

2
dej

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ACATLAN

METODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS
DE CONCRETO HIDRAULICO Y SU APLI-
CACION AL DISEÑO DEL PAVIMENTO DEL
AEROPUERTO DE MONTERREY NUEVO
LEON.

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
LUCIANO FERNANDO ALVAREZ HERNANDEZ

**TESIS CON
FALSA DE ORIGEN**

1 9 9 0





UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

1. - PLANTEAMIENTO TEORICO DEL PROBLEMA.

1.1. - TIPOS DE FALLAS EN PAVIMENTOS RIGIDOS. _____	10
1.2. - COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS PAVIMENTOS. _____	13
1.3. - EFECTOS DEL MEDIO AMBIENTE SOBRE PAVIMENTOS EN - SERVICIO. _____	14
1.4. - EFECTOS DE CARGAS RODANTES. _____	18
1.5. - CARGAS. _____	20
1.6. - AGRIETAMIENTOS. _____	21
1.7. - PROPIEDADES DE LOS MATERIALES. _____	24
1.8. - FATIGA. _____	30
1.9. - FACTORES DE SEGURIDAD. _____	32
1.10. - PERIODO DE DISEÑO. _____	35
1.11. - CAPACIDAD. _____	36
1.12. - PROYECCION. _____	37

2. - PRESENTACION DE LOS METODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO.

2.1. - REFERENCIAS DE LAS BASES DE DISEÑO. _____	45
2.2. - DESCRIPCION GENERAL. _____	46
2.3. - PAVIMENTOS EN CARRETERAS. _____	48
i). - Variables que Intervienen en el Diseño,	
ii). - Gráficas de Diseño,	
iii). - Método P. C. A. Standar.	

2.4. - PAVIMENTOS EN AEROPUERTOS, _____	76
i). - Variables a Considerar.	
ii). - Gráficas de Diseño,	
iii). - Método P. C. A. en Aeropuertos.	

3. - DISCUSION DE LOS METODOS DESCRITOS.

3.1. - VALORIZACION DE LAS CAUSAS Y EFECTOS PRODUCIDOS POR LAS VARIABLES, _____	99
3.2. - COMENTARIOS SOBRE LOS METODOS DE DISEÑO, _____	102
3.3. - CONCLUSION, _____	109

4. - PROYECTO DE PAVIMENTACION DE LA PISTA, CALLES DE RODAJE Y PLATAFORMAS EN EL AEROPUERTO DE MONTERREY, N. L.

4.1. - INTRODUCCION, _____	117
4.2. - DATOS DE DISEÑO, _____	117
4.3. - PROYECTO, _____	118

- BIBLIOGRAFIA _____	126
----------------------	-----

I N T R O D U C C I O N

Un pavimento puede definirse como la capa o conjunto de capas de materiales apropiados, comprendidas entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento, cuyas principales funciones son las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiados, resistente a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como transmitir adecuadamente a las terracerías los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito.

La estructura o disposición de los elementos que lo constituyen, así como las características de los materiales empleados en su construcción, ofrecen una gran variedad de posibilidades, de tal suerte que puede estar formado por una sola capa o varias, y a su vez dichas capas pueden ser de materiales naturales seleccionados, sometidos a muy diversos tratamientos.

De un modo bastante arbitrario y con fines fundamentalmente prácticos, los pavimentos se dividen en flexibles y rígidos, sin embargo, la rigidez o flexibilidad que un pavimento exhibe no es fácil de definir tan adecuadamente como

para permitir una diferenciación precisa entre uno y otro tipo de pavimento; es hasta cierto punto materia de juicio el precisar qué tan rígido puede ser un pavimento flexible o qué tan flexible puede llegar a ser un pavimento rígido.

El hecho es que los pavimentos se diferencian y definen en términos de los materiales de que están constituidos y de cómo se estructuran esos materiales y no por la forma en cómo se distribuyen los esfuerzos y las deformaciones producidos por los vehículos a las capas inferiores, lo que quizá constituirá un criterio de clasificación más acertada.

Para los fines del presente se considerará un pavimento rígido a aquel cuyo elemento fundamental resistente sea una losa de concreto hidráulico; en cualquier otro caso, el pavimento se considerará flexible. Tan arbitraria clasificación concuerda bastante con la generalmente aceptada.

Es de importancia mencionar que el presente escrito, no es un trabajo fundamentalmente de investigación, sino que se trata de un trabajo encaminado a tener una visión de los factores, materiales y técnicas adecuadas, organizados en un solo escrito; para que todas aquellas personas que de una u otra forma están involucradas en el diseño de pavimentos rígidos, tengan una obra de consulta.

Como se mencionó, el presente escrito es una obra de consulta, en ella se hace una descripción detallada de los procedimientos que se siguen para diseñar pavimentos de concreto hidráulico. El trabajo está dividido en Cuatro Capítulos principales que son:

- a) Planteamiento Teórico del Problema, en el cual se describen las bases teóricas y los fundamentos que se tienen y se utilizan para solucionar el problema.
- b) Métodos de Diseño, en donde se abordan las Técnicas más utilizadas y los parámetros que se necesitan para el diseño de pavimentos, tanto en carreteras como en aeropuertos.
- c) Discusión de los Métodos descritos; donde se plantea y se analiza de los métodos, sus ventajas y desventajas. Así como de las variables; y por último;
- d) Proyecto de una pista, donde se visualiza en forma somera, pero completa el Diseño y los Datos que se deben proporcionar como Proyecto Terminado.

C A P I T U L O

1

1.- PLANTEAMIENTO TEORICO DEL PROBLEMA.

1. 1. - TIPOS DE FALLAS EN PAVIMENTOS RIGIDOS.
1. 2. - COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS PAVIMENTOS.
1. 3. - EFECTOS DEL MEDIO AMBIENTE SOBRE PAVIMENTOS EN SERVICIO.
1. 4. - EFECTOS DE CARGAS RODANTES.
1. 5. - CARGAS.
1. 6. - AGRIETAMIENTOS.
1. 7. - PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.
1. 8. - FATIGA.
1. 9. - FACTORES DE SEGURIDAD.
1. 10.- PERIODO DE DISEÑO.
1. 11.- CAPACIDAD.
1. 12.- PROYECCION.

1.1 TIPOS DE FALLA EN PAVIMENTOS RIGIDOS.

Los pavimentos formados por losas de concreto simple, separadas por juntas especiales, se construyen (igual que todos los pavimentos) para proporcionar una superficie de rodamiento uniforme y resistente.

Por lo tanto su falla debe quedar definida por el hecho de no cumplir estos requisitos. Sin embargo, desde el punto de vista estructural, se considera que la falla es cualquier grieta que aparece en su superficie, aunque no afecte insensiblemente la resistencia del pavimento ni su textura, aunque se verá más adelante que algunas grietas pueden, inclusive aumentar la resistencia del pavimento. Casi todas las precauciones de diseño y construcción están encaminadas a evitar este agrietamiento, ya que se considera que las grietas representan defectos en donde puede iniciarse una destrucción peligrosa al dejar pasar agua que perjudique a la sub-base (última capa del terreno acondicionado especialmente para colar sobre ella las losas) o porque en ellas penetran tierra y objetos extraños que afecten la libertad de movimientos de las losas provocando en el concreto esfuerzos perjudiciales.

Conviene resaltar que la falta de sello es la

Única diferencia fundamental entre grietas y juntas en estos pavimentos; ambas dividen al pavimento en placas independientes lo cual es conveniente; pero mientras las juntas son rectas, de secciones netas y un ancho previsto, logrado mediante cortes especiales (lo que permite sellarlas con productos adecuados que los impermeabilizan e impiden la entrada de materias extrañas a su interior), las grietas son irregulares y no se pueden sellar y se originan por diversas causas en el pavimento, las cuales se aparecen en forma no considerada.

Dentro de la literatura especializada, hay quienes suponen que los pavimentos se pueden construir continuos, sin juntas. Dejando que sea su contracción la que produzca grietas que los dividan en forma aleatoria, también hay pavimentos con juntas mal selladas y otros con grietas que no se pueden sellar, y que no presentan problemas especiales de destrucción. Por lo tanto, la idea de dejar agrietarse el pavimento en vez de construirlo con juntas posee cierta lógica.

Sin embargo, esto tiene una objeción importante: Las juntas en los pavimentos se construyen a distancias preestablecidas, mientras que las grietas que aparecen en un pavimento colado sin juntas, se presentan a distancias imprevisibles una de otra; si están muy distantes, (como se ha observado en algunos casos) la contracción del concreto puede abrir

excesivamente las grietas, lo cual es perjudicial por faltar en ellas transferencia de carga entre sus bordes, es decir, - estos pueden tener movimientos verticales distintos uno al otro al no existir la trabazón que hay en las grietas o juntas poco abiertas, como consecuencia, al actuar una carga rodante sobre un bordo, éste no se apoya en el otro, por lo que tiene menos resistencia que otros puntos del pavimento.

Si con determinadas precauciones se pudiera evitar que la abertura de las grietas fuera muy grande (en lo que influyen la distancia que las separa y la posible contracción total del concreto) y no se temiera a la falta de sello de las grietas, se podrían colar pavimentos continuos de concreto simple sin juntas, dejando que se agrietan libremente - al contraerse.

Pero como ya se dijo desde el punto de vista estructural, se considera que las grietas representan la falla, a pesar de que nunca se abrirán excesivamente, dado que dividen a las losas (que son de tamaño relativamente pequeño) en tramos todavía menores.

1.2 COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS PAVIMENTOS.

La falla (o sea el agrietamiento superficial) de los pavimentos de concreto simple se produce cuando los esfuerzos de tensión en el material superarán a su resistencia; los esfuerzos de compresión o cortantes nunca llegan a ser peligrosos. Los esfuerzos provienen fundamentalmente de dos tipos de sollicitaciones que son: a) de que las losas tratan de deformarse volumétricamente (por cambios ambientales de temperatura y humedad, principalmente) y sus movimientos no son libres, b) de que las cargas que ruedan sobre las losas, afectadas por estas circunstancias, producen esfuerzos adicionales.

Hay también otros fenómenos que pueden reducir la resistencia de los pavimentos que son: las deformaciones del terreno en que se apoyan, circulación violenta del agua entre las losas de concreto que se mueven y la sub-base (bombeo); y la pérdida de resistencia del concreto por cargas repetidas (fatiga). Estas se tendrán en cuenta al describir los métodos de diseño, pero primero se describirá con un poco de detalle las sollicitaciones mencionadas en orden siguiente:

Primero se describen los fenómenos que se obser-

varon en varios pavimentos ya en servicio y que deben su origen a los efectos del medio ambiente. A continuación se presentan los efectos que producen las cargas rodantes en los pavimentos. Por último se analizan los fenómenos que pueden producir agrietamientos durante la construcción o poco tiempo después y que normalmente son específicos de ese período y no tienen efectos posteriores.

1.3 EFECTOS DEL MEDIO AMBIENTE SOBRE PAVIMENTOS EN SERVICIO.

Para estudiar los efectos del medio ambiente, es oportuno considerar primero un pavimento que tenga bastante tiempo de construido y que haya resistido el proceso de la construcción y que se haya comportado adecuadamente a las contracciones por secado de los primeros meses sin haberse agrietado. Conviene suponer que las juntas han sido bien construidas y están suficientemente abiertas para que las losas (cuadradas) se puedan deformar volumétricamente tan libres como si cada una estuviera aislada de todas las demás (lo cual probablemente sucede con la mayoría de las losas en servicio): Con excepción de las que tienen juntas especialmente amarradas.

Las losas en este tipo de pavimento presentan tres características importantes relacionadas con sus deformaciones volumétricas: Una de ellas la forma más o menos permanente que han adquirido en el transcurso del tiempo, la otra, el tipo de deformaciones periódicas que experimentan por la acción del medio ambiente, y la tercera la relacionada con el alabeo.

- a) Las deformaciones permanentes que presentan las losas ya en servicio (que son pequeñas pero que pueden ser muy importantes) se deben a que el concreto se ha contraído, abriendo las juntas que las rodean, ya que las losas se han alabeado; o sea que las diferentes condiciones de temperatura y humedad de la superficie y del interior del concreto han provocado diferentes contracciones o dilataciones en distintos puntos de su espesor, deformando las losas y dando una leve configuración más o menos esférica a sus superficies horizontales originalmente planas.

- b). Deformaciones periódicas son las que produce el medio ambiente en las losas, son semejantes a las deformaciones permanentes. Unas -

son contracciones y dilataciones que abren y cierran las juntas que rodean a las losas y - otros son alabeos que incrementan y reducen - periódicamente el ya existente en cada una de ellas. Cambiando también como consecuencia - su apoyo en la sub-base. Todas las deformaciones periódicas siguen siempre ciclos diarios o anuales al clima.

En algunas observaciones hechas se ha visto - que muchas losas se apoyan en su centro y que sus esquinas suben y bajan diariamente con - respecto a la sub-base; había otras (muy pocas) que llegaban a apoyarse en las esquinas y a levantar su centro al alabearse al medio día por calentarse y dilatarse más su superficie que su parte inferior.

Las deformaciones descritas, vienen acompañadas de esfuerzos en el concreto y afectan notablemente los esfuerzos producidos por las - cargas vivas, como se verá más adelante.

- c) Esfuerzos relacionados con el alabeo. El alabeo viene acompañado de esfuerzos cuya impor-

tancia es mucho mayor que el que produce la fricción con el terreno; el alabeo es parte de una deformación del concreto que si se pudiese presentar libre y completa, no generaría ningún esfuerzo, pero viene acompañada de esfuerzos debido a que no puede ser totalmente libre por dos causas:

Primero por que por razones geométricas las secciones verticales planas de una losa se tienen que conservar planas como quiera que se flexionen; esto obliga a una ley lineal de deformaciones en su espesor que obviamente sólo en casos excepcionales coincidirá con las deformaciones que tratan de imponer la humedad y la temperatura y segundo, por que el alabeo cambia la forma del apoyo de las losas, el cual aumenta la compresión en la sub-base en unos puntos y pierde contacto en otros, lo que viene acompañado de fuerzas (debido al peso propio) que generarán esfuerzos en el concreto.

1.4 EFECTOS DE LAS CARGAS RODANTES.

Las cargas rodantes producen esfuerzos en las losas que se pueden determinar mediante fórmulas, combinando cálculos teóricos y resultados empíricos en distintas proporciones según el lugar de las losas en que se consideran aplicadas; si es en el interior de una losa lejos de sus bordes (cargas de centro) o cerca de un borde lejos de las esquinas (cargas de borde) se emplean las fórmulas teóricas de Westergaard que dada la gran indeterminación del problema, se puede considerar que dan suficiente precisión en la mayoría de los casos.

Si las cargas se aplican en las esquinas de las losas no hay cálculo estrictamente teórico aceptable y se emplean otros métodos semi-empíricos (uno también de Westergaard y otro más antiguo de Older llamado "de las esquinas" que dan resultados con los que se pueden obtener ideas aproximadas de la resistencia del pavimento en esos puntos.

a) Cargas de Centro o Bordes.

Las fórmulas de Westergaard para cargas internas o borde proceden de razonamientos matemáticos basados en los

siguientes puntos:

1. Las losas tienen dimensiones muy grandes.
2. El concreto tiene comportamiento linealmente elástico.
3. Las losas se apoyan en el terreno como si éste fuera un líquido muy denso, por lo que no hay resistencia por fricción en el contacto entre ambos, y la reacción del terreno es proporcional a lo que se desplaza (se hunde) verticalmente. Esta densidad es el módulo de reacción del terreno (k) que se describirá posteriormente.
4. Toda la superficie interior de las losas están en contacto con el terreno, aunque éstas se deformen por alabeo o por cargas.
5. Se cumplen todas las leyes de la elasticidad, por lo que se acepta la superposición de efectos.

Los análisis matemáticos de Westergaard han sido desarrollados por otros autores y han dado origen a conocidos nomogramas que resuelven el problema para cualquier tipo de carga y pavimento y a gráficas de fácil manejo para cargas específicas (ciertos aviones en aeropuertos, o camiones en cami

siguientes puntos:

1. Las losas tienen dimensiones muy grandes.
2. El concreto tiene comportamiento linealmente elástico.
3. Las losas se apoyan en el terreno como si éste fuera un líquido muy denso, por lo que no hay resistencia por fricción en el contacto entre ambos, y la reacción del terreno es proporcional a lo que se desplaza (se hunde) verticalmente. Esta densidad es el módulo de reacción del terreno (k) que se describirá posteriormente.
4. Toda la superficie interior de las losas están en contacto con el terreno, aunque éstas se deformen por alabeo o por cargas.
5. Se cumplen todas las leyes de la elasticidad, por lo que se acepta la superposición de efectos.

Los análisis matemáticos de Westergaard han sido desarrollados por otros autores y han dado origen a conocidos nomogramas que resuelven el problema para cualquier tipo de carga y pavimento y a gráficas de fácil manejo para cargas específicas (ciertos aviones en aeropuertos, o camiones en cami

nos).

Los nomogramas de carácter general, están planeados para calcular los esfuerzos de tensión en la parte interior de las losas producidas por cargas situadas en cualquier punto de la superficie y permiten superponer los efectos de varias cargas.

Las gráficas para cargas específicas dan los esfuerzos máximos de tensión que aparecen también en la parte inferior de las losas al aplicar las cargas consideradas en su superficie, que por lo general son todas las ruedas de un vehículo. Los resultados de unos y otros son iguales, ya que se basan en la misma teoría.

1.5 CARGAS.

Los efectos de las cargas aplicadas en las esquinas se analizaban antiguamente con la fórmula "de la esquina" (DE OLDER), que supone simplemente que una esquina recibe la carga concentrada en el extremo que funciona como voladizo triangular sin apoyo en el terreno y de longitud (x) indefinida y que tiene un ancho en el empotramiento siempre igual al

doble del voladizo (2x). Estas suposiciones dan como resultado un esfuerzo por flexión constante en todas las secciones - perpendiculares a la diagonal de la esquina, su valor máximo de tensión en la superficie se calcula con la fórmula de la escuadria.

1.6 AGRIETAMIENTOS.

Se llaman agrietamientos iniciales los que a veces se producen en el concreto por esfuerzos debidos a deformaciones volumétricas días después del colado, antes de que los pavimentos se pongan en servicio.

Se ha observado que obedecen a tres causas: Contracciones inmediatas al colado del concreto cuando todavía se encuentra en estado plástico; Contracciones por temperatura en el primero o segundo día después del colado y a que el concreto fresco es arrastrado por los movimientos del concreto fraguado de losas contiguas coladas anteriormente.

Origen de las llamadas contracciones plásticas. Dado que el agua del concreto se evapora a partir del momento en que se hace la revoltura, el volumen del concreto disminuye

constantemente desde fabricación, en muchas ocasiones la reducción no es importante porque es muy pequeña, aunque si es grande puede agrietar la superficie del concreto hasta cierta profundidad.

La pérdida del agua, origen de este agrietamiento, procede casi siempre de una evaporación excesiva producida por condiciones del ambiente, entre las que el viento es seguramente la más nociva; también puede proceder de la observación de la sub-base si está compuesta de materiales ávidos de agua y no ha sido previamente saturada o aislada de su contacto con el concreto.

Una pérdida excesiva de agua puede además de producir grietas, ser perjudicial para el buen fraguado del concreto.

No se ha observado de las grietas de contracción plástica afecten excesivamente la resistencia de los pavimentos, ni que sean permeables (puesto que no atraviesan totalmente la losa), pero es indudable que no benefician al pavimento y se debe evitar su aparición.

En los pavimentos la fricción con la sub-base impide movimientos horizontales, propiciando que la contrac-

ción agriete las losas si no se ha tomado las debidas precauciones, el descenso de la temperatura debido a la pérdida del calor fraguado, aumenta la contracción.

En algunos pavimentos colados de día se observó que las consecuencias más importantes de ese fenómeno se presentaban con el frío de la segunda noche posterior al colado, al parecer ese era el momento en que la relación entre los factores que intervenían en él (contracción, deformabilidad, y resistencia del concreto) producían máximo efecto, mayor que la primera noche y que en las noches siguientes, en que los esfuerzos se habían disipado parcialmente debido a las grietas que aparecían esa segunda noche. Sin embargo en cualquier pavimento las contracciones repetidas periódicamente muchas noches, seguramente producen efectos de fatiga en el material que pueden proporcionar nuevos agrietamientos.

Grietas por Simpatía.

Los colados recién hechos tienen muchas veces sus bordes en contacto con colados fraguados que mueven por efectos de cambios de temperatura.

Los bordes transmiten al concreto fresco los movimientos del que ya está fraguado, si en éste último existe

una junta (o grieta) que se abre y cierra diariamente por efectos de temperatura habrá una fuerte tendencia a que en el lado fresco se inicie en ese lugar una grieta en prolongación de la junta.

En el lenguaje de los constructores se dice que estas grietas se forman por "simpatía"; son relativamente frecuentes y para evitarlas hay que tomar precauciones en el diseño y en la construcción.

1.7 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.

Las propiedades de los materiales que constituyen un pavimento son los siguientes:

a. Módulo de reacción "k"

En los cálculos usuales del espesor de las losas, sólo intervienen una propiedad del terreno; su deformabilidad (supuesta elástica) que se mide con el módulo de la deformación "k". Como se mencionó, "k" representa en teoría la densidad de un líquido muy pesado que sustituye al terreno y en el que flotan las losas.

El valor de "k" se puede obtener mediante pruebas de carga en el terreno apoyando una placa rígida y relacionando la carga que sobre ella se coloca con su hundimiento, es decir con el volumen desalojado de terreno o lo que es lo mismo, relacionando la presión aplicada con el desplazamiento vertical de la placa.

Las unidades de "k" resultan en el primer caso - fuerza/volumen y en segundo fuerza/superficie/longitud, o sea en ambos casos kg/cm^3 (en unidades usuales).

Los métodos para las pruebas de carga se describen en diversas publicaciones en las que se fijan criterios - (algo diferentes en unas y otras) para obtener el valor de "k".

Dado que el valor de "k" afecta poco el resultado de los cálculos, esto implica que no se necesita ser muy preciso, también se puede obtener a partir de las características granulométricas, y de la compactación de la sub-base, - mediante tablas que a su vez se encuentran en la literatura - especializada.

Desde el punto de vista teórico y racional es - objetable todo este proceder de cálculo, ya que no se apega a

las leyes que siguen las deformaciones de los suelos, que son muy diferentes a las de un líquido denso. Pero los resultados que se obtienen con la teoría así establecida predicen bastante bien la resistencia de las losas ante cargas aplicadas en sus centros o bordes.

b. Resistencia del Concreto.

El parámetro del concreto con que se calculan los espesores de las losas es siempre la resistencia a la tensión determinada en una prueba de flexión y calculada por la fórmula de la escuadría y del momento flexionante que se está aplicando. La prueba más usual es la de una viga apoyada en los extremos con cargas iguales a los tercios del claro, el resultado se llama módulo de ruptura "MR".

Los resultados de las pruebas varían con las dimensiones de las piezas probadas (crecen al reducir su peralte), por lo que conviene que las piezas sean siempre iguales.

Probablemente el tamaño más indicado es el de 15 x 15 cms. de sección por 45 cms. de claro especificado en varias normas.

La calidad del concreto afecta la magnitud de

"MR" en forma distinta a como afecta a la resistencia, a la compresión, o a la tensión simple, indicando que hay ciertos mecanismos de falla internos del material diferentes en las distintas pruebas.

En una forma aproximada se puede decir que la resistencia a la tensión directa de un concreto es el 10% de su resistencia a la compresión ($f'c$) y que el "MR" obtenido en las pruebas standar de flexión es mayor, tal vez 15% de $f'c$. En los cálculos se emplean siempre "MR" porque en las losas que se flexionan se supone que se producen mecanismos de falla internos del material semejantes a los que se presentan en esta prueba; no se tiene en cuenta que en las losas aparecen tensiones en todas direcciones simultáneamente y en la prueba sólo hay tensiones en una dirección. Pero al parecer no se comete un error importante con esta omisión, además en los cálculos se considera (empleando coeficientes adecuados) el efecto de la repetición de cargas que producen fatiga en el concreto.

Los efectos de la fatiga en el concreto se han estudiado ampliamente (casi siempre en pruebas de laboratorio) y se ha llegado a la conclusión de que su límite de fatiga, es decir el esfuerzo que puede ser aplicado y retirado una infinidad de veces sin producir la falla del material, es del

orden de 50 a 55% de su resistencia ante una carga creciente aplicada una sola vez; no se ha encontrado (por lo menos fácilmente) ninguna publicación en la literatura que presente una idea de la influencia que pueden tener en este valor las posibles irregularidades de un colado hecho en obra.

La relación entre otros esfuerzos repetidos y el número de aplicaciones que produce la falla se encuentra fácilmente en muchas publicaciones.

c. Deformabilidad del Concreto.

Los conceptos en que se basan los cálculos efectuados en las teorías de Westergaard para establecer el espesor "h" de las losas son: la resistencia del concreto, la magnitud y posición de las cargas vivas y la relación "L" entre la rigidez de las losas y la del terreno definido por "k".

La rigidez de las losas depende a su vez de su espesor "h" y del módulo de elasticidad "E" del concreto, por lo tanto "h" es a la vez incógnita y dato de partida. Esto resalta en las gráficas de diseño para casos particulares y obliga a proceder por tanteos si se emplean los nomogramas de carácter general.

Para hacer un juicio de la influencia de "h" y "E" en los esfuerzos que aparecen en el concreto debidos a cargas vivas, conviene hacer las siguientes observaciones:

- 1.- En una losa que sea rígida porque "E" es grande, aparecen esfuerzos mayores que en otra donde "E" es pequeña, si las dos son del mismo peralte "h".
- 2.- En dos losas con igual "E" los esfuerzos son mayores en la de menor peralte "h", ya que aunque su menor rigidez propicia su disminución, es mayor la influencia por su poco espesor, ya que los incrementa.
- 3.- La teoría hace ver que los esfuerzos dependen lo mismo de "E" que de "k", en realidad dependen del cociente E/k , que aparece en las fórmulas con que se estudia la relación de rigidez "L" entre las losas y el terreno, lo cual quiere decir que para diseñar, interesa conocer con igual precisión los valores de los parámetros "E" y "k" y puesto que "k" afecta poco el diseño, lo mismo sucederá con "E".

1.8 FATIGA.

Semejante a otros materiales de construcción, el concreto está sujeto a los efectos de la fatiga. Una falla a la fatiga, ocurre cuando la ruptura interior del material continúa con la repetición de cargas que causa un radio de esfuerzos menor que la unidad, puesto que los esfuerzos críticos en concreto son de flexión.

La fatiga es debida a los esfuerzos de flexión, los cuales son usados para el diseño de espesores, y el radio de esfuerzos es el cociente entre los esfuerzos de flexión actuantes y el módulo de ruptura resistente. Por ejemplo, si un eje de carga causa un esfuerzo de flexión de 500 psi y el módulo de ruptura es 700 psi, el radio de esfuerzos será:

$$\text{radio de esfuerzos} = \frac{\text{esfuerzo actuante}}{\text{módulo de ruptura}} =$$

$$\text{radio de esfuerzos} = \frac{500}{700} = 0.71$$

Investigaciones sobre la fatiga por flexión en concreto, han mostrado que cuando el radio disminuye, el número de repetición de esfuerzo aumenta por la falla, estas investi

gaciones también han mostrado que:

- 1.- Cuando el radio de esfuerzos no es más que casi 0.55 la resistencia del concreto a la fatiga es grande.
- 2.- La repetición de carga con un radio de esfuerzo abajo del límite de resistencia, aumenta la estabilidad para sostener cargas con un radio de esfuerzos arriba del límite de fatiga.
- 3.- Además en el período de descanso la resistencia del concreto a la fatiga por flexión aumenta.

Por lo tanto el concreto tiene una resistencia límite a la fatiga por flexión en un radio de esfuerzos de aproximadamente 0.55.

Para propósitos de diseño de espesores, el radio de esfuerzos para el límite de resistencia del concreto, es reducido de 0.55 hasta un radio más conservador de 0.50. Las repeticiones de carga admisibles para un radio de esfuerzos entre 0.50 y 0.85 son mostradas en tabla 1. Los valores dados en la tabla 1 son también conservadores con respecto a

las investigaciones de la fatiga por flexión en concreto.

En el problema de diseño, el cual comienza en las páginas siguientes, muestra como los datos de fatiga de la tabla 1, son usados para diseño de espesores. Este uso está basado en la hipótesis menor de que la resistencia a la fatiga no preocupa para repeticiones de una carga; ésta es aprovechable para repeticiones de otras cargas.

Teóricamente la fatiga total no se usa excediendo el 100%.

En la práctica el 100% es el valor adecuado para diseño basado en el módulo de ruptura a los 90 días. Para diseños basados en el módulo de ruptura a los 28 días, el valor de la fatiga puede incrementarse hasta tener un casi 125%. Este incremento toma en cuenta el aumento de la fuerza después de 28 días.

1.9 FACTOR DE SEGURIDAD PARA CARGAS.

En el pasado, los factores de impacto por carga fueron usados para diseño de espesores. El comité 325 del

Instituto Americano del Concreto, ha propuesto un 10% de factor de impacto y un 20% se ha estado proponiendo y usando por otras agencias.

Las pruebas muestran la respuesta del vehículo, el pavimento muestra los efectos de impacto en las pruebas de vehículos; sin embargo hay importantes indicios que muestran que el eje de carga de un camión en movimiento causa menores esfuerzos que el producido cuando el camión está parado.

En la Maryland Road Test los esfuerzos fueron medidos a varias velocidades entre la velocidad de arrastre y 40 millas/hora para cargas en el borde superficial del pavimento y en el borde de la junta transversal.

En el borde superficial, los esfuerzos disminuyeron un 30% cuando la velocidad del camión fué aumentando desde una velocidad menor a 40 millas/hora. En el borde de la junta transversal; y los esfuerzos fueron 15% menos que cuando fueron a 40 millas/hora.

En la prueba, cuando la rueda estuviera 0.75 de pulgada al otro lado del sitio, el pavimento simuló un defecto en la junta, los esfuerzos estuvieron disminuyendo silenciosamente, más que aumentando, como pudiera esperarse. Re-

sultados similares son reportados desde el AASHO Road Test, - esos esfuerzos reducidos por las cargas en movimiento son comprendidos cuando se está recordando que la carga estática ha estado aplicada para un considerable período después de ocurridos los máximos esfuerzos; en las pruebas de Arlington, - este período fué de casi 5 minutos.

En las mismas pruebas se observó que después de - que la carga en movimiento disminuye los esfuerzos de la carga en movimiento disminuyen en lugar de incrementarse ellos. Los factores de impacto usados para el diseño de espesores - pueden estar más correctamente clasificados como factores de seguridad de cargas.

El comportamiento de las pruebas en carreteras de la BATES, AASHO y MARYLAND y el comportamiento de pavimentos en servicio, apoyan el uso de factores de seguridad apropiados para el diseño del ancho de la losa.

Los siguientes factores de seguridad para carga - son recomendados:

- 1.- Para zonas industriales y otros múltiples proyectos donde ahí quiere tenerse un flujo ininterrompido de tráfico y el volumen de tráfico

de camiones es alto, L.S.F. = 1.2.

2.- Para carreteras y calles arterias, donde se considere se tendrá un volumen moderado de tráfico de camiones, se tendrá un L.S.F. = 1.10.

3.- Para carreteras, calles en zonas residenciales y otras calles que quieran tener un volumen pequeño de tráfico de camiones el L.S.F. = 1.00.

1.10 PERIODO DE DISEÑO.

El término "vida del pavimento" no está sujeto a una definición precisa, algunos ingenieros y agencias en carreteras considerarán la vida de un pavimento de concreto terminada cuando la primera capa del pavimento no está en su sitio. Basándonos en este concepto, la vida de un pavimento de concreto puede variar desde menos de 20 años en algunos proyectos de diseño según materiales o defectos de construcción, hasta más de 50 años en otros proyectos donde esos defectos estén ausentes.

Una base más exacta para el análisis ingenieril y

el diseño de pavimento es reconocer que la vida útil de un pavimento de concreto no es su fin cuando la primera o segunda capa está deteriorada. En cambio proseguirá el concreto servir de principal elemento "soporta-carga" en la estructura del pavimento. Basado en este concepto más realista de la vida del pavimento una reciente publicación estudió una serie de pavimentos y mostró que el 96.7% de todos los pavimentos de concreto construídos durante los 46 años entre 1913 y 1959 están sirviendo todavía. Cada una como superficie es puesta bajo soporte de la carga, la vida de un concreto es larga, ambos como pavimento y superficie, o bajo cargas, por eso es razonable los 40 años de vida útil de diseño usado en este trabajo.

1.11 CAPACIDAD.

El otro método de estimación del tráfico para diseño de espesores de pavimentos de concreto, está basado en la capacidad práctica que es el número máximo de vehículos por carril por hora que puede pasar en un punto preestablecidamente dado bajo el camino y las condiciones de tráfico fuera de la demora irrazonable o la restricción de las libertades de maniobras, prevaleciendo las condiciones incluidas: Composi-

ción de tráfico, vehículos rápidos, mal tiempo, alineación, perfil, número y ancho de carriles y tipo de zona.

El término "Capacidad Práctica" es comúnmente usado en referencia a el lenguaje de carreteras y el término "Capacidad de Diseño", es usado para propósitos de diseño, donde el flujo de tráfico es ininterrumpido.

Capacidad práctica y capacidad de diseño, son numéricamente igual, y tienen esencialmente el mismo mecanismo. En acorde con la costumbre AASHO, el término "Capacidad de Diseño" es usado en este escrito. Las capacidades de diseño para varias clases de carreteras de múltiples carriles están resumidas en la tabla 2.

1.12 PROYECCION.

Un método para la obtención de los datos necesarios de tráfico para diseño de espesores de concreto es el uso de la razón anual de crecimiento de tráfico y los factores de proyección de tráfico.

La tabla 3 muestra la relación entre la razón de

crecimiento anual de factores de proyección a 20 años y los factores de proyección a 40 años del promedio dejado.

Quiero hacer notar que los valores promedio de peso son un poco altos que los de proyección de 20 años. Sin embargo, la diferencia raramente es bastante grande para afectar el diseño del espesor en proyectos específicos. Por esta razón y porque los factores de proyección de 20 años son extensamente usados en la práctica común, estos también se mencionan en este escrito.

Los siguientes factores influyen en la razón de crecimiento anual y los factores de proyección del tráfico.

- 1.- Crecimiento de tráfico normal. El incremento debido a un incremento en el número y uso de vehículos de motor.
- 2.- Atraer o desviar el tráfico. El incremento bajo el tráfico existente debido al mejoramiento de una calzada existente.
- 3.- Tráfico generado. El incremento debido a los viajes en vehículos de motor, que no estuvieran hechos sin las nuevas facilidades no pudie

ran estar construidos.

4.- Progreso del tráfico. El incremento debido a el cambio en el uso de la tierra, que son primordiales debido a la construcción de las nuevas facilidades.

Porque esos cuatro componentes de el crecimiento de tráfico se traslapan y no son claramente definidos, muchas veces no es posible determinar cómo cada componente puede influir en el crecimiento de tráfico de un proyecto específico.

La combinación de efectos, causan anualmente una razón de crecimiento de 2 a 6%. Esta razón corresponde a un factor de proyección de tráfico a 20 años de 1.5 - 3.2 como se muestra en la tabla.

El estudio de la sección planificadora de el Departamento de Carreteras del Estado de Texas, son fuentes de conocimiento muy útiles entre la razón de crecimiento y los factores de proyección. Los ingenieros determinan los factores de proyección para proyectos de carreteras del estado y pueden también determinar factores confiables de proyección para otros proyectos.

RADIO DE ESFUERZOS Y REPETICION DE CARGA PERMISIBLE			
RADIO # DE ESFUERZO	REPETICIONES PERMISIBLES	RADIO DE ESFUERZO	REPETICIONES PERMISIBLES
0.51	400,000	0.59	2,800
0.52	300,000	0.70	2,000
0.53	240,000	0.71	1,800
0.54	180,000	0.72	1,600
0.55	150,000	0.73	980
0.56	100,000	0.74	680
0.57	72,000	0.75	490
0.58	57,000	0.76	380
0.59	42,000	0.77	270
0.60	32,000	0.78	210
0.61	24,000	0.79	160
0.62	18,000	0.80	120
0.63	14,000	0.81	80
0.64	11,000	0.82	70
0.65	8,000	0.83	60
0.66	6,000	0.84	48
0.67	4,000	0.85	30
0.68	3,000	0. —	—

* ESFUERZO DE CARGA DIVIDIDO ENTRE NÚMERO DE ESFUERZA
 * REPETICIONES SIN LIMITE PARA RADIO DE ESFUERZOS MENOR QUE 0.5

TABLA No. 1

Capacidad de Diseño para Carreteras de varios carriles	
TIPO DE CARRETERA	Capacidad de Diseño, vehículos pasajeros para carriles de 3.70 mts. por hora.
Carriles urbanos con accesos completos de control (45 a 65 kph)	1 500
Carriles suburbanos con accesos completos de control (55 a 65 kph)	1 200
Carriles rurales con accesos paralelos o totalmente libres de control	1 000
Carretera rural mejor con oroseros de tráfico apodando a intersecciones en el borde	700 - 900
Carretera rural mejor con considerables - oroseros de tráfico a intersecciones en el - borde del camino	500 - 700

TABLA No. 2

Razón anual de crecimiento de tráfico y sus correspondientes factores de proyección		
Razón anual de crecimiento de tráfico, porcentaje	Factor de Proyección para 20 años *	Promedio Factor de Proyección para 40 años †
1	1.2	1.2
1 1/2	1.3	1.3
2	1.5	1.5
2 1/2	1.6	1.7
3	1.8	1.9
3 1/2	2.0	2.2
4	2.2	2.5
4 1/2	2.4	2.8
5	2.7	3.2
5 1/2	2.9	3.6
6	3.2	4.1

* BASADO EN EL CALCULO DE LA TABLA DE INTERES COMPUESTO PARA
 10% DONDE R = razón anual y N = número de años

TABLA No. 3

C A P I T U L O

2

2.- PRESENTACION DE LOS METODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO.

2. 1. - REFERENCIAS DE LAS BASES DE DISEÑO.

2. 2.- DESCRIPCION GENERAL.

2. 3.- PAVIMENTOS EN CARRETERAS.

i). - Variables que Intervienen en el Diseño.

ii). - Gráficas de Diseño.

iii). - Método P. C. A. Standar.

2. 4.- PAVIMENTOS EN AEROPUERTOS.

i). - Variables a Considerar.

ii). - Gráficas de Diseño.

iii). - Método P. C. A. en Aeropuertos.

2.1 REFERENCIAS DE LAS BASES DE DISEÑO.

Los métodos de diseño que se exponen aquí, se basan en los conocimientos que se obtienen de las siguientes fuentes:

Los estudios teóricos (del comportamiento) de esfuerzos y deformaciones en pavimentos, hechos por: Westergaard, Gerald Pickett, Gordon K. Ray M. Burmister y otros.

Pruebas controladas en laboratorios en tramos de pavimentos y modelos; pruebas en escala industrial hechas por varias dependencias incluyendo la Portland Cement Association.

Pavimentos experimentales sujetos a pruebas de tráfico controlado tales como la "Bates test road", "The pittsburg calif test highway", "the maryland road Test", y "The aasho road test".

El funcionamiento de las normas de construcción de pavimentos sujetos a normas variadas de tráfico.

Todas estas fuentes del conocimiento son útiles, sin embargo el conocimiento ganado de la ejecución de normas

constructivas de pavimentos son las más importantes, las de Weestergaard, quién contribuyó mucho en la teoría de diseño de pavimentos de concreto. El fué uno de los primeros en reorganizar tales resultados teóricos necesarios para checar el real funcionamiento del pavimento.

2.2 DESCRIPCION GENERAL.

Como se mencionó en páginas anteriores, uno de los principales objetivos de diseñar pavimentos rígidos es proporcionar adecuadamente:

- Una razonable y uniforme superficie de apoyo.
- Impedir el bombeo de partículas finas con algún método.
- Usar un diseño simplificado pero funcional.
- Hacer un diseño que cumpla con los requisitos de seguridad.

Para hacer un resumen de todas las ideas expuestas, la meta principal del diseño, es evitar el agrietamiento que puede provenir de los fenómenos descritos anteriormente y de otros que se mencionarán.

En lo subsecuente, se comentarán las ideas esenciales que hay que tener en cuenta para el diseño, considerando que este debe incluir todos los datos técnicos relativos a la forma en que debe quedar el pavimento ya construido, que calidad deben tener los materiales y que normas deben seguirse en la construcción. No se proporcionarán datos precisos (que se pueden conseguir en muchas normas y especificaciones de distintas procedencias). Sólo se presentará la relación que existe entre las formas usuales de diseñar y los fenómenos físicos que afectan la resistencia estructural de los pavimentos.

Los principales conceptos que debe incluir un diseño desde el punto de vista estructural, se puede clasificar como sigue:

- Especificar un tipo de terracería y sub-base económica y conveniente.
- Definir los problemas relativos al perímetro del pavimento y estudiar la conveniencia de dividirlos en zona, mediante juntas de dilatación.
- Estudiar el tamaño y distribución de las losas.
- Diseñar las juntas que se emplearán y las precauciones que deben tomar al construir el pavim

mento.

- Fijar el espesor apropiado de las losas y los engrosamientos que sean oportunos en los bordes libres del pavimento.

2.3 PAVIMENTOS EN CARRETERAS.

- Variables que intervienen en el diseño.
- Gráficas de diseño.
- Método P.C.A. standard.

Variables que intervienen en el Diseño:

- Ejes de carga (peso).
- Módulo de ruptura "MR".
- Módulo de reacción del apoyo "K".
- Módulo de ruptura actuante.
- Estudio de tránsito (distribución de ejes de carga).
- Repeticiones de carga esperados y permisibles.

Ejes de Carga.

Para determinar esta variable, es necesario conocer la distribución de las cargas de tránsito, sabiendo (tanto para el caso de ejes sencillos, como para el caso de sistema tandem) las diferentes cargas que circularán sobre el pavimento. Será preciso saber por ejemplo que sobre un pavimento en proyecto circularán vehículos de ejes sencillos con carga en dicho eje de 12, 10, 8 y 6 ton., por citar algún en listado cualquiera. Análogamente será preciso saber que tipos de tandem circulación y cual será la carga de cada uno.

Por esto, se considera que para valorizar esta variable es necesario una investigación de tránsito cuidadosa.

Módulo de Ruptura "MR"

En las gráficas de diseño, las características del concreto intervienen a través del concepto módulo de resistencia a la tensión en flexión "MR", que se expresa como un esfuerzo y puede obtenerse experimentalmente probando una viga standar, pero que con mayor frecuencia se valga a partir de correlaciones con el valor de $f'c$, (resistencia del concreto a la compresión simple tras 28 días de fraguado) la -

correlación no es demasiada segura y se ve influenciada por el tipo de cemento que se use y la naturaleza de los agregados.

Como se mencionó la resistencia a la tensión se determina con el módulo de ruptura "MR", que se obtiene mediante pruebas (especificación CT-8 de la American Society for Testing an Materials, con cargas colocadas en los tercios del claro).

Las pruebas para determinar el módulo de ruptura por lo general se hacen a los 7, 14, 28 y 90 días. Los resultados de las pruebas a los 7 y a los 14 se comparan con los requeridos en las especificaciones para el control de obra y para determinar cuando pueden ponerse en servicio los pavimentos.

Para los pavimentos de los aeropuertos y algunas carreteras, normalmente se eligen los resultados de las pruebas a los 90 días como resistencia para el diseño.

Por medio de estudios de las condiciones y de evaluación se demuestra que el uso de un valor de resistencia inferior al recomendado es decir el obtenido a los 28 días, usualmente dá por resultado un pavimento sobrado. En la figu-

ra núm. 1 se muestra una relación conservadora entre la edad y la resistencia a la flexión, obtenida en varias series de pruebas de laboratorio y las hechas en probetas curadas en el campo o extraídas de los pavimentos en servicios.

La P.C.A. recomienda que el módulo de ruptura que se use para determinar el espesor del pavimento sea el de la resistencia a los 90 días o el 110 al 114% de la resistencia a los 28 días, si no se dispone de los resultados de la prueba a los 90 días.

Las siguientes relaciones aproximadas entre la resistencia a la flexión y a la compresión algunas veces es útil sobre todo en las etapas preliminares del proyecto; sin embargo el proyecto final debe basarse en los datos de las pruebas que determinen el módulo de ruptura.

$$MR = K \sqrt{F' C}$$

MR = Resistencia a la flexión (módulo de ruptura) lbs/pulg.²

K = Constante cuyo valor está comprendido entre 8 y 10.

F'C = Resistencia a la compresión.

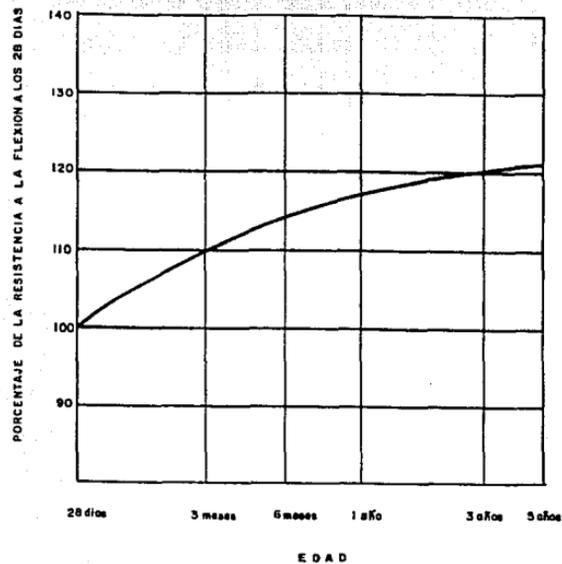


Fig. 1 - Relacion entre la edad y la resistencia a la flexion

Otra correlación general es:

$$0.10 f'c \leq MR \leq 0.17 f'c$$

En México parece conveniente utilizar el valor siguiente:

$$MR = 0.12 f'c$$

Este valor de "MR" corresponde a la condición de ruptura.

Módulo de reacción del apoyo "K".

Como ya se mencionó el valor de "K" se determina por medio de la prueba de placa sobre la sub-rasante y sobre la sub-base, si es que se usan ambas.

Aunque las pruebas con la placa de carga son preferibles, algunas veces el valor de "K" se estima por correlación con las pruebas de laboratorio para determinar la resistencia o el tipo de suelo; para obras pequeñas para las cuales no es posible hacer pruebas de carga con la placa. En la figura - núm. 2 se da una correlación aproximada para este propósito.

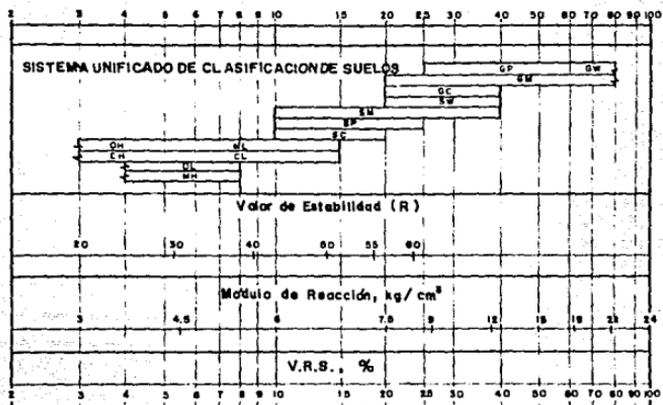


Fig. 2 - Comparación entre varios índices de resistencia que pueden usarse en sub-bases de -

Pavimentos Rígidos

Si se usa una base granular o estabilizada bajo el pavimento, habrá un aumento en el valor de "K". Siempre que sea posible deberá construirse un tramo de sub-base de prueba y hacerse pruebas con la placa de carga. Si esto no resulta práctico puede hacerse una estimación del valor de "K" con las gráficas mostradas en la figura núm. 3.

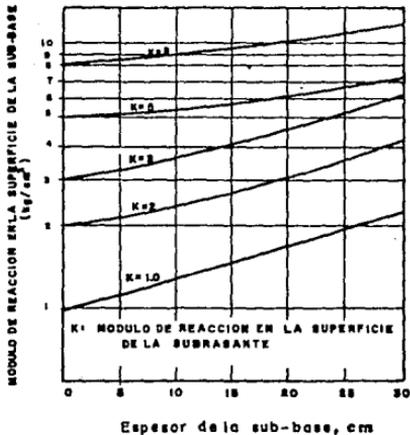
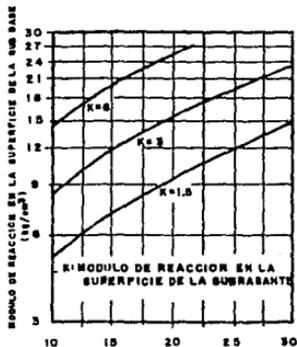


Fig. 3 — GRAFICA PARA OBTENER EL VALOR DE "K" SOBRE LA SUB-BASE CONOCIDO EL MISMO SOBRE LA SUBRASANTE. (sub-base no estabilizadas)



(sub-bases estabilizadas)
con cemento.

Prueba de Placa.

Dentro de la actual tecnología de pavimentos, se han desarrollado varias pruebas en las que se fundan los métodos de diseño; los resultados de estas pruebas sirven como parámetros para ser utilizados en algún diseño específico y/o servir como norma en la construcción de los pavimentos.

Una de estas pruebas es la llamada de placa, que en los términos de la tecnología de pavimentos, se define como la prueba para valuar la capacidad soportante de la subrasante, las bases y en ocasiones los pavimentos completos.

La prueba consiste en cargar una placa circular, en contacto estrecho con el suelo por probar, midiendo las deformaciones correspondientes a diferentes cargas. En aeropuertos es frecuente, el uso de placas de 76.2 cms. (30 pulgs.) de diámetro o de placas de área igual al contacto de una llanta. Para impedir la flexión del elemento se colocan encima otras placas de diámetro decrecientes, que dan al conjunto la rigidez deseada. La carga se transmite con gatos hidráulicos con reacción dada generalmente con camiones cargados o lastrados.

Las deformaciones de la placa suelen medirse en cuatro puntos; dos ortogonales a los otros dos por medio de extensómetros ligados a un puente, cuyo apoyo se coloca lo suficientemente retirado de la placa o zona de influencia como para poder considerarlo fijo.

Por medio de una prueba de placa puede calcularse el módulo de reacción de una subrasante dada. Este concepto se define como la presión que ha de transmitir la placa para producir en el suelo una deformación preestablecida; lo que literalmente es:

$$K = \frac{P}{A} ; \frac{\text{FUERZA}}{\text{LONG3}}$$

La carga se aplica a las placas por incrementos, cada nuevo incremento se coloca cuando la velocidad de deformación bajo el anterior sea del orden de 0.002 pul./min.

Se considera obvio que el módulo de reacción, así definido depende del área sobre la que se aplique la carga (que en este caso, depende del diámetro de la placa que se utilice). Esta es la razón por la que para las aplicaciones prácticas se ha tendido al uso de la placa estandar de 76.2 cms. (30 pulgs.) de diámetro, con lo que se supone que se re-

producen satisfactoriamente las áreas comunes de apoyo de las cargas reales.

A pesar del amplio uso que se ha hecho del concepto módulo de reacción en la tecnología de pavimentos, se tiene que señalar la falta de significado intrínseca como medida de cualquier propiedad fundamental de los suelos. Su valor - como ya se mencionó estriba más bien en seguir como parámetro de cálculo al comparar módulos obtenidos de la misma manera - en suelos diferentes.

Es de considerar que el módulo de reacción, como cualquier parámetro de comportamiento de la subrasante, depende de la humedad del suelo. En el laboratorio o en una prueba de campo debería trabajarse con la humedad que lleque a tener el suelo en el pavimento, la llamada humedad de equilibrio - (que en general es diferente de la óptima de compactación). - Pero lo que se hace es trabajar en el laboratorio con alguna humedad que se considere crítica, que en algunos casos se tr baja con la humedad de saturación.

Evaluación de los Resultados de la Prueba.

Los datos de las relaciones entre las cargas y la deformaciones obtenidas pueden dibujarse en forma de curva, - el módulo de la reacción de la sub-rasante "K" es la relación de la carga en lbs/pulg.², al desalojamiento de la placa de carga en pulgadas. Por ejemplo si la curva de la relación en tre la carga y la deformación demuestra que una carga de 7.5 lbs/pulg.² produce una reflexión de 0.05 pulgs., entonces "K" es igual 7.5 dividido entre 0.05 ó sea 150 lbs/pulg. El desalojamiento de la placa de carga que se use para determi-- nar "K" debe aproximarse a la deflexión producida en el pavimento bajo las cargas de ruedas esperadas.

La relación de la carga a la deformación cuando el desalojamiento es de 0.05 pulg. es la que generalmente se usa para lá determinación de "K". Sin embargo el Corps of Engi-- neers determina "K" en base a la deformación obtenida con una carga de 10 lb/pulg.². En los materiales con alto módulo de reacción, se produce alguna flexión en la placa y se distor-- sionan los resultados de la prueba. La figura núm. 4 permite establecer una correlación a "K".

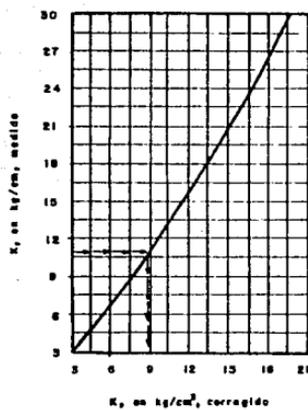


Fig. 4 - Gráfica para corregir el valor de "K" por flexión en la placa

Prueba del Valor Relativo de Soporte
(V.R.S.) o C.B.R.

Otra de las pruebas especiales utilizadas en campo y laboratorio que soportan el diseño de la tecnología de pavimentos es la prueba de valor relativo de soporte (V.R.S.) o Prueba de C.B.R., que fué desarrollada originalmente en el Estado de California, E.U.A., para atender a los proyectos viales de aquella entidad, pero pronto su utilización se ha generalizado en otros muchos lugares.

El C.B.R., se define como la relación expresada como porcentaje, entre la presión necesaria para penetrar los primeros 0.25 cms. (0.1 pulg.) y la presión para tener la misma penetración en un material arbitrario, adoptado como patrón que es una piedra triturada en la cual se tienen las presiones en el vástago para las penetraciones indicadas en la siguiente Tabla:

<u>PENETRACION</u>		<u>PRESION EN EL VASTAGO</u>	
<u>CMS.</u>	<u>PULGS.</u>	<u>KG/CM2</u>	<u>LBS/PULG2</u>
0.25	0.1	70.0	1000.0
0.50	0.2	105.0	1500.0
0.75	0.3	133.0	1900.0
1.00	0.4	161.0	2300.0
1.25	0.5	182.0	2600.0

La prueba en sí del valor relativo de soporte, se obtiene de una prueba de penetración en la cual un vástago de 19.4 (3 pulg²) de área se hace penetrar en un espécimen de suelo a razón de 0.127 cm/min. (0.05 pulg/min.) y se mide la carga aplicada para penetraciones que varíen en 0.25 cm. (0.1 pulg.).

Como se menciona la penetración que se utiliza para el cálculo del C.B.R., es la que se mide a los primeros 0.25 cms. (0.1 pulg.); como regla general, el C.B.R. disminuye cuando la penetración en que se hace el cálculo es mayor.

El espécimen de suelo en que se hace la prueba se confina en un molde de 15.2 cm. (6 pulg.) de diámetro y 20.3 cm. (8 pulg.) de altura. El método de prueba original se desarrollaba preparando el espécimen con tres capas de material

varilladas que llenarán el molde y después el material se presionaba con una carga total de 140 kg., uniformemente aplicados en la superficie superior del mismo; en estas condiciones se preparan especímenes con humedades diferentes.

En épocas más recientes el U.S., Army Corps. of Engineers ha desarrollado un método de prueba que difiere del original en lo referente al procedimiento de preparación del espécimen. Ahora se emplea un método dinámico de compactación de los especímenes, para lo que se usan pruebas como la próctor estándar, modificada u otra con diferente energía de compactación.

Los factores que se ven involucrados para afectar los valores obtenidos en la prueba del C.B.R., son la textura del suelo, su contenido de agua y el peso específico seco.

De una prueba del C.B.R., la información necesaria a obtener es generalmente la curva presión-penetración, la gráfica de compactación (humedad-peso-específico seco) y la gráfica de resultados de una prueba de C.B.R.

Con la información obtenida de la prueba, tenemos una arma más para satisfacer las necesidades en la tecnología de pavimentos.

Módulo de Ruptura Actuante.

Esta variable se determina por medio de los gráficos de diseño y está en función de otros parámetros ya comentados, como son el módulo de ruptura "MR", el módulo de reacción "K" y un espesor propuesto.

La importancia que estriba en esta variable, es - que en base a ésta se calcula o se valúa la denominada relación de resistencias.

$$Rr = \frac{MR \text{ (actuante)}}{MR \text{ (resistente)}}$$

Como se observará para esto deberá conocerse el valor de la resistencia a la tensión en flexión que se aplicará a las losas, así como el valor de dicho concepto que sirva de base al proyecto.

Una mejor visión del concepto se tendrá cuando se observe el desarrollo de un problema resuelto.

Estudio del Tránsito.

(Distribución de ejes de carga).

La información sobre la distribución de los ejes-- carga para el tráfico de camiones, es necesario para el cálculo del número de ejes simples y ejes tandam de varios pesos - esperados durante la vida de diseño. Cuando un estudio de - tráfico especial se hace, los datos obtenidos se evalúan para ver si son suficientemente adecuados, cuando se considera que esos datos no son adecuados y los estudios especiales no son hechos, los datos de la estación maestra son utilizados para el cálculo de los datos ejes carga para el período de vida de diseño.

Para llegar a tener una distribución por eje como es requerido, sólo se logrará y/o se podrá hacer con información directa de aforos o extrapolando una información regional de que previamente se dispone.

Repeticiones de Carga Esperados y Permisibles.

Para el cálculo de las repeticiones de carga permisible, la P.C.A. hizo un trabajo de investigación en el cual correlaciona la relación de resistencia "Rr" de un pavimento rígido, con el número de repeticiones de la carga correspondiente que se puede soportar sin falla.

RADIO DE ESFUERZOS Y REPETICION DE CARGA PERMISIBLE			
RADIO # DE ESFUERZO	REPETICIONES PERMISIBLES	RADIO DE ESFUERZO	REPETICIONES PERMISIBLES
0.51 ++	400,000	0.69	2,500
0.52	300,000	0.70	2,000
0.53	240,000	0.71	1,500
0.54	180,000	0.72	1,100
0.55	130,000	0.73	850
0.56	100,000	0.74	650
0.57	75,000	0.75	490
0.58	57,000	0.76	350
0.59	42,000	0.77	270
0.60	32,000	0.78	210
0.61	24,000	0.79	160
0.62	18,000	0.80	120
0.63	14,000	0.81	90
0.64	11,000	0.82	70
0.65	8,000	0.83	50
0.66	6,000	0.84	40
0.67	4,000	0.85	30
0.68	3,000	0. —	

Fig. 5- + ESFUERZO DE CARGA DIVIDIDO ENTRE MODULO DE RUPURA
 ++ REPETICIONES SIN LIMITE PARA RADIO DE ESFUERZOS MENOR QUE 0.5

Este trabajo está basado en la fatiga de los materiales que induce a lo que se conoce como "radio de esfuerzos" o relación de resistencias.

Las repeticiones de carga admisibles para esfuerzos de radio entre 0.50 y 0.85 se muestran en la tabla siguiente - de la figura núm. 5.

Se tiene una columna donde se entra con el radio de esfuerzos para conocer el número de repeticiones permisibles.

Como se podrá observar en esta tabla, si se aplica se un "MR" y tuviesemos un "MR" act., tal que la relación de resistencia diera un valor de 0.5 esto implica que al pavimento puede aplicársele cualquier número de repeticiones sin llevarlo a la falla.

Si la relación de resistencia es igual a 0.51, la carga correspondiente puede actuar 400,000 veces para provocar la falla.

Para el cálculo de las repeticiones de carga esperados, es necesario hacer un estudio de tráfico y tener las distribuciones de ejes-carga, con este dato y en base a los ejes equivalentes acumulados según datos de proyecto, se conoce

r  las repeticiones esperadas. Este concepto se aclarar  en la resolución del problema (ejemplo).

Gráficas de Diseño.

Las gráficas para el diseño son las que se muestran en la figura núm. 6 y 7, y es un trabajo de la P.C.A. Estos gráficos son para el diseño tanto de ejes sencillos como para el de ejes en tandem respectivamente.

El uso de estas gráficas est n sujetas a conocer tres variables que son:

- La carga por eje.
- El módulo de reacción "K".
- Un espesor hipotético propuesto.

El procedimiento es según la disposición de los ejes, ya sean tandem o sencillos, entrando con las diferentes cargas por eje que se tienen en la tabla, conociendo el valor de "K" y con el espesor propuesto se obtienen un "MR" actuante como se muestra en la gráfica por medio de las flechas.

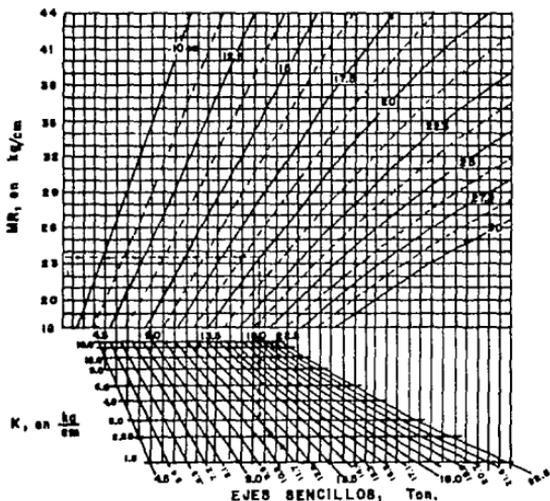


fig.6 GRAFICA DE DISEÑO, PARA CARGAS EN EJES SENCILLOS.

PAVIMENTOS RIGIDOS DE CARRETERAS.

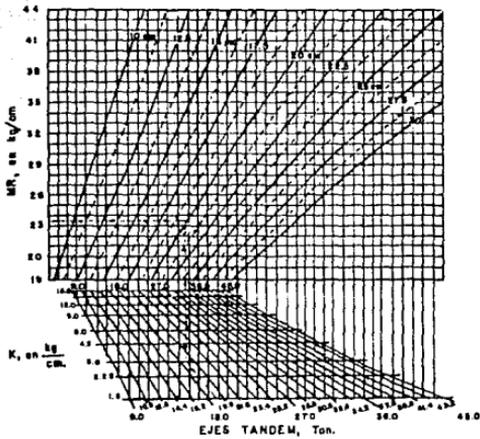


fig. 7 GRAFICA DE DISEÑO, PARA CARGAS EN EJES TANDEM

PAVIMENTOS RÍGIDOS DE CARRETERAS,

Método P.C.A. Standard.

"Método P.C.A. para Diseño de Espesores para Pavimentos Rígidos".

La forma del método P.C.A. para calcular el espesor del pavimento de concreto es el que se muestra en la secuencia siguiente; y la forma de trabajo se reproduce en la figura núm. 8 mostrada.

DATOS DE PROYECTO Y DE TRAFICO

PROYECTO INTERESTATAL - --- 4 CARRILES

TERRENO PLANO - --- UBICACION - --- URBANA

VIDA DE DISEÑO - 20 AÑOS

ADT; CALCULARLO POR CAPACIDAD

ADTT_i = 8% DE ADT

MK = 49.21 kg/cm²

K = 2.77 kg/cm³

SUB-BASE = 20 CM. (SHA TEXAS)

L.S.F = 1.2

h = 220 CM. (PROPUESTO)

TD = TRANSITO MEZCLADO

$$TD = \frac{100P}{100 + Tph(L-1)} \times \frac{5000M}{KD}$$

DATOS

P = 1500 (V.C. TABLA 20)

N = 4

K = 12 (TRAFFICO MEDIO)

J = 2

D = 60

PORCENTAJE DE CAMIONES

$$Tph = 0.67 \times 8 = 5.36$$

$$TP = \frac{100 \times 1500}{100 + 5.36(1)} \times \frac{5000 \times 4}{12 \times 60} = 39,546$$

$$ADTT = 0.08 \times 39,546 = 3,164$$

CAMIONES EN C/CARRIL = 1582

$$Tph = \frac{39,546}{2 \times 24} = 824 \rightarrow 84\%$$

TOTAL DE EJES ACUMULADOS
EN LA VIDA DE DISEÑO :

$$1582 \times 204 \times 365 \times 20 = 2,780,824.0$$

CARGA POR EJE. Tm.	FACTOR DE DISTRIBUCION POR CADA 1000 VEHICULO DE DISEÑO.	EJES DE CARGA ESPERADOS EN LA VIDA DE DISEÑO.	COMENTARIOS
EJES SENCILLOS			
13.6	0.15	1455	
12.7	0.15	1455	
11.8	0.30	2910	
10.9	7.80	75666	
10.0	30.80	296845	
EJES TARDE			
14.0	0.15	1455	
13.6	0.15	1455	
12.6	1.45	14066	
11.8	1.45	14066	
10.8	2.30	23312	
10.0	7.20	69846	
10.0	8.80	79647	
12.1	16.90	115940	

CALCULO DEL ESPESOR DE PAVIMENTO DE CONCRETO

PROYECTO _____
 TIPO INTERESTATAL - TERRENO PLANO No. de CARRILES 4
 SUBRASANTE K 3.77 kg/cm³ SUBBASE 20 cm - GRANULAR SIN TRATAR
 COMBINACION K 3.60 kg/cm³ FACTOR DE SEGURIDAD 1.2 (L.S.F.)

PROCEDIMIENTO

1. LLENAR LAS COLUMNAS 1, 2 y 3 CON EL LISTADO DE EJES DE CARGA EN FORMA DECRECIENTE
2. SUPONER EL ESPESOR PARA EL PRIMER CALCULO Y HACER INCREMENTOS DE 2 cm.
3. REALIZAR EL PRIMER CALCULO, COMPLETANDO LAS COLUMNAS 3, 4, 5, 6, y 7.
4. ANALIZAR OTRO ESPESOR y OTRO CALCULO, VARIANDO M.R., y EL TIPO DE SUB-BASE

1	2	3	4	5	6	7
EJES DE CARGA	EJES DE CARGA X L.S.F.	ESFUERZO	RADIO DE ESFUERZO	REPETICIONES PERMISIBLES	REPETICIONES ESPERADAS	RESISTENCIA A LA FATIGA PORCENTAJE UTILIZADO
TON.	TON.	Kg/cm ²		No.	No.	

ESPESOR PROPUESTO 20 cm M.R. 49.2 Kg/cm² K : 3.60 kg/cm³

EJES SIMPLES

13.6	16.3	28.5	0.50	57000	1455	3
12.7	15.2	27.8	0.57	75000	1455	2
11.8	14.2	26.0	0.53	240000	2910	1
10.9	13.1	20.5	0.42	ILIMITADO	75666	0
10.0	12.0	19.5	0.40	"	296845	0

EJES TARDEN

24.5	29.6	32.8	0.67	4000	1455	36
23.6	28.3	31.7	0.64	11000	1455	13
22.6	27.1	30.9	0.63	18000	14066	59
21.8	26.2	30.0	0.61	28000	14066	53
20.8	25.0	29.0	0.59	42000	22312	51
20.0	24.0	27.0	0.55	130000	67846	34
19.0	22.8	25.2	0.51	400000	79547	20
18.1	21.7	24.9	0.51	400000	115440	29

TOTAL > 300 %

SE ACEPTA UN PORCENTAJE = 120 %

°. HACER OTRO CALCULO. (VER No. 4)

SECUELA DE DISEÑO

CARGO	CARRA x Ft.	MR (estmado)	Rt.	REPETICIONES PERMISIBLES	REPETICIONES ESPERADAS	PORCENTAJE UTILIZADO DE LA CAPACIDAD TOTAL
Ton.	Ton.	kg/cm ²	---	---	---	---
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
EJES SENCILLOS						
18.6	16.3	28.0	0.88	500,000	2,100	1
18.7	18.8	28.0	0.91	400,000	2,400	1
			Menor que			
11.8	14.2	28.8	0.80	sin limite	---	0
10.9	13.1	---	---	" "	---	0
10.0	12.0	---	---	" "	---	0
EJES TANDEM						
24.0	22.4	28.8	0.89	42,000	2,100	7
23.9	22.3	28.2	0.87	78,000	2,100	4
22.0	27.2	27.4	0.88	120,000	20,380	23
21.8	26.1	26.6	0.84	120,000	20,380	17
20.9	22.0	22.6	0.82	200,000	48,140	16
--	--	--	---	---	---	---
			Menor que			
20.0	24.0	24.9	0.80	sin limite	---	0
19.0	22.9	---	---	" "	---	0
18.1	21.9	---	---	" "	---	0

e = 21.5 cm.
 h = 3.9 kg/cm³
 MR = 48.6 kg/cm²

Suma = 69%

Fig. 8 - TABLA DE DISEÑO DE ESPESORES DE PAVIMENTOS RIGIDOS DE CARRETERAS SEGUN LA PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (P.C.A.)

- 1.- Para llenar la columna 1 según se determinó, es necesario conocer el estudio del aforo.
- 2.- Para la columna 2, es el producto de las cargas que se consideren circularán por el factor de seguridad adoptado para el diseño.
- 3.- La columna 3, es básicamente la de mayor importancia, dado que este valor calculado está en base a los demás datos de proyecto y el uso de las gráficas de diseño.
- 4.- Para la columna siguiente se calcula el radio de esfuerzos (relación de resistencias). Dividiendo el MR del concreto usado entre el esfuerzo (columna 3).
- 5.- Con el valor de la columna anterior, y con la tabla de la figura núm. 5 se calcula el número de repeticiones permisibles para llenar la columna.
- 6.- Para llenar la columna siguiente (6) los datos necesarios son los que se calcularon con el estudio de la carga maestra, y para cada tipo de carga; que se hace por separado y se anotan en esta columna, (son el número de ejes esperados).

- 7.- Como último paso sólo queda calcular la llamada resistencia a la fatiga, que es un porcentaje de ésta, según las cargas y ejes que actúen, su cálculo se hace dividiendo el número de ejes esperados entre el número de ejes permisibles.

La suma de todos los porcentajes anotados en la columna 7 se acepta como un índice de la capacidad total de pavimento.

La P.C.A. acepta que un valor adecuado de la capacidad total del pavimento, es aquél que varíe entre un 100 - 125%. Naturalmente el porcentaje aceptable dependerá de la importancia de la carretera, el desenvolvimiento futuro del tránsito y demás factores ya antes analizados.

2.4 PAVIMENTOS EN AEROPUERTOS.

Dentro del objetivo primordial que se propone con las informaciones más recientes en lo referente a diseño de pavimentos de concreto para aeropuertos, es el de tener un manual que sirva como guía para los ingenieros que se encargan de esto.

Los actuales procedimientos de diseño se han ampliado para responder a las necesidades de los aviones de reacción; la gran velocidad de los gases que expulsan, la elevada presión de los neumáticos y los derrames de combustible no constituyen problemas graves para el concreto. Sin embargo, las condiciones de carga para los nuevos aviones y los futuros aviones pesados con varios trenes de aterrizaje, indican que deben efectuarse algunos cambios en las técnicas de diseño para tener un mejor comportamiento de los pavimentos.

Para la industria de transporte aéreo resulta muy costoso que se interrumpa el servicio para dar mantenimiento a los pavimentos o para reforzarlos, por lo tanto, los ingenieros que diseñan aeropistas deben prever los requisitos que se deben cumplir para soportar las estructuras que habrá en un pavimento durante el tiempo en que se proyectó. Los diseños deberán satisfacer esas necesidades y requerir un mínimo de mantenimiento, reconstrucción y refuerzo del pavimento.

Variabes a considerar.

En el diseño estructural de los pavimentos para aeropuertos, intervienen varios factores importantes que son:

- 1) Propiedades del concreto.
- 2) La capacidad de carga de la subrasante o de la combinación de la subrasante y la sub-base (módulo de reacción K).
- 3) Tipo de aviones, Cargas que pueden preverse para el pavimento y frecuencia de operación.
- 4) Factor de seguridad y tipo de pavimento que se proyectó como son: pistas, calles de rodaje, plataformas y pisos para hangares.

Como se observará de los factores enumerados arriba, los dos primeros ya se han comentado ampliamente y de los otros se hará la descripción apropiada.

Por lo general el diseño del pavimento para aeropuertos, está sujeto a los determinados aviones que harán uso de él. El diseño siempre se hace en base al peso máximo del avión que se considere podrá hacer uso del aeropuerto y su frecuencia de operación.

La P.C.A. dispone de gráficas especiales para el diseño del espesor del pavimento en el caso de aviones específicos; las cuales se actualizan con frecuencia para los nuevos aviones y sus cargas.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

79

Para valorizar la frecuencia de operación es necesario tomar el dato de aforo de algún aeropuerto con tráfico que se considera será similar al proyectado.

Factor de seguridad y tipo de pavimentos que se proyectan como: pistas, calles de rodaje, plataformas y pisos para hangares.

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

La estimación del tráfico futuro, es indudable uno de los factores más importantes en el diseño de los pavimentos para aeropuertos; los datos sobre las futuras operaciones y cargas pueden obtenerse de varias fuentes incluyendo las predicciones de las líneas de aviación comerciales, de los funcionarios que administran los aeropuertos y de los proyec-

tos de los fabricantes de aviones.

Tomando en cuenta esta información puede elegirse un coeficiente de seguridad adecuado y así usarse en la determinación de los esfuerzos de trabajo admisibles en las gráficas de diseño.

Cuando se hace una predicción específica de la composición del tráfico de aviones que operarán durante la vida de proyecto del pavimento, los métodos de fatiga descritos en la nota adjunta pueden usarse para determinar con más precisión los efectos del tráfico. Se recomiendan las siguientes amplitudes de variación de los coeficientes.

Zonas Críticas

Factor de Seguridad

Plataformas, calles de rodajes, estacionamientos, extremos de las aeropistas en una distancia de 1000 pies y pisos de hangares.

1.7 - 2.0

Zonas No Críticas

Factor de Seguridad

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

1.4 - 1.7

En la porción central de las pistas se permiten coeficientes de seguridad menores, por que la mayor parte del tráfico consiste en cargas que se mueven a gran velocidad que son parcialmente sostenidas por el aire, además las cargas de las ruedas de los aviones están distribuidas transversalmente sobre una superficie ancha de pavimento, de manera que el número de repeticiones de esfuerzo en un lugar cualquiera es de masiado pequeño mucho menor que en una calle de rodaje, aún en los aeropuertos con una sola pista.

En los lugares en que las calles de rodaje crucen a la pista principal; a una corta distancia a cada lado de la calle de rodaje debe ser del mismo espesor que ésta. Todas las porciones de la pista que vayan a servir de calle de rodaje deben tener el mismo espesor que las calles de rodaje.

En los aeropuertos en que vayan a operar gran número de aviones con cargas críticas, deberán usarse coeficientes de seguridad que se aproximen a los mayores sugeridos en la amplitud de variación; en los aeropuertos que sólo funcionarán ocasionalmente aviones con cargas críticas, deberá usarse los coeficientes menores. Los aeropuertos para pocas operaciones diarias con las cargas críticas, deberá usarse un valor intermedio. Aún cuando haya un número grande de operaciones de aviones ligeros, la resistencia a la fatiga del concreto no se

utilizará totalmente; un coeficiente de 2.0 permite operar un pavimento a toda su capacidad.

Para las pistas de trabajo pesado que dan servicio a grandes volúmenes de tráfico, los proyectistas algunas veces optan por el diseño de una sección en quilla, en la que la porción central del pavimento es más gruesa que en los bordes. Los coeficientes de seguridad para proyectos con esta sección se mencionarán posteriormente.

Diseño de pavimentos de sección en quilla para aeropistas.

Basándose en el mismo método P.C.A. el diseño de espesores para aeropuertos, se pueden diseñar las llamadas secciones en quilla (la sección en quilla es un pavimento que se engruesa en su porción central y que se adelgasa hacia los bordes de la pista).

En la mayoría de los aeropuertos con mucho tráfico, la porción central de las pistas pueden considerarse como 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 reducción de espesor en las losas cerca del borde exterior de las pistas, puede justificarse porqué muy pocos aviones, si es que algunos corren cerca de la quilla, especialmente en las pistas anchas (200 pies) especificados para las instalaciones.

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 con gran volumen de tráfico) para obtener un pavimento más grueso en la mitad de una pista de cuando menos 75 pies de anchura, úsense espesores uniformes en todas las losas comprendidas - total o parcialmente en esta zona.

En la zona fuera del tramo en quilla, úsese un factor de seguridad intermedio (aprox. 1.7) para determinar los espesores menores (de 20 - 25% menor que el espesor del tramo de quilla) para las losas de transición entre el tramo en qui

lla 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.

Graficas de Diseño.

En la Portland Cement Association se pueden obtener gráficas para el diseño de pavimentos para la mayoría de los aviones civiles y militares. En este escrito sólo se presentan algunos, dado que siempre están en constante modificación (actualización) cada vez que se obtienen datos sobre modificaciones de los aviones actuales y de los nuevos.

En el uso de las gráficas hay que poner mucho cuidado sobre todo en los detalles para hacerlo en forma correcta, deberá elegirse la gráfica específica para los datos de las cargas, el tren de aterrizaje, separación de las ruedas y el área de contacto para el avión en cuestión.

Es importante hacer hincapié en estas recomendaciones, ya que los esfuerzos producidos por las cargas se basan

en las del tren de aterrizaje, y no en el peso bruto del avión. La carga del tren de aterrizaje en el centro de gravedad máximo de popa usualmente se dan como datos del fabricante del avión. En la siguiente tabla se presenta un ejemplo de información del avión DC-8.

Datos para el diseño del avión DC-8

Polivalente - No Demand - Doble

No.	AVION	TIPO	DIMENSIONES				DISPOSICION DE LAS RUEDAS EN EL TIPO DE ATERRIZAJE						PESOS BRUTOS CARGADOS			PREJIO EN LOS NEUMATICOS		AREA DE LA SUPERFICIE DE CONTACTO	
			Longitud	ANCHO	TRECHA	SEPARACION ENTRE LAS RUEDAS (mm) (Inch)	RUEDAS DELANTERAS	RUEDAS EN EL INTERMEDIO	RUEDAS EN LA CUBA	Totales (Tm)	Tipo de Atterrizaje	En el Intermedio	En la CUBA	En los neumáticos	En los neumáticos	En la CUBA			
1	DC-8-02	Transporte	142.4	180.7	20.8	67.5	Debiles	Debiles en Tandem	18.5	30	33	300,000	24,000	138,000	145	163	108	209	
2	DC-8-33	Comercial									318,000	29,600	143,200	158	174	105	209		
3	DC-8-34										318,000	28,600	143,200	159	174	105	209		
4	DC-8-35										325,000	29,800	147,600	168	182	106	209		
5	DC-8-61										325,000	21,900	151,600	118	184	105	209		
6	DC-8-61			187.4		77.5					325,000	21,800	151,600	118	184	105	209		
7	DC-8-62		148.4	187.5		60.8					350,000	27,400	161,300	165	199	108	220		
8	DC-8-62		148.4	187.5		60.8					335,000	26,200	154,400	135	188	108	209		
9	DC-8-63		148.4	187.4		77.5					350,000	25,400	162,300	140	201	105	220		

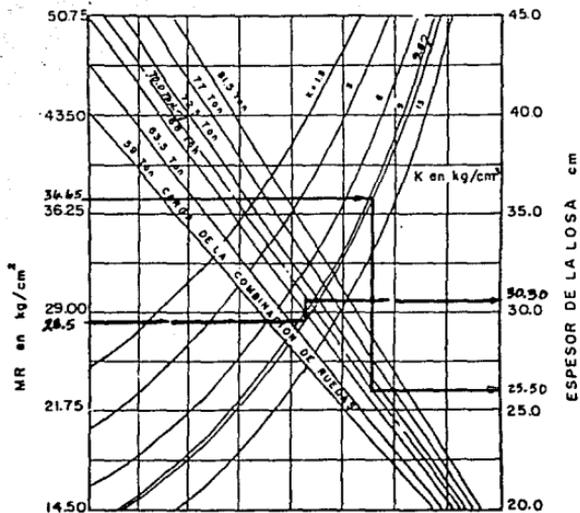
En la mayoría de casos para los aviones la carga - en el tren de aterrizaje puede estimarse del peso bruto del avión, con la suposición de que del 93% al 95% del peso total está en el tren principal.

Los que usen las gráficas verán una línea de flechas punteadas que representa la carga de diseño reportada - por los fabricantes del avión, cuando se publicó la gráfica.

También se han incluido líneas de carga 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 los aviones operados con cargas menores que las de diseño, como las de los aviones que vuelan a los aeropuertos más pequeños.

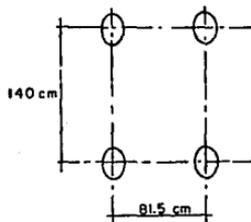
Es importante hacer la aclaración de que es posible interponer entre las líneas de carga o curva "K" para la combinación de subrasante y base si se usan valores intermedios.

Debe mencionarse que la secuencia que se sigue en el uso de variables es la indicada en el ejemplo por flechas punteadas.



GRAFICA DE DISEÑO DE ESPESORES DE LOSA

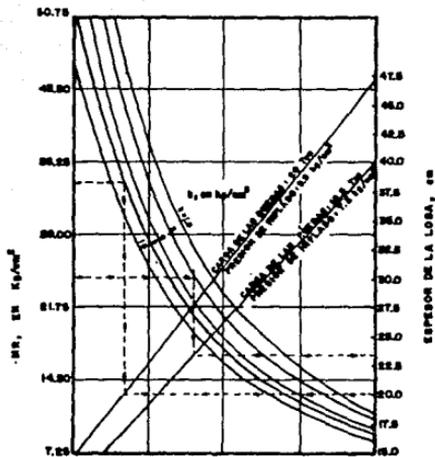
AVIDN DC-8



AREA DE CONTACTO POR
LLANTA: 1420 cm^2

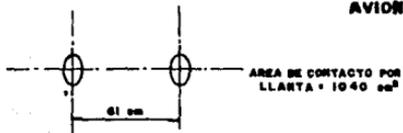
En las siguientes figuras, se presentan las gráficas de diseño de pavimentos rígidos para aeropistas que corresponden a los aviones más comunes en el momento presente.

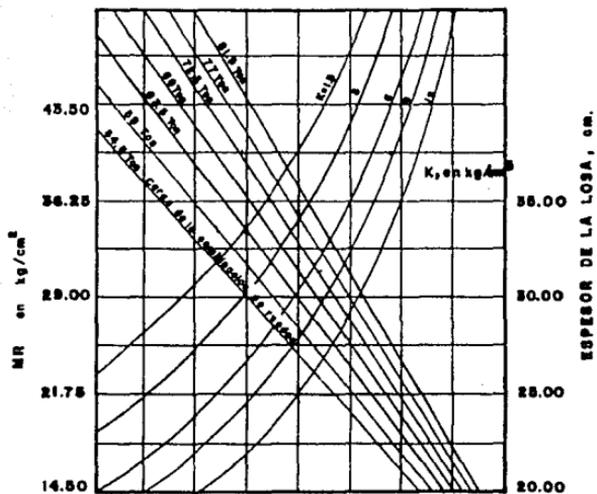
En cada caso se especifican características del tren de aterrizaje, de la presión de inflado y otras de interés para el diseño.



GRAFICA DE DISEÑO DE ESPESES DE LOSA DE CONCRETO

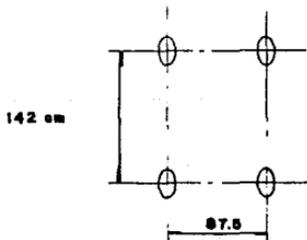
AVION DC-9



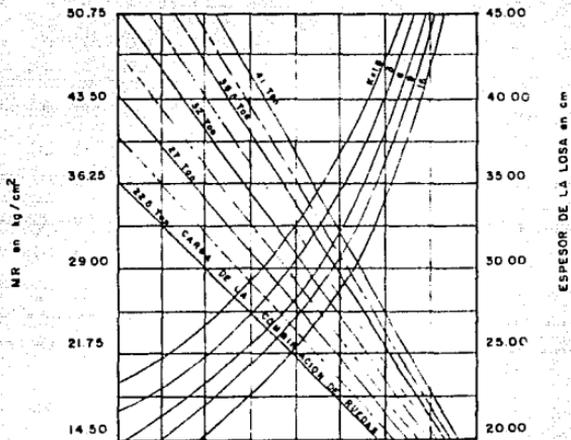


GRAFICA DE DISEÑO DE ESPESORES

AVION BOING 707



AREA DE CONTACTO POR
LLANTA: 1410 cm²



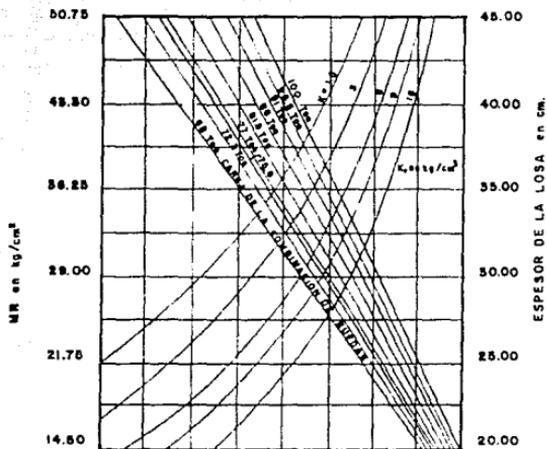
GRAFICA DE DISEÑO DE ESPESORES
DE LOSA

AVION BOING-727



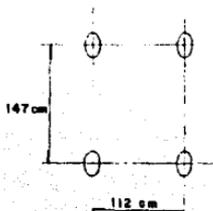
86.5

AREA DE CONTACTO POR
LLANTA : 1530 cm²



GRAFICA DE DISEÑO DE ESPESORES DE LOSA

AVION BOING-747



AREA DE CONTACTO POR
LLANTA = 1540 cm²

Método P. C. A. en Aeropuertos.

Procedimientos para Diseñar.

Se determina el valor de "K" por medio de pruebas con placa de carga o correlacionado los datos de las pruebas efectuadas en el suelo de la subrasante.

Se hace una estimación cuidadosa de las condiciones de operación y de cargas 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.

Los esfuerzos de trabajo para un avión específico se determinan dividiendo el módulo de ruptura del concreto por el coeficiente de seguridad elegido.

Con la gráfica para diseño del avión específico, se determina el espesor del pavimento para el esfuerzo de trabajo determinado. En la gráfica se procede de la siguiente forma:

Entre horizontalmente con el esfuerzo de flexión -

hasta llegar a la carga en el tren de aterrizaje, suba verticalmente hasta chocar con la línea que se ajuste el valor de "K" y luego siga horizontalmente para obtener el espesor.

Repítase el proceso para otras cargas críticas, eligiendo de nuevo factores de seguridad adecuados a las condiciones de operación previstas para estos aviones y elija un espesor de diseño para condición más crítica.

En la figura siguiente se muestra la secuela de cálculo de espesores de pavimento.

SECUELA DE CALCULO DE ESPESOR DE LOSAS (P.C.A.)

Valor de $K=14 \text{ kg/cm}^2$

$MR=492 \text{ kg/cm}^2$

AEROPUERTOS

AVION	CARGA EN TRM DE ATERRIZAJE EN TONS	OPERACIONES	PAVIMENTO PARA					
			FINALES DE PISTAS DE RODAJE			LA PORCION CENTRAL DE LA PISTA		
			COEF. DE S.	ESFUERZO DE TRABAJO EN kg/cm^2	ESPESOR DE LOSA	COEF. DERRIVAL	ESFUERZO DE TRABAJO, $\text{MR}/\text{col.7}$	DE LOSA (cm)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
B-727	36 500	FRECUENTE	2.0	24.00	25.6	1.7	29.0	31.8
DC-10	88 810	FRECUENTE	2.0	24.00	26.6	1.7	29.0	32.3
DC-8-62	74 800	OCASIONAL	1.8	27.30	28.8	1.8	22.0	21.50

C A P I T U L O

3

3.- DISCUSION DE LOS METODOS DESCRITOS.

- 3.1. - VALORIZACION DE LAS CAUSAS Y EFECTOS PRODUCIDOS POR LAS VARIABLES.**
- 3.2. - COMENTARIOS SOBRE LOS METODOS DE DISEÑO.**
- 3.3. - CONCLUSION.**

3.1 VALORIZACION DE LAS CAUSAS Y EFECTOS PRODUCIDOS POR LAS VARIABLES.

Los factores que afectan al espesor de la losa, son principalmente el nivel de carga que han de soportar, las presiones de inflado de las llantas de los vehículos, el módulo de reacción del suelo de apoyo y las propiedades mecánicas del concreto que en ellas se utilice.

Es una hipótesis usual en todos los métodos de diseño, el que existe un íntimo y completo contacto entre la losa y el suelo de apoyo en todo instante. Esta hipótesis obliga a realizar consideraciones adicionales a los resultados de los cálculos, pues efectos como el bombeo o el alabeo hacen que ese contacto supuesto, se pierda parcialmente. Creándose situaciones que han de prevenirse independientemente y generalmente por medio de la regla de "Arte".

Se ha demostrado que el espesor requerido para la losa, depende relativamente poco del valor del módulo de reacción del terreno de apoyo, que es el parámetro a través del cual la calidad del suelo influye en el diseño de la losa de concreto. Esto ha conducido a que en la mayor parte de los diseños de pavimentos rígidos, se conceda relativamente poca

atención a la calidad de los materiales de la sub-base, a los que se permite variar entre límites relativamente amplios; - estableciendo algunas especificaciones de carácter básicamente empírico, con el objeto de prevenir el bombeo u otros efectos perjudiciales. De esta manera, el papel de la mecánica - de suelos aplicada ha sido escaso en el desarrollo de la tecnología de los pavimentos rígidos.

Como se mencionó el apoyo de la losa de concreto - (llámese base o sub-base), se proyecta tan indeformable como lo permita su costo, dado que es la única característica del terreno que afecta a la resistencia estructural del pavimento en su deformabilidad bajo la acción de las cargas. Una recomendación para evitar la deformabilidad, la absorción y el - bombeo, es que la sub-base debe tener buena compactación y - ser lo más impermeable que se pueda, o estar contruida con materiales no absorbentes, y que no puedan ser arrastrados por el bombeo. En general los materiales gruesos proporcionan - estas características convenientes.

Al analizar la diferencia del comportamiento de un pavimento de concreto simple colado con o sin juntas, se mencionó la razón de dividirlo en placas que no se agrieten y en tal forma que sus bordes queden trabados unos con otros para - que forzosamente se tengan que acompañar en sus movimientos -

verticales, de tal manera que se ayuden mutuamente a soportar las cargas rodantes.

Dichas exigencias son las que determinan el tamaño máximo de las losas. Cuanto más pequeñas sean mejor las cumplirán pero presentarán mayores problemas, costo de construcción y tal vez de conservación. Por esta razón, la práctica usual es darles el mayor tamaño compatible con las exigencias señaladas.

Los fenómenos estructurales que pueden afectar nocivamente a las losas de gran tamaño son:

- 1.- Posibles agrietamientos debido a las contracciones de los primeros días, cuyo efecto es mayor en las losas delgadas que en las gruesas.
- 2.- Posibles agrietamientos debido al esfuerzo de alabeo o a la combinación de estos esfuerzos con los producidos por las cargas rodantes.
- 3.- Reducción de la capacidad de transferencia de carga de las juntas si se abren en exceso.

Como último punto, es conveniente que las losas - sean cuadradas, ya que las de geometría irregular se agrietan con más facilidad.

3.2 COMENTARIOS SOBRE LOS METODOS DE DISEÑO.

"Espesor de la Losa". Probablemente éste sea el dato más interesante desde el punto de vista de la resistencia estructural de los pavimentos y uno de los factores más importantes de su costo; sin embargo al parecer no existen bases claras que permitan efectuar cálculos racionales precisos para definirlos.

La forma lógica de diseñar un pavimento, es estudiar sus características generales, definiendo su terracería, sus perímetros, la forma de sus losas y el tipo de juntas. Mediante criterios parecidos a los expuestos en capítulos anteriores, después se calculará el espesor que se dará a la losa.

Generalmente el espesor es el único dato del diseño que se obtiene mediante cálculo matemático, es difícil una idea clara de lo que significa este cálculo, ya que el espesor de una losa tiene que proporcionar resistencia frente a -

varios fenómenos y (en la práctica usual) el cálculo toma en cuenta sólo uno de ellos, que además puede no ser el más importante, inclusive no todas las normas lo analizan en la misma forma.

Aspectos que Incluye el Método de Diseño.

1.- Campos de Interacción.

El criterio de diseño estructural de pavimentos no se limita exclusivamente a las gráficas para el proyecto de espesores como frecuentemente se supone, comprende tres aspectos fundamentales que deben estar estrechamente relacionados entre sí, para que el procedimiento sea aplicable.

- a. Especificaciones de Materiales, procedimientos y tolerancias de construcción; además de las normas de conservación y niveles de rechazo o aceptación, así como los factores de seguridad, etc.
- b. Métodos de prueba para obtener indicadores estandar sobre clasificación o resistencia de materiales, uniformidad de construcción, resis-

tencia de conjunto, etc.

- c. Gráficas y tablas que relacionen de una manera explícita el mayor número de variables de diseño que puedan valuarse en la práctica, a través de procedimientos debidamente normalizados.

Por lo tanto es necesario que los criterios de proyecto se desarrollen a través de experimentación propia, y que se adapte a las condiciones regionales.

2.- Variables de Diseño y Conservación.

Las variables que intervienen en el diseño de un pavimento, pueden clasificarse en tres categorías, las cuales son:

- i. Estructurales.- Incluyen características relativas a cada una de las capas que constituyen las carreteras, así como espesores, resistencia y deformabilidad en las condiciones esperadas de servicio.
- ii. De Carga.- Se refieren a los efectos produ-

cidos por el tránsito mezclado al circular - por el pavimento. En este caso son importantes los datos relacionados con el tránsito - medio diario anual, tasa de crecimiento a--nual, cargas por eje, sencillo o tandem, higtograma de distribución del tránsito en la - sección transversal del camino y vida de proyecto del pavimento, antes que la carretera requiera una reconstrucción. En cuyo caso - deba definirse de antemano el criterio de - falla del pavimento.

Para simplificar esta información y poderla presentar en gráficas de diseño, generalmen- te el tránsito mezclado se transforma en - tránsito equivalente, en ejes sencillos me--diante el empleo de factores teóricos o empíricos.

Las condiciones que constituyen la falla del pavimento, normalmente se definen de acuerdo con la deformación permanente acumulada a - través de la vida de servicio, sin embargo - para condiciones de tránsito muy intenso, -

muchas veces, puede constituir suficientes motivos de rechazo una deflexión elástica alta en la carretera y/o un agrietamiento importante.

- iii. De Clima y Condiciones Regionales.- Las características geológicas de los materiales que constituyen la carretera, dependen de la temperatura, régimen de precipitación, precipitación media anual, nivel freático, geología y topografía de la región.

Como último diremos que el comportamiento del pavimento está relacionado con la interacción de las variables de diseño, (estructura, tránsito, clima y condiciones regionales) como una cuarta serie de factores.

En sí, para el diseño de un pavimento la secuela y solicitudes se pueden resumir en la siguiente tabla.

1.- FASE DEL PROYECTO.

- Dimensionamiento de la losa, tipo y ubicación - de juntas.
- Fijación de las normas de calidad y de los fren- tes de aprovisionamiento de materiales.
- Especificaciones generales y normas de construc- ción.
- Tolerancias de construcción y acabado.

2.- QUE SE DEBE HACER.

- Estudios especiales (Específicamente en:).
- Exploración y muestreo a lo largo de la ruta.
- Ensayes de laboratorio.
- Análisis de tránsito.
- Clima y factores ambientales.
- Recursos y potencialidad de materiales.

3.- QUE SE DEBE TENER.

- Buen conocimiento de los diferentes factores que afectan el comportamiento de un pavimento.
- Cierta dominio de varios de los principales métodos desarrollados para el dimensionamiento de las diferentes capas.
- Familiaridad con las normas que regulan la calidad y comportamiento de los materiales.
- Experiencia y buen juicio.

4.- PROYECTO.

3.3 CONCLUSIONES.

Lo que se ha expuesto en este escrito, hace sentir que existen demasiadas indeterminaciones para analizar racionalmente los fenómenos que afectan la resistencia estructural de los pavimentos de concreto, a partir de las propiedades de los materiales que lo formen.

Los métodos actuales de diseño, proporcionan los elementos necesarios para proyectar pavimentos que la experiencia ha demostrado tener la resistencia estructural necesaria. Los métodos se basan esencialmente en resultados prácticos y los resultados de los cálculos matemáticos para determinar los espesores de las losas (que se resuelven mediante gráficas o nomogramas) aunque no son totalmente racionales, dan seguramente buenos resultados severamente sancionados por la experiencia.

Se pretende que lo aquí escrito pueda ser de utilidad para quienes tengan que ver con la proyección de pavimentos de concreto; que lo descrito aquí sirva para tener una descripción de los fenómenos que afectan la resistencia y que son los que han dado lugar a las normas de diseño usuales, las que están ampliamente divulgadas por muchas instituciones.

Sin embargo, no es fácil encontrar una descripción resumida de dichos fenómenos.

Del estudio no se deriva ninguna manera de proceder nueva, original, se necesitarían continuar con pruebas y observaciones para (tal vez) poder llegar a resultados positivos o mejor dicho más justificables que los que se tienen. Además de que posiblemente se podrían precisar variantes en los diseños de acuerdo con los climas y el tipo de concreto empleado.

En resumen, para diseñar un pavimento de concreto hidráulico, se debe seguir normas y criterios establecidos por instituciones oficiales como son los mencionados en el cuerpo de este escrito; pero para comprender como funcionan los pavimentos estructuralmente hablando, se debe pensar en los problemas planteados en este escrito y seguramente en otros que se han escrito.

Como un tema complementario al diseño de pavimentos es el de las juntas, la disposición de todo el conjunto de estos elementos en un proyecto es compleja y se sale por completo de los alcances de este trabajo, por lo que se omitirán detalles y sólo se dará una visión exclusivamente con el fin de ilustrar el criterio a seguir para la elección de los tipos de juntas que se utilizan; asimismo, se hará mención a lo referente al acero de refuerzo de las losas.

En los pavimentos rígidos las juntas pueden dividirse principalmente en estos grupos:

- JUNTAS DE CONSTRUCCION
- JUNTAS DE EXPANSION
- JUNTAS DE CONTRACCION
- JUNTAS DE ALABEO

Y su proyección está encaminada a cumplir correctamente a:

- CONTROLAR EL AGRIETAMIENTO PROVOCADO POR CONTRACCIONES Y POR LA COMBINACION DE LOS EFECTOS DEL ALABEO Y LAS CARGAS.
- PROPORCIONAR LA ADECUADA TRANSFERENCIA DE CARGA A TRAVES DE LAS JUNTAS.

--- EVITAR LA INFILTRACION DE MATERIALES EX--
TRANOS ENTRE LAS LOSAS.

Las juntas también dividen al pavimento en porciones adecuadas para su construcción y permiten los movimientos de las losas en las intersecciones con otros pavimentos o estructuras.

Juntas de Construcción.

Las juntas de construcción son paralelas a los carriles de la construcción (de ahí su nombre) y la separación entre estas juntas depende del equipo de construcción usado, de la anchura total del pavimento y del espesor del mismo.

Estas juntas corresponden a las interrupciones de las operaciones de colado y deben garantizar la continuidad estructural.

Juntas de Expansión.

Este tipo de junta se dispone para permitir que

las losas de concreto se expandan una contra otra sin destruirse. Es recomendable dejar juntas de expansión entre los pavimentos y todos los edificios y otras estructuras fijas dentro del área del proyecto.

Juntas de Contracción.

Este tipo de juntas ayudan a controlar la formación de grietas irregulares por la contracción del pavimento y disminuyen los esfuerzos producidos por las restricciones a los cambios de volumen en el concreto.

Juntas de Alabeo.

Estas juntas tienen por misión evitar los agrietamientos a lo largo del eje del camino o pavimento; en las líneas de unión de las diferentes hileras de losas que se producirían al elevarse sus bordes cuando la losa es cargada.

En todas las juntas se usan materiales de relleno para evitar la entrada de materiales perjudiciales y deben ser capaces de soportar la expansión y compresión repetida, conforme el pavimento se dilata y se contrae con los cambios de temperatura y humedad.

Acero de Refuerzo en los Pavimentos.

Cuando el pavimento está dividido por juntas formando tableros que controlen las grietas intermedias, el acero de refuerzo no es necesario.

Cuando las juntas se colocan de manera que se forman tableros muy grandes y puedan esperarse que se formen algunas grietas intermedias, se usa acero uniformemente distribuido. En este caso también se usarán pasadores en todas las juntas transversales para asegurar la adecuada transferencia de carga ya que se producirán aberturas mayores en las juntas.

La función del acero uniformemente distribuido en los pavimentos con juntas, es mantener unidas las caras de las losas fracturadas si se forman grietas; este acero no aumenta mucho la resistencia a la flexión cuando se usa en cantidad comprendida en el rango establecido, los espesores de los pavimentos reforzados son los mismos que para los pavimentos sin refuerzo.

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.

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 de refuerzo por metro lineal está dado por la expresión siguiente:

$$A_s = \frac{W C L}{f_s}$$

Donde:

W = Peso de la losa en kg/cm^2

C = Coeficiente de fricción entre la losa y sub-base = 1.5

f_s = Esfuerzo permisible a la tensión en el acero 0.75 f_y

L = Distancia entre juntas en Ml.

A_s = Area total de la sección transversal de acero en cm^2/Ml .

La separación centro a centro en el acero de refuerzo se calcula con la siguiente expresión:

$$S = \frac{A_b}{A_s} (100)$$

Donde:

S = Separación centro a centro en cm.

A_s = Area total de la sección transversal necesaria.

A_b = Area de la sección transversal de una varilla.

C A P I T U L O

4

**4.- PROYECTO DE PAVIMENTACION DE LA PISTA,
CALLES DE RODAJE Y PLATAFORMAS EN EL
AEROPUERTO DE MONTERREY, N. L.**

4.1. - INTRODUCCION.

4.2.- DATOS DE DISEÑO.

4.3.- PROYECTO.

4.1 INTRODUCCION.

El proyecto para la construcción del nuevo aeropuerto en Monterrey, N. L., comprendió la pavimentación de una pista con 3500 mts. de longitud por 60 mts. de ancho, orientada según la dirección 11-29; una plataforma de estacionamiento de 335 mts. por 245 mts., una calle de rodaje paralela a la pista de 3850 mts. de longitud por 23 mts. de ancho y 2 tramos de acceso de 47 mts. y 215 mts. de longitud respectivamente, por 23 mts. de ancho. Adicionalmente se pretende construir una plataforma para el estacionamiento de avionetas de 245 por 90 mts.

De acuerdo con el criterio fijado por la normatividad de la S.A.H.O.P., por tratarse de un aeropuerto internacional de distancias largas se consideró que el pavimento en todas las áreas por construir deberfan ser del tipo rígido, con excepción de las zonas correspondientes a la plataforma para avionetas. En el plano núm. 1 se muestra la zonificación de los pavimentos.

4.2 DATOS DEL PROYECTO.

1.- Tipo de aeronave para el diseño del pavimento:

- a) Avión DC-8; peso máximo de 140 ton. para pista, calle de rodaje, tramos de acceso y plataformas principales.
- b) Avión DC-3, con peso máximo de 11 ton. para la plataforma de avionetas.

2.- Valores relativos de soporte:

- a) De las terracerías compactadas al 95% : 8%.
- b) De la capa subrasante compactada al 100% : 15%.

3.- Módulo de reacción de capa subrasante: $K = 7 \text{ Kg/cm}^3$.

4.- Características del concreto hidráulico.- Módulo de resistencia a la tensión por flexión, $MR = 45 \text{ Kg/cm}^2$, a los 28 días.

4.3 PROYECTO.

En el plano núm. 2 se muestra el perfil del suelo a lo largo del Eje de la pista. En general el suelo de cimen

tación está constituido en su parte superficial por capas de arcilla de baja compresibilidad (CL) con carbonato de calcio, cuya consistencia varía de poco firme a firme con la profundidad.

Según los cálculos realizados, el pavimento rígido quedó constituido por losas de concreto hidráulico de 30 cms. de espesor, apoyadas sobre una sub-base de 20 cms.; dicho espesor corresponde a la plataforma, calles de rodaje, tramos de acceso, cabeceras y porción central de 20 mts. de ancho de la pista; en las fajas laterales de la misma se ha reducido el espesor de las losas a 24 cms., estas fajas tienen un ancho de 15 mts. cada una. Entre las fajas central y laterales existen dos fajas intermedias de transición de 5 mts. de ancho. En ambos lados de los tramos de acceso a la plataforma y calles de rodaje, se construyeron acotamientos de 6.0 mts. de ancho, los cuales están constituidos por una base de 15 cms. de espesor, sobre la que se colocó una carpeta construída por el procedimiento de mezcla en el lugar de 4cms. de espesor.

El pavimento para la plataforma de avionetas quedó constituido por capas de sub-base y base de 15 cms. de espesor cada una y una carpeta de riego.

CALCULO DE ESPESOR DEL PAVIMENTO

CARGA AVION DC-8-62 _____ 140 Ton. (Peso máx.)

TREN DE ATERRIZAJE PRINCIPAL _____ DOBLES EN TANDEN

CARGA POR EJE _____ 70 Ton.

MODULO DE REACCION DE SUBRASANTE _____ $K = 7 \text{ kg/cm}^3$

CONCRETO HIDRAULICO _____ $MR = 45 \text{ kg/cm}^2$ (a 28 días)

DESARROLLO

$MR \text{ DE DISEÑO} = 45 \times 1.14 = 51.3 \text{ kg/cm}^2$ (La evaluación se recomendó a los 90 días)

FACTOR DE SEGURIDAD = 1.8 (Frecuencia de operación mediana)

CALCULO DEL MODULO DE REACCION EN LA SUB-BASE

SE PROPONE UTILIZAR UNA SUB-BASE DE _____ 20 cm de espesor

CON ESTE DATO Y LA FIG. 3 DA COMO RESULTADO _____ $K = 9.8 \text{ kg/cm}^3$

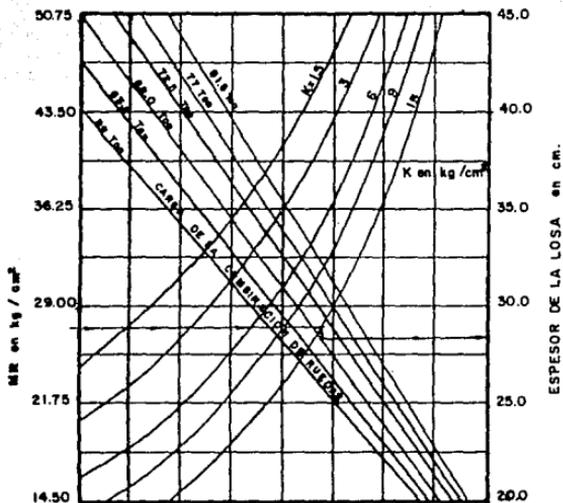
CALCULO DE ESPESORES $MR = 51.3 \text{ kg/cm}^2$ $K = 9.8 \text{ kg/cm}^3$

AVION	CARGA	F.S.	PARTE CETRAL			ZONA LATERALES		
			F.S.	Est. de Trab.	Espesor	F.S.	Est. de Trab.	Espesor
DC-8-62	70 Ton	1.8	1.8	1.8	1.8	1.4	1.8	1.8

(ver gráfico de diseño)
(avión DC-8)

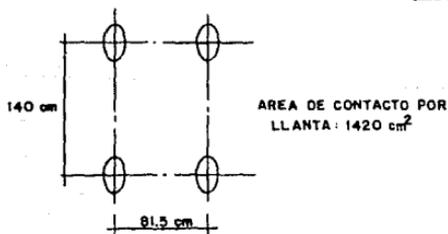
$H = 30 \text{ cm}$; con sub-base de 20 cm y $K = 7.0 \text{ kg/cm}^3$ en subrasante (CABECERAS, PARTE CENTRAL)

$H = 24 \text{ cm}$; con sub-base de 20 cm y $K = 7.0 \text{ kg/cm}^3$ en subrasante (FAJAS CENTRALES)



GRAFICA DE DISEÑO DE ESPESORES DE LOSA

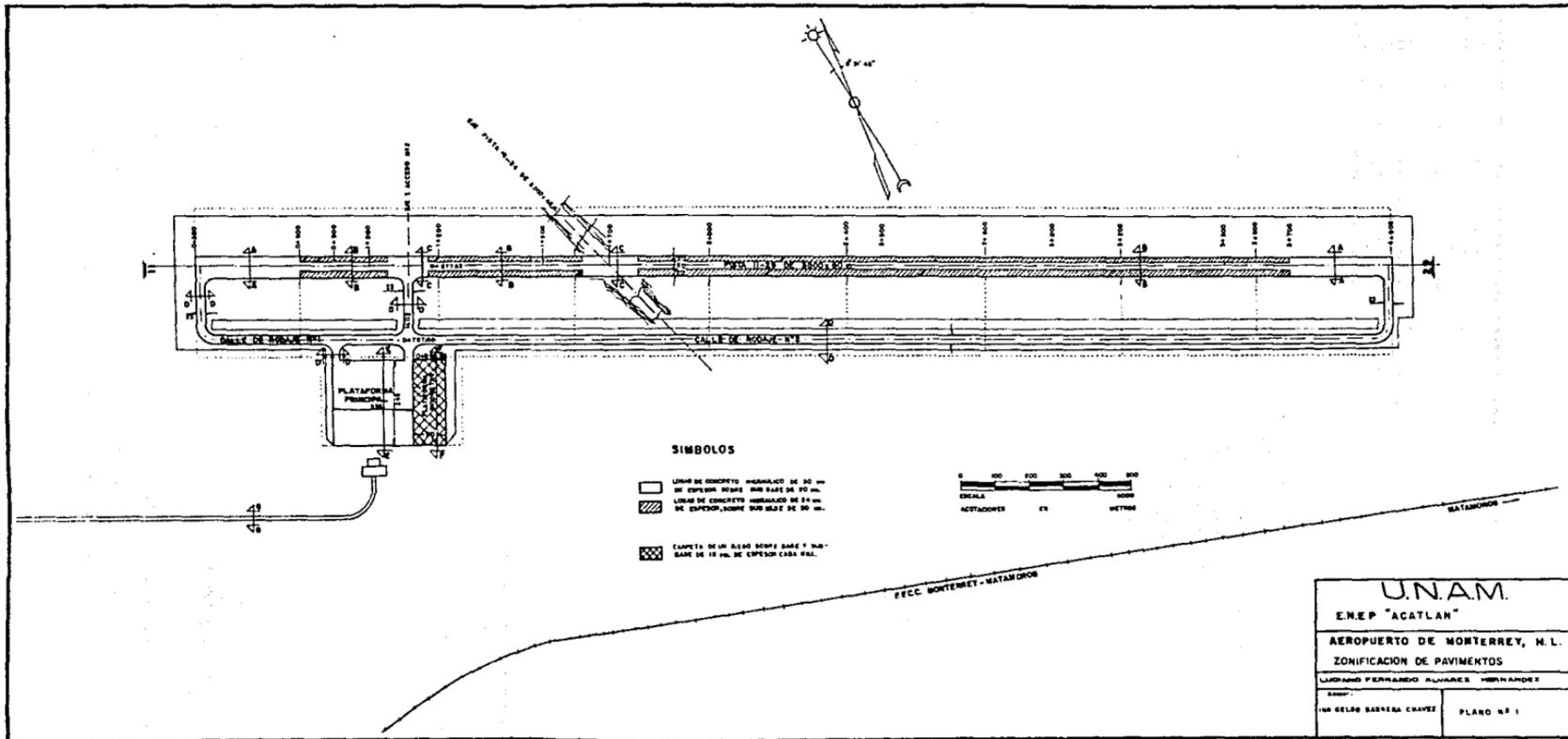
AVION DG-8

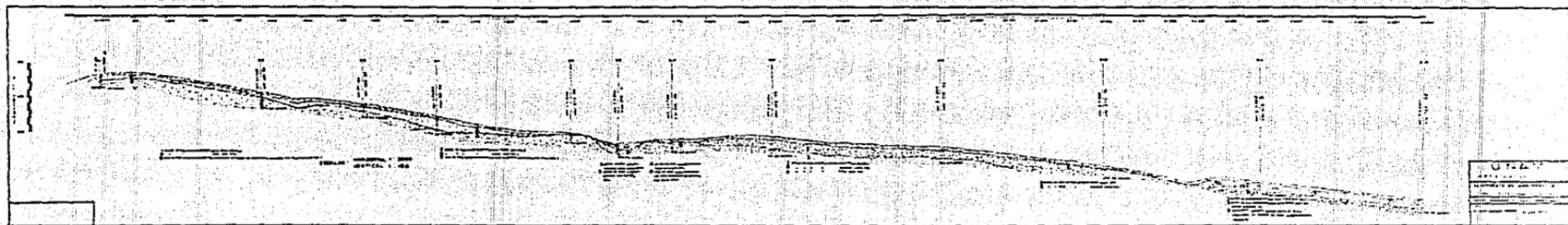


En lo que se refiere el camino de acceso, el pavimento quedó estructurado por una base de 15 cms., una sub-base de 18 cms. de espesor y una carpeta asfáltica construída por el procedimiento de mezcla en el lugar de 6 cms. de espesor.

Todos los pavimentos están apoyados sobre una capa subrasante con un espesor mínimo de 50 cms. excepto en el camino de acceso y plataforma de avionetas donde se disminuyó a 30 cms.

Las secciones estructurales típicas de los pavimentos que se construyeron, se consignan en el Plano núm. 3.

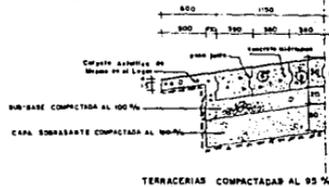




MEDIA SECCION AA
CABECERAS



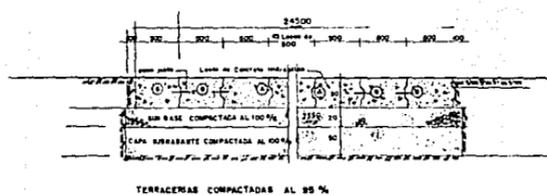
MEDIA SECCION EN DD
CALLES DE RODAJE Y TRAMOS DE ACCESO



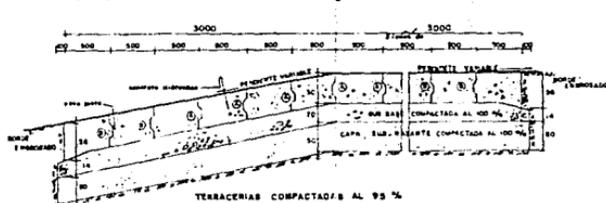
MEDIA SECCION EN BB
PISTA



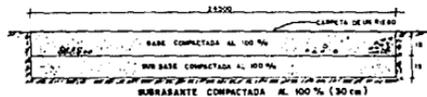
SECCION EN EE
PLATAFORMA



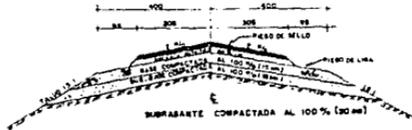
SECCION EN CC
ENTRONQUES CON CALLES DE RODAJE



SECCION FF
PLATAFORMA PARA AVIONETAS



SECCION GG
CAMINO DE ACCESO



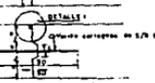
JUNTAS TIPO

JUNTAS LONGITUDINALES

TIPO A

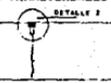


TIPO B



JUNTAS TRANSVERSALES

TIPO C

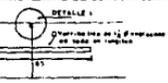


TIPO D



JUNTA TRANSVERSAL DE CONSTRUCCION

TIPO E



NOTAS

Todas las dimensiones están dadas en milímetros, pero las secciones en metros cuadrados. El dibujo se debe leer en metros.

Las juntas van en la dirección del eje de la pista o en la dirección del eje de la pista o en la dirección del eje de la pista.

El ancho de la pista de los puentes deberá ser preferentemente de 0.5 m, siempre y cuando se proyecte, por tanto, cualquier que construya el ancho, se debe construir el ancho de la pista de los puentes.

Todas las juntas pertenecen al tipo Fregado también se puede hacer con el tipo Fregado también se puede hacer con el tipo Fregado también se puede hacer con el tipo Fregado.

Las dimensiones de las juntas de construcción se dan en los siguientes tablas.

SEPARACION PASAJEROS		SEPARACION PASAJEROS	
TIPO	TIPO	TIPO	TIPO
1	2	3	4
10	10	10	10
24	24	24	24

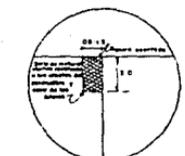
Todas las juntas deberán ser proyectadas a las juntas de construcción y se proyectarán en la dirección del eje de la pista o en la dirección del eje de la pista.

JUNTAS DE EXPANSION

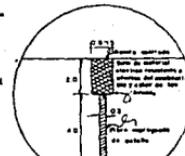
TIPO F



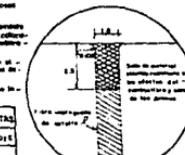
DETALLE 1



DETALLE 2



DETALLE 3



U.N.A.M.

E.N.E.P. "ACATLAN"

AEROPUERTO DE MONTERREY, N. L.

SECCIONES ESTRUCTURALES Y JUNTAS TIPO

LUIGIANO FERRANDO ALVAREZ HERNANDEZ

ING. CELSO BARRERA CHAVEZ

PLANO Nº 2

B I B L I O G R A F I A

1. - YODER, E. J. "PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN"
JOHN WILEY AND SONS, INC.
1967.
2. - JUAREZ BADILLO, E. Y RICO, A. "MECANICA DE SUELOS" TOMO II
TEORIA Y APLICACIONES DE LA MECANICA DE SUELOS
ED. LIMUSA, S. A.
MEXICO, D. F. 1976.
3. - RICO RODRIGUEZ, A. Y DEL CASTILLO H. "LA INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES". VOL. II
ED. LIMUSA, S. A.
MEXICO, D. F. 1977.
4. - PORTLAND CEMENT "CONCRETE PAVEMENT DESIGN FOR ROADS AND - - STREETS". P. C. A. CONCRETE INFORMATION PAVING BUREAU, CHICAGO, ILL. 1951.
5. - IMCYC "PRACTICA RECOMENDADA PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTO DE CONCRETO"
TRADUCCION DEL INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO, A. C.
DEL MANUAL A. C. I. 325-61
MEXICO, D. F. 1968

6. - LEPE SAUCEDO, J. L.

"DISEÑO DE PAVIMENTOS DE
CONCRETO PARA AEROPUER
TOS" TRADUCCION DEL -
FOLLETO DE LA PORTLAND
CEMENT ASSOCIATION.
ED. LIMUSA, S. A.
MEXICO, D. F. 1977.