áreas de la losa que tengan espesor variable, el espesor del cimiento debe ajustarse en la medida de lo necesario para proporcionar avenamiento superficial de toda la superficie del cimiento. En el caso de fracciones inferiores a 0,5, utilícese el número entero próximo inferior.

- **Capa de cimentación estabilizada**

La capa de cimentación estabilizada se requiere en todos los pavimentos rígidos nuevos calculados para las aeronaves cuyo peso sea de 100 000 lb (45 000 kg) o más. La ventaja estructural de una sección de pavimento con capa de cimentación estabilizada se refleja en el módulo de reacción del terreno de fundación, asignado al cimiento. Las excepciones de éste criterio de utilizar capas de cimentación estabilizadas son las mismas que las que se indican en párrafos anteriores.

VER FIGURA N° 3.55 EN ANEXOS EFECTO DE LA CAPA DE CIMENTACIÓN ESTABILIZADA SOBRE EL MODULO DEL TERRENO DE FUNDACIÓN.

— **Determinación del valor k para capas de cimentación estabilizada.**

El efecto de la capa de cimentación estabilizada se refleja en el módulo del cimiento. La dificultad de asignar un módulo para el cimiento es que los datos del ensayo no estarán disponibles durante la fase del cálculo. La figura 4-55 es aplicable a las capas

estabilizadas de hormigón y de asfalto. La figura 4-55 se preparó suponiendo que una capa estabilizada tiene el doble de eficacia que el árido machacado uniforme, en el aumento del módulo del terreno de fundación. Deberían asignarse valores k algo menores a las capas estabilizadas de menor calidad. Una vez asignado el valor k a la capa de cimentación estabilizada, el procedimiento de cálculo es el mismo que el anteriormente mencionado.

— **Curvas de cálculo optativas para pavimentos rígidos.**

Cuando se aplican cargas de aeronave sobre el borde de una junta, el ángulo del tren de aterrizaje con relación al borde de la junta ejerce influencia sobre la magnitud de la tensión en la losa. Las figuras 4-46 y 4-47. Para el caso de los trenes de aterrizaje de rueda simple y de ruedas gemelas, representan el caso de tensión máxima cuando el tren se coloca paralelo a la junta. Los trenes de bogie no producen la tensión máxima cuando se emplazan paralelamente a la junta. La colocación del bogie en ángulo agudo con relación al borde de la junta producirá la tensión máxima. Las curvas de cálculo, figuras 4-56 a 4-62, se han preparado para los trenes de bogie ubicados tangencialmente al borde de la junta aunque girados al ángulo que causa la tensión máxima. Estas curvas de cálculo pueden utilizarse para los pavimentos en las zonas en que es probable que las aeronaves crucen en las juntas del pavimento formando un ángulo a baja velocidad, tales como las plataformas de espera de las pistas, los extremos de las pistas, las intersecciones de las calles de rodaje, las plataformas, etc. El empleo de las figuras es optativo y solo debería hacerse en las zonas en que es probable que las aeronaves crucen las juntas del pavimento formando un ángulo y a baja velocidad.

VER FIGURA N°3.56 EN ANEXOS. CURVAS DE CÁLCULO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS – TREN BOGIE.

VER FIGURA N°3.57 CURVAS DE CÁLCULO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS – B-747-100, SR, 200 B, C, F.

VER FIGURA N°3.58 EN ANEXOS. CURVAS DE CÁLCULO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS – B-747-100, SP.

VER FIGURA N°3.59 EN ANEXOS. CURVAS DE CÁLCULO OPTATIVAS PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS – DC 10 – 10, 10 CF.

VER FIGURA N°3.60 EN ANEXOS. CURVAS DE CÁLCULO OPTATIVAS PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS – DC 10 – 30, 30 CF, 40, 40 CF.

VER FIGURA N°3.61 EN ANEXOS. CURVAS DE CÁLCULO OPTATIVAS PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS – DC 10 – 30, 30 CF, 40, 40 CF.

VER FIGURA N°3.62 EN ANEXOS. CURVAS DE CÁLCULO OPTATIVAS PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS – L - 1011 – 100, 200.

— **Gran volumen de tráfico**

Existen varios aeropuertos que experimentan intensidades de tráfico mayores de las que indica en las curvas del proyecto. En estas situaciones el mantenimiento es prácticamente imposible debido a la intensidad del tráfico, por lo cual la construcción inicial reviste aun mayor importancia. Lamentablemente no existe mucha información acerca del comportamiento de los pavimentos con tráfico muy intensivo, salvo la experiencia adquirida mediante la observación de los pavimentos en servicio. Los pavimentos rígidos calculados para situaciones de gran intensidad de tráfico, deberían observar las consideraciones siguientes.

— **Cimiento.**

El cimiento del pavimento proporciona el apoyo definitivo de la estructura. Deben hacerse todos los esfuerzos posibles para proporcionar un cimiento estable, ya que los problemas que surjan posteriormente debido a la insuficiencia del cimiento, en la práctica no pueden corregirse una vez construido el pavimento. La utilización de una capa de cimentación estabilizada contribuirá mucho a proporcionar un cimiento uniforme y estable. En general, la combinación más eficaz de espesor de pavimento rígido y de espesor de la capa de cimentación estabilizada, en cuanto a la capacidad estructural, es una relación 1:1.

— **Espesor.**

Los pavimentos sometidos a intensidades de tráfico superiores al nivel de 25 000 salidas anuales que se indican en las curvas de cálculo, requerirán un espesor mayor para recibir ese volumen de tráfico. Pueden agregarse otros espesores aumentando el espesor del pavimento de acuerdo con la tabla

VER TABLA N° 3.19 EN ANEXOS. ESPESOR DEL PAVIMENTO PARA ALTOS NIVELES DE SALIDA EXPRESADO COMO PORCENTAJE DEL ESPESOR NECESARIO PARA 25 000 SALIDAS.

Los valores que se indican en la tabla se basan en extrapolaciones de datos de investigaciones y de observaciones de pavimentos en servicio. Se preparó la tabla suponiendo una relación logarítmica entre el porcentaje de espesor y las salidas.

— **Dimensiones del panel.**

Los panales de losa deberían construirse previendo el movimiento mínimo entre juntas. Un pequeño movimiento entre las juntas tiende a asegurar una mejor transferencia de cargas a través de las mismas y reduce el alargamiento al cual tienen que adaptarse los materiales de sellado de juntas cuando las losas se dilatan y contraen. Deberían especificarse materiales de sellado para juntas de alta calidad para asegurar el mejor comportamiento posible.

— **Pavimento de hormigón armado.**

La ventaja principal de la armadura de acero es que aunque no evita el resquebrajamiento, mantiene las grietas formadas bien cerradas de manera que la trabazón de las caras irregulares asegura la integridad de la estructura y, por lo general, mejora la actuación del pavimento. Al mantener las grietas estrechamente unidas, el acero reduce al mínimo la infiltración de desechos entre las mismas. Los requisitos de espesor para los pavimentos de hormigón armado son los mismos que para el hormigón sin armadura y están determinados por las curvas de cálculo pertinentes. La armadura de acero permite un espaciado mayor entre las juntas y, en consecuencia, la ventaja en cuanto a costes, debida a la menor cantidad de juntas, es un factor que ha de determinarse en la decisión de utilizar hormigón simple o armado para el pavimento.

Fuente: ANEXO 14 OACI MANUAL DE DISEÑO DE AERODROMOS PARTE III PAVIMENTOS.

— **Tipo y espaciado de la armadura.**

La armadura puede ser tela de alambre soldada bien ésteras formadas por barras, con puntas y costados solapados para proporcionar un refuerzo total en el cuerpo del panel de la losa. Las superposiciones de los extremos deberían ser como mínimo de 12 pulg (31 cm) pero no menos de 30 veces al diámetro del alambre o barra longitudinal. Las superposiciones laterales deberían ser como mínimo de 6 pulg (15 cm) pero no menos de 20 veces el diámetro del alambre o barra transversal. Los espacios finales y laterales deberían ser como máximo de 6 pulg (15 cm) y como mínimo de 2 pulg (5 cm) para permitir un refuerzo prácticamente completo sin dejar de cubrir suficientemente con el hormigón. Los miembros longitudinales deberían espaciarse a no menos de 4 pulg (10 cm) ni más de 12 pulg (31 cm); los miembros transversales deberían espaciarse no menos de 4 pulg (10 cm) ni más de 24 pulg (61 cm).

— **Cantidad de material de armadura**

a) La zona de acero requerida para un pavimento de hormigón armado está determinada por la fórmula de resistencia del terreno de fundación y el coeficiente de la fórmula de fricción combinados. La fórmula resultante se expresa del modo siguiente:

$$A_s = \frac{3,7 * L\sqrt{Lt}}{f_s}$$

Dónde:

A_s = área de acero por pie de ancho o de largo, en pulgadas cuadradas

L = longitud o anchura de la losa, en pies

T = espesor de la losa, en pulgadas.

f_s = Fuerza de tracción admisibles del acero, en lb/pulg²

Nota.- Para determinar el área de acero en unidades métricas:

L – Debería expresarse en metros

t – Debería expresarse en milímetros

fs – Debería expresarse en meganewtons por metro cuadrado.

La constante 3,7 debería cambiarse a 0,64

As – estará en términos de centímetros cuadrados por metro.

- a) En esta fórmula, se supone que el peso de la losa es de 12,5 lb/ft², por pulgada de espesor (23,6 NM/m²). La carga de tracción admisible será diferente según el tipo y la calidad del acero. Se recomienda adoptar la carga de tracción admisible como de 2/3 de la resistencia a la deformación y a las tensiones de cálculo correspondientes (fs) son las que figuran en la tabla siguiente:

VER TABLA N° EN ANEXOS. TIPO Y CALIDAD DEL ACERO

- b) La cantidad mínima de armadura de acero debería ser del 0,05 %. El porcentaje de acero se calcula dividiendo el área de acero, As, por el área de hormigón por unidad de longitud (o de anchura) y multiplicando por 100. El porcentaje de acero que se considera como el mínimo que pueda instalarse económicamente, es del 0,05 %. La armadura de acero permite losas de mayor tamaño y, en consecuencia

3.6 MÉTODO PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA)

3.6.1 Antecedentes

En el diseño estructural de los pavimentos de los aeropuertos intervienen varios factores importantes:

1. Las propiedades del concreto

2. Capacidad de carga de la Sub rasante o de la combinación de la sub rasante y la sub base.
3. Tipo de aviones y cargas que puedan preverse para el pavimento y frecuencia aproximada de operación.
4. Tipo de pavimento que se proyecta, como pistas, pistas de rodaje, plataformas, pisos para hangares.

OTRAS PROPIEDADES

Cada obra debe proyectarse la mezcla de concreto de manera que de:

- La durabilidad adecuada
- La resistencia adecuada a la flexión
- Una superficie durable anti derrapante

La experiencia indica cuando el concreto tiene un módulo de ruptura de 600 a 700 lb/plg² a los 28 días por lo general se obtiene pavimento de menor costo cuando se compara el espesor con el costo de los materiales. En las regiones donde se tiene condiciones de congelación, debe construirse pavimento de concreto con aire incluido. Los procedimientos para proyectar la mezcla y obtener estas propiedades se dan en la Portland Cement Association, Design and control of concrete of mixture.

Las variaciones en el módulo de elasticidad, E y en la relación de poisson μ , solo tienen efecto ligero en el diseño del espesor. Los valores usados en el procedimiento de diseño son $E=4000000$ lb/plg² y $\mu= 0.15$.

— Resistencia de conjunto de sub-rasante y sub - base

En un análisis para diseño se hace suposiciones con respecto al funcionamiento en conjunto de la sub rasante y de la sub base o solo de la sub rasante. La mayoría de los procedimientos para diseñar pavimentos de concreto se han basado en el módulo de Wéstergaard de la reacción de la sub rasante , k, determinado por medio de la prueba de carga con una placa de 30 plg de diámetro en éste método se considera como si la subrasante tuviera las propiedades de un líquido denso para soportar cargas. Las

gráficas de la influencia elaborada Pickett y Ray son una extensión del análisis del Wéstergaard y fueron elaboradas, tanto para la suposición de que la sub rasante es un líquido denso, como para la que supone que es un sólido elástico. La primera es la que se ha usado con mayor frecuencia para el diseño de pavimentos.

Una reducción de E de 4×10^6 disminuye el esfuerzo 5 %.

Un aumento de E de 4×10^6 a 5×10^6 aumenta el esfuerzo 4 %.

El aumento de μ de 0.15 a 0.20 aumenta el esfuerzo 4 %.

El aumento de μ de 0.15 a 0.25 aumenta el esfuerzo 8 %.

3.6.2 Parámetros

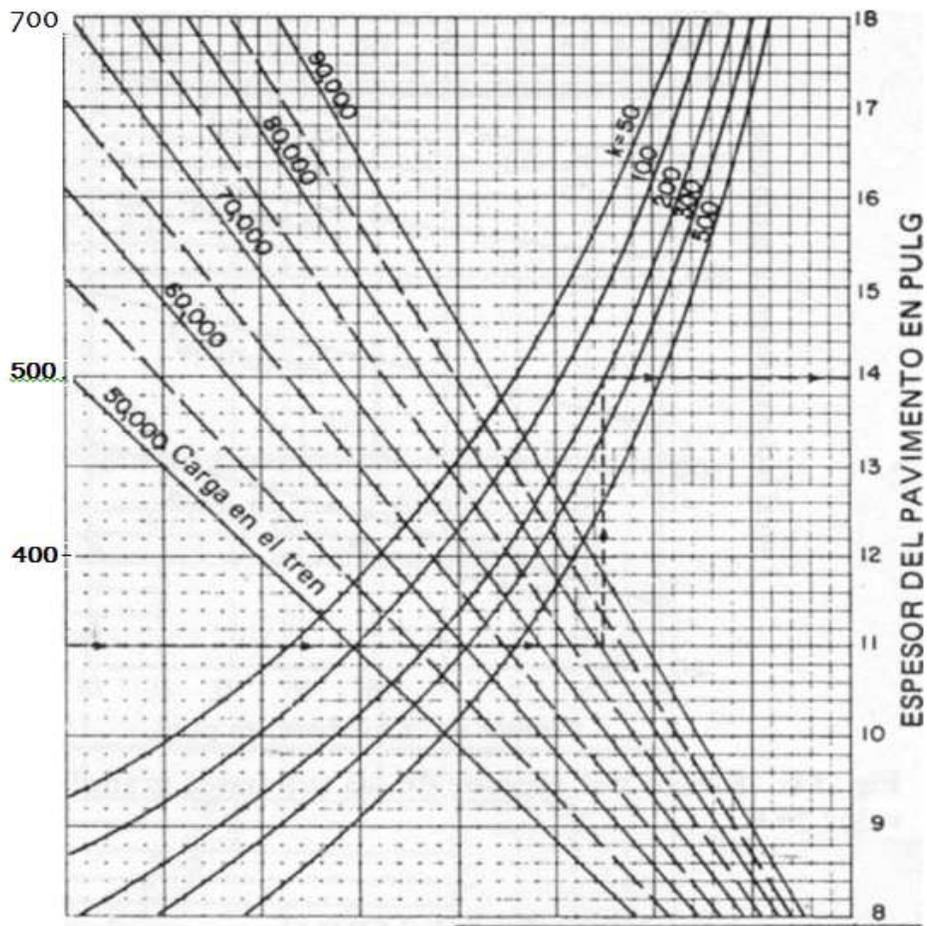
— Prueba de la carga

Las pruebas de la placa de carga deberán hacerse empleando una de diámetro de 30 pulg. Sobre suelos representativos, bajo condiciones que se aproximen a las que existen debajo del pavimento en las condiciones de funcionamiento. Usando un sistema de placas circulares, un gato grande calibrado, y un sistema de anclas o cargas muy pesadas, la sub rasante se sujeta a presiones conocidas que se aplican con una velocidad predeterminada. Se mide el desalojamiento de la placa de carga sobre la sub rasante, por medio de extensómetros calibrados y se registra a intervalos regulares de carga o de tiempo.

— Graficas de diseño

En la Portland Cement Association se puede obtener Gráficas para el Diseño de pavimentos para la mayoría de los aviones civiles y militares. No se incluye en éste manual porque se están actualizando cada vez que se obtienen datos sobre modificaciones actuales y de los nuevos.

Figura 2.9: Abaco PCA



Area de contacto
por neumático =
237 pulg²

BOEING 727 Gráfica de diseño
especial para pavimentos de
aeropuertos (Basada en el programa
de computadora PDILB) Tren de aterrizaje
de ruedas dobles

FUENTE: P.C.A

Los que usen la graficas verán una línea de ejemplo de flechas punteadas que representan la carga de diseño reportada por los fabricantes del avión, cuando se publicó la gráfica. También se han incluido líneas de cargas adicionales, arriba y abajo del ejemplo: las que están arriba representan versiones futuras más pesadas del avión que podrán aparecer; las de abajo son para aviones operados con cargas menores que las de diseño, como las que vuelan en aeropuertos más pequeños. Es posible interpolar

entre las líneas de carga o curvas k para la combinación de sub rasante y base si se usan valores intermedios.

— **Factor de seguridad.**

El coeficiente de seguridad (relación del módulo para el diseño al esfuerzo de trabajo) usado para el diseño de pavimentos depende de la frecuencia prevista para las operaciones de tráfico y de su canalización en aeropistas, pistas de rodaje y plataformas. En la experiencia que se ha tenido en el diseño de pavimentos, se ha visto que los coeficientes de seguridad adoptados, no se tomaban en cuenta las grandes magnitudes de las cargas de los aviones ni la frecuencia mayor de las aplicaciones de carga a las que después se sujetó el pavimento.

Se recomienda las siguientes amplitudes de variación de los coeficientes de seguridad:

Zonas críticas:

Plataformas, pistas de rodaje, estacionamientos, extremos de las aeropistas en una distancia de 1000 pies, y pisos de hangares. 1.7 - 2.0

Zonas que no son críticas:

Aeropistas (porción central) y algunas pistas de rodaje, de salida, de alta velocidad.

1.4 - 1.7

— **Diseño de pavimento de sección en quilla para aeropistas.**

En la mayoría de los aeropuertos con mucho tráfico, la porción central de las pistas pueden considerarse una zona crítica de tráfico, en la que resulta adecuado un coeficiente de seguridad más elevado que en las instalaciones con menos tráfico.

En estas zonas, proyectando una sección en quilla pueden observarse ahorros sustanciales tanto en construcción como en costo. La sección angular (en quilla) es un pavimento que se engrosa en su porción central y que se adelgaza hacia los bordes de

la pista. La reducción de espesor en las losas cerca del borde exterior de las pistas puede justificarse porque muy pocos aviones, si es que algunos corren cerca de la orilla, especialmente en las pistas anchas (de 200 pies) especificados para las instalaciones principales. *FUENTE: • DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO PARA AEROPUERTOS PORTLAND/CEMENT ASSOCIATION/LIMUSA/MEXICO/1977.*

Los espesores de las losas para las pistas que se diseñan con sección de quilla pueden determinarse con los siguientes coeficientes de seguridad:

- Para la porción central de la pista: Úsese un coeficiente de seguridad elevado (usualmente 2.0 para pistas de gran volumen de tráfico) para obtener un pavimento más grueso en la mitad de la pista de cuantos menos 75 pies de anchura. Úsese espesores uniformes en todas las losas comprendidas total o parcialmente en esta zona.
- En el tramo fuera del tramo en quilla, úsese un factor de seguridad intermedio (aproximadamente de 1.7) para determinar los espesores menores (de 20 a 25 %) menos que el espesor del tramo en quilla) para las losas de transición entre el tramo en quilla y el exterior.
- En los bordes de la pista, úsese el procedimiento de proyecto normal con un coeficiente de seguridad bajo, adecuado al pequeño número de operaciones, para determinar el espesor mínimo en las losas exteriores del pavimento.

— **Juntas y patrones para grupos de juntas.**

Las juntas proyectadas correctamente controlan el agrietamiento provocado por contracciones reprimidas y por los efectos combinados del alabeo restringido y las cargas de los aviones; proporcionan la adecuada transferencia de cargas a través de las juntas; e impiden la infiltración de materias extrañas en las juntas. Las juntas también dividen el pavimento en porciones adecuadas para su construcción y permiten los movimientos de las losas en las intersecciones con otros pavimentos o estructuras.

Se debe producir una adecuada transferencia de cargas en las juntas para satisfacer los principios básicos de diseño referentes al espesor de la losa. Según el tipo de la junta,

la transferencia de cargas se obtiene con espigas, ensambladuras, o por la trabazón obtenida con el agregado en juntas muy angostas. Se obtienen un apoyo sustancial para las juntas usando bases rígidas tratadas con cemento. Cuando no se construyen medios especiales para la transferencia de cargas, los bordes de las losas que quedan en las juntas y están sujetos a tráfico se engruesan para mantener esfuerzos y deflexiones con estos bordes libres dentro de los límites de seguridad.

— **Juntas longitudinales**

Las juntas longitudinales son las paralelas a los carriles de construcción. Estas son juntas de construcción (a lo largo de los bordes de los carriles de construcción) o bien juntas intermedias (juntas aserradas o rellenadas) usadas algunas veces entre las juntas de construcción.

La separación entre las juntas longitudinales depende del equipo de construcción usado, del ancho total de pavimento y del espesor del mismo. En el pasado, el equipo se adapta mejor para trabajar en anchuras de 20 a 25 pies, y esta era la separación de las juntas que por lo general se usaba en pavimentos con espesor de 12 pulg o más. En los pavimentos más delgados se necesitaban juntas longitudinales intermedias, para evitar la formación de grietas longitudinales irregulares. Guía para la separación de juntas longitudinales:

- En todos los pavimentos con espesores menores de 12 pulg y en los construidos con espesores de 12 a 15 pulg que soportan un tráfico canalizado, las juntas longitudinales no deben tener una separación mayor de 12.5 pies.
- En los pavimentos con espesores mayores a 15 pulg y en los espesores de 12 a 15 pulg. Pero que no tienen que soportar un tráfico canalizado, no se necesitan las separaciones de 12.5 pies. Pueden elegirse separaciones convenientes que no excedan las de las juntas de contracción sugeridas.

— **Juntas longitudinales en pavimentos para servicio pesado.**

En casos especiales, como el de los pavimentos que van a soportar volúmenes muy grandes de tráfico de aviones pesados, puede ser necesario reforzar las juntas longitudinales dentro de la zona de tráfico canalizado (por ejemplo, la porción central de una pista de 50 a 60 pies de anchura). Puede obtenerse una mayor resistencia en las juntas de varias maneras, incluyendo:

- El engrosamiento de los bordes, en las juntas con cajas y espigas sin amarres (Las dimensiones para los bordes engrosados son las mismas que para las juntas de dilatación.
- Bordes engrosados en juntas a tope.
- Juntas atravesadas por varillas, sin engrosar los bordes.
- Juntas longitudinales tradicionales (sin engrosarlas) apoyadas en una base estabilizada en el valor mínimo de k sea 400 lb/plug^3

— **Juntas de contracción**

Las juntas transversales de contracción controlan la formación de grietas transversales irregulares por la contracción del pavimento y disminuyen los esfuerzos producidos por las restricciones a los cambios de volumen con el concreto.

La mayor parte de las juntas de contracción son del tipo de ranura superficial. Estas ranuras pueden ser aserradas o vaciadas, controlan el agrietamiento y permiten dar una forma precisa a la junta.

Los extremos de todos los pavimentos de los aeropuertos deben construirse tomando en cuenta la transferencia de cargas a las posibles adiciones o ampliaciones futuras.

— **Pavimentos con acero distribuido**

Las separaciones usadas entre las juntas en los pavimentos reforzados (con refuerzo y varillas en las juntas) varían de 30 a 70 pies. Para estas separaciones más largas entre las juntas, se necesitan varillas en todas las juntas transversales, ya que estas se abren más, haciendo menos efectiva la transferencia de cargas por el trabazón del agregado.

Basándose tanto en el aspecto económico como en el comportamiento de los pavimentos con refuerzo y varillas en las juntas, es conveniente limitar la separación entre las juntas a aproximadamente 30 o 40 pies en los pavimentos para aeropuertos menores de 12 pulg de grueso y aproximadamente a 50 pies en los pavimentos más gruesos.

— **Pavimentos de concreto con refuerzo continuo**

• **Espesor del pavimento**

Reconociendo que se obtiene una mejor transferencia de cargas en las grietas transversales en comparación con los pavimentos con juntas, algunas especificaciones para pavimentos de carreteras permiten un espesor reducido en los pavimentos de refuerzo continuo. Se considera que es posible que cualquier reducción importante en el espesor no sea conservadora debido a la reducción que resulta en la transferencia de cargas en las juntas longitudinales. Además, el aumento de las deflexiones en los pavimentos más delgados puede producir desconchamiento excesivo en las grietas, especialmente en los pavimentos que van a soportar aviones con múltiples ruedas y cargas pesadas.

Por tanto, se recomienda que la reducción de espesores no se haga en los pavimentos con refuerzo continuo.

— **Acero Longitudinal**

Cantidad

La cantidad de acero de refuerzo que se requiere para controlar los cambios de volumen depende principalmente del espesor de la losa, de la resistencia a la tensión del concreto, y de la resistencia a la cedencia del acero. Otros factores que influyen en la cantidad de acero son la contracción que produce la caída de temperatura, la contracción debida al secado y los módulos de elasticidad del concreto y del acero.

El factor que controla el ancho de las grietas. Cuando se usa acero insuficiente, las grietas se hacen muy anchas, permitiendo introducir de sólidos y agua. El criterio del ancho de las grietas no ha sido establecido firmemente, pero se ha obtenido un buen comportamiento cuando la separación de las grietas, en promedio, se encuentra entre 3 y 7 pies. Como la separación entre las grietas está directamente relacionada al ancho de las mismas y se observa con más facilidad, el proyecto de pavimentos con refuerzo continuo ha llegado a ser, indirectamente, cuestión de determinar la cantidad de acero necesaria para obtener una separación conveniente.

Se han elaborado varias ecuaciones teóricas para calcular la cantidad de acero necesaria; pero, en general, la cantidad se basa en datos empíricos obtenidos en pavimentos experimentales y en pavimentos en uso.

Se acostumbra especificar la cantidad de acero como el 0.6% de la sección transversal bruta del pavimento y una resistencia mínima a la cedencia de 60,000 lb/pulg². En climas extremos, donde ocurren heladas y deshielos, o donde hay grandes volúmenes de tráfico, deberán considerarse porcentajes algo más elevados, como de 0.7 ó 0.8%.

La cantidad de acero no deberá ser menor que la indicada por la fórmula siguiente. Esta también se usa para calcular la cantidad mínima de acero basándose en concretos o aceros especiales que puedan elegirse.

$$P_s = \frac{f'_t}{f_s - n f'_t} * 100$$

P_s = porcentaje de acero (área transversal total del acero dividida por el área transversal bruta del concreto multiplicada por 100)

f'_t = resistencia del concreto a la tensión en lb/pulg², suponiéndola igual a 0.4 del módulo de ruptura

f_s = esfuerzo de trabajo admisible del acero en lb/pulg² (0.75 de la resistencia a la cedencia)

$n = E_s/E_c$ (relación del módulo elástico del acero al del concreto)

Esta fórmula no toma en cuenta explícitamente la resistencia al movimiento de la losa proporcionada por la sub base o la subrasante. Esta resistencia se expresa con un coeficiente, C_f , y se usa comúnmente un valor de 1.5.

Si existe una razón para creer que el coeficiente difiere mucho de 1.5, la fórmula debe modificarse a:

$$P_s = \frac{f''t}{f_s - nf''t} * (1.3 - 0.2C_f) * 100$$

Habiendo establecido el porcentaje necesario de acero longitudinal, el área de acero puede calcularse con la fórmula.

$$A_s = \frac{bhps}{100}$$

A_s = área total de la sección transversal del acero longitudinal, en pulgadas cuadradas.

b = anchura de la losa, en pulgadas

h = espesor de la losa, en pulgadas

P_s = porcentaje especificado de acero longitudinal

— **Tamaño y separación**

El tamaño y la separación de los miembros del acero longitudinal están interrelacionados y dependen de varios factores. El tamaño mínimo debe permitir espacio suficiente entre los miembros para el fácil colado del concreto. El espacio libre entre miembros debe ser cuando menos el doble del tamaño máximo de agregado que se use, pero en ningún caso deberá ser menor de 4 pulg.

El tamaño máximo está regulado por el porcentaje de acero, por la máxima separación permitida, la resistencia a la adherencia y la transferencia de carga. Para la buena

transferencia de cargas y la resistencia de adherencia, la separación no debe exceder de 9 pulg. la relación entre el tamaño y la separación es la que sigue:

$$S_w = \frac{Ab}{hps}$$

S_w = separación de centro a centro, en pulgadas

Ab = área de la sección transversal de una varilla de acero o alambre, en pulgadas cuadradas

h = espesor de la losa, en pulgadas

P_s = porcentaje de acero, en porcentaje

— Acero en los pavimentos con juntas

El acero que se usa en los pavimentos de concreto con juntas puede tener la forma de acero distribuido, como en las mallas de alambre soldado o de varillas, distribuidas en el concreto; o en la forma de varillas corrugadas y de pasadores lisos a través de algunas juntas.

Cuando el pavimento está dividido por juntas formando paneles que controlen las grietas intermedias, el acero distribuido no es necesario.

Cuando las juntas se colocan de manera que se formen paneles más largos y puede esperarse que se formen algunas grietas intermedias, se usa acero distribuido. En éste caso, se usan pasadores en todas las juntas transversales, para asegurar la adecuada transferencia de cargas ya que se producirán aberturas mayores en las juntas.

— Acero distribuido

La función del acero distribuido en los pavimentos con juntas es mantener unidas las caras de las losas fracturadas si se forman grietas. La cantidad de acero usado puede variar de 0.05 a 0.30% de la superficie de la sección transversal, lo que depende de la separación entre juntas, del espesor de la losa, y de otros factores. La capacidad

estructural a través de las grietas se obtiene por la trabazón de las caras irregulares de las losas, y la infiltración de materias extrañas en las grietas se reduce al mínimo.

El acero distribuido no aumenta mucho la resistencia a la flexión, cuando se usa en cantidades comprendidas en la economía práctica; por tanto, los espesores de los pavimentos reforzados son los mismos que para los pavimentos sin refuerzo.

La experiencia adquirida en los aeropuertos militares, donde los volúmenes de tráfico por lo general son mucho menores que en los aeropuertos civiles, indica que un pavimento reforzado permanecerá en servicio durante algún tiempo después de la etapa de agrietamiento inicial. Pero si se permitiera una reducción de espesor basándose en ella, podría ser poco conservadora para los aeropuertos civiles, ya que los costos por suspender el funcionamiento y los retrasos debidos a las operaciones de mantenimiento por el aumento de grietas podría ser prohibitivo. Además, el aumento de las deflexiones en un pavimento más delgado puede producir un deconchamiento excesivo bajo los mayores volúmenes de tráfico en los pavimentos de los aeropuertos civiles. Estudios recientes en los pavimentos de los aeropuertos civiles generalmente indican que las losas sin refuerzo con separaciones pequeñas entre juntas se comportan un poco mejor que las losas reforzadas con separaciones mayores entre juntas. *FUENTE:*

DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO PARA AEROPUERTOS PORTLAND/CEMENT ASSOCIATION/LIMUSA/MEXICO/1977.

Como la intención es que el acero mantenga bien apretadas las grietas, debe tener resistencia suficiente para mantener juntas las dos losas durante la contracción del concreto. La tensión máxima en los miembros de acero, a través de una grieta, se calcula como la fuerza necesaria, igual a la empleada, para vencer la resistencia entre el pavimento y la subrasante desarrollada en una distancia medida de la grieta a la junta libre o borde más cercano. Esta fuerza es mayor cuando la grieta ocurre a la mitad de la losa. Por razones prácticas, se utiliza el mismo peso de acero en toda la longitud de las losas.

Los factores que deben considerarse en el diseño del acero distribuido incluyen el peso de la losa de concreto, el coeficiente de resistencia de la subrasante, y la resistencia a la tensión del acero que se va a usar. La cantidad necesaria de acero por pie de anchura de la losa se da en la Fig. Calculada por la fórmula siguiente:

$$A = \frac{LCfwh}{24fs}$$

A = área de acero necesaria por pie de anchura de la losa, en pulgadas cuadradas

L= distancia entre juntas libres (sueltas), en pies

Cf= coeficiente de resistencia de la subrasante (o de la sub-base) al movimiento de la losa

W= peso del concreto, en libras por pie cúbico (150 lb por pie cúbico para el concreto de peso normal)

h = espesor de la losa, en pulgadas.

fs = esfuerzos de trabajo admisibles en el acero, lb/pulg²

— Selección del tamaño y separación del acero

Si va a usarse malla de alambre soldada, puede usarse un tipo que se elige de las tablas de los fabricantes. Las tablas dan el diámetro y separación del alambre en el sentido longitudinal y transversal, así como el peso por 100 pies cuadrados y por 1 yarda cuadrada para-cada tipo. En la tabla 5 se dan varios tipos de malla de alambre soldada, adecuada para los pavimentos de concreto.

Si se va a usar una malla de varillas, el tamaño y la separación puede determinarse usando los datos de la tabla 6. El área de acero necesaria por pie, que se determina por la fórmula, se divide por el área de la varilla para obtener el número de barras necesarias

por pie. Dividiendo 12 por el número de varillas por pie da la separación máxima de las varillas en pulgadas.

— **Diseño de pasadores**

Se instalan pasadores a través de las juntas de los pavimentos de concreto para que funcionen como dispositivos para la transmisión de cargas que permitan que la junta se abra y se cierre. Su función es distribuir parte de la carga a la losa adyacente, reduciendo así la deflexión y los esfuerzos en la junta. Existen dispositivos para la transmisión de cargas patentados o registrados que pueden usarse en vez de pasadores. Algunos tienen mérito si se instalan correctamente con las separaciones correctas. Éste estudio se limita al diseño e instalación de pasadores hechos de varillas de acero lisas o de tubos.

— **Diseño de las varillas de unión**

Las varillas o pernos de unión son varillas de acero corrugadas. Se usan a través de las juntas de los pavimentos de concreto cuando es necesario mantener las caras de las losas en contacto firme. La localización de las juntas en los que se usan las varillas de unión se analizan anteriormente. Las varillas en sí no se diseñan como dispositivos para transmitir cargas. La transferencia de cargas en las juntas con varillas o pernos se obtiene con la trabazón del agregado o por medio de una caja y espiga.

Las varillas de unión se proyectan para contrarrestar la resistencia de la subrasante o sub-base al movimiento horizontal de la losa cuando se está contrayendo el pavimento. Esta resistencia se desarrolla en la distancia entre la junta con varillas y el borde libre más cercano. El área necesaria de varillas de unión por pie de longitud se obtiene con la fórmula:

$$A = \frac{bCfwh}{12fs}$$

A = área de la sección transversal del acero necesario por pie de longitud de junta, en pulgadas cuadradas

b = distancia entre la junta y la más cercana junta sin varillas o borde libre, en pies.

C_f = coeficiente de resistencia de la subrasante (o de la sub-base) al movimiento de la losa, que usualmente se toma igual a 1.5 (véase la nota al pie de la página anterior).

w = peso del concreto, en libras por pie cúbico (150 lb. por pie cúbico para el concreto de peso normal).

h = espesor de la losa, en pulgadas

f_s = esfuerzo admisible de trabajo en el acero, (que usualmente se toma como 2/3 de la resistencia a la cedencia)

3.6.3 Metodología

Procedimiento para diseñar

La determinación de los espesores de las losas consta de los siguientes pasos:

1. Se determina el valor de k por medio de pruebas con placas de carga o correlacionando los datos de las pruebas efectuadas en el suelo de la subrasante.
2. Se hace una estimación cuidadosa de las condiciones de operación y de carga presentes y futuras y se elige un coeficiente de seguridad conservador.
3. Los esfuerzos de trabajo para un avión específico se determinan dividiendo el módulo de ruptura de concreto por el coeficiente de seguridad elegido.
4. Con la gráfica para el diseño del avión específico, determínese el espesor del pavimento para el esfuerzo de trabajo determinado en el Paso 3. Procédase horizontalmente del esfuerzo de la carga en el tren de aterrizaje, verticalmente la valor de k , luego horizontalmente al espesor.
5. Repítase el proceso para otras cargas críticas, eligiendo de nuevo, factores de seguridad adecuados a la categoría de operaciones previstas para estos aviones,

y elijase un espesor de diseño para la condición más crítica. *FUENTE:* •
DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO PARA AEROPUERTOS
PORTLAND/CEMENT ASSOCIATION/LIMUSA/MEXICO/1977

**APLICACIÓN PRÁCTICA APLICANDO LOS MÉTODOS A CONDICIÓN
LOCAL DEL AEROPUERTO “ORIEL LEA PLAZA”.**

4.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

ZONA EL AEROPUERTO.



Coordenadas U.T.M

ESTE: 323031.36 m E

NORTE: 7616217.04 m S

Coordenadas Geodésicas.

LATITUD: 21°32'53.93"S

LONGITUD: 64°42'32.73"O

4.2 CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

Estudio geológico

ASPECTOS GEOLÓGICOS SOBRE EL VALLE CENTRAL DE TARIJA

El Aeropuerto de Tarija se encuentra ubicado en la parte central de la cuenca de depositación de los sedimentos de origen fluvial y lacustre que dieron origen a los potentes espesores de materiales constituidos por una secuencia de estratos de arcillas intercalados con estratos de limos y delgados horizontes de arenas. Sin embargo, para entender de mejor manera los ciclos de sedimentación del conjunto de la Cuenca es necesario referirse a la evolución morfo estructural donde se acumularon estos materiales que partiendo de un control de tipo tectónico a través de un sistema de fallas

de tipo longitudinal, las cuales limitan la Cuenca de las serranías ubicadas hacia el Oeste y el Este.

En estos elementos estructurales se inicia la sedimentación de los depósitos de edad pliocena pleistocena que cubren una antigua superficie con un relieve acentuado y disectado por un drenaje que se origina en las altas montañas que rodean la Cuenca

Bajo estas condiciones, los sedimentos acumulados a lo largo del período geológico tienen su impronta que responde a un ciclo de sedimentación que se caracteriza por cambios de facies en sentido horizontal y vertical de la columna litológica, la que depende del sitio proximal o distal donde se produce una diferenciación de la granulometría de los sedimentos acarreados desde las partes altas de la zona de aporte. En el caso de la Cuenca de Tarija, el relleno final termina con superficies inclinadas que convergen hacia el centro de la Cuenca cuyo eje central coincide aproximadamente con la actual posición del río Guadalquivir

Sobre la antigua superficie del relleno final, se desarrolló posteriormente un sistema de drenaje que fue disecando la superficie en compartimientos claramente definidos, cuyos relictos se conservan en la actualidad en formas planas rodeadas por pequeños ríos y quebradas; en algunos casos este proceso de erosión ha dado lugar a un paisaje tipo lunar, cuyas formas son frecuentes en todo el valle y de manera particular se puede observar en las inmediaciones del aeropuerto; estas formas que se reflejan en el paisaje están siendo modificadas profundamente por la acción entrópica en el desarrollo agrícola y extensión urbana de la ciudad de Tarija y poblaciones rurales.

De la misma manera, para la construcción del Aeropuerto, se tuvo que efectuar grandes movimientos de tierra para dar lugar a las explanadas de la pista de aterrizaje y la infra estructura del mismo, de este modo se explica la posibilidad que para su construcción

se hayan efectuado rellenos de pequeñas quebradas y depresiones con materiales adecuadamente compactados.

La paleo morfología sobre la cual se depositaron los sedimentos está constituida por rocas de edad Paleozoica, que se caracterizan por su coloración gris negruzca y son rocas de tipo lutitas y areniscas, afloramientos de estas rocas se observan en varios cortes y taludes dentro de la ciudad y en los barrancos de río y quebradas; en estos afloramientos se observa el control del relieve antiguo sobre el tipo de material y los rellenos que se produjeron sobre un sistemas de paleocanales de distinta extensión y magnitud.

Los cambios en el tipo de depósito formado durante el relleno de la Cuenca son ostensibles por la variación de facies desde materiales granulares en la parte proximal de la Cuenca a cambios graduales hacia más finos que coinciden con la parte distal de la misma; o sea que se tienen gravas cerca la zona de aporte que pasan a materiales de tipo arenas y en el sitio más profundo se acumularon los limos y arcillas que son las más visibles en el sitio del Aeropuerto. De la misma manera se tiene una secuencia gradacional en sentido vertical, observándose en la base de una columna litológica determinada materiales gruesos que pasan paulatinamente a más finos, pudiendo repetirse la serie de acuerdo a los distintos procesos de sedimentación.

En el sitio del Aeropuerto como en los sitios contiguos se observan básicamente estratos de arcillas intercalados con limos y esporádicamente lentes de gravas finas; es evidente que, por debajo del paquete estructural de la pista se encuentran básicamente niveles de arcillas que varían principalmente por su coloración desde gris amarillenta, gris claro y delgados niveles de arcillas de color gris oscuro debido a su contenido de materia orgánica en bajos porcentajes. Esta relación litológica es visible en varios cortes del terreno natural sobre todo en la parte Sur donde se encuentran una serie de pequeñas quebradas y un paisaje altamente erosionado por la acción del agua superficial e inclusive en menor magnitud por la acción eólica.

Estos depósitos de suelos así formados, en general tienen baja cohesión, por consiguiente son susceptibles de sufrir procesos de meteorización acelerados por factores físicos y el agua de escorrentía o subterránea produce distinto grado de desintegración dando lugar a la formación de cárcavas y conductos subterráneos que pueden intercomunicarse entre ellos y a través del tiempo el techo de estos conductos se desploma formando zonas de hundimientos de diferente magnitud, como puede observarse en sitios adyacentes en el lado Sur de la pista e inclusive en un tramo de la misma donde se observa un incipiente hundimiento de forma elipsoidal.

En la cabecera Norte de la pista, adyacente al talud que forma el valle de la quebrada San Pedro la flora una secuencia de gravas gruesas con niveles de arenas gruesas y delgados horizontes de arcillas de color gris amarillentos, estos afloramientos corresponden a la depositación por procesos de tipo aluvial relacionado con la acumulación en antiguos niveles de profundización del río durante su etapa de desarrollo fluvial y de ninguna manera están relacionados con los procesos de sedimentación del ciclo de relleno de la Cuenca de Tarija; de la misma manera, se tiene similares depósitos de origen fluvial en las riberas del río Guadalquivir y en otros cursos de río menores en el entorno de La Cuenca. Fuente: ZONISIG

Estudio geológico locales.

La Zona que comprende el relevamiento geológico forma parte de la cuenca sedimentaria del valle de Tarija que se caracteriza por una serie de sedimentos depositados en un ambiente lacustre donde predomina los depósitos constituidos por estratos de materiales de la fracción fina; sin embargo, debido a los procesos de transporte y acumulación de los materiales originarios provenientes de la erosión de las rocas de las montañas adyacentes, dieron lugar a la sedimentación y deposición de materiales gruesos (gravas y arenas) cerca de la zona de aporte y una transición a los más finos (limos y arcillas) hacia la parte distal de la cuenca de sedimentación. Bajo

estos criterios se analizan los aspectos litológicos y geomorfológicos del sector del aeropuerto y zonas adyacentes. Fuente: ZONISIG

Litología

Sobre la base de las observaciones de campo y la descripción macroscópica de afloramiento de los depósitos de suelos que se presentan en cortes y taludes naturales del terreno se describen las distintas unidades litológicas que se tiene en la zona mapeada. De esta manera se tienen las unidades litológicas siguientes:

Depósitos de la cuenca de sedimentación. Pliocena pleistocenaj

Estos depósitos están constituidos por una interrelación de materiales de gravas, arenas finas, limos y arcillas, cuyo color predominante del conjunto es gris amarillento a gris claro. En el perímetro del aeropuerto donde se encuentran taludes y cortes de quebradas se observan series de depósitos que varían de manera significativa. Fuente: ZONISIG

- Talud ubicado al norte de la faja de aterrizaje

En este sitio se tiene un talud donde aflora un horizonte superior constituido por arenas gruesas de color gris amarillento , de aproximadamente 4.20 metros de espesor; por abajo se tiene un horizonte de gravas con arenas de color gris marrón de aproximadamente 3.40 metros, infra yace a estos materiales un conjunto de gravas de tamaño grueso con mezclas de materiales finos que le dan alta resistencia y compacidad, tienen coloración gris blanquecina; hasta la base del lecho de la quebrada San Pedro, el espesor es de 2.80 metros.

- Afloramiento en los taludes del mirador “Juan Pablo II”.

En el lado sur del mirador se presenta una serie intercalada de arenas finas, limos y arcillas de color gris claro, en estratos en posición horizontal, en la parte intermedia se observa un horizonte de color gris blanquecino con alto contenido de cenizas de origen volcánico. Es importante señalar que los estratos que afloran en los cortes del mirador, están en niveles más altos con respecto a la rasante de la plataforma de la pista de aterrizaje y solamente se menciona porque muestra la transición de materiales gruesos a finos en sentido vertical. Se debe indicar que hacia atrás del borde del talud se encuentra una grieta de tracción que tiene una profundidad de aproximadamente 1.60 metros con fuerte inclinación hacia la cara del talud.

- Afloramientos en el sector sur de la pista de aterrizaje.

Este es un sector donde el paisaje está altamente erosionado, y se desarrolla un sistema de drenaje caótico con dos cursos de quebradas bien definidas, en sus bordes los afloramientos de los distintos materiales son bien expuestos y se caracterizan por una alternancia de estratos de arenas finas con limos y bajos porcentajes de arcillas, el conjunto de los depósitos de suelos tiene una coloración gris clara.

La importancia de estos afloramientos radica en que los niveles de los distintos tipos de suelos se prolongan por debajo del paquete estructural de la pista y de las obras complementarias del aeropuerto o sea constituyen la sub rasante de la pista de aterrizaje, lo cual es un aspecto significativo en la evaluación de las condiciones y las propiedades físicas y mecánicas de los suelos de fundación.

- Depósitos de coluvios. Qco.

Estos depósitos se encuentran cerca de la margen del Río Guadalquivir, se trata de depósitos constituidos por arenas gruesas con altos contenidos de finos, afloran en pequeños corte del terreno natural y en algunas excavaciones efectuadas para la

construcción de viviendas; por su ubicación no tienen mayor significación en el estudio del Proyecto del Aeropuerto.

- **Depósitos aluviales. Qa.**

Los materiales que constituyen estos depósitos están constituidos por arenas gruesas y gravas en menor porcentaje, se encuentran distribuidos en el lecho de las quebradas y en pequeñas superficies por sobre la rivera de las quebradas. El depósito de mayor extensión se encuentra en los rellenos de las playas del río Guadalquivir y en las terrazas adyacentes al mismo.

- **Geomorfología.**

Las formas del relieve en el valle de la ciudad de Tarija son aspectos de la mayor significación en todo trabajo relacionado con la construcción, y en este caso con el estudio de las condiciones geológicas del Aeropuerto, para lo cual es preciso efectuar una pequeña reseña histórica de la evolución del paisaje a través de la acumulación de los potentes rellenos de sedimentos que fueron depositados en un antiguo ambiente lacustre.

Después de la sedimentación de los materiales en la Cuenca, sobre la superficie original se desarrolla un sistema de drenaje que fue profundizando sus cauces formando una amplia red de drenaje que desembocan en el curso principal que constituye el Río Guadalquivir. En el desarrollo del ciclo morfológico del valle del río se formaron antiguas superficies de terrazas que marcan distintos niveles de profundización, como aquella donde está emplazado el barrio de San Jerónimo, el cual se encuentra a varios metros por debajo del nivel de la Pista de aterrizaje y que en el plano geológico son designados con las siglas Qt2, significando que es más reciente que la contigua más alta Qt1 y así sucesivamente.

Por las características físicas de los materiales que son frágiles a los procesos de erosión, el paisaje está sujeto a una intensa destrucción de la antigua superficie, cuyos relictos se conservan en distintos sitios de la Cuenca: En el plano geológico elaborado estos rasgos fisiográficos están delimitados como superficies de terrazas antiguas que se conservan con pocas modificaciones en el sector Oeste de la zona estudiada, en la parte central se observan sitios de menor extensión que permiten inferir la pendiente regional que tenía esta superficie.

Sobre este paisaje así modelado por la acción del agua y procesos climáticos, en la actualidad se han formado una serie de cárcavas y redes de conductos internos intercomunicados, por donde el agua circula arrastrando paulatinamente partículas sólidas de los materiales; este proceso evoluciona hasta producir la caída del techo de los conductos y forma largos surcos en el terreno actual, tal como se puede observar en fotografías adjuntas.

En varios sitios de la malla metálica que limita la zona del Aeropuerto, se observan hundimientos del terreno y lugares donde los cimientos del tendido de la malla están prácticamente suspendidos por la estructura de la misma; puesto que, la erosión del agua superficial es tan intensa y los materiales fácilmente erosionables que estos procesos se dan con mucha frecuencia.

- **Caracterización preliminar de las zonas de riesgo del aeropuerto.**

Sobre la base de consideraciones de orden geológico se puede definir algunas de las características que están relacionadas con el mayor o menor grado de riesgo de la zona del Aeropuerto.

En el tramo Norte de la pista de aterrizaje, se encuentran materiales que están constituidos por niveles de gravas y y mezclas de gravas y arenas, estos materiales tiene relativas resistencias a la erosión, son compactos y por esta razón se desarrollan taludes

altos con pendientes casi verticales. En los estudios de suelos se podrá delimitar la extensión de estos materiales por debajo de la pista. Los suelos tienen buen drenaje interno.

En los sectores Sur y Este los suelos son mayoritariamente de tipo de arenas finas y limos o mezclas con porcentajes bajos de arcillas, por esta razón son más susceptibles a procesos de erosión por acción del agua superficial y flujos de aguas subterráneas a través de los conductos que pueden formarse en períodos de lluvias. Estos procesos han dado lugar a procesos de erosión que se extiende hasta inmediaciones de la faja de la pista y mucho más en la franja nivelada.

Por el sector Oeste las condiciones son en general de menor riesgo; ya que existe un control importante de la erosión por el desarrollo de extensas explanadas que fueron conformadas para las instalaciones del Grupo de la Fuerza Aérea de Bolivia.

De acuerdo al relieve topográfico de los terrenos naturales adyacentes al espacio que comprende la franja de aterrizaje, la estructura de la pista es posible que se hubiese construido sobre un relieve ondulado donde se efectuaron cortes y rellenos para conformar la sub rasante; el tratamiento no homogéneo de la calidad de la sub rasante puede ser la causa de las ondulaciones que muestra la superficie actual de rodamiento; este aspecto es más visible en las alcantarillas de las quebradas que cruzan la pista en el sector sur, donde se observan hundimientos del terreno que alcanzan varios centímetros.

A la entrada y salida de las alcantarillas se están produciendo fuertes desprendimientos de los terrenos de los taludes, originados principalmente por el flujo no controlado de las aguas superficiales y la obstrucción de los sistemas de desagües y drenaje.

En los cortes de los terrenos y en los taludes de las quebradas que se extienden por la zona mapeada, no se encontraron vertientes de aguas que tengan relación con acuíferos; por consiguiente, es posible que los niveles freáticos que tengan relación con flujos de agua subterránea estén a profundidades mayores a los 15 metros por debajo de la rasante de la pista.

4.3 PARÁMETROS DE DISEÑO PARA PAVIMENTOS DEL AEROPUERTO ORIEL LEA PLAZA

4.3.1 Parámetros para Pistas

Tabla N°4.1.

CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS.

GRANULOMETRÍA

N	UBIC A.	P	P	GRANULOMETRIA										LIMITES DE CONSISTENCIA			CLASF.		
				m	1	3	N	N.	N	N	N	%	L	LP	I	AASHTO			
1	CALICAT1	1.	P					1	97	9	8	8	2	4	21	1		A-6(10)	
2	CALICAT2	1.	P					1	9	99	9	8	9	1	3	25	8		A-6(10)

3	CALICAT3	1.	P					1	9	98	9	8	7	2	3	17,	1		A-6(11)
---	----------	----	---	--	--	--	--	---	---	----	---	---	---	---	---	-----	---	--	---------

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Tabla N°4.2.

ÍNDICE DE PENETRACIÓN CALIFORNIANA (CBR)

PROF.	ENSAYO	CALIC	CALICATA	CALICATA I
		A-6(10)	A-6(10)	A-6(10)
		CL	CL	CL
	% HUM.	23,2	13,9	23,81
	LL	34,1	26,7	41
	IP	16,3	13,4	15
	D.MAX	1,92	1,76	1,59
	% H. OPT.	12,7	17,79	21,84
	CBR 95%	5,4	5	6
1.5				

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

$$CBRequivalente = \frac{(5,6 + 5 + 6)}{3} = 5,6 = 6$$

Se trabaja con 6 debido a que este valor se contempla en los ábacos y es el superior mayor.

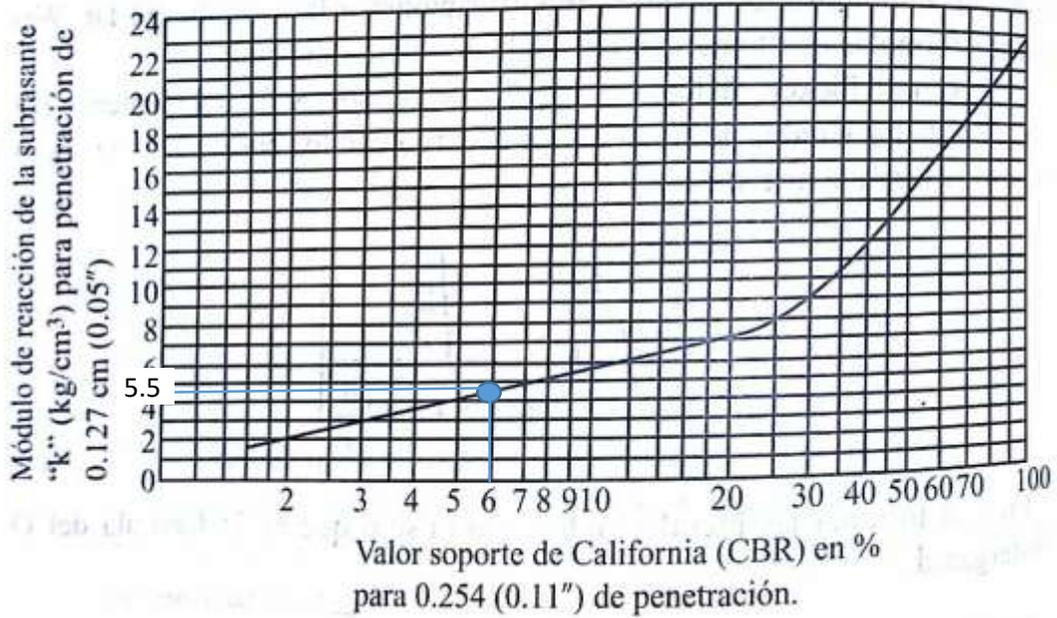
Tabla N°4.3. Valores de referencia de CBR

VALOR DE CBR	CLASIFICACIÓN GENERAL	USO
0-3	Muy bajo	Sub rasante
3-7	Muy bajo a regular	Sub rasante
7-20	Regular	Sub rasante a Sub base
20-50	Bueno	Sub base
>50	Excelente	Base

FIGURA N° 4.1

CONVERSION DE CBR A K

RELACION ENTRE EL MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE
"k" Y EL VALOR SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)



K = 5.5 kg/cm³ para diseño

$$K = 5.5 \frac{kg}{cm^3} * \left(\frac{1 lb}{0.454 kg} \right) * \left(\frac{(2.54 cm)^3}{(1 plg)^3} \right) = 198.52 \frac{lb}{plg^3}$$

$$K = 5.5 \frac{kg}{cm^3} * \left(\frac{9.81 N}{1 kg} \right) * \left(\frac{(100 cm)^3}{(1 m)^3} \right) = 53955000 \frac{N}{m^3} = 53,955 \frac{MN}{m^3}$$

$$K = 5.5 \frac{kg}{cm^3} * \left(\frac{9.81 N}{1 kg} \right) * \left(\frac{(100 cm)^3}{(1 m)^3} \right) = 53955000 \frac{N}{m^3} = 53,955 \frac{MPa}{m}$$

Tabla N°4.4.

TRAFICO AEROPUERTO "ORIEL LEA PLAZA".

**CUADRO ESTADISTICO OPERACIONES AEREAS
AEROPUERTO INTERNACIONAL "CAP. ORIEL LEA PLAZA" AASANA TARIJA
GESTION 2012**

MES	TIPOS DE AERONAVES																AVIAT	vuelo local		Total						
	B722	B733	B732	B462	MA88	SR94	L419	CRJ2	FRJ7	AC39	EC40	DE31	BE36	F900	BE29	C138		SR91	C258		LR25	LR45	CIV	MIL		
ENE	48	150		58	2	148										2							21			425
FEB	40	154		56	10	182											2						33			477
MAR	42	144		81	18	218								4	1								40	12		523
ABR	10	146		42	24	170								4	3		2	2					26	6		435
MAY	10	140		54	2	178								4			4		2				48	14		456
JUN	14	136		58		172	2																30	2		452
JUL	18	142	6	48		202	2							2						4			38	8	2	472
AGO	12	146	25	30	2	208			4	2						2			4			62	2	14	552	
SEP	4	136	30	55	224									2	4							21	11	12	500	
OCT	42	148	76	12		279				4			4	2			8		2			43	2	4	627	
NOV	2	158	75	4		205	8	54		4				4	4				4			42		2	588	
DIC	0	170	88	12		174		82	4	4				4	2							62	20	14	622	
Total	240	1771	304	474	282	2531	12	118	8	10	4	0	4	26	16	2	14	2	16	0	486	49	82	6029		

FUENTE: AASANA TARIJA

Tabla N°4.5.

ANALISIS DE CARACTERISTICAS DE AVIONES

	TREN	RUEDAS	SALIDAS	PESO (LB)	COEF.	SALIDAS	CARGA RUEDA	FACTOR PESO	CARGA	SA
00	D	2	240	185800	1	240	46450	0.934	43384	24
00	D	2	1771	135500	1	1771	33875	0.918	31097	99

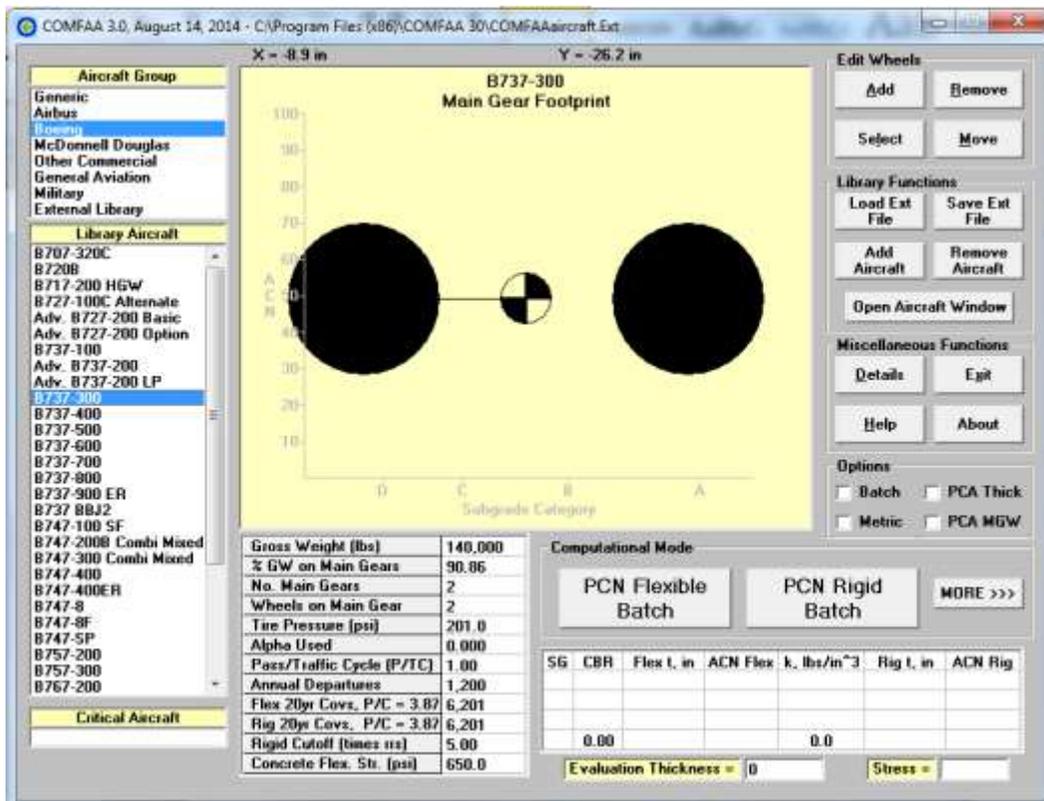
D	DOBLE		LOS COEFICIENTES TOMADOS DEL AC/150/5320								
G	GEMELA		LOS FACTORES DE CARGA PARTE 3 DE LA OACI								
B	BOGUIE		PARA FUSELAJE ANCHO Y BOGUIES SE TOMA CARGA RUEDA DE 35625 LBS								
SL	S. LINEA										
GL	G.LINEA										

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA N° 4.2

CARACTERÍSTICAS DE AVIONES DE DISEÑO

AERONAVE BOEING B-727-200



FUENTE: COMFAL

4.4 DIMENSIONAMIENTO APLICANDO LOS MÉTODOS A CONDICIONES LOCALES

4.4.1 Aplicación Método F.A.A

Ensayos de resistencia del terreno

Índice de penetración californiana. El ensayo CBR es básicamente es básicamente un ensayo de penetración llevado a cabo con un régimen de tensión uniforme.

- e) Los ensayos CBR en laboratorio se lleva a cabo con materiales extraídos del lugar y remoldeados a la densidad que se obtendrá durante la construcción. Las muestras se impregnan durante 4 días para permitir que el material alcance la saturación.
- f) Los ensayos CBR realizados en el campo pueden proporcionar información valiosa sobre los cimientos que se encuentran tendidos hace varios años.
- g) Los ensayos CBR sobre ensayos de grava son difíciles de interpretar. La información que se ofrece en la tabla puede proporcionar una guía útil para seleccionar un valor CBR para el cálculo.
- h) Como regla practica aproximada, debería considerar la realización de 3 ensayos CBR en cada tipo principal de terreno.

- Ensayos con placa de carga

Como el nombre indica, el ensayo con placa de carga mide la capacidad de resistencia del cimiento del pavimento el resultado de este ensayo se expresa como un valor k con las unidades de presión sobre la longitud.

- g) El cálculo de pavimentos rígidos no es demasiado sensible al valor k. un error en el establecimiento del valor k no tendrá ninguna repercusión seria sobre el espesor nominal del pavimento rígido.
- h) Los ensayos con placa de carga son relativamente costosos. Por lo general, solo puede llevarse a cabo 2 o tres ensayos.
- i) Las curvas de cálculo y evaluación de un pavimento rígido que se presentan aquí, se basan en un valor k determinado por su Ensayo con carga de placa estático, utilizando una placa de 30 “ (762 mm) de diámetro.
- j) La determinación del valor k para las capas estabilizadas es un problema dificultoso. Normalmente, hay que estimar el valor k. Se recomienda que el

valor k se estime del modo siguiente. El espesor de la capa estabilizada debería multiplicarse por un factor que vaya desde 1,2 – 1,6, para determinar el espesor equivalente del agregado árido machacado homogéneo. El valor real se encuentra en la gama de 1,2 – 1,6, y debería basarse en la calidad de la capa estabilizada y en el espesor de la losa con relación al espesor de la capa estabilizada

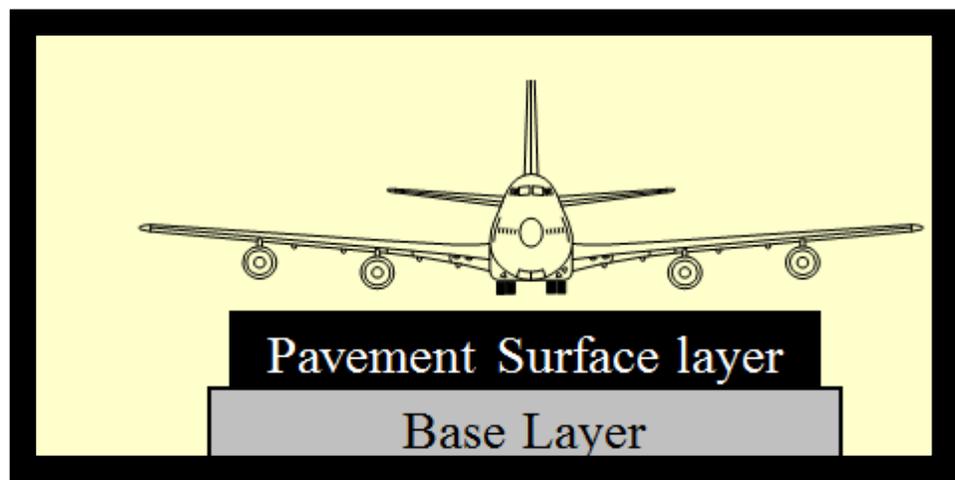
k) Se recomienda no exceder ningún día el valor k de cálculo de $500/\rho_l g^3$ (136 MN/m³). La información que se presenta en la tabla... Ofrece una orientación general en cuanto a los valores k probables para varios tipos de terreno.

- **Tipo y geometría del tren de aterrizaje**

c) El tipo de tren de aterrizaje y su configuración determinan de qué modo se distribuye el peso de la aeronave en el pavimento y establecen la respuesta del pavimento a las cargas producidas por la aeronave.

5) **Aeronave de tren simple.** No requiere una hipótesis especial

FIGURA N° 4.4



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Aeronave de ruedas gemelas. Un estudio del espacio entre las ruedas gemelas para estas aeronaves indicaba que una dimensión de 20 pulg (0,51 m) entre el eje de los neumáticos, parecía razonable para las aeronaves ligeras y una dimensión de 34 pulg

(0,86 m) entre el eje de los neumáticos, parecía razonable para las aeronaves más pesadas

Volumen de tráfico.

Es necesario disponer de pronósticos de salidas anuales por tipo de aeronave, para el diseño de pavimento.

Los volúmenes de tráfico que propone la FAA para el diseño de las pistas son:

Tabla N°4.6.

SALIDAS ANUALES
1.200
3.000
6.000
15.00
25.000

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Determinación de la aeronave de cálculo.

El pronóstico de salidas anuales por tipo de aeronave da por resultado una lista de varias aeronaves diferentes. La aeronave de cálculo debería seleccionarse a base de la que requiera el mayor espesor de pavimento. Debería verificarse cada tipo de aeronave del pronóstico para determinar el espesor de pavimento requerido, utilizando la curva de cálculo apropiada, con el número de pronóstico de salidas anuales para cada aeronave.

Los tipos de aviones a usarse es:

B-727-200 que cuenta con las siguientes características:

Peso bruto= 185.200 Lb

Presión de ruedas= 148 Psi

Salidas anuales = 240

B-737-300 que cuenta con las siguientes características:

Peso bruto= 140.000 Lb

Presión de ruedas= 201 Psi

Salidas anuales = 1771

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

Como el pronóstico de tráfico es una mezcla de diferentes aeronaves que poseen diferentes tipos de trenes de aterrizaje y 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 la aeronave de cálculo. Deberían utilizarse los siguientes factores de conversión para pasar de un tipo a otro.

Tabla N°4.7.

TIPO DE AVION	TREN	RUEDAS	SALIDAS	PESO (LB)
B-727-200	D	2	240	185.800
B-737-300	D	2	1.771	135.500

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

VER TABLA N° 3.15 EN ANEXOS FACTORES DE CONVERSION DE RUEDAS

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

$$\log R1 = \log R2 \times \left(\frac{W2}{W1}\right)^{1/2}$$

Dónde:

R1= salidas anuales equivalentes de la aeronave de cálculo

R2=Salidas anuales expresadas en el tren de aterrizaje de la aeronave de cálculo

W1= carga sobre la rueda de la aeronave de cálculo

W2= carga sobre la rueda de la aeronave en cuestión.

Para este cálculo se supone que al 95 % del peso bruto de la aeronave ha de ser soportado por el tren de aterrizaje principal.

CÁLCULO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

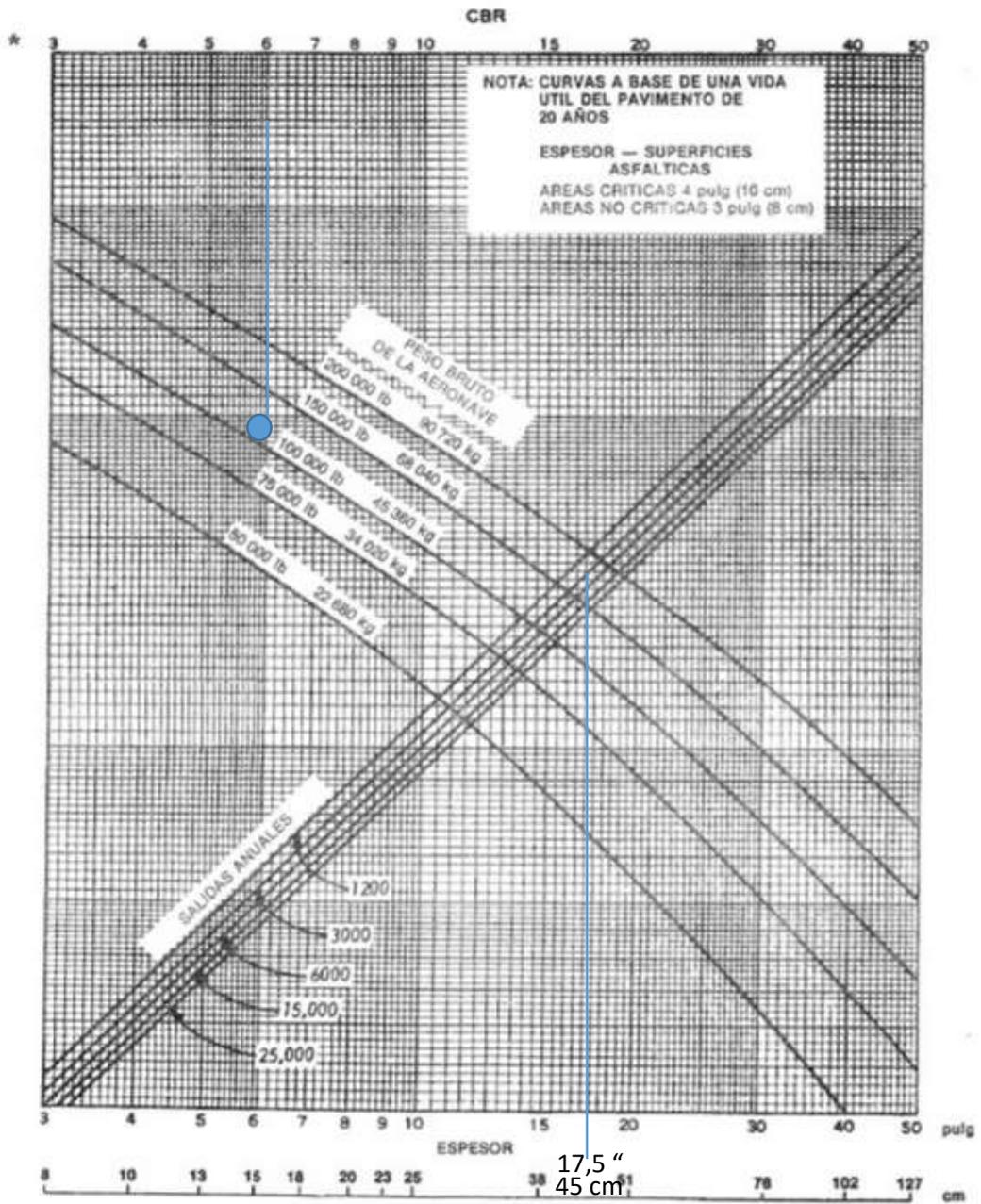
Al ser ya determinados los datos de entrada que requiere este método se procede a la introducción de los mismos a los ábacos sugeridos por el método.

1. Se introduce el valor de CBR que en nuestro caso es 6 %
2. Se procede a cortar con una línea la curva de peso bruto de la aeronave. Que en nuestro caso es 185.000 lb pero al no contar con ese valor exacto se asume la curva superior de 200.000 lb.
3. La curva de peso bruto debe cortar con una línea según el número de salidas anuales que son propuestas por la FAA que en nuestro caso asumiremos de 1200 salidas.
4. Se debe trazar una línea hasta la parte inferior del ábaco donde se obtendrá el valor del espesor del pavimento requerido para pavimento flexible.

B-722

FIGURA N° 37

CURVAS DE CÁLCULO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA AREAS CRÍTICAS TREN DE RUEDAS CEMETAS

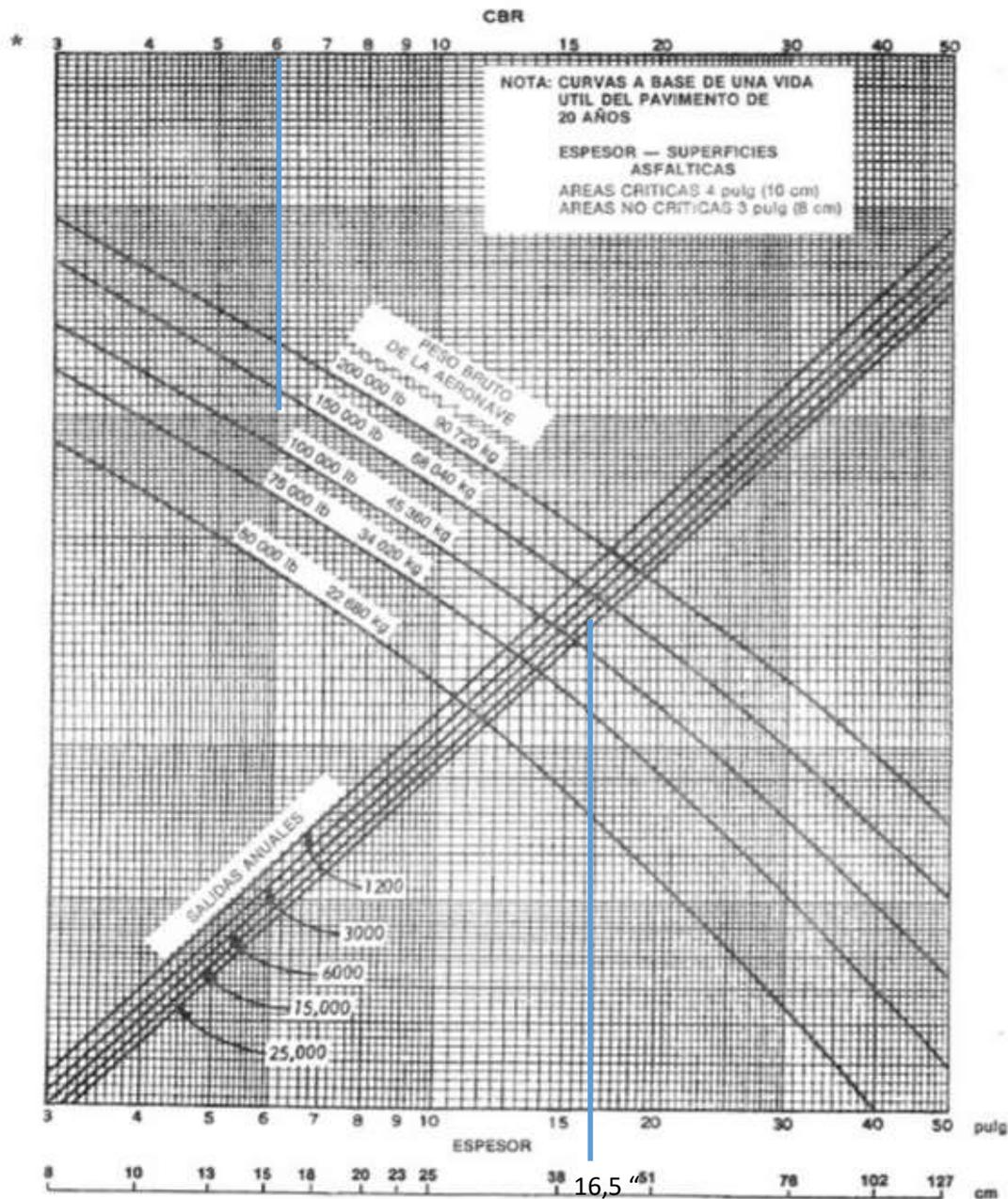


h = 17,5 plg o
45 cm



B-733 FIGURA N° 38

CURVAS DE CÁLCULO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA AREAS CRÍTICAS, TREN DE RUEDAS GEMELAS



h= 16,5 plg o
42 cm



Cálculo de pavimentos rígidos.

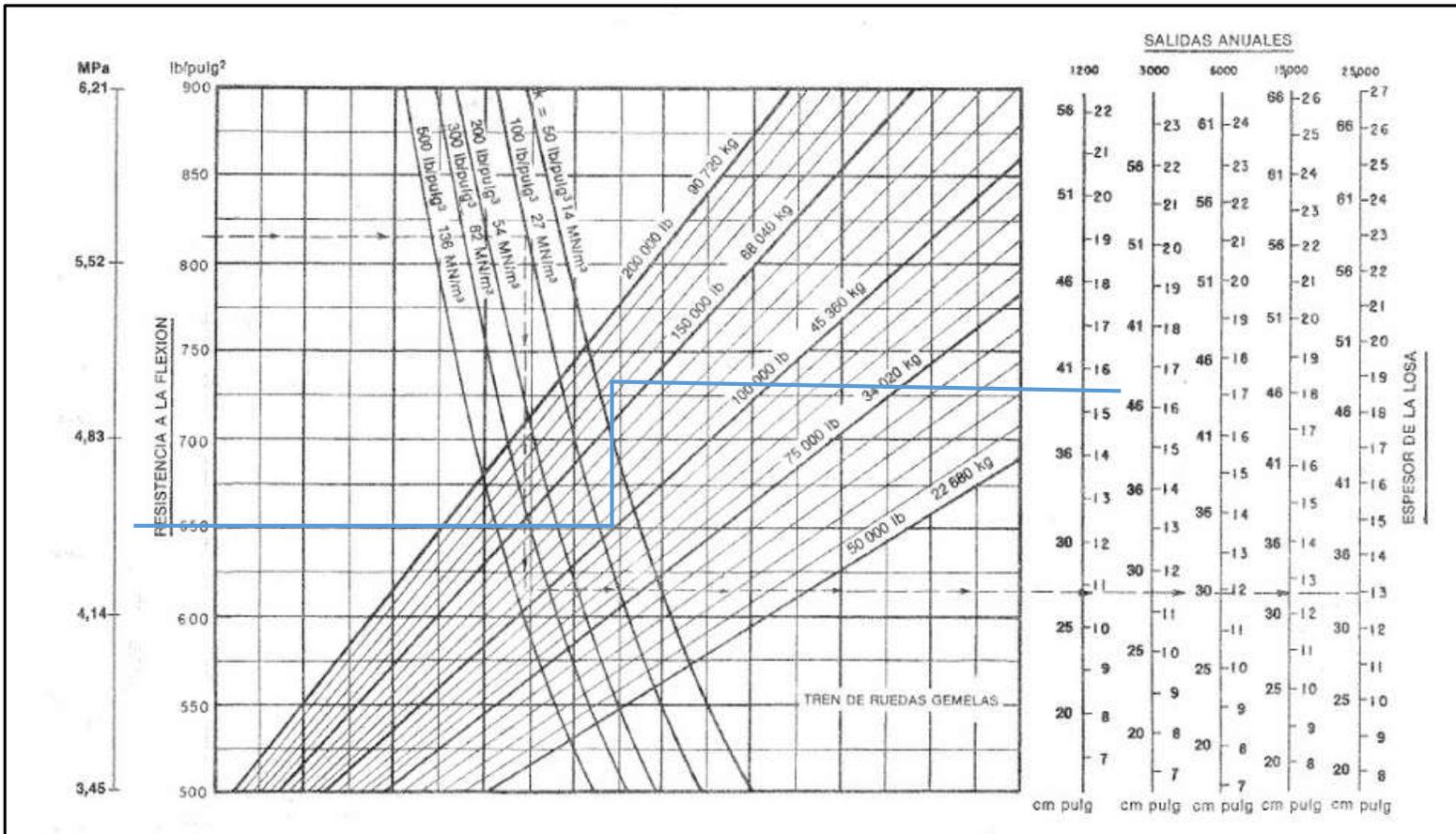
Al ser ya determinados los datos de entrada que requiere este método se procede a la introducción de los mismos a los ábacos sugeridos por el método.

1. Se introduce el valor de la resistencia a la flexión del hormigón que por norma es 650 lb/plg^2 o 4.5 MPa
2. Se procede a cortar con una línea la curva del módulo k que está en lb/plg^3 que realizando la transformación de unidades obtenemos un valor próximo a 200 lb/plg^3 .
3. Se realiza una línea vertical desde el punto de intersección entre la resistencia flexión y el modulo k para así cortar la línea de peso bruto.
4. Se debe trazar una línea hasta la parte derecha del ábaco donde se obtendrá el valor del espesor del pavimento requerido para pavimento rígido.

B-722

FIGURA N° 47

CURVAS DE CÁLCULO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS – TREN DE RUEDAS



GEMELAS

FUENTE: ANEXO 14 OACI

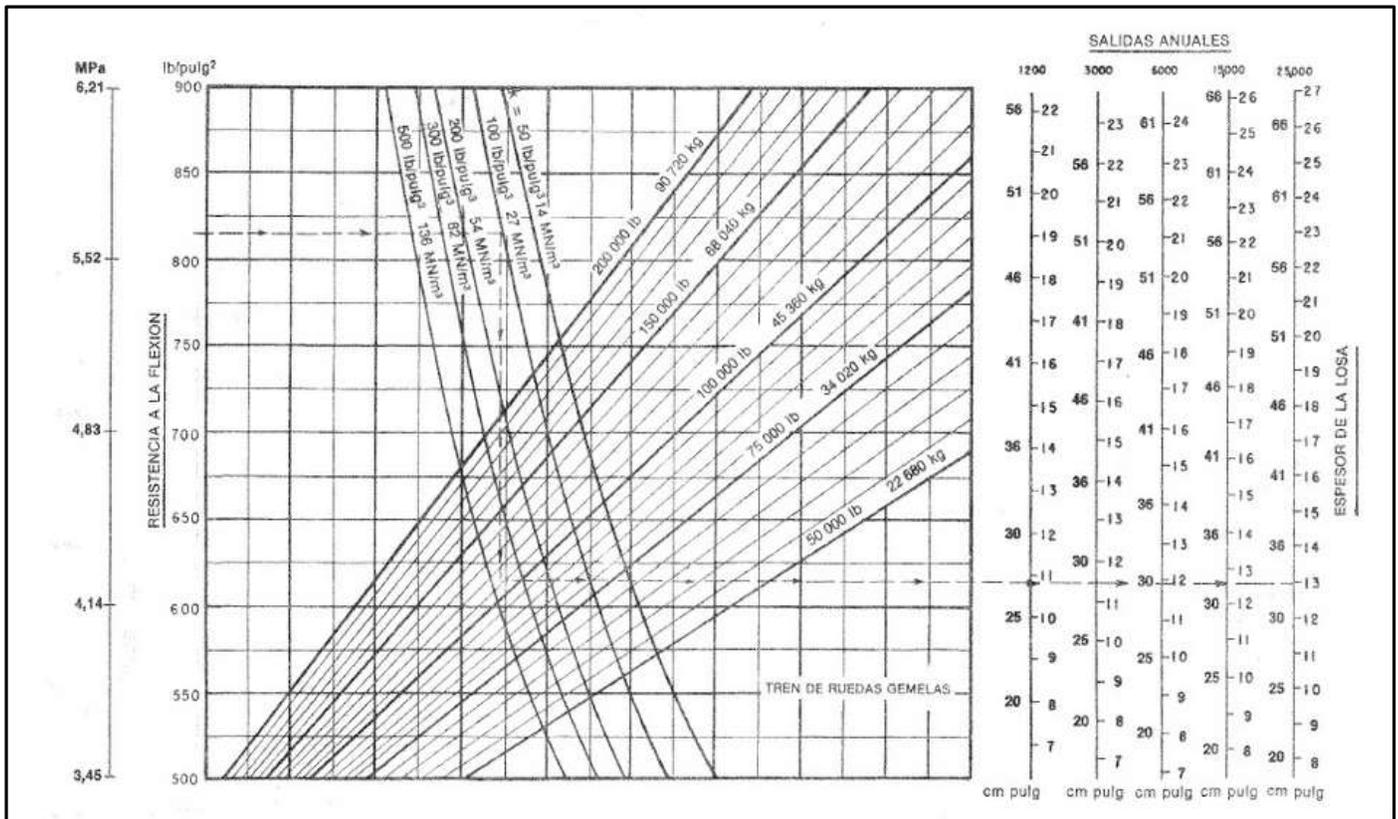
h= 15,5 plg o
40 cm



12,8 "

B-733

CURVAS DE CÁLCULO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS – TREN DE RUEDAS



h= 12,8 plg o
33 cm

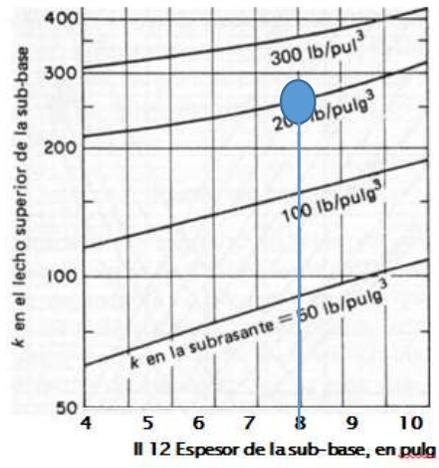


4.4.2 Aplicación Método PCA

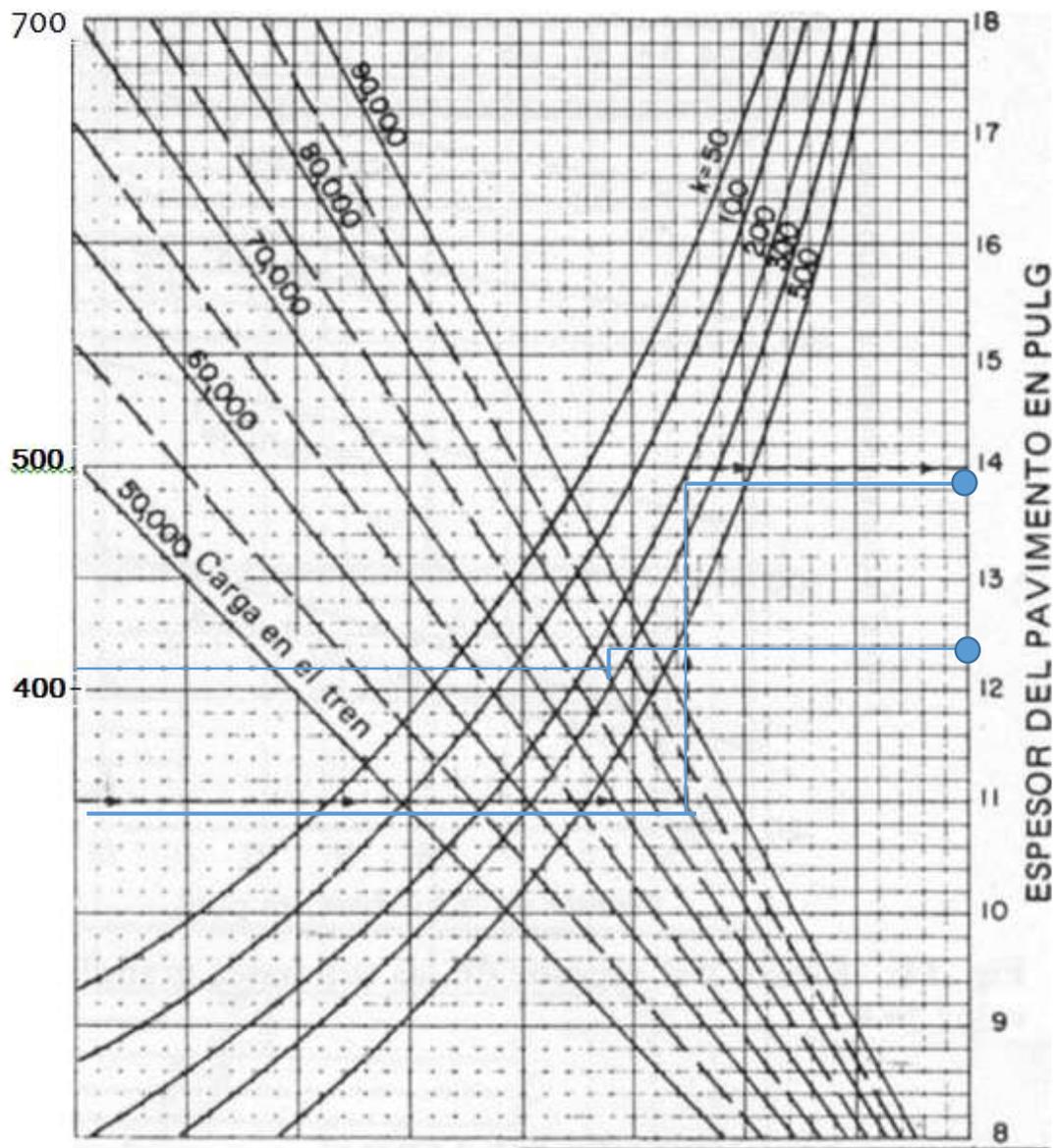
La determinación de los espesores de las losas consta de los siguientes pasos:

1. Se determina el valor de k por medio de pruebas con placas de carga o correlacionando los datos de las pruebas efectuadas en el suelo de la subrasante.
2. Se hace una estimación cuidadosa de las condiciones de operación y de carga presentes y futuras y se elige un coeficiente de seguridad conservador. (cuando se hace una predicción específica del tráfico futuro, puede usarse el procedimiento de la fatiga, que se analiza en el apéndice A)
3. Los esfuerzos de trabajo para un avión específico se determinan dividiendo el módulo de ruptura de concreto por el coeficiente de seguridad elegido.
4. Con la gráfica para diseño del avión específico, determínese el espesor del pavimento para el esfuerzo de trabajo determinado en el paso 3. Procédase horizontalmente del esfuerzo a la carga en el tren de aterrizaje, verticalmente al valor de k , luego horizontalmente al espesor.
5. Repítase el proceso para otras cargas críticas, eligiendo de nuevo, factores de seguridad adecuados a la categoría de operaciones previstas para estos aviones, y elijase un espesor de diseño para la condición más crítica.

Fig. 11. Efecto del espesor de las sub-bases granular en el valor de k .



B-722



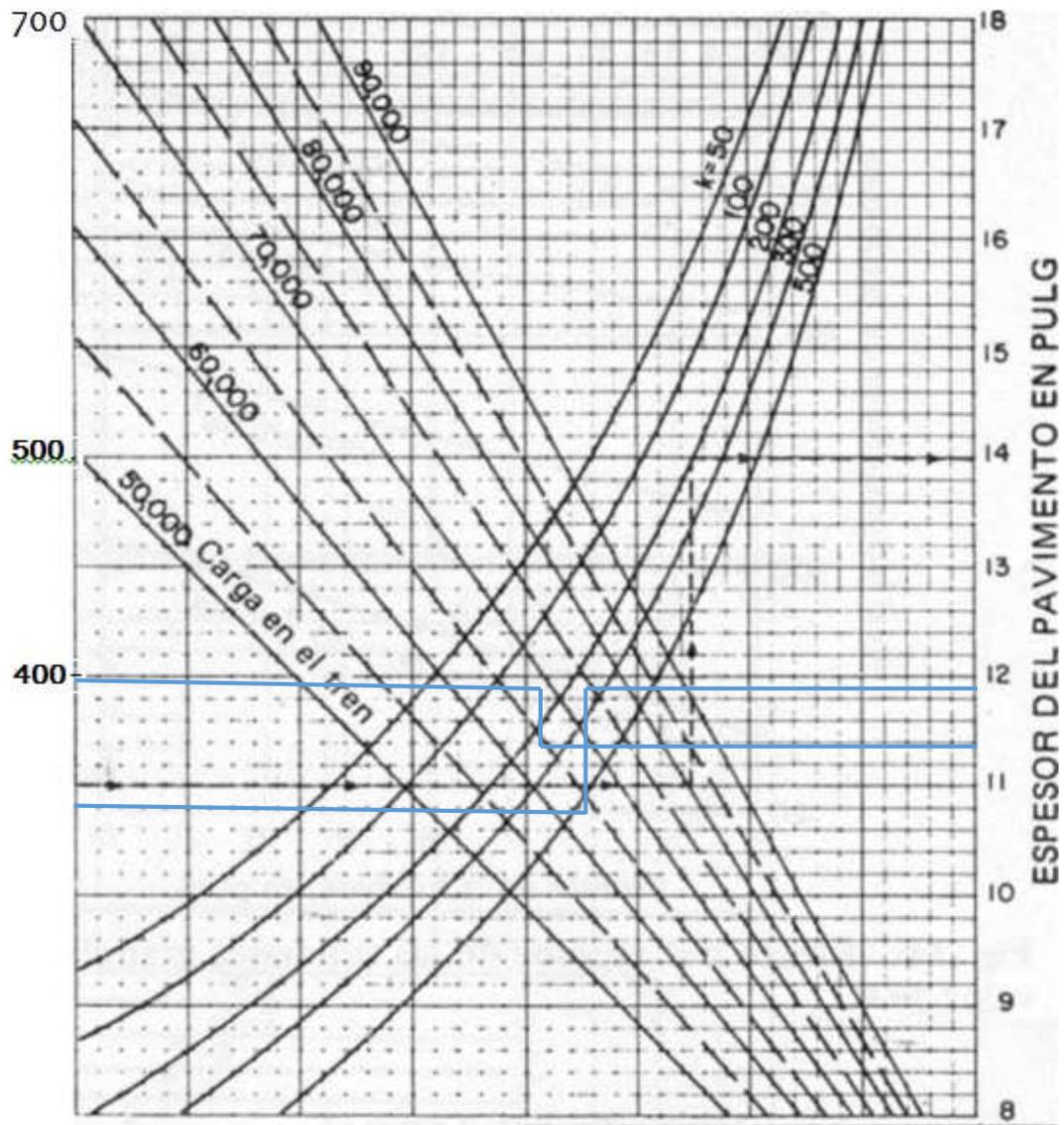
Area de contacto por neumático = 237 pulg²

BOEING 727 Gráfica de diseño especial para pavimentos de aeropuertos (Basada en el programa de computadora PDILB) Tren de aterrizaje de ruedas dobles

h= 14 plg y 12.5 plg



B-733



Area de contacto
por neumático =
237 pulg²

BOEING 727 Gráfica de diseño
especial para pavimentos de
aeropuertos (Basada en el programa
de computadora PDILB) Tren de aterrizaje
de ruedas dobles

h= 12 plg y
11.5 pg



Tabla N° 4.7

RESULTADOS MÉTODO PCA

Operaciones	Carga de tren de aterrizaje en 1 h	Pavimento para:					
		Zonas laterales de pistas de rodaje			Porción central de la pista		
		Coefficiente de seguridad	Fuerzo de trabajo en lb/pulg ²	Coefficiente de desigualdad	Fuerzo de trabajo (MR/C)	Fuerzo de trabajo en Plg.	
727	1000	0.5	1000	1	1000	1000	
733	1000	0.5	1000	1	1000	1000	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

4.4.3 Aplicación Método Canadá

Pavimento Flexible

Requisitos de espesor de los pavimentos flexibles

Las etapas que se siguen para determinar los requisitos de espesor de los pavimentos asfálticos son las siguientes:

- f) Determinar la carga cálculo (ALR) para el pavimento, a base de los estudios y proyecciones del tráfico.
- g) Determinación de la resistencia del terreno de fundación.
- h) Determinación del requisito de espesor granular equivalente del pavimento, a base de la figura 3.4, para obtener el coeficiente de cálculo.
- i) Determinación del espesor del pavimento requerido para la protección parcial de la helada.
- j) El espesor del pavimento será como se determine en c) o en d), el que sea mayor. Al efectuar la comparación el espesor granular equivalente determinado en c), debe convertirse al espesor real del pavimento.

$$S = (ESWL)(c_1^{10-c_2t})$$

S= resistencia del terreno de fundación (en kN)

ESWL= Carga de Rueda Simple (en kN)

t= espesor granular equivalente

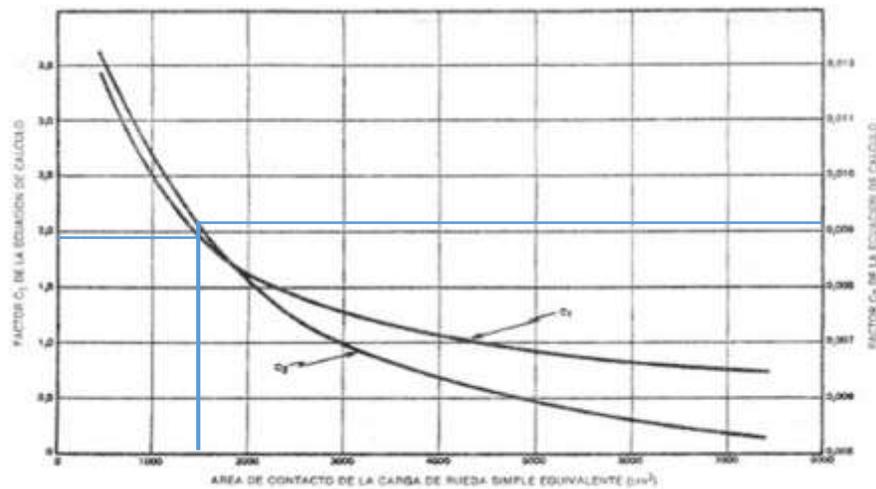
c₁, c₂= Factores del área de contacto de la ESWL.

ESWL= 40 000 kg = 392.4 kN

A neumático B – 722 = 237 pulg² = 1529.02 cm²

FIGURA N° 11

FACTORES DE LA ECUACIÓN DE CÁLCULO C₁ Y C₂



c₁=1,9

c₂=0,009

FUENTE: ANEXO 14 OACI

TABLA N° 3.6
FACTORES DE EQUIVALENCIA GRANULAR

Material del pavimento	Factor de equivalencia granular
Cimiento granular seleccionado	1
Grava machacada o firme de piedra	1
Firme de Macadam ligado con agua	1-1/2
Firme estabilizado asfaltico	1-1/2
Firme estabilizado de cemento	2
Hormigón asfaltico (en buen estado)	2
Hormigón asfaltico (en mal estado)	1-1/2
Hormigón de cemento Portland (en buen estado)	3
Hormigón de cemento Portland (en estado aceptable)	2-1/2
Hormigón de cemento Portland (en mal estado)	2

t B-722= 1

FUENTE: ANEXO 14 OACI

$$S = (392.4)(1.9^{10-0.009*(1)}) = 239197,27$$

A) TABLA N° 3.1

COEFICIENTES DE CARGA DE LAS AERONAVES

AERONAVE	PRESIÓN DEL NEUMÁTICO (MPa)	PESO (KN) (MAX) (MIN)	NOMINAL	COEFICIENTES DE CARGA DE LAS AERONAVES (ALR)							
				PAVIMENTO FLEXIBLE AL VALOR S (KN)				PAVIMENTO RÍGIDO AL VALOR k DE (MPa/m)			
				50	90	130	180	20	40	80	150
B707-320	1,24	1500800	10,77,6	10,7	10,7	10,5	10,4	10,5	10,3	10,2	10,1
B727-100-200	1,36	930500	11,18,7	10,3	10,7	10,9	11,1	10,5	10,8	11,1	11,3
B737-100-200	1,02	450300	8,06,5	7,5	7,6	7,6	7,7	10,5	10,6	11,6	11,6
B747-100-200	1,40	36002000	11,18,4	11,8	10,7	10,8	10,8	11,8	10,8	10,8	10,8
B767-200	1,20	1400800	9,87,8	9,6	9,7	9,6	9,6	9,7	9,7	9,6	9,8
DC 68	0,72	470300	7,96,1	7,9	7,5	7,5	--	7,6	7,6	7,6	7,6

DC-8-62-63	1,35	1600 800	11,2 7,9	11 ,0 7, 5	11 ,0 7, 6	11 ,1 7, 7	11 ,2 7, 7	10 ,9 7, 9	10 ,9 7, 9	10 ,9 7, 7	10 ,9 7, 5
DC-9-21-32	1,00	485 300	8,7 6,8	8, 1 6, 0	8, 1 6, 1	8, 2 6, 1	8, 2 6, 1	8, 3 6, 7	8, 4 6, 7	8, 6 6, 7	8, 7 6, 8
DC-10-20-30-40	1,21	1970 1200	11,0 7,8	11 ,0 7, 0	10 ,9 6, 6	10 ,8 6, 3	10 ,7 6, 0	11 ,0 7, 8	11 ,0 7, 7	10 ,8 7, 5	10 ,8 7, 2
A300-82-84	1,25	1480 1000	10,5 8,6	10 ,5 8, 5	10 ,5 8, 6	10 ,4 8, 2	10 ,2 8, 0	10 ,3 8, 6	10 ,3 8, 5	10 ,2 8, 2	10 ,2 8, 0
L1011-100-200	1,25	2080 1400	11,1 7,8	11 ,1 7, 0	11 ,0 6, 6	10 ,9 6, 3	10 ,5 6, 0	10 ,8 7, 8	10 ,5 7, 7	10 ,5 7, 5	10 ,5 7, 2
CONCO RDE	1,27	1750 1000	11,8 9,0	11 ,4 9, 0	11 ,6 8, 9	11 ,7 8, 7	11 ,8 8, 5	11 ,3 9, 0	11 ,3 9, 0	11 ,4 8, 7	11 ,4 8, 4
HERCULES C-130	0,69	689 400	8,7 6,7	8, 3 6, 0	8, 0 6, 0	8, 0 6, 0	8, 0 --- ---	8, 6 6, 5	8, 6 6, 7	8, 7 6, 6	8, 7 6, 6
BAC-1-11-400	0,97	390 250	8,5 6,2	7, 4 5, 5	7, 5 5, 9	7, 4 5, 8	--- --- ---	8, 0 6, 0	8, 1 6, 2	8, 3 6, 2	8, 5 6, 2

CONVA	0,52	280	6,0	5,	5,	---	---	5,	6,	5,	5,
IR 640		200	5,0	8	0	---	---	9	0	8	6
				4,	4,			5,	5,	5,	4,
				3	0			2	0	0	9

Para determinar los coeficientes de carga de las aeronaves de pesos intermedios, efectúese una interpolación lineal entre los valores ALR correspondientes a los pesos mínimo y máximo.

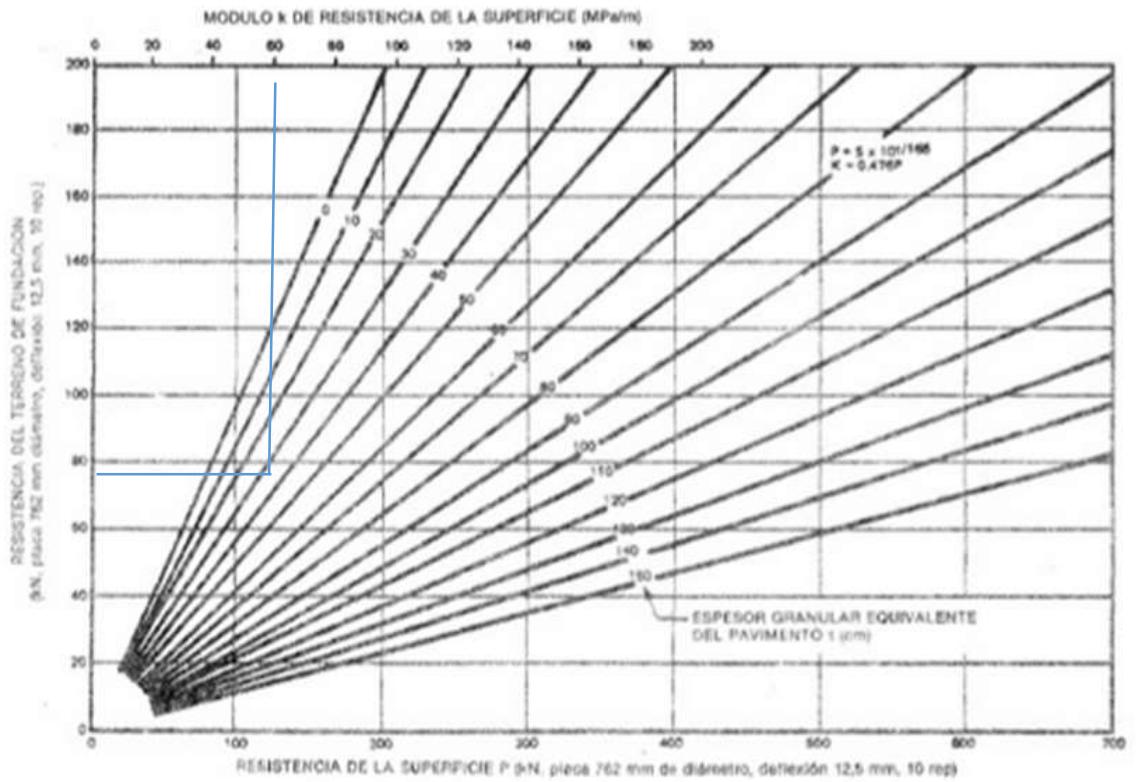
Para determinar los coeficientes de carga de las aeronaves en la resistencia del terreno de fundación (S) o el módulo de resistencia (k) que no sean valores de la tabla, interpólese entre los valores ALR que se indican.

FUENTE: ANEXO 14 OACI

B) Determinación de la resistencia del terreno de fundación.

FIGURA N° 12

**RESISTENCIA DE LA SUPERFICIE Y MÓDULO DE RESISTENCIA COMO
FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA DEL TERRENO DE FUNDACIÓN Y
ESPESOR GRANULAR EQUIVALENTE DEL PAVIMENTO**

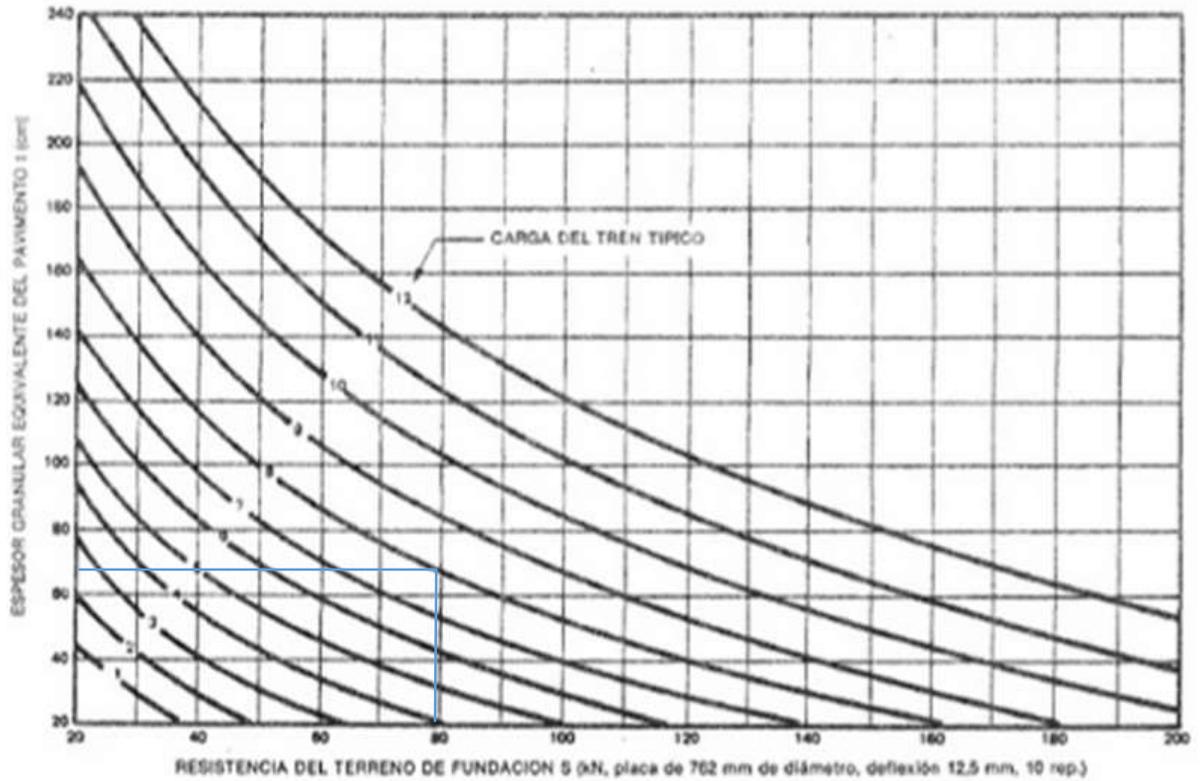


FUENTE: ANEXO 14 OACI

$S = 80 \text{ Kn}$

C)
FIGURA N° 13

CURVAS DE CÁLCULO DE PAVIMENTO FLEXIBLE PARA CARGAS DE TREN TIPO



FUENTE: ANEXO 14 OACI

Espesor de pavimento= 70 cm

h= 70 cm



Pavimento Rígido.

Requisitos del espesor de los pavimentos rígidos

Los pasos que se siguen para determinar el espesor de los pavimentos rígidos son los siguientes:

- h) Determinación de la carga de cálculo (ALR) para el pavimento, a base de los estudios y proyecciones del tráfico.
- i) Determinación del espesor total del pavimento requerido para la determinación parcial de la helada
- j) Estimación del espesor de la losa de hormigón que se ha de requerir.
- k) Determinación del espesor del firme requerido, mediante sustracción del espesor de la losa a partir del espesor total del pavimento, determinado en b)
- l) Determinación de los módulos de resistencia en la superficie de la capa de firme.
- m) Determinación del espesor de la losa del pavimento de hormigón, requerido para el módulo de resistencia figura 3.5
- n) Utilizando el espesor de la losa, determinado en f), como una nueva estimación de los requisitos, repítase los pasos c) a f) hasta que el espesor de la losa determinado por f) sea igual al supuesto en c)

El espesor mínimo de capa de firme es de 15 cm, aunque si no se lo requiere para la protección de la helada. En el caso de los pavimentos calculados para un coeficiente de carga 12, la capa mínima de firme normalmente tendrá 20 cm de material estabilizado de cemento. Estos espesores mínimos se colocan sobre el material de cimiento granular seleccionado, cuando se requieran capas de firme de mayor espesor para fines de protección de la helada.

A) TABLA N° 3.1

COEFICIENTES DE CARGA DE LAS AERONAVES

AERONAV E	PRESIÓN DEL	PESO (KN)	NOMINA L	COEFICIENTES DE CARGA DE LAS AERONAVES (ALR)
----------------------	------------------------	----------------------	---------------------	---

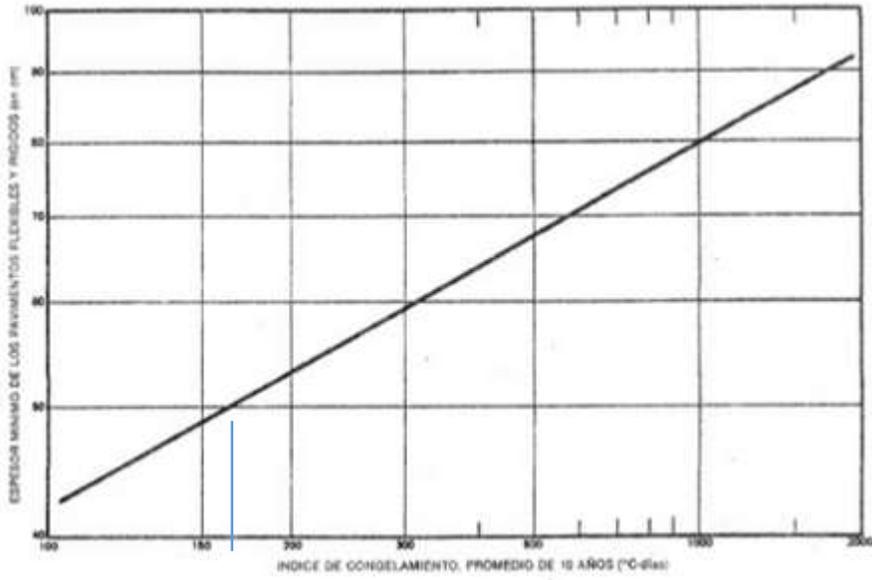
	NEUMATIC O (MPa)	(MAX) (MIN)		PAVIMENTO FLEXIBLE AL VALOR S (KN)				PAVIMENTO RÍGIDO AL VALOR k DE (MPa/m)			
				50	90	130	180	20	40	80	150
B707-320	1,24	1500 800	10,7 7,6	10, 7 7,3	10, 7 7,2	10, 5 7,2	10, 4 7,2	10, 5 7,6	10, 3 7,6	10, 2 7,2	10, 1 7,1
B727-100- 200	1,36	930 500	11,1 8,7	10, 3 7,0	10, 7 7,2	10, 9 7,5	11, 1 7,8	10, 5 8,3	10, 8 8,4	11, 1 8,4	11, 3 8,7
B737-100- 200	1,02	450 300	8,0 6,5	7,5 5,8	7,5 6,0	7,5 6,4	7,5 --	10, 5 6,2	10, 8 6,4	11, 1 6,4	11, 3 6,5
B747-100- 200	1,40	3600 2000	11,1 8,4	11, 1 8,0	10, 9 7,9	10, 9 8,0	10, 5 8,0	11, 0 8,4	10, 9 8,3	10, 8 8,0	10, 8 8,0
B767-200	1,20	1400 800	9,8 7,8	9,8 6,9	9,4 7,0	9,2 6,9	9,2 6,9	9,7 7,3	9,8 7,1	9,3 6,9	9,0 8,5
DC 68	0,72	470 300	7,9 6,1	7,9 5,6	7,6 5,6	7,2 5,8	-- --	7,9 6,0	7,9 6,1	7,9 6,1	7,9 6,1
DC-8-62-63	1,35	1600 800	11,2 7,9	11, 0 7,5	11, 0 7,6	11, 1 7,7	11, 2 7,7	10, 9 7,9	10, 9 7,9	10, 9 7,7	10, 9 7,5
DC-9-21-32	1,00	485 300	8,7 6,8	8,1 6,0	8,1 6,1	8,2 6,1	8,2 6,1	8,3 6,7	8,4 6,7	8,6 6,7	8,7 6,8
DC-10-20- 30-40	1,21	1970 1200	11,0 7,8	11, 0 7,0	10, 9 6,6	10, 8 6,3	10, 7 6,0	11, 0 7,8	11, 0 7,7	10, 8 7,5	10, 8 7,2
A300-82-84	1,25	1480 1000	10,5 8,6	10, 5 8,5	10, 5 8,6	10, 4 8,2	10, 2 8,0	10, 3 8,6	10, 3 8,5	10, 2 8,2	10, 2 8,0

L1011-100-200	1,25	2080 1400	11,1 7,8	11, 1 7,0	11, 0 6,6	10, 9 6,3	10, 5 6,0	10, 8 7,8	10, 5 7,7	10, 5 7,5	10, 5 7,2
CONCORDE	1,27	1750 1000	11,8 9,0	11, 4 9,0	11, 6 8,9	11, 7 8,7	11, 8 8,5	11, 3 9,0	11, 3 9,0	11, 4 8,7	11, 4 8,4
HERCULES C-130	0,69	689 400	8,7 6,7	8,3 6,0	8,0 6,0	8,0 6,0	8,0 ---	8,6 6,5	8,6 6,7	8,7 6,6	8,7 6,6
BAC-1-11-400	0,97	390 250	8,5 6,2	7,4 5,5	7,5 5,9	7,4 5,8	--- ---	8,0 6,0	8,1 6,2	8,3 6,2	8,5 6,2
CONVAIR 640	0,52	280 200	6,0 5,0	5,8 4,3	5,0 4,0	--- ---	--- ---	5,9 5,2	6,0 5,0	5,8 5,0	5,6 4,9
<p>Para determinar los coeficientes de carga de las aeronaves de pesos intermedios, efectúese una interpolación lineal entre los valores ALR correspondientes a los pesos mínimo y máximo.</p> <p>Para determinar los coeficientes de carga de las aeronaves en la resistencia del terreno de fundación (S) o el módulo de resistencia (k) que no sean valores de la tabla, interpólese entre los valores ALR que se indican.</p>											

FUENTE: ANEXO 14 OACI

d) FIGURA N° 9

REQUISITOS PARCIALES DE PROTECCIÓN DE LA HELADA

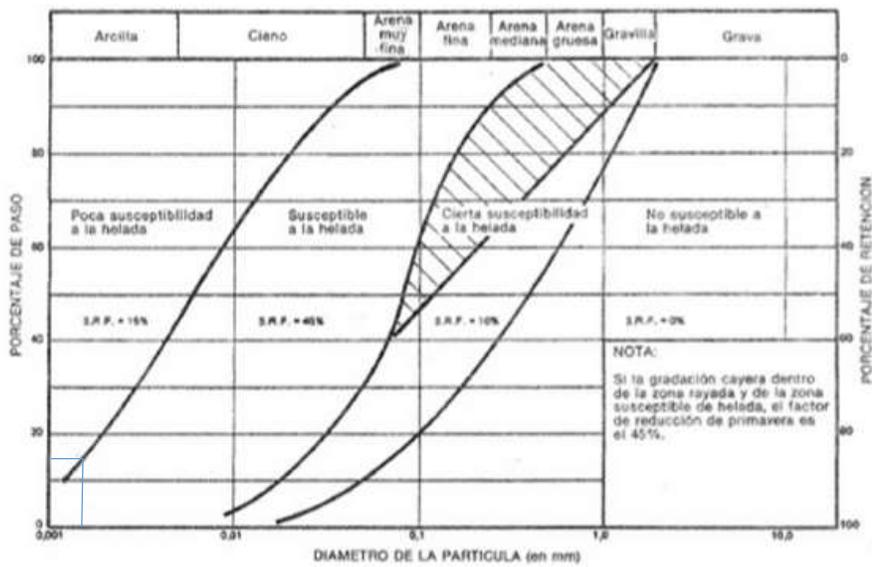


FUENTE: ANEXO 14 OACI

T = 50 cm

FIGURA N° 10

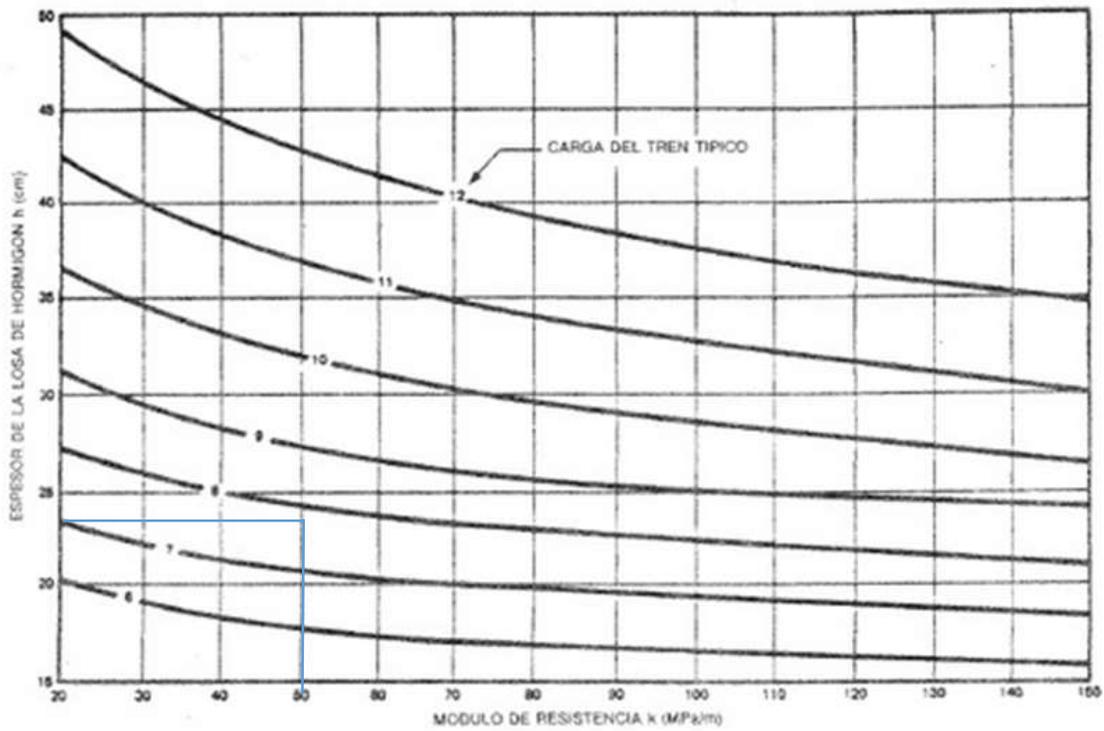
SUSCEPTIBILIDAD DEL TERRENO DE FUNDACIÓN A LA HELADA Y FACTOR DE REDUCCIÓN DE PRIMAVERA (SRF)



FUENTE: ANEXO 14 OACI

e) Estimación del espesor de la losa de hormigón que se ha de requerir.

FIGURA N° 14
CURVAS DE CÁLCULO DE PAVIMENTO RÍGIDO PARA CARGAS DE
TREN TIPICO



FUENTE: ANEXO 14 OACI

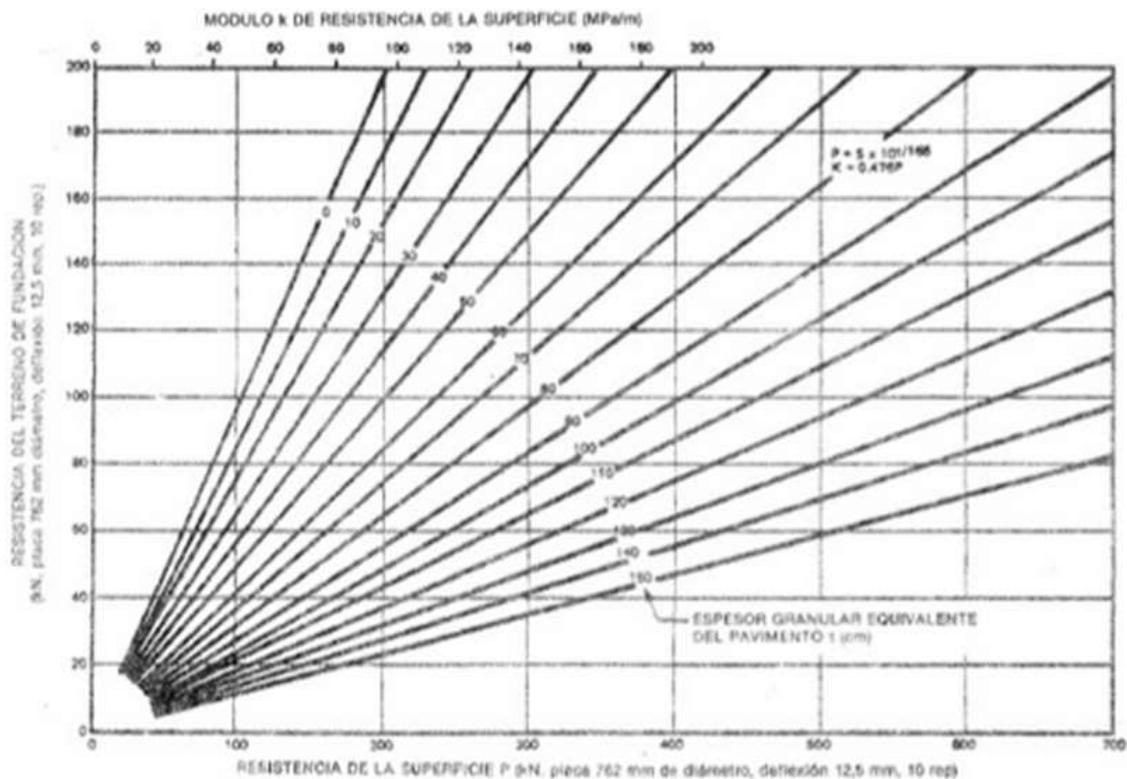
$$T = 24 \text{ cm}$$

f) Determinación del espesor del firme requerido, mediante sustracción del espesor de la losa a partir del espesor total del pavimento, determinado en b)

$$T = 50 - 24 = 26 \text{ cm}$$

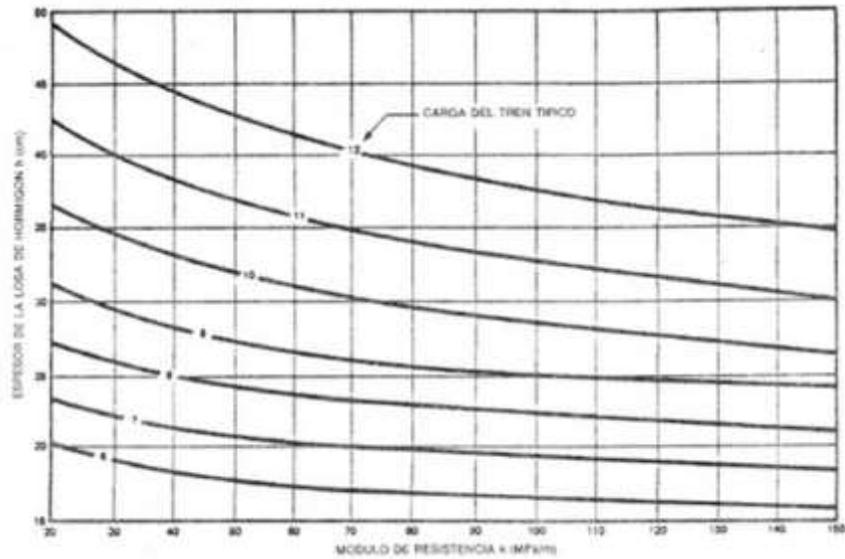
FIGURA N° 12
RESISTENCIA DE LA SUPERFICIE Y MÓDULO DE RESISTENCIA
COMO FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA DEL TERRENO DE

FUNDACIÓN Y ESPESOR GRANULAR EQUIVALENTE DEL PAVIMENTO



FUENTE: ANEXO 14 OACI

g) FIGURA N° 14
CURVAS DE CÁLCULO DE PAVIMENTO RÍGIDO PARA CARGAS DE TREN TÍPICO



FUENTE: ANEXO 14 OACI

g) Utilizando el espesor de la losa, determinado en f), como una nueva estimación de los requisitos, repítase los pasos c) a f) hasta que el espesor de la losa determinado por f) sea igual al supuesto en c)

$$t = 50 \text{ cm}$$



4.4.4 Aplicación Método Francia.

Determinación del espesor del pavimento

Datos necesarios

4. Carga normal de cálculo P''
5. CBR del terreno natural (pavimentos flexibles)
6. Módulo de reacción k del terreno de fundación y tensión admisible de flexión del hormigón (pavimentos rígidos).

$$P'' B - 722 = \frac{P}{C} = \frac{40}{1.1} = 34.78$$

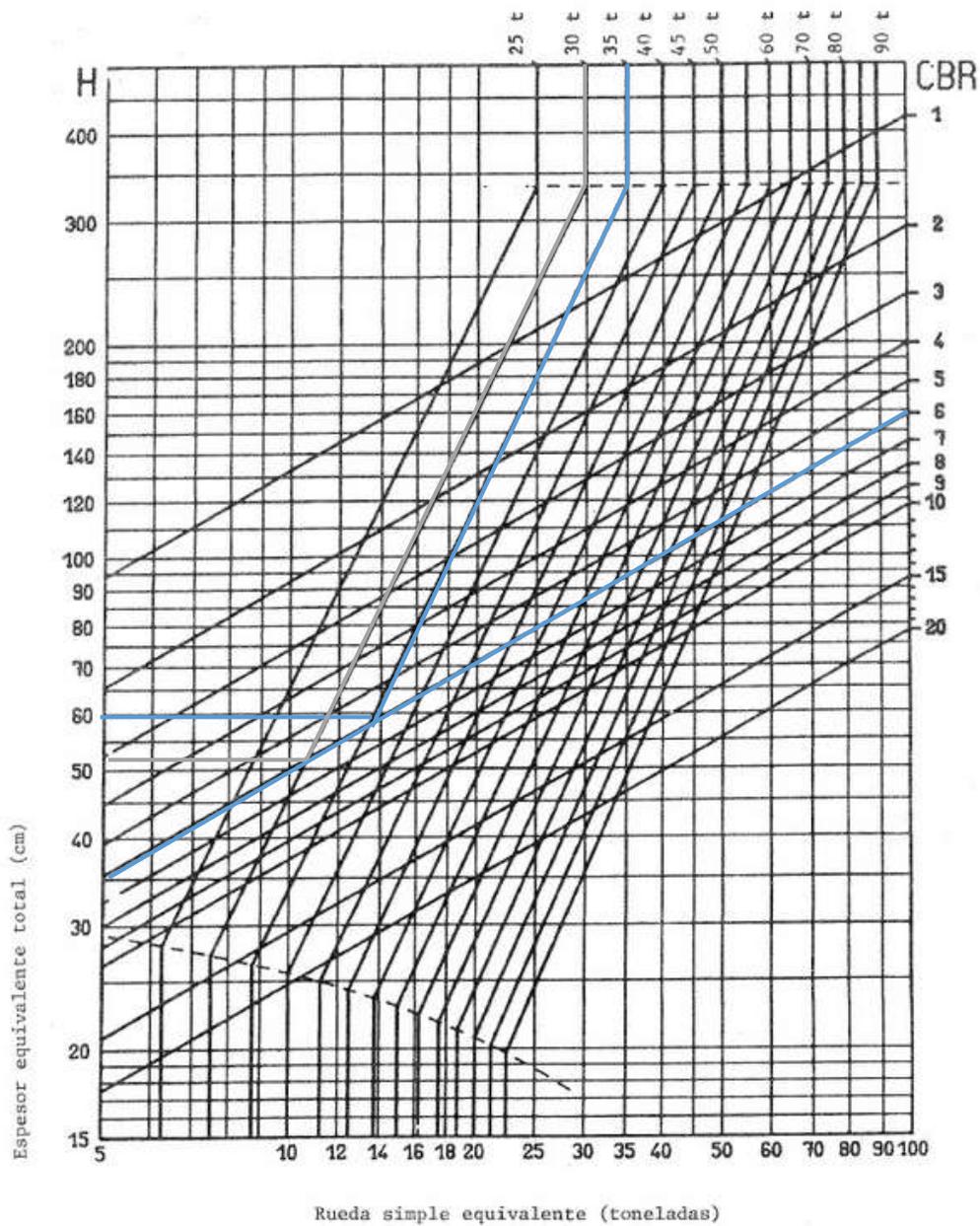
$$P'' B - 733 = \frac{P}{C} = \frac{35}{1.1} = 30.23$$

$$C = 1.2 - \log n = 1.15$$

$$n = 8$$

FIGURA Nº 18

PAVIMENTO FLEXIBLE – PATA DE TREN DE ATERRIZAJE TÍPICO – BOGIE DE CUATRO RUEDAS



FUENTE: ANEXO 14 OACI

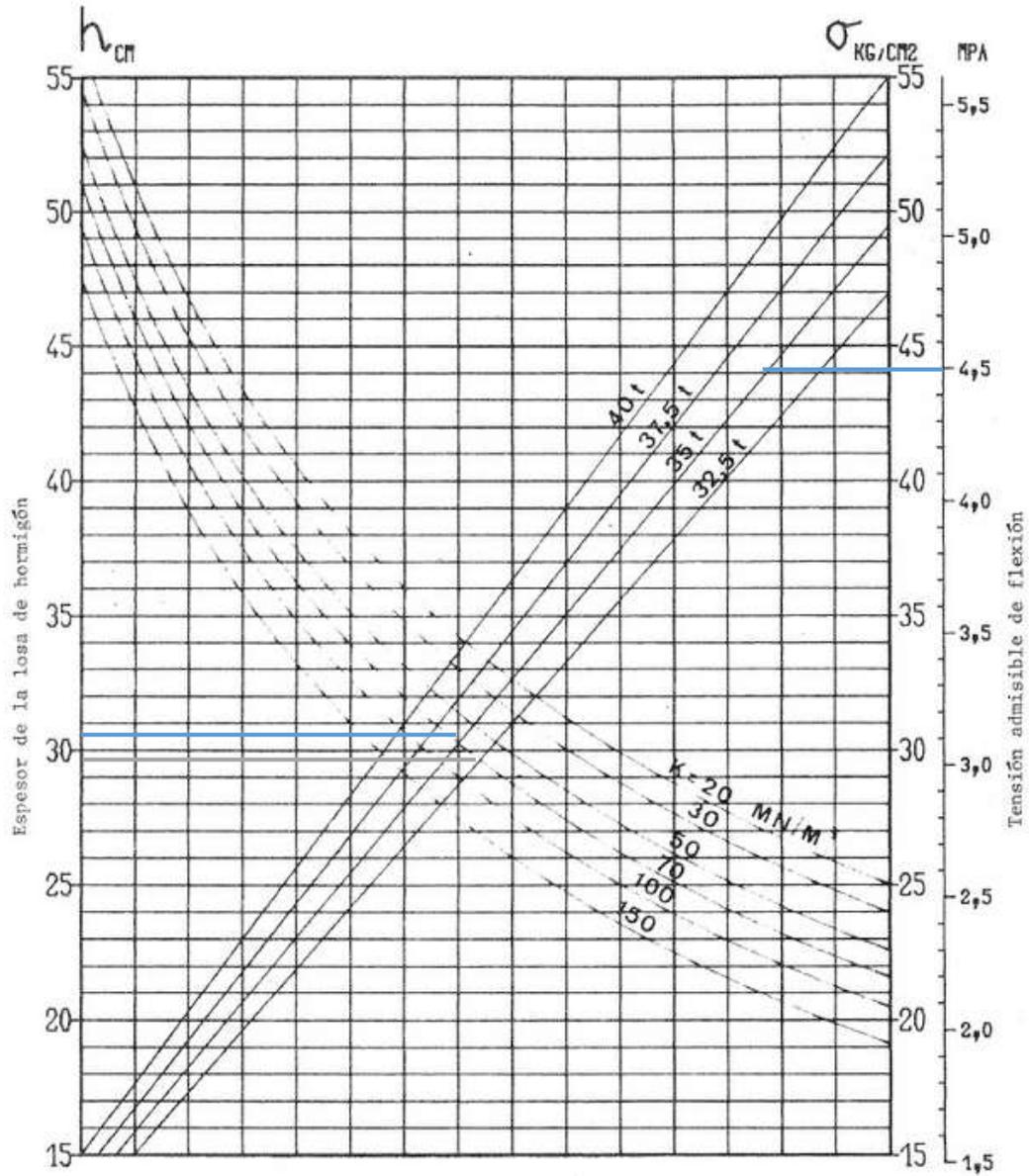
B-722 h= 60 cm



B-733 h= 52 cm



FIGURA N° 26
PAVIMENTO RÍGIDO- PATA DE TREN DE ATERRIZAJE TÍPICO -
RUEDAS GEMELAS CARGAS SUPERIORES DE 30 A 55 t





4.4.5 Aplicación Método Reino Unido.

La práctica del Reino Unido consiste en seguir el método de notificación ACN-PCN, para los pavimentos de las aeronaves. La aeronave crítica se identifica como aquella que impone una severidad de carga próxima a la máxima permitida en un pavimento.

4.4.6 Resultados

MÉTODO	ESPEJOR PULGADAS	ESPEJOR CENTIMETROS
MÉTODO DE LA FAA		
B-722		
PAVIMENTO FLEXIBLE	17,5"	45
PAVIMENTO RÍGIDO	15,5"	40
B-733		
PAVIMENTO FLEXIBLE	16.5"	42
PAVIMENTO RÍGIDO	12.8"	33
MÉTODO PCA		
B-722		
PAVIMENTO RÍGIDO AREA CENTRAL	14	36
PAVIMENTO RÍGIDO COSTADOS	12,5	32
B-733		
PAVIMENTO RÍGIDO AREA CENTRAL	12	31
PAVIMENTO RÍGIDO COSTADOS	11.5	30
MÉTODO DE FRANCIA		

B-722		
PAVIMENTO FLEXIBLE	24	60
PAVIMENTO RÍGIDO	12.4	31
B-733		
PAVIMENTO FLEXIBLE	20.8	52
PAVIMENTO RÍGIDO	12	30
MÉTODO DE CANADA		
PAVIMENTO FLEXIBLE	28	70
PAVIMENTO RÍGIDO	20	50

4.4.7 Análisis de Resultados.

Los resultados obtenidos por los diferentes métodos nos muestran que:

- a) Análisis según datos de entrada.

Método FAA.

Pavimento flexible.

1. CBR
2. Salidas anuales
3. Peso Bruto de la Aeronave.

El CBR es un dato que en nuestro medio es fácil de obtener y con un grado de fiabilidad aceptable.

Las salidas es un dato en el cual ya existen parámetros de diseño los cuales se deben mejorar al próximo según los ábacos y requisito que plantean la OACI, además acotar que el flujo que proporciona el aeropuerto solo tienen hasta el año 2012 lo cual es un problema más ya que el dato no es el exacto.

Peso Bruto de la Aeronave este dato se puede encontrar en diferentes bibliografías con distinto valor próximo pero no exactamente igual lo cual nos indicaría que es un parámetro aceptable.

Pavimento Rígido.

1. Valor de k en lb/plg³
2. Resistencia a la flexión lb / pulg²
3. Peso bruto en lb o kg

La determinación del valor k no es determinable en laboratorios en nuestro medio, no se cuenta con los instrumentos necesarios para la obtención de este valor, pero existen ábacos los cuales nos permiten encontrar un valor según los valores que se obtengan del ábaco que no distarían mucho de la realidad y además en la teoría de las diferentes normas proporcionadas por los países que presentan sus normas a la OACI nos dice que aunque siendo un requisito indispensable el valor de k, su variación no afecta de sobre manera al dimensionamiento del pavimento.

Resistencia a la flexión del hormigón está dado por requerimientos de cada diseñista, el cual este método sugiere el valor de 650 lb/pulg².

El peso bruto está dado por tablas y programas que nos proporciona la FAA.

Método PCA.

Pavimento Rígido.

1. Valor de k
2. Tráfico
3. Esfuerzos de trabajo
4. Carga del tren de aterrizaje.
5. Coeficientes de seguridad

Valor de k obtenido a partir de ábacos según el CBR que se obtuvo en laboratorio.

No requiere tráfico los ábacos.

Esfuerzo de trabajo sugieren trabajar con 2 valores 350 lb/pulg² y 700 lb/pulg² según el sector en finales de pistas o parte central.

Carga de tren de aterrizaje valor obtenido por tablas proporcionados por la OACI

Coefficientes de seguridad dados por el tipo de uso de las pistas.

Método de Canadá

Pavimento Flexible

1. Carga de rueda simple en kN
2. Espesor granular (t) equivalente.
3. Factores del área de contacto.
4. Terreno de fundación
5. Espesor de protección contra heladas (índice de congelamiento).
6. Valor de K

La carga de rueda simple es obtenida según el peso bruto de las aeronaves que nos dan las tablas de la OACI.

Espesor granular equivalente factor asumido según el tipo del material del pavimento.

Factores del área de contacto son obtenidos según el área de contacto de cada rueda de cada aeronave valor que diferencia según tipo de avión.

Terreno de fundación es obtenido por medio de una placa de 762 mm de diámetro, deflexión de 12.5 mm y 10 repeticiones ensayo que no es posible en nuestro medio.

Índice de congelamiento, en nuestra zona geográfica no presenta penetración de congelamiento como en Canadá, por lo cual este índice no es aplicable en nuestro medio.

Valor de k obtenido por ábacos según el CBR que es obtenible en nuestro medio.

Pavimento Rígido

1. Carga de rueda simple en kN
2. Espesor granular (t) equivalente.
3. Factores del área de contacto.
4. Terreno de fundación

5. Espesor de protección contra heladas (índice de congelamiento).
6. Valor de K

Los datos de entrada para pavimentos rígidos son iguales que los de pavimento flexible por ende tienen las mismas características pero varían según procedimiento y tablas.

Método de Francia.

Pavimento Flexible

1. CBR
2. Rueda Simple equivalente (tn)

CBR su obtención es posible en nuestro medio con un grado aceptable de confiabilidad
Peso rueda simple equivalente (tn) obtenido de tablas del Anexo 14 de la OACI.

La rueda simple equivalente se la obtiene mediante la fórmula $P'' = \frac{P}{C}$ en donde es necesario realizar un análisis del tráfico en 10 años diario. Ver cálculo general.

Pavimento Rígido

1. k
2. Rueda Simple equivalente.
3. Tensión Admisible de flexión

K valor obtenido a partir de ábacos de conversión de CBR a K

Peso rueda simple equivalente (tn) obtenido de tablas del Anexo 14 de la OACI.

Tensión Admisible de flexión según el grado de seguridad que se quiera trabajar a la flexión recomendable por la norma de 4,5 MPA

El método de Francia es un método convencional que no requiere de muchos datos para la obtención de un espesor debido a que sus espesores que se obtiene por este método son mayores a los anteriores métodos ya mencionados.

Cuadro N° 1

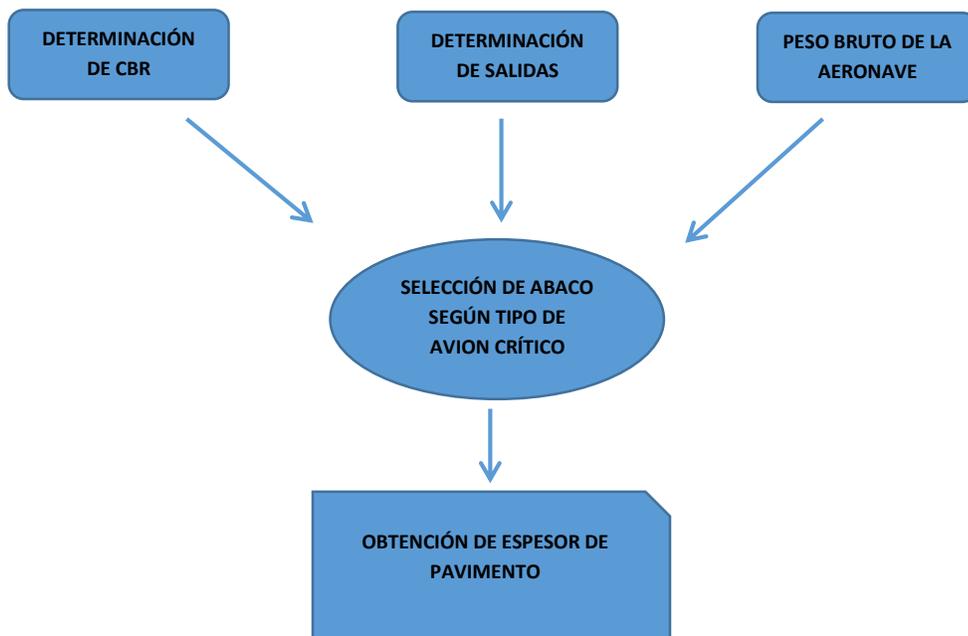
Variables Incidentes en los Métodos

PARAMETRO	FAA	PCA	FRANCIA	CANADA	OBSERVACIÓN
K	Contempla	Contempla	Contempla	Contempla	Dato obtenido a partir de ábaco según CBR.
CBR	Contempla	Contempla	Contempla	No Contempla	Dato obtenido de laboratorio de suelos.
CARGA	Peso bruto	Peso bruto	Rueda simple equivalente. $P'' = \frac{P}{C}$	Carga rueda simple	Según el tipo de avión y diferentes unidades según método.
SALIDAS ANUALES	Contempla	No contempla	No Contempla	No contempla	Los parámetros mínimos que presentan la FAA son más altos que en los que nuestro medio se realiza.
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	Contempla 4.5 MPa o 650 lb/plg2	Contempla 700 lb/plg2	Contempla 4.5 MPa o 650 lb/plg2	Contempla	Según la norma se trabaja con estos valores para pavimentos rígidos

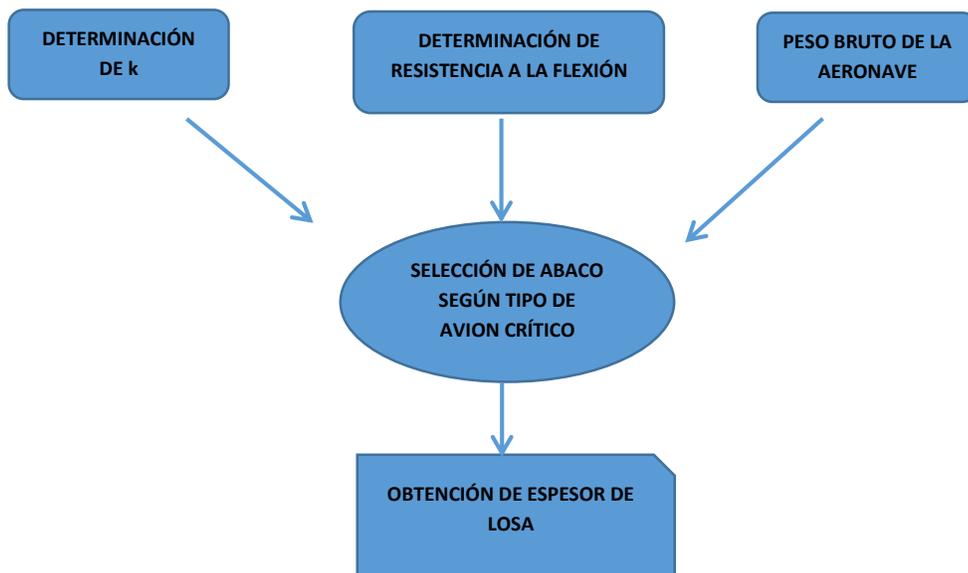
b) Procedimiento de diseño.

Método FAA.

Pavimento flexible.



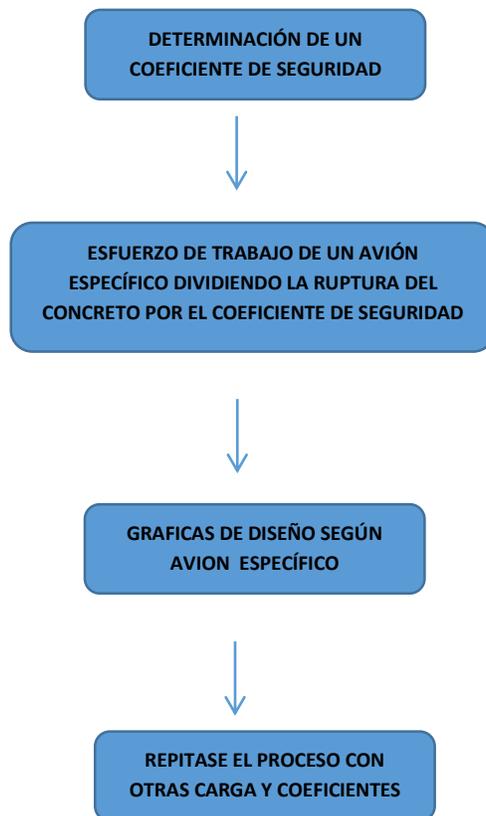
Pavimento Rígido.



El proceso para la determinación de un espesor tanto flexible como rígido según el método de la FAA es un proceso sencillo sin la introducción de numerosos datos, pero con la ventaja a los otros métodos que poseen ábacos específicos para la mayoría de las aeronaves que se encuentran en el medio.

Método PCA.

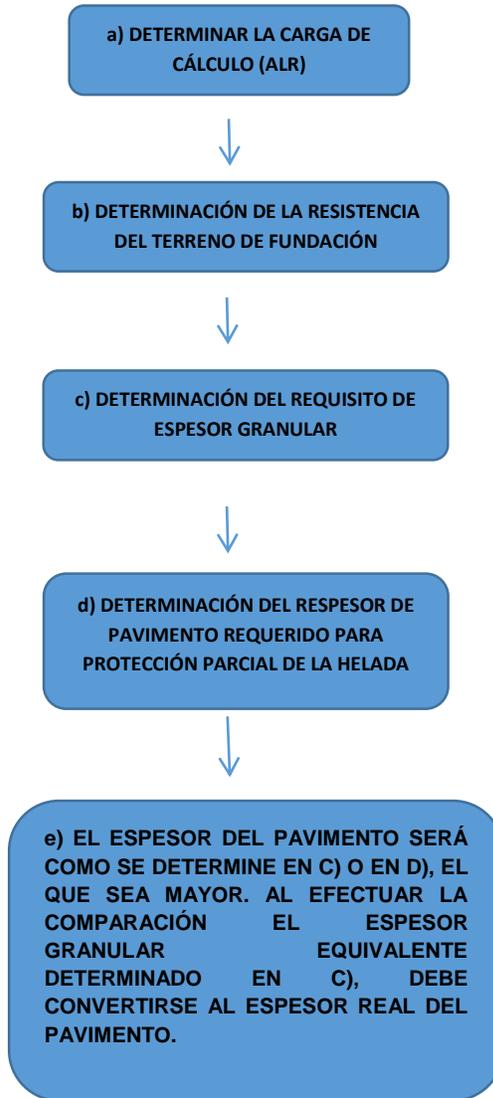
Pavimento Rígido.



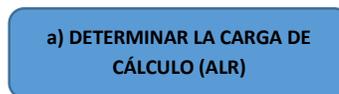
Este método solo diseña pavimentos Rígidos al igual que la FAA posee un Abaco para aeronaves específicas, además la introducción de coeficientes de seguridad que garanticen el buen funcionamiento de la pista.

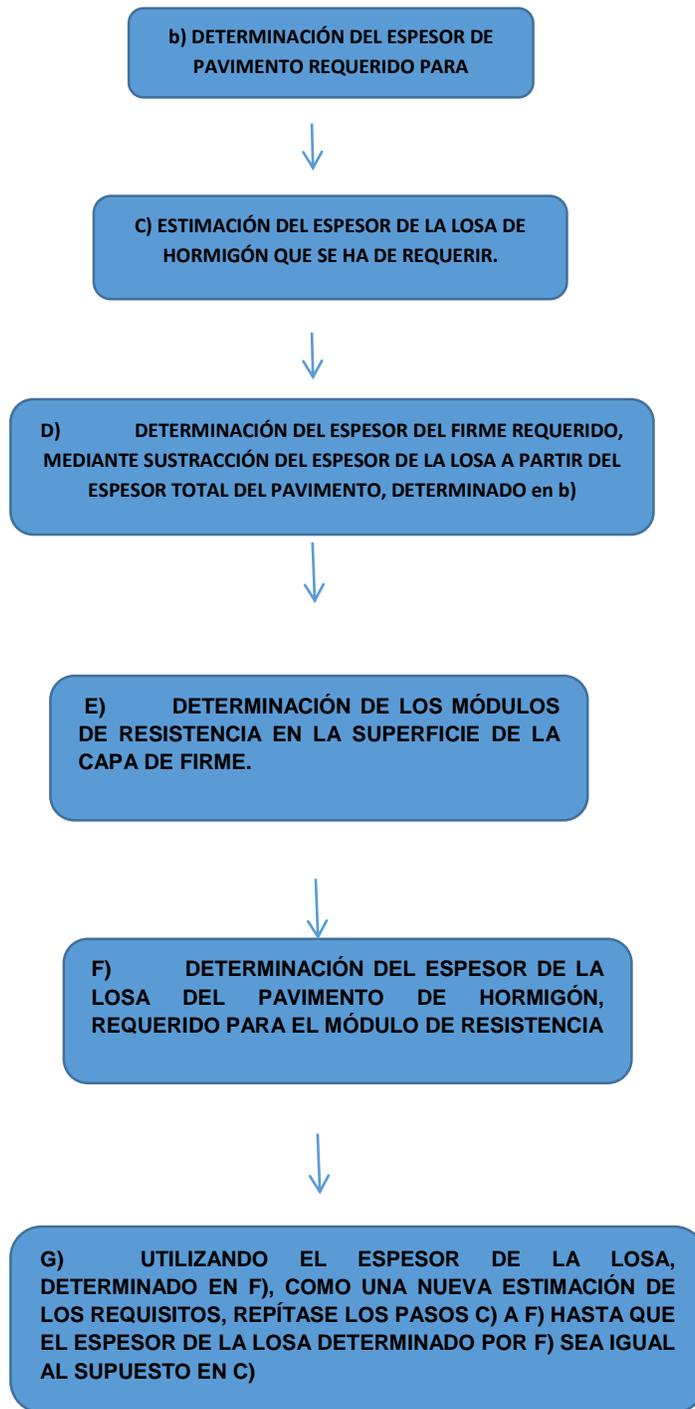
Método Canadá

Pavimento Flexible



Pavimento Rígido





El método de Canadá es un método más complejo que los anteriores necesitan una mayor cantidad de datos los cuales algunos no pueden ser determinados en nuestro medio o no se cuenta con dicha información como ser:

1. Espesor granular (t) equivalente. = 1
2. Espesor de protección contra heladas (índice de congelamiento). = 160 °C promedio 10 años.

Método Francia.



El proceso para la determinación de un espesor en el método de Francia está Sujeta a 2 parámetros una carga Normal en toneladas determinado por $P'' = \frac{P}{C}$ y un índice CBR = 6 % o modulo K = 200 lb/plg³ según el tipo de pavimento se requiera. Las gráficas utilizadas para el diseño están sujetas al tipo de tren que se posea. El cual puede ser simple, dual, bogie o ruedas gemelas. Esto determinado por el tipo de avión.

Es un proceso simple el cual no requiere muchos datos y por lo cual, de igual manera, sus espesores son mayores.

c) Según Resultados Obtenidos

MÉTODO	ESPESOR PULGADAS	ESPESOR CENTIMETROS

MÉTODO DE LA FAA		
B-722		
PAVIMENTO FLEXIBLE	17,5"	45
PAVIMENTO RÍGIDO	15,5"	40
B-733		
PAVIMENTO FLEXIBLE	16,5"	42
PAVIMENTO RÍGIDO	12,8"	33
MÉTODO PCA		
B-722		
PAVIMENTO RÍGIDO AREA CENTRAL	14	36
PAVIMENTO RÍGIDO COSTADOS	12,5	32
B-733		
PAVIMENTO RÍGIDO AREA CENTRAL	12	31
PAVIMENTO RÍGIDO COSTADOS	11,5	30
MÉTODO DE FRANCIA		
B-722		

PAVIMENTO FLEXIBLE	24	60
PAVIMENTO RÍGIDO	12.4	31
B-733		
PAVIMENTO FLEXIBLE	34	52
PAVIMENTO RÍGIDO	12	30
MÉTODO DE CANADA		
PAVIMENTO FLEXIBLE	28	70
PAVIMENTO RÍGIDO	20	50

Según el Método de la FAA

Este método se obtuvo espesores de 45 cm de pavimento flexible y de 40 cm de pavimento rígido. El espesor que se obtiene en pavimento flexible es el más bajo que se obtuvo de todos los diseños, por lo cual en tema de pavimento flexible es el valor más óptimo.

Según el método de la PCA

Este método en tema de pavimentos rígidos es el que posee menor dimensión o espesor en tema de pavimentos rígidos con espesores de 36 cm y 32 cm dependiendo la parte de la pista. Es necesario recalcar que este método sólo diseña pavimentos rígidos.

Según el método de Francia.

El método de Francia es el método que obtuvo mayor espesor tanto como en pavimento rígido y flexible con valores de 60 cm en pavimento flexible y 32 cm en pavimento rígido. El método de Francia utiliza pocos datos de entrada para el diseño de sus espesores por lo cual que estos valores sean más elevados que los anteriores no sorprende.

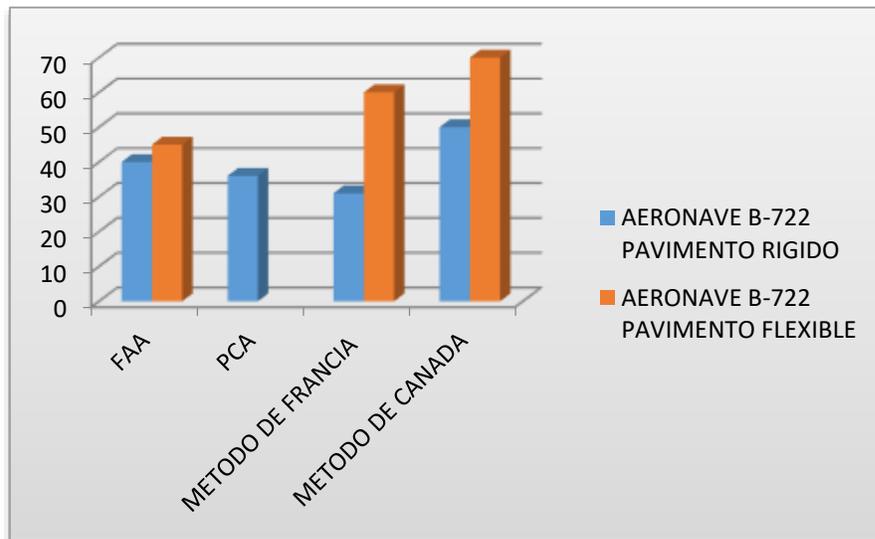
Según el método de Canadá.

Este método se obtuvo valores medios a relación de los otros métodos con valores de 70 cm en pavimento flexible y 50 cm en pavimento rígido.

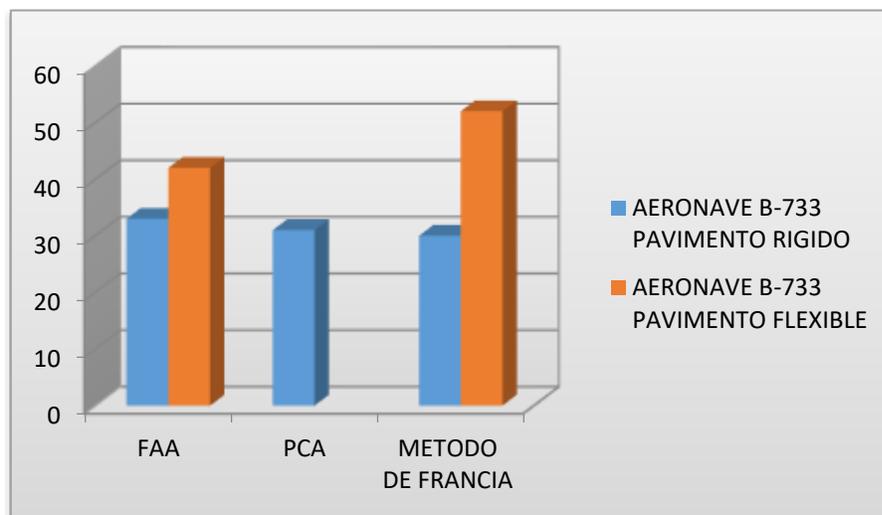
Estos métodos están caracterizados para zonas donde existen heladas constantes en varios meses durante todo el año, por lo cual este método no es apto para ser realizado en nuestro medio.

ESPEORES DE PAVIMENTO SEGÚN EL MÉTODO

B-722



B-733



La grafica nos muestra que por el método de la FAA en el caso de pavimento flexible el espesor es mucho menor que los demás. A diferencia que en el pavimento rígido el método de PCA es el que cuenta con menor dimensión en porcentajes.

Con el método FAA se obtiene un pavimento flexible 50 % menor que el del método de Canadá que es el que se obtuvo mayor porcentaje.

Y en pavimentos rígidos el método de la PCA es 10 % menor que el método de la FAA y 28 % menor que el método de Canadá.

Cuadro N° 2

Ventajas y desventajas de los Métodos

Método	Ventaja	Desventaja
FAA	<ul style="list-style-type: none"> • Alta gama de ábacos para cada tipo de avión. • Proceso de diseño simple. • Datos de entrada accesibles 	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensionamiento sobre dimensionado debido a que el método propone 1200 salidas anuales del avión de diseño como mínimo, cuyo valor no es alcanzable aún en nuestro medio.
PCA	<ul style="list-style-type: none"> • Ábacos para algunos tipos de aviones. • Proceso de diseño simple. • Datos de entrada accesibles 	<ul style="list-style-type: none"> • Sólo diseña pavimentos rígidos.
Canadá	<ul style="list-style-type: none"> • Método muy detallado 	<ul style="list-style-type: none"> • No aplicable a nuestro medio. • Se necesita índice de congelamiento.
Francia	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso de diseño simple. • Método General abarca a todo tipo de aviones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Obtención de datos de salidas anuales durante 10 años. • Ábacos según tipo de tren de aterrizaje

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se analizaron los métodos planteados por la OACI y además de la PCA que son los métodos más usados mundialmente los cuales nos dejaron los siguientes aspectos:
 - a. Los métodos coinciden en los siguientes parámetros de entrada como ser CBR en caso de pavimentos flexibles o modulo k en caso de pavimentos rígidos, de los cuales el CBR en nuestro medio es realizable con un grado de confiabilidad aceptable; no así el modulo k que se obtiene por medio del ensayos de placas que en nuestro medio no se realiza, por lo cual se procedió por medio de ábacos a realizar su equivalencia según valor de CBR.
 - b. En la mayoría de los métodos de diseño los parámetros de entradas son fáciles de determinar cómo ser CBR, K, trenes de aterrizaje etc. Exceptuando el método de Canadá el cual se necesita más parámetros debido a que en estas zonas los días con congelamiento del suelo puede ser de varios meses y sus requisitos o medidas contra congelamiento son mayores.
 - c. El procedimiento de los métodos de diseño son sencillos y no presentan un gran complejidad exceptuando el de Canadá que se vuelve algo complejo debido a los requerimientos de datos de entrada.
 - d. El método de la FAA para el diseño de pavimentos flexibles para pistas es el método más óptimo, debido a que es un método sencillo, con entrada de datos que en nuestro medio pueden ser accesibles y consta con una base de datos de aviones los cuales se pueden obtener fácilmente de internet de su página.
 - e. El método de la PCA para el diseño de pavimentos rígidos para pistas es el más óptimo, con este método se obtuvieron espesores de pavimento rígido menores que los demás, este método permite seleccionar áreas con menor espesor que otras dependiendo la zona de la pista por lo cual económicamente sería menor, además de igual manera posee una base de datos de aviones que facilitan el diseño.

- f. El método de Francia es un método convencional el cual su procedimiento es el más sencillo con 2 datos de entrada solamente por lo cual las dimensiones son mayores que los otros métodos.
- g. El método de la FAA para pavimentos flexibles y el método de la PCA para pavimentos rígidos son los dos métodos que a nuestras condiciones son viables y alcanzables tanto como en procedimiento, datos requeridos y resultados obtenidos, por lo cual se recomienda la utilización de estos métodos.
- Los parámetros más incidentes tanto como en los métodos o como en el aeropuerto son los valores de $k = 200 \text{ lb/plg}^3$, $\text{CBR} = 6 \%$, carga del avión sobre el pavimento $80\,000 \text{ kg}$ y las salidas anuales 1200 .
- Con los parámetros obtenidos del aeropuerto Oriel Lea Plaza se realizó una implantación de los métodos según nuestro entorno los cuales se pudieron adaptar casi en su totalidad, exceptuando algunos factores.
- La OACI indica que se debe diseñar el espesor con aquella aeronave que genere la sollicitación más crítica y con mayor número de uso en nuestro caso los aviones Tipo B-722 y B733.
- El estudio Tesa: Mejoramiento pavimento de pista Aeropuerto Oriel Lea Plaza Ciudad de Tarija bajo el cargo de la Secretaria de Obras Públicas y como Fiscal de Obras el ingeniero Darío Ticona indica que antes del recapamiento existía una carpeta asfáltica de 25 cm de pavimento flexible y posteriormente se realizó el recapamiento de 10 cm de pavimento flexible, lo que nos permite validar nuestros resultados, debido a que son próximos a los obtuvimos por los diseños con una diferencia de 5 a 10 cm diferencia que puede ser justificada debido a que no todo diseño es igual y los criterios son diferentes según la persona que diseña.

5.2 RECOMENDACIONES

- Al seleccionar los datos de entrada para el diseño de la pista se debe tener muy en cuenta las unidades que en el caso del módulo k en pavimentos

rígidos difiere en cada método, además de observar los requerimientos de las solicitudes que los aviones de diseño generan ya que algunos métodos exigen el peso bruto y otros el peso de rueda en diferentes unidades.

- Para el diseño de una pista se debe diseñar con el valor de la aeronave más crítica esto garantiza el buen funcionamiento de la estructura con cualquier otro tipo de avión con requerimientos menores.
- Existen numerosos ábacos proporcionados por la FAA, PCA y los métodos de Canadá y Francia los cuales deben ser usados con cuidado ya que estos ábacos se encuentran en páginas de internet y se debe tener en cuenta de no alterar sus escalas.
- La mayoría de las normas que se encuentran de los métodos de diseño de pavimentos para pistas de aeronaves se encuentran en el idioma inglés por lo cual una buena traducción es muy importante para poder entender bien las normas.
- Existen especialmente en la FAA numerosos programas que facilitan el diseño de los pavimentos, como también datos de aeronaves, los cuales pueden ser bajados con facilidad de la página de la FAA. www.faa.gov