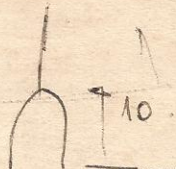


Nº 50



SERIE A

*El hormigón de cemento portland
en la ingeniería vial*

A 17

PAVIMENTOS URBANOS

DE HORMIGON

DE CEMENTO PORTLAND

POR EL

INGENIERO: **RAUL A. COLOMBO**

JEFE DEL DEPARTAMENTO
DE PROMOCION TECNICA

TERCERA EDICION - AMPLIADA Y REVISADA

-1977.

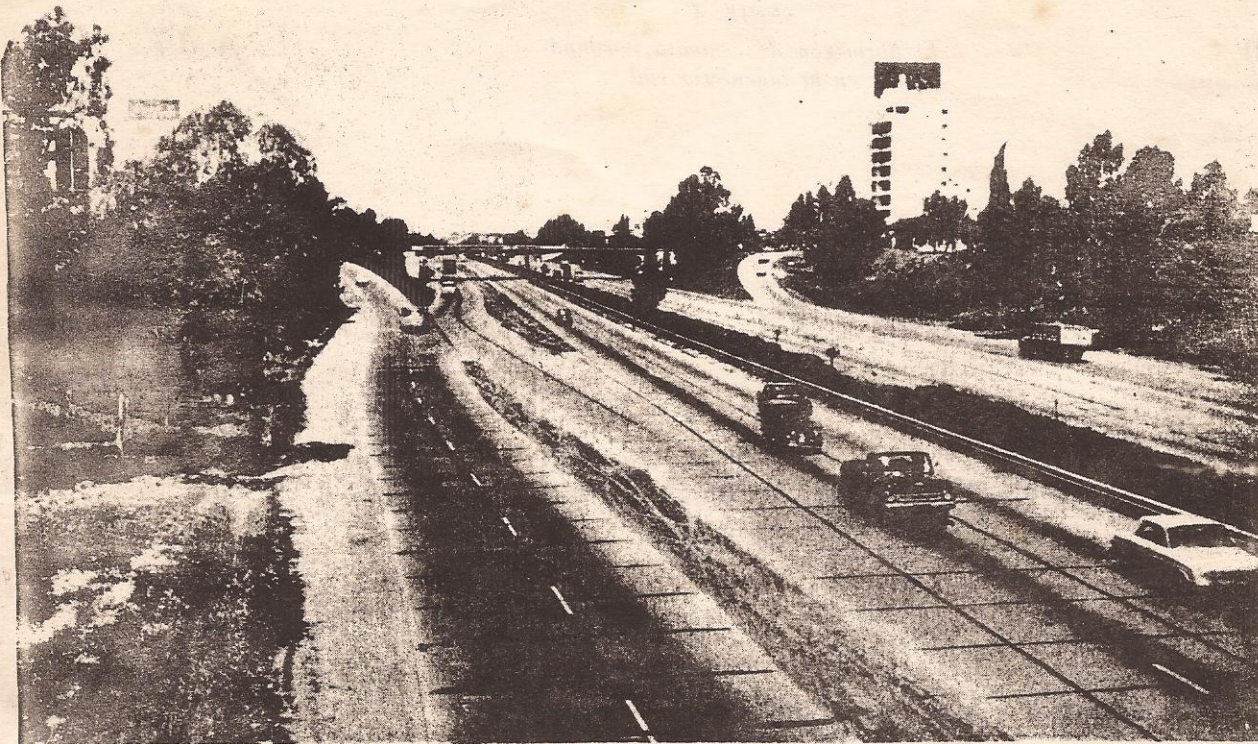
INSTITUTO DEL CEMENTO PORTLAND ARGENTINO
SAN MARTIN 1137 BUENOS AIRES

SECCIONALES:

Córdoba: Avda. Gral. Paz 70, Córdoba - Tucumán: 25 de Mayo 30, San Miguel de Tucumán - La Plata: Calle 48 Nº 632, La Plata - Rosario: San Lorenzo 1047, Rosario (Santa Fe) - Mendoza: San Lorenzo 170, Mendoza - San Juan: Ignacio de la Rosa 194, Oeste, San Juan - Bahía Blanca: Luis María Drago 23, Bahía Blanca - Corrientes: Córdoba 1164, Corrientes - Neuquén: Avda. Argentina 251, Neuquén.

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES:
Ensayos estructurales

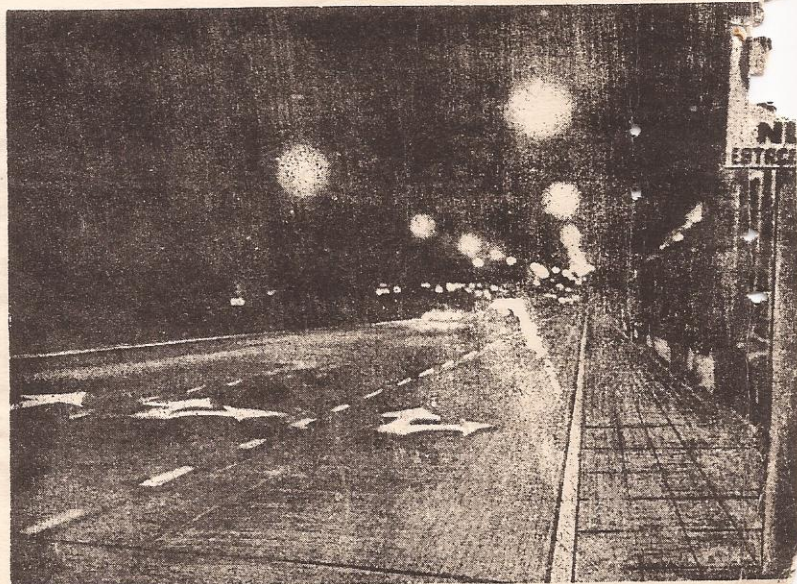
Capitán Bermúdez 3958, frente Acceso Norte, Partido Vicente López



Sistema de tránsito general. Acceso norte a Buenos Aires.
La calzada de hormigón es especialmente apta para el tránsito frecuente de cargas pesadas.

Sistema arterial mayor. Avenidas Inge-
niero Huergo y Eduardo Madero de la
Capital Federal.

La superficie clara del pavimento de hor-
migón tiene alto poder de reflexión de
las luces, mejorando notablemente la
visibilidad nocturna.



Pavimentos Urbanos de Hormigón de Cemento Portland

	Pág.
Introducción	4
Tránsito	5
Vida útil para el diseño	6
Diseño geométrico	6
Subrasante (valor soporte y carácter)	7
Calidad del hormigón	8
Juntas (Tipos y distribución)	8
Diseño estructural	9
Especificaciones	9
Apéndice A - Juntas y Secciones transversales	10
Apéndice B - Relación Soporte de California (CBR) - Módulo k	13
Apéndice C - Análisis estructural del diseño y método para el dimensionamiento	14
Apéndice D - Dimensionamiento de barras de unión, pasadores y armadura distribuida	19

INTRODUCCION

MUCHOS municipios tienen planos detallados de las zonas bajo su jurisdicción en los que figuran las diferentes calles clasificadas, o que pueden clasificarse fácilmente, de acuerdo con el tránsito previsible. Sobre la base de esta clasificación y de un levantamiento planialtimétrico previo, los municipios pueden fácilmente realizar planes zonales de pavimentación, encauzando el progreso de la ciudad.

Esta labor se simplifica en aquellas ciudades importantes que han estudiado, adoptado y puesto en marcha un plan regulador de su desarrollo y crecimiento.

Consideraciones técnicas

Los pavimentos de hormigón son diseñados para obtener en forma económica un buen comportamiento durante una larga vida de servicio. Diversos factores deben analizarse para obtener el diseño del más bajo costo anual posible. Estos factores son:

- Tránsito considerando las cargas por eje o rueda, y su frecuencia.
- Vida útil para el diseño.
- Diseño geométrico.
- Subrasante (valor soporte y carácter).
- Calidad del hormigón.
- Juntas (tipos y distribución).
- Diseño estructural.
- Especificaciones.

Este manual está dedicado al tratamiento de cada uno de estos factores.

TRANSITO

El volumen y carácter del tránsito fijan el ancho del pavimento, mientras que el peso y la frecuencia de las cargas de los ejes o de las ruedas de los vehículos, determinan el espesor y otras características del diseño estructural.

Es evidente que la frecuencia de circulación de las cargas de rueda más pesadas, diferirá fundamentalmente de una calle urbana de tránsito general a una calle residencial de tránsito local.

Las cargas de rueda y el volumen del tránsito que se supone circulará por una calle, después de su pavimentación, pueden ser fácilmente estimados. Un estudio en la zona que corresponde a la calle a pavimentar en relación con el tránsito que soportan otras calles pavimentadas, es una ayuda sustancial al técnico encargado de las estimaciones de tránsito.

Los estudios y análisis de tránsito en las ciudades, indican qué calles de similar importancia en zonas de características semejantes, tienen esencialmente las mismas densidades de tránsito e intensidad de carga de eje o rueda. Una fábrica o un establecimiento comercial que emplee camiones pesados para el transporte de sus materiales o productos manufacturados, cambia las condiciones normales a considerar para el diseño de la calle que utiliza; sin embargo, estas influencias pueden ser fácilmente evaluadas para esos fines.

Algunos municipios han efectuado, dentro de los límites de sus ciudades, cuidadosos estudios de tránsito que les facilitan la información requerida para el diseño de sus pavimentos. Estos municipios han llegado a la conclusión de que puede establecerse una clasificación de calles, en función del tránsito, que resuelve en forma práctica y segura el problema del diseño de sus pavimentos.

En general las calles urbanas pueden agruparse, de acuerdo con su tránsito, dentro de los siguientes sistemas:

Sistema de tránsito general

Comprende las calles destinadas a servir grandes volúmenes de tránsito para comunicaciones intercomunales o provinciales, a velocidades relativamente altas. Esta clasificación, salvo raras excepciones, está reservada para calles de varias trochas con pocas intersecciones a nivel con sus accesos controlados, las que generalmente están bajo jurisdicción nacional o provincial. Las características de estas calles, en las que es frecuente el tránsito de cargas pesadas entre 10 000 y 11 000 kg(*) por eje (5 000 a 5 500 kg por rueda) las hacen fácilmente identificables.

Sistema arterial mayor

Agrupar las calles que reciben de y aportan a las del sistema de tránsito general, los volúmenes

(*) La carga máxima del Reglamento General de Tránsito para los caminos y calles de la República Argentina (Ley N° 13.893) es de 10 600 kg por eje.

de tránsito que se mueven dentro o a través del área municipal, siendo utilizadas generalmente por los ómnibus y camiones que suplen necesidades comunales.

A pesar de servir normalmente grandes volúmenes de tránsito, se accede a ellas directamente a nivel y en muchos casos se restringe el estacionamiento de vehículos de pasajeros y de carga, para mejorar su capacidad. Pueden coincidir con rutas provinciales o nacionales de seguridad importante.

Las calles de este sistema soportan frecuentes cargas de 8 000 a 9 000 kg por eje (4 000 a 4 500 kg por rueda).

Sistema colector

En este sistema están incluidas las calles arteriales secundarias o rutas afluentes, utilizadas para reunir o dispersar el tránsito hacia y desde las calles del sistema arterial mayor.

La principal diferencia entre las calles de los sistemas arterial mayor y colector, está en la longitud de los recorridos realizados por los vehículos que las utilizan.

Difícilmente coinciden con rutas provinciales o nacionales, aún de poca importancia.

Sobre estas calles pueden instalarse dispositivos para el control del tránsito, con el fin de darles prioridad con respecto a las del sistema local. En este sistema son comunes las cargas entre 7 000 y 8 000 kg por eje (3 500 a 4 000 kg por rueda).

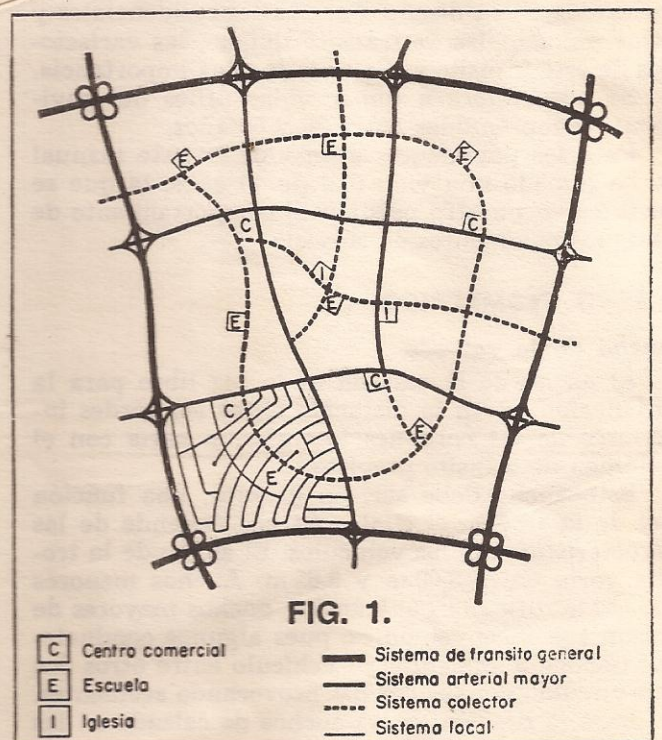


FIG. 1.

Sistema local

Sus calles llevan poco tránsito, generalmente originado en ellas mismas o el que es ocasionado por vehículos de reparto.

La longitud de las calles de este sistema, representa un elevado porcentaje de la longitud total de calles del municipio, y soporta la menor proporción del tránsito de la ciudad valorado en vehículos-kilómetros. Son calles de zonas residenciales y áreas comerciales e industriales de pequeña importancia, para el servicio de aquellas.

Las cargas más pesadas que pueden preverse son las de los camiones de reparto; cargas que excedan de 6 000 kg por eje (3 000 kg por rueda) son excepcionales.

Esta clasificación en sistemas de calles está ilustrada en el esquema de la figura 1 para una comuna de tipo residencial.

Una vez que se ha estudiado, desarrollado y evaluado debidamente una clasificación sistemática de calles, o disponiéndose de una información detallada sobre tránsito, puede abordarse el problema del diseño de los pavimentos de hormigón, siguiendo los procedimientos descritos en este manual.

VIDA ÚTIL PARA EL DISEÑO

Conociendo las condiciones del tránsito, el pavimento de hormigón puede ser diseñado para la vida de servicio que se desee. Debe establecerse el volumen y peso del tránsito futuro previsible.

Para calles de tránsito general y otras con cargas pesadas, el tránsito futuro tiene considerable influencia en su diseño. Para calles residenciales y otras municipales de tránsito liviano, las variaciones de este tránsito suelen ser de poca importancia.

Se acostumbra a tomar vidas útiles del pavimento comprendidas entre 30 y 50 años.

Para los pavimentos diseñados en este manual se ha tomado una vida útil de 40 años, la que se justifica en nuestro país por el comportamiento de antiguos pavimentos en servicio.

DISEÑO GEOMÉTRICO

Ancho de la calzada

El ancho de la calzada es la luz libre para la circulación, o sea la distancia entre los bordes interiores de los cordones laterales, y varía con el volumen de tránsito previsto.

Este ancho debe ser, en general, una función del de la trocha, el cual a su vez depende de las características de los vehículos. El ancho de la trocha varía entre 3,00 m y 3,65 m. Anchos menores de 3,00 m dificultan el tránsito; anchos mayores de 3,65 m son inconvenientes, pues algunos conductores tienden a adelantar su vehículo entre otros dos que circulan por sus trochas provocando accidentes.

Para la fijación de los anchos de calzada en las calles que se permita el estacionamiento, además de lo indicado con respecto al ancho de las trochas

de circulación, debe considerarse un ancho adicional comprendido entre 2,00 m y 2,60 m, de acuerdo con las características o porte de los vehículos a estacionar.

En atención a lo expresado anteriormente, el ancho mínimo aconsejable en las que no se permita estacionamiento, debe ser de 7,00 m a 7,30 m (dos trochas de ancho máximo).

Cuando se prevea un estacionamiento lateral el ancho mínimo aconsejable es el de 9,00 m.

En calles de reducido tránsito residencial pueden adoptarse, por excepción, anchos de 6,00 m y 8,00 m para calles sin y con un estacionamiento lateral respectivamente. Cuando el ancho es de 6,00 m se aconseja proyectar cordones de poca altura y con paramento interno de suave pendiente (Apéndice A - Fig. 6).

Perfil transversal de la calzada

El perfil superior de la sección transversal de la calzada es convexo, se denomina "bombeo", y se mide por su flecha.

En las calzadas de anchos comunes, con cordones laterales, ese perfil superior es una curva representada generalmente, por una parábola cuadrática. En este caso, para encauzar las aguas pluviales y otras, es conveniente que la elevación de la curva con respecto a la cuneta y a una distancia de 1,00 m de ésta, sea de unos 0,05 m (pendiente del 5%). De acuerdo con esta condición el "bombeo" representado por la flecha "f" está dado por la siguiente fórmula (Fig. 2).

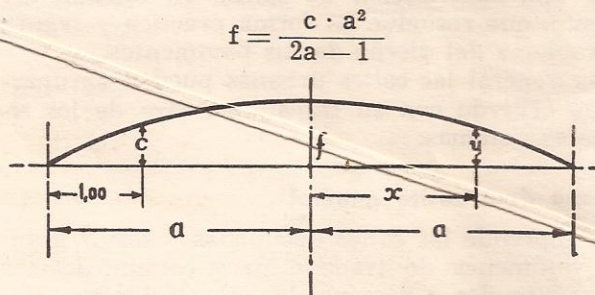


FIG. 2.

siendo a el semiancho de la calzada. Para el valor de $c = 0,05$ m se obtienen los siguientes valores de la flecha:

Ancho de calzada (m)	Flecha "f" (m)
6	0,09
7	0,10
8	0,11
9	0,13
10	0,14
11	0,15
12	0,16
13	0,18
14	0,19
15	0,20
16	0,21

Para calles con pendientes longitudinales mayores del 0,3 % o cuando se disponen sumideros cercanos, pueden disminuirse las pendientes en las cunetas y las flechas consignadas.

El cálculo de las ordenadas "y" del perfil superior puede efectuarse con la siguiente fórmula:

$$y = f \left(1 - \frac{x^2}{a^2} \right)$$

cuyos valores tienen la significación dada en la figura 2.

Para anchos de calles superiores a los 16 m, en lugar del perfil parabólico, conviene adoptar otro compuesto de dos pendientes transversales de alrededor del 1,5 % que se quiebran en el eje de la calzada y a un metro de la cara interna de los cordones, esto último para dar lugar a la formación de cunetas con 5 % de pendiente, necesaria para encauzar y facilitar el escurrimiento de las aguas pluviales y otras. Todos estos quiebres de pendientes transversales deben identificarse con curvas que los suavicen.

Cordones integrales

Con la construcción de cordones integrales se resuelve en forma práctica y económica, el problema de limitar el área pavimentada proveyéndole un drenaje superficial adecuado.

El cordón integral se construye en una sola operación con el pavimento utilizando el hormigón que se elabora en la obra. El cordón es formado, empleando moldes, a medida que se coloca el hormigón del pavimento.

El cordón integral ofrece ventajas sobre el cordón o cordón-cuneta separados. El cordón integral provee un espesamiento del borde del pavimento que disminuye sus deflexiones y tensiones y mejora su capacidad estructural. Siempre es posible construir la sección transversal deseada con cordones integrales y como consecuencia de las ventajas técnico-económicas que presentan, figuran en todas las secciones aconsejadas en este manual.

La figura 3 del apéndice A ilustra detalladamente sobre algunos tipos de secciones transversales.

Conductos

Es una práctica recomendable, en la actualidad, ubicar los conductos subterráneos de servicios públicos y otros, entre líneas de edificación y fuera de la zona pavimentada. Esta práctica facilita el mantenimiento y la colocación de nuevos conductos que se prevean en nuevos planes, evitando la rotura del pavimento.

SUBRASANTE (Valor soporte y carácter)

Como consecuencia de su rigidez, el pavimento de hormigón tiene considerable resistencia de flexión denominada también de viga y alta capacidad

para distribuir las cargas. Las presiones sobre el suelo o material debajo del pavimento, son muy pequeñas por la distribución de las cargas sobre una amplia superficie. Se deduce en consecuencia que los pavimentos de hormigón no requieren subrasantes resistentes.

Por esta razón puede esperarse un buen comportamiento del pavimento urbano para tránsito no pesado construido sobre el suelo del lugar (1) (*).

Para asegurar el comportamiento satisfactorio del pavimento de hormigón, es necesario que el suelo de la subrasante posea características y densidad uniformes, es decir, soporte uniforme. En las superficies inestables que aparecen durante la construcción, debe excavar el material y reemplazarse por otro del mismo tipo del de las zonas adyacentes, compactado a similar densidad. Es equivocado el criterio de llenar los baches de áreas débiles con material granular de mejor calidad que el adyacente, porque de este modo se atenta contra el soporte uniforme que necesita el pavimento de hormigón.

Con una razonable uniformidad de la subrasante y previniendo los cambios volumétricos excesivos de los suelos expansivos con un cuidadoso control de la humedad y densidad durante la compactación, se logra una superficie adecuada para asiento del pavimento. La compactación de los suelos expansivos con humedades iguales o ligeramente superiores a la óptima del ensayo IRAM 10511 (AASHO normal T99-70), controlará efectivamente sus cambios volumétricos, aún en lugares de extensos períodos de tiempo seco, siempre que se evite el secado de esos suelos, antes de construir el pavimento.

Debe merecer especial cuidado, la compactación de los rellenos de zanjas abiertas para la instalación de conductos de servicios públicos y en las cercanías de estructuras nuevas o existentes.

Los pavimentos de calles de los sistemas de tránsito general y arterial mayor que soportarán un tránsito frecuente de camiones pesados, se asentarán sobre subbases con el fin de prevenir el bombeo de los suelos finos de la subrasante (**).

Cuando las subbases sean necesarias serán diseñadas y construidas con los mismos cuidados que el pavimento de hormigón.

El soporte que la subrasante presta al pavimento se expresa con el valor del módulo de reacción "k" de la subrasante y puede ser determinado me-

(*) Los números corresponden a las referencias que se citan al final y cuya consulta se aconseja.

(**) El bombeo es el fenómeno que produce la eyección forzada por las juntas y bordes del pavimento, de una suspensión en agua de los suelos finos de la subrasante, debido al paso frecuente de cargas pesadas. La losa sin soporte se agrieta y desnivela.

Las subrasantes constituidas por suelos uniformes que cumplan las siguientes condiciones, no necesitan subbases para controlar el bombeo (Especificación A.A.S.H.O. M 155-63):

Material que pasa el tamiz IRAM de 74 μ (Nº 200) menor que 15 %.

Índice de plasticidad menor que 6.

Límite líquido menor que 25.

diante ensayos de carga en el terreno o por correlación con valores soportes establecidos mediante otros ensayos (*).

Para el diseño de los pavimentos urbanos suelen usarse los siguientes valores del módulo "k" de la subrasante:

"k"	tipo de suelo	Comportamiento
2,8 kg/cm ³	limo y arcilla	Satisfactorio
5,5 "	arenoso	Bueno
8,3 "	grava arenosa	Excelente

Cuando es necesaria una subbase se construye casi siempre con materiales tratados con cemento; en este caso pueden adoptarse los valores de "k" que se expresan a continuación:

Esesor de la subbase (Subrasante con k = 2,8 kg/cm ³)	Valor "k" para el diseño
10,0 cm	8,4 kg/cm ³
12,5 "	11,2 "
15,0 "	14,0 "

En caso de construirse subbases granulares no cementadas se aconsejan los siguientes valores de "k":

Esesor de la subbase (Subrasante con k = 2,8 kg/cm ³)	Valor "k" para el diseño
10,0 cm	3,6 kg/cm ³
15,0 "	3,9 "
22,5 "	4,4 "
30,0 "	5,3 "

CALIDAD DEL HORMIGÓN

La elección de materiales y su dosificación para elaborar hormigones tiene por fin obtener (1) durabilidad satisfactoria para las condiciones de servicio previstas y (2) resistencia a la flexión deseada.

Considerando que las tensiones críticas en el pavimento de hormigón son las de flexión, se utiliza para su diseño este tipo de resistencia, expresada por su módulo de rotura (σ_r).

Para condiciones promedio, el hormigón que posee un módulo de rotura (método de ensayo IRAM 1547 - ASTM C 78) comprendido entre 45 y 55 kg/cm² a los 28 días, resulta económicamente más conveniente.

La cantidad de agua de la mezcla y su consolidación tienen una influencia crítica sobre la durabilidad del hormigón endurecido. Para un determinado y adecuado contenido de cemento, la menor cantidad de agua que produzca un hormigón plástico, trabajable y fácilmente consolidable, permitirá obtener la mayor durabilidad del hormigón endurecido (**).

Cuando se necesitan condiciones especiales de durabilidad, se aconseja la incorporación de aire

(*) El módulo de reacción "k" expresa la resistencia del suelo de la subrasante a ser penetrado por efecto de la flexión de las losas y se mide por la presión necesaria para producir una penetración unitaria, siendo la unidad de medida kg/cm²/cm ó kg/cm³.

Para los técnicos familiarizados con el método de ensayo de la relación soporte de California (C.B.R.) se muestra en el apéndice B, una relación entre valores C.B.R. y "k" (Fig. 7).

al hormigón, la que además de mejorar la durabilidad del hormigón endurecido, mejora las condiciones del hormigón plástico al (1) prevenir la segregación de los materiales (2) aumentar su trabajabilidad (3), disminuir la exudación y (4) reducir la cantidad de agua necesaria para obtener una satisfactoria trabajabilidad.

El estado actual de la tecnología del hormigón, permite dosificar, en cada caso, las mezclas adecuadas para las condiciones de servicio del pavimento (2).

JUNTAS (Tipos y distribución)

Las juntas tienen por fin mantener las tensiones que soporta el pavimento de hormigón, dentro de los límites admisibles, previniendo la formación de fisuras y grietas irregulares. Detalles de los diferentes tipos de junta y ejemplos de su distribución planimétrica se muestran en las figuras 4 y 5 del apéndice A.

Juntas longitudinales

Se instalan para controlar el agrietamiento longitudinal, espaciándose a intervalos de 2,50 a 4,00 m, coincidiendo generalmente con las líneas divisorias de las trochas de tránsito. No es aconsejable superar el intervalo de 4,00 m, a menos que la experiencia local indique que el pavimento con esas condiciones ha observado comportamiento satisfactorio.

La profundidad de la ranura superior de estas juntas no debe ser inferior al cuarto del espesor del pavimento. Estas juntas llevan normalmente barra^s de unión que impiden la separación de sus bordes. Para más de cuatro trochas es conveniente intercalar una junta longitudinal machihembrada o ensamblada de bordes libres.

Juntas transversales

Estas juntas denominadas de contracción, controlan el agrietamiento transversal al disminuir (1) las tensiones de tracción que se originan cuando la losa se contrae y (2) las tensiones que causa el alabeo producido por diferenciales de temperatura y de contenido de humedad en el espesor de la losa.

Cualquiera que fuere el procedimiento constructivo de las juntas, la profundidad de la ranura debe ser por lo menos igual a un cuarto del espesor de la losa.

Una separación adecuada entre juntas que controle el agrietamiento eliminará la necesidad del uso de armadura distribuida en la losa (*).

(**) Como norma general, con agregados de buena calidad, puede emplearse un hormigón con una relación agua-cemento alrededor de 0,48 y un contenido mínimo de cemento de 325 kg por metro cúbico. La resistencia a la compresión promediada por secciones debe ser como mínimo de 300 kg/cm² a los 28 días de edad.

(*) La armadura distribuida en la losa tiene por único fin mantener unidos los bordes de cualquier grieta que eventualmente pudiera producirse.

La mejor guía, con respecto a la separación entre juntas transversales, es la experiencia local sobre el comportamiento de pavimentos en servicio. Si no se cuenta con esta experiencia, pueden seguirse las siguientes indicaciones con razonable seguridad de obtener un satisfactorio control del agrietamiento.

Tipo de agregado grueso	Máxima separación entre juntas transversales
granítico partido calcáreo partido grava calcárea	6.00 m
grava silícea grava menor de 20 mm (3/4") escoria	4.50 m

La necesidad de colocar en las juntas transversales elementos para la transferencia de cargas (pasadores), depende de las condiciones de la subrasante y del tránsito que llevará el pavimento. Los pasadores no son necesarios en calles residenciales o de tránsito liviano, pero, deben colocarse en calles que soporten el tránsito diario, de más de 60 a 90 camiones pesados (200 a 300 ejes pesados) por día, a menos que el pavimento asiente sobre una sólida subbase de material tratado con cemento.

Juntas de expansión

Su objeto es disminuir las tensiones de compresión, proveyendo un espacio entre losas, que permita el movimiento del pavimento cuando se expande.

Cuando las juntas de contracción están adecuadamente separadas, la necesidad de las juntas de expansión depende, en gran medida, de la temperatura ambiente predominante durante la construcción y de las características de expansión del agregado grueso empleado.

Los estudios teóricos, el comportamiento de pavimentos en servicio y los resultados de tramos experimentales, muestran que con excepción de su colocación frente a estructuras existentes y en intersecciones irregulares, las juntas de expansión no son necesarias en los pavimentos de hormigón, si:

- 1 — los agregados empleados tienen características normales de expansión
- 2 — la construcción tiene lugar con temperaturas normales.
- 3 — las juntas de contracción se ubican a intervalos que controlen el agrietamiento transversal, o

- 4 — las juntas de contracción se mantienen perfectamente selladas para impedir la infiltración de materiales incompresibles.

Si el pavimento se construye en invierno con bajas temperaturas, o si los agregados empleados son anormalmente expansivos, se colocarán juntas de expansión a distancias de 180 a 240 m. En condiciones normales, salvo las excepciones citadas anteriormente, debe prescindirse del uso de las juntas de expansión. En el apéndice A se indican algunas ubicaciones adecuadas para las juntas de expansión.

DISEÑO ESTRUCTURAL

La losa de un pavimento de hormigón es un elemento estructural que puede y debe ser diseñado para soportar las cargas del tránsito previsto.

Para que el pavimento de hormigón rinda un servicio satisfactorio y económico durante los años de vida asignada, requiere: 1) Valor soporte de la subrasante razonablemente uniforme, 2) Eliminación del bombeo, cuando la calidad del suelo de la subrasante lo exija, mediante la construcción de una subbase, 3) Distribución adecuada de las juntas, y 4) Resistencia estructural adecuada para las solicitaciones a que estará expuesto.

El apéndice C describe un procedimiento que permite dimensionar el pavimento considerando los requisitos anteriores.

Los gráficos de las figuras 9 y 10 han sido preparados teniendo en cuenta las variables que pueden presentarse para el diseño del pavimento.

ESPECIFICACIONES

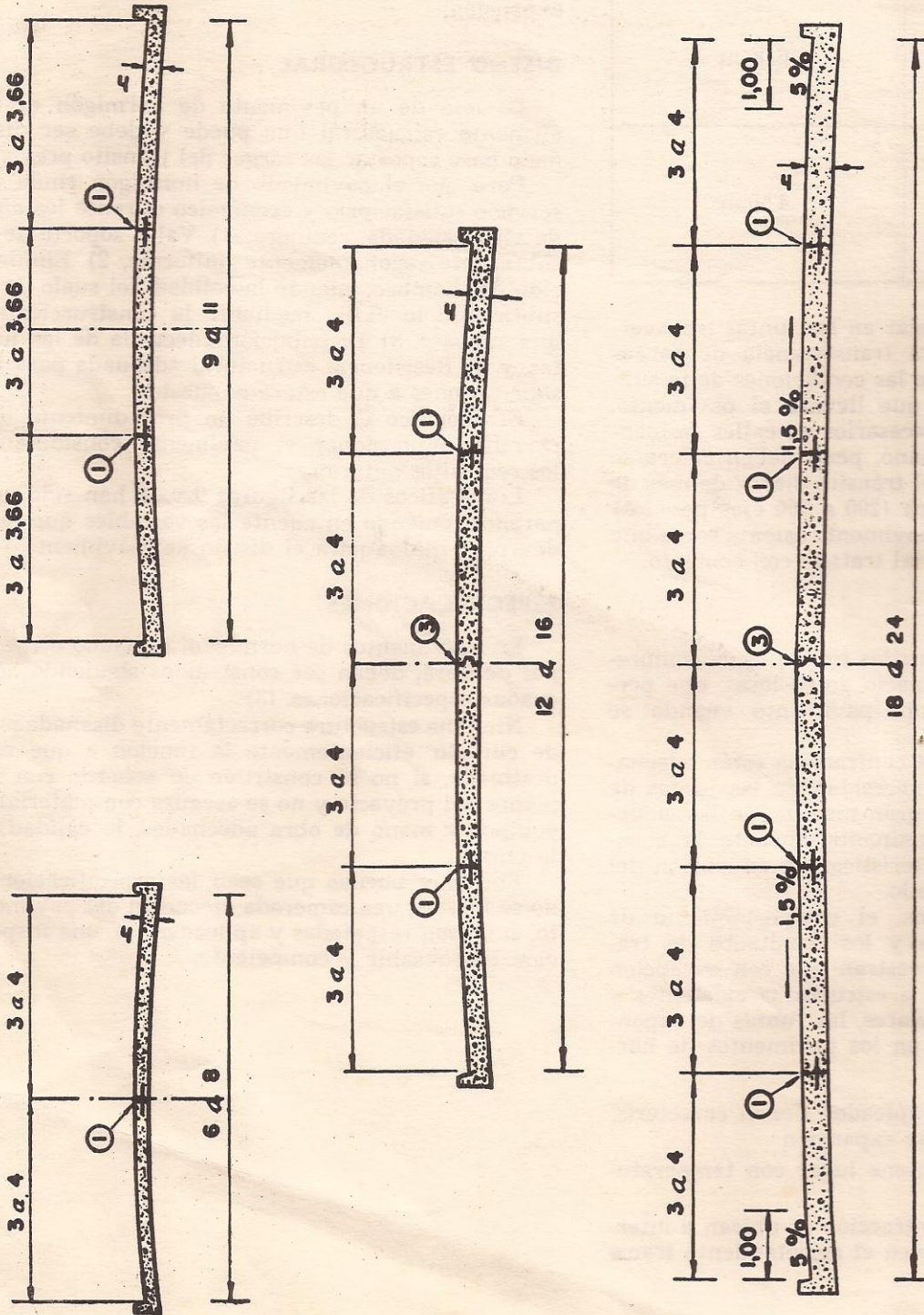
Los pavimentos de hormigón, así como otros tipos de obra, deben ser construidos siguiendo adecuadas especificaciones (3).

Ninguna estructura correctamente diseñada puede cumplir eficientemente la función a que está destinada, si no se construye de acuerdo con los planos del proyecto y no se asegura con materiales, equipos y mano de obra adecuados, la calidad de la obra.

Por muy buenas que sean las especificaciones, no se logrará una esmerada ejecución del pavimento, si no son respetadas y aplicadas por una inspección responsable y competente.

APENDICE A

JUNTAS Y SECCIONES TRANSVERSALES



VER TIPOS DE JUNTA EN FIGURA 5
LAS MEDIDAS ESTÁN EXPRESADAS EN METROS

FIG. 3. Tipos de sección transversal.

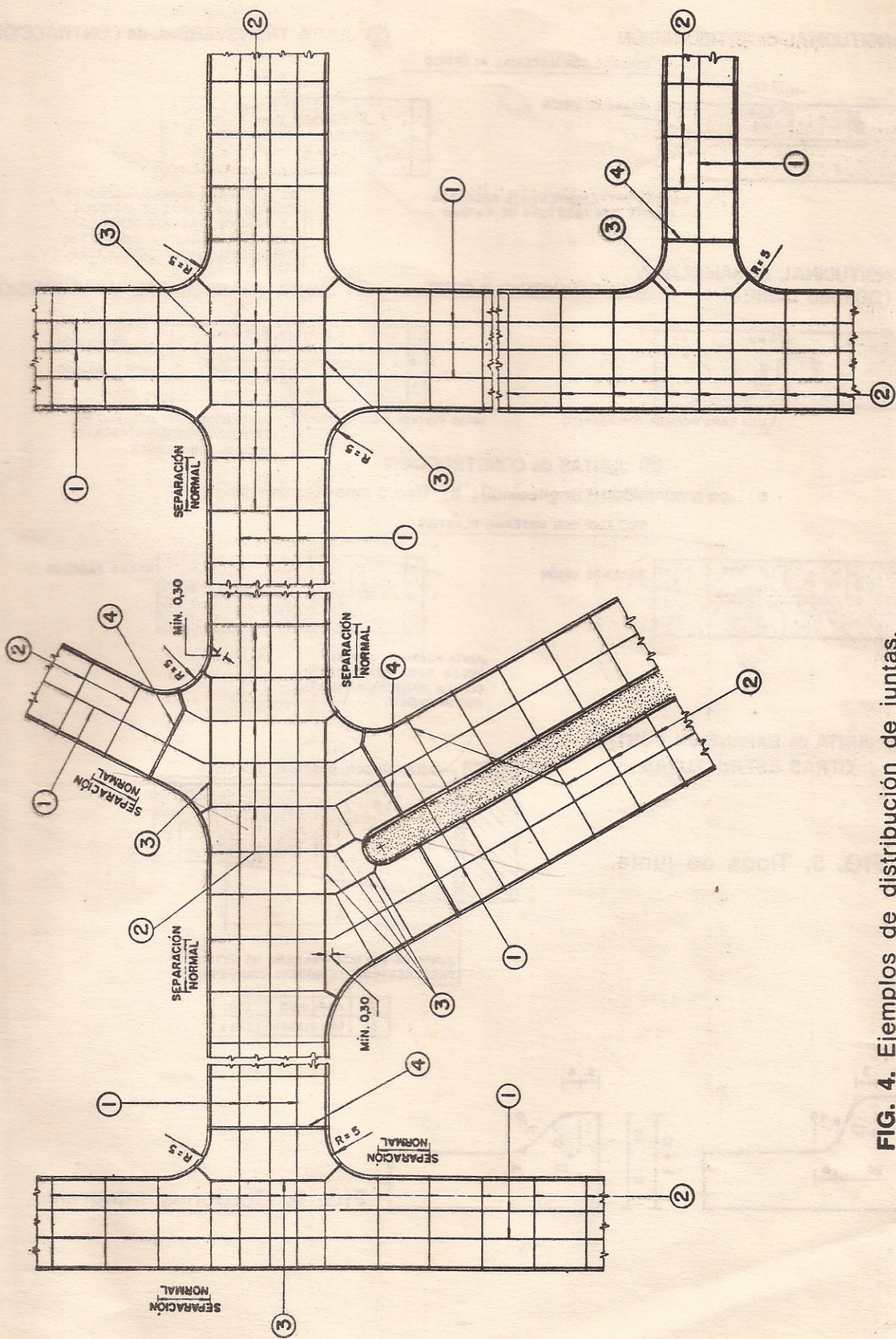
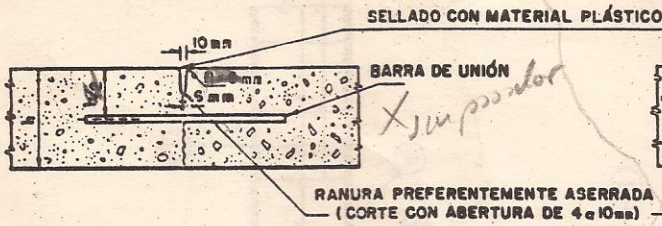


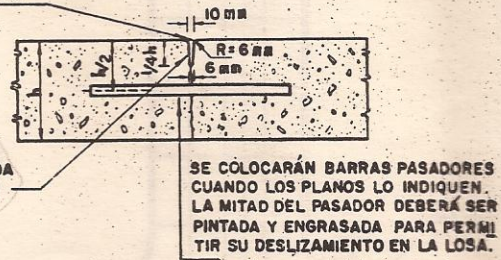
FIG. 4. Ejemplos de distribución de juntas.

Ver TIPOS DE JUNTA en fig. 5
 Las medidas están expresadas en metros

① JUNTA LONGITUDINAL de ARTICULACIÓN



② JUNTA TRANSVERSAL de CONTRACCIÓN



③ JUNTA LONGITUDINAL ENSAMBLADA (BORDES LIBRES)



④ JUNTA TRANSVERSAL de EXPANSIÓN



⑤ JUNTAS de CONSTRUCCIÓN

a) Tipo ensamblada (Longitudinal); b) Tipo a tope (Transversal)



⑥ JUNTA de EXPANSIÓN CONTRA OTRAS ESTRUCTURAS

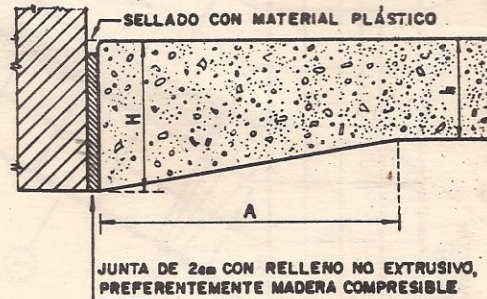


FIG. 5. Tipos de junta.

A	0,50	0,90	1,20
H	1,5 h	1,334 h	1,273 h

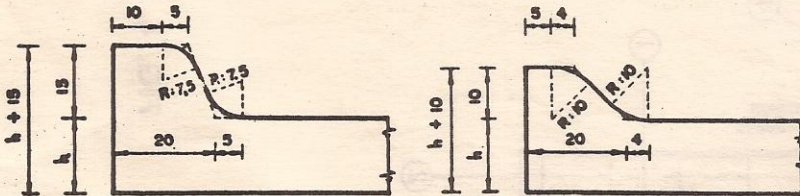


FIG. 6. Cordones integrales.

APENDICE B

RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) - MODULO K

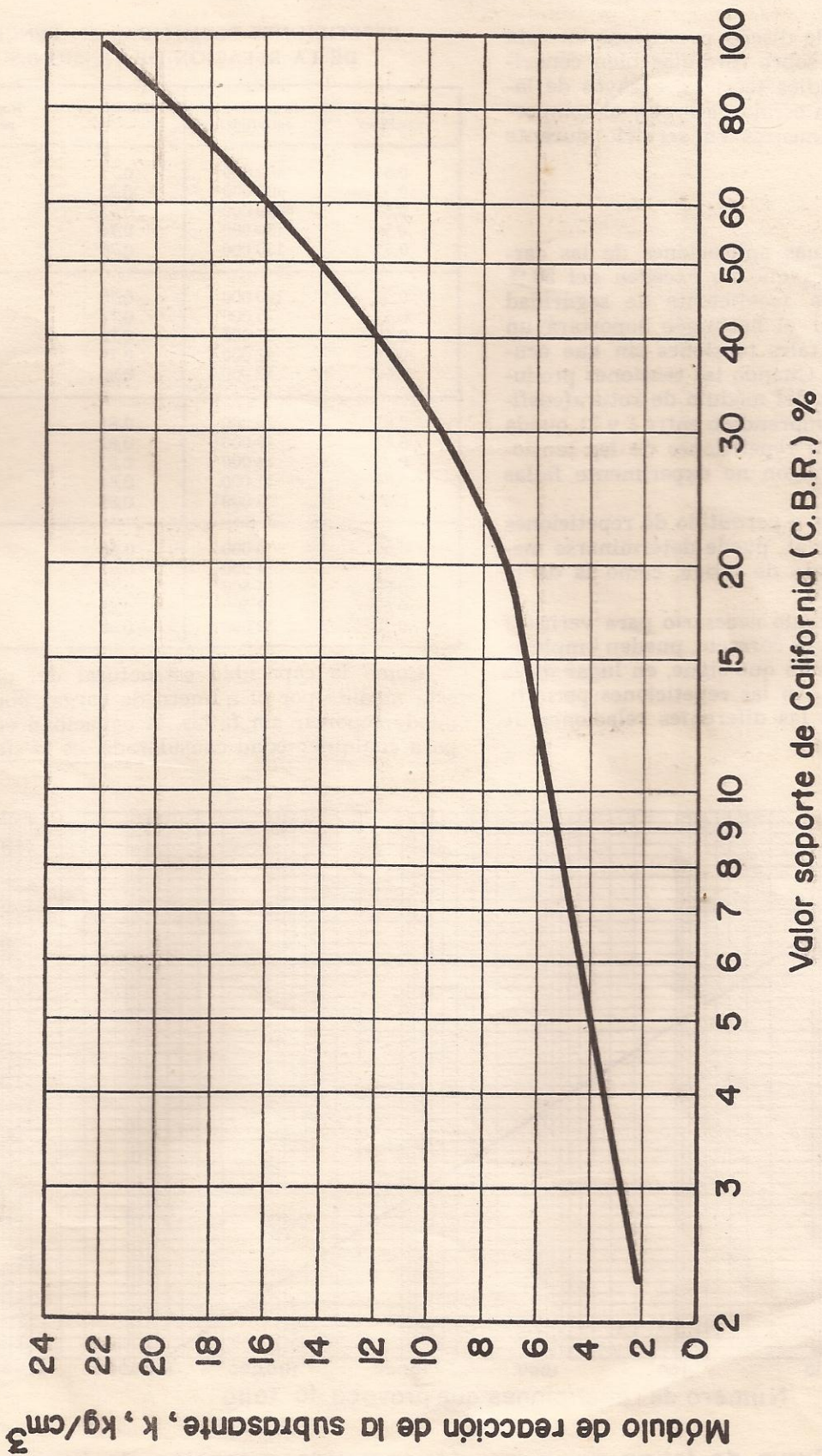


FIG. 7. Relación entre el valor soporte de California (C.B.R.) y el módulo de reacción de la subrasante (k).

APENDICE C

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL DISEÑO Y METODO PARA EL DIMENSIONAMIENTO

El procedimiento de diseño presentado en este apéndice está basado sobre fórmulas bien conocidas avaladas por estudios teóricos, ensayos de laboratorio sobre losas a escala natural y el comportamiento de los pavimentos en servicio durante muchos años.

Fatiga

Cuando las continuas aplicaciones de las cargas producen tensiones que no exceden del 50 % del módulo de rotura (coeficiente de seguridad igual o mayor que 2) el hormigón soportará un número ilimitado de tales tensiones sin que ocurran fallas por fatiga. Cuando las tensiones producidas exceden el 50 % del módulo de rotura (coeficiente de seguridad comprendido entre 1 y 2) queda limitado el número de repeticiones de las tensiones para que el hormigón no experimente fallas por fatiga.

Este número límite, o permitido de repeticiones de las tensiones (cargas), puede determinarse mediante el uso de curvas de fatiga, como la de la figura 8.

Para facilitar el cálculo necesario para verificar si el espesor adoptado es correcto, pueden emplearse los valores de la tabla que sigue, en lugar de la curva de fatiga, que dan las repeticiones permitidas de la carga para las diferentes relaciones de tensiones.

REPETICIONES PERMITIDAS EN FUNCION DE LA RELACION DE TENSIONES

Relación de tensiones	Repeticiones permitidas	Relación de tensiones	Repeticiones permitidas
0,51	400 000	0,71	1 500
0,52	300 000	0,72	1 100
0,53	240 000	0,73	850
0,54	180 000	0,74	650
0,55	130 000	0,75	490
0,56	100 000	0,76	360
0,57	75 000	0,77	270
0,58	57 000	0,78	210
0,59	42 000	0,79	160
0,60	32 000	0,80	120
0,61	24 000	0,81	90
0,62	18 000	0,82	70
0,63	14 000	0,83	50
0,64	11 000	0,84	40
0,65	8 000	0,85	30
0,66	6 000	0,86	23
0,67	4 500	0,87	17
0,68	3 500	0,88	13
0,69	2 500	0,89	10
0,70	2 000	0,90	8

Como la capacidad estructural del pavimento está medida por el número de cargas por eje que puede soportar sin fallas, la capacidad consumida para cualquier edad considerada, es la suma de la

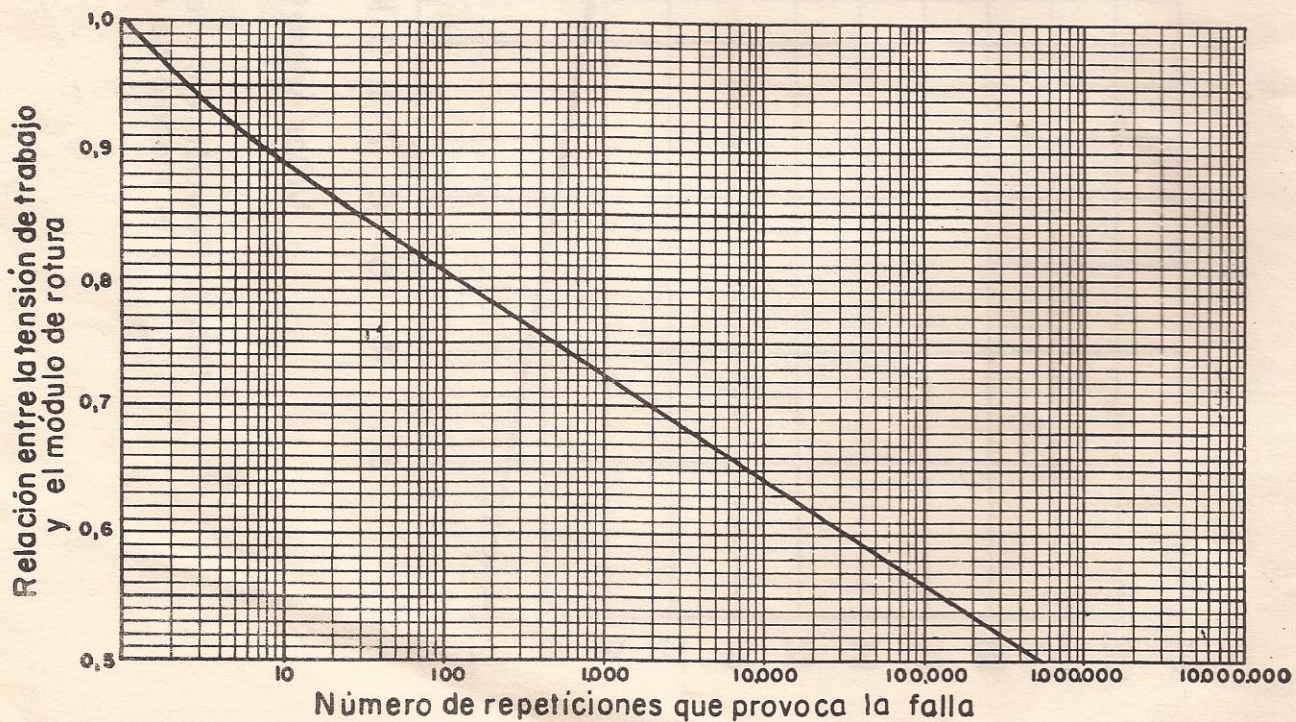


FIG. 8. Curva de fatiga del hormigón sometido a tensión de flexión.

fatiga consumida por cada grupo de cargas por eje. Si un grupo de cargas consume por ejemplo el 60 % de la resistencia a la fatiga, queda un 40 % de capacidad estructural del pavimento para ser consumida por otras cargas.

Factor de seguridad de carga

Ha sido una práctica corriente, en el pasado, aumentar en un 20 % el valor de la carga para el diseño, con el fin de considerar el efecto del impacto. Sin embargo las experiencias y ensayos demuestran que las tensiones producidas por las cargas móviles de los vehículos son menores que las ocasionadas por las cargas estáticas de igual magnitud.

Desde que las cargas móviles producen tensiones menores que las estáticas de igual magnitud, el factor de impacto, hasta ahora usado para el diseño del pavimento de hormigón, carece de sentido. Sin embargo conviene tener en cuenta, similarmente a lo establecido para el cálculo de otras estructuras, un factor de seguridad con respecto a las cargas.

Se recomienda el uso de los siguientes factores de seguridad de carga:

- 1 — Para calles del sistema de tránsito general con alto volumen de tránsito pesado: 1,20.
- 2 — Para calles del sistema arterial mayor con moderado volumen de tránsito de camiones: 1,10.
- 3 — Para calles de los sistemas colector y local que soporten un tránsito reducido de camiones: 1,00.

Método para el dimensionamiento

Con el propósito de facilitar los cálculos, ya sea para efectuar un análisis de las tensiones a que estará sometido un pavimento de hormigón, o para establecer las dimensiones de la sección transversal para resistir las cargas previstas, se ha preparado el gráfico de la figura 9, que proporciona el espesor de las losas en función de las cargas por eje simple, del módulo de reacción "k" de la subrasante y de la tensión admisible del hormigón a la flexión. Para poder establecer el efecto de las cargas por eje tandem y compararlas con las de eje simple, que son las usuales para el diseño de los pavimentos urbanos, se presenta de manera similar el gráfico de la figura 10.

El cálculo de los valores de ambos gráficos está basado en los más recientes estudios y criterios en la materia (4) (5).

En los siguientes ejemplos se ilustra sobre la aplicación de los gráficos tanto para el dimensionamiento como el análisis de pavimentos.

Ejemplo 1: Se quiere proyectar un pavimento del sistema local y se estima que la carga máxima por eje simple de 6 000 kg es la frecuente.

Se sabe, que el hormigón dosificado con los materiales de utilización local tiene un módulo de

rotura $\sigma_t = 45 \text{ kg/cm}^2$ y que la subrasante está constituida por un suelo arcilloso, que una vez compactado, tiene un módulo de reacción $k = 2,8 \text{ kg/cm}^3$.

Para la carga estimada (no debe considerarse ningún factor de seguridad de carga) se encuentra en el gráfico correspondiente el espesor de 14 cm, para una tensión admisible de $0,5 \times 45 \text{ kg/cm}^2 = 22,5 \text{ kg/cm}^2$.

Ejemplo 2: Estudiar diseños equivalentes para el pavimento de una calle de tránsito general con cargas pesadas y frecuentes, de acuerdo con los datos que se consignan a continuación:

- Tránsito: el detallado en el cuadro siguiente que consigna las cargas más pesadas, sobre ejes simples o tandem y su frecuencia, en las columnas 1 y 3.
- Módulo de rotura del hormigón: $\sigma_t = 45$ ó 50 kg/cm^2 de acuerdo con los materiales o la dosificación adoptada.
El 50 % de estos valores son las tensiones admisibles para una reiteración ilimitada de las cargas.
- Módulo de reacción de la subrasante: $k = 2,8 \text{ kg/cm}^3$ constituida por suelos finos susceptibles de experimentar "bombeo". Por este motivo, como las cargas pesadas son frecuentes, debe intercalarse una subbase entre losa y subrasante, para la que se adopta un espesor de 10 cm, constituida por materiales granulares ($k = 3,6 \text{ kg/cm}^3$) o por suelo-cemento ($k = 8,4 \text{ kg/cm}^3$).
- Factor de seguridad: 1,20 aconsejado para este tipo de calle.

Para establecer en cada caso si los espesores adoptados son adecuados para soportar las cargas previstas del tránsito se procede como se indica en el cuadro de la figura siguiente.

Siendo el consumo de capacidad inferior al 100 % los diseños estudiados son adecuados para soportar las cargas previstas del tránsito. Se adoptará el diseño que resulte más económico.

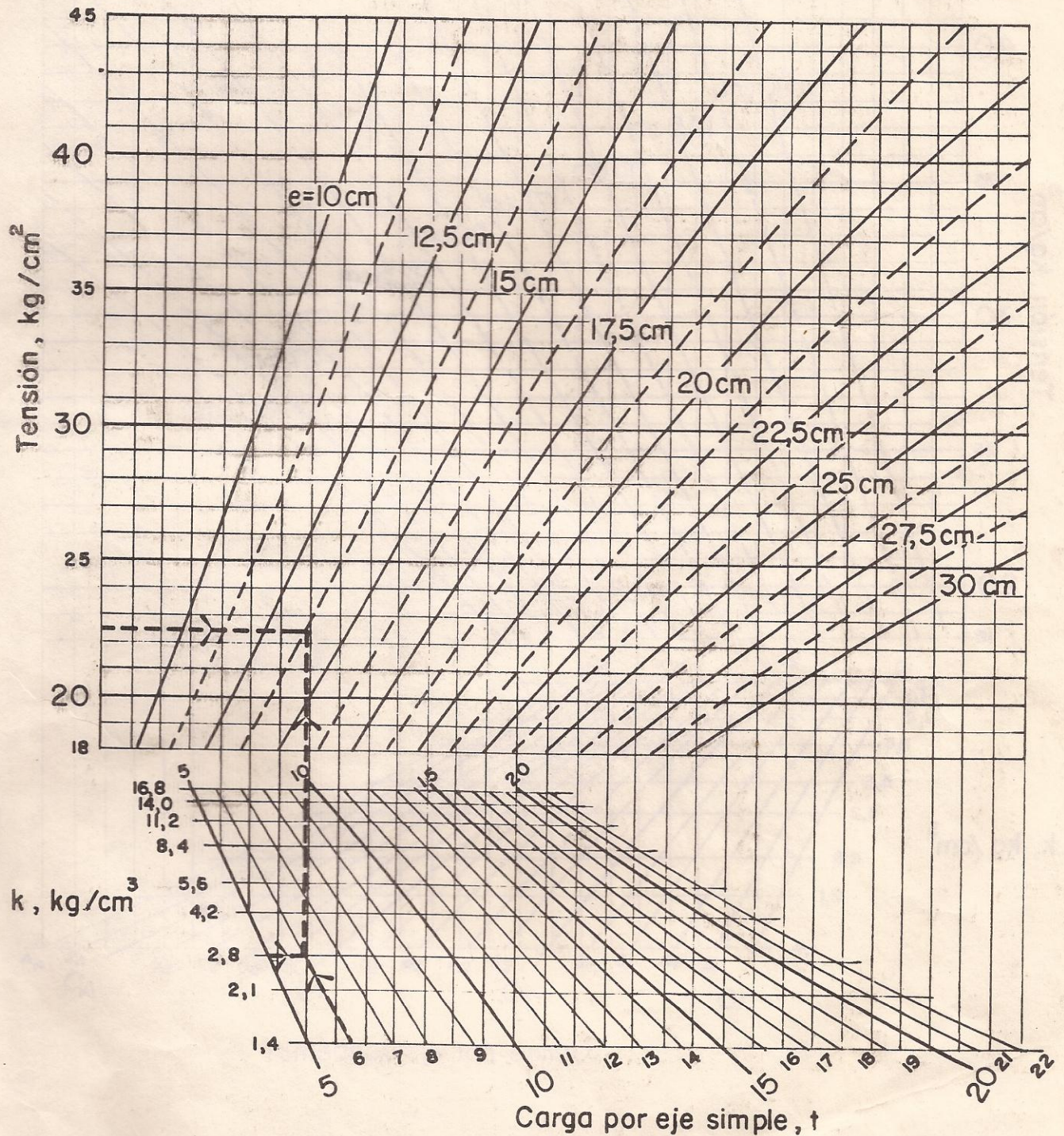
**DISEÑOS COMPARATIVOS DE UN PAVIMENTO DE HORMIGON
PARA CARGAS DE PESO Y FRECUENCIA DADAS Y UN
MODULO DE REACCION DE LA SUBRASANTE $k = 2,8 \text{ kg/cm}^3$
VIDA DE SERVICIO: 40 años**

1	2	3	4	5	6	7	8
CARGAS		REPETICIONES		Tension debida a la carga	Relacion de tensiones	Repeticiones de Permitidas	Consumo de Fatiga $\frac{\text{Col. 4}}{\text{Col. 7}} \times 100$
Por Eje	Por Eje por factor de seguridad	Diarias	En 40 años $40 \times 365 \times \text{Col. 3}$				
Kg	Kg	Nº	Nº	Kg/cm ²	---	Nº	%
Espesor h = 23 cm.		$\sigma_f = 45 \text{ kg/cm}^2$		Subbase Granular Esp. 10 cm		K = 3,6 kg/cm ³	
EJES SIMPLES							
14.000	16.800	1	14.600	23,5	0,52	300.000	4,9
13.000	15.600	3	43.800	22,5	0,50	ilimitadas	---
12.000	14.400	3	43.800	21,5	< 0,50	"	---
11.000	13.200	200	2.920.000	---	< 0,50	"	---
10.000	12.000	300	4.380.000	---	< 0,50	"	---
EJES TANDEM							
24.000	28.800	0,5	7.300	26,0	0,58	57.000	12,8
23.000	27.600	2	29.200	24,5	0,54	180.000	16,2
22.000	26.400	10	146.000	23,5	0,52	300.000	48,7
21.000	25.200	50	730.000	22,5	0,50	ilimitadas	---
20.000	24.000	80	1.168.000	21,5	< 0,50	"	---
19.000	22.800	100	1.460.000	---	< 0,50	"	---
SUMA							= 82,6
Espesor h = 21,5 cm.		$\sigma_f = 50 \text{ kg/cm}^2$		Subbase Granular Esp. 10 cm.		K = 3,6 kg/cm ³	
EJES SIMPLES							
14.000	16.800	1	14.600	25,5	0,51	400.000	3,7
13.000	15.600	3	43.800	24,5	< 0,50	ilimitadas	---
12.000	14.400	3	43.800	---	< 0,50	"	---
11.000	13.200	200	2.920.000	---	< 0,50	"	---
10.000	12.000	300	4.380.000	---	< 0,50	"	---
EJES TANDEM							
24.000	28.800	0,5	7.300	27,5	0,55	130.000	5,6
23.000	27.600	2	29.200	26,7	0,53	240.000	12,2
22.000	26.400	10	146.000	26,0	0,52	300.000	48,7
21.000	25.200	50	730.000	25,0	0,50	ilimitadas	---
20.000	24.000	80	1.168.000	23,5	< 0,50	"	---
19.000	22.800	100	1.460.000	---	< 0,50	"	---
SUMA							= 70,2
Espesor h = 20 cm.		$\sigma_f = 45 \text{ kg/cm}^2$		Subbase de suelo-cemento Esp. 10 cm.		K = 8,4 kg/cm ³	
EJES SIMPLES							
14.000	16.800	1	14.600	24,0	0,53	240.000	6,1
13.000	15.600	3	43.800	22,5	0,50	ilimitadas	---
12.000	14.400	3	43.800	22,0	< 0,50	"	---
11.000	13.200	200	2.920.000	---	< 0,50	"	---
10.000	12.000	300	4.380.000	---	< 0,50	"	---
EJES TANDEM							
24.000	28.800	0,5	7.300	25,0	0,56	100.000	7,3
23.000	27.600	2	29.200	24,0	0,53	240.000	12,2
22.000	26.400	10	146.000	23,0	0,51	400.000	36,5
21.000	25.200	50	730.000	22,0	< 0,50	ilimitadas	---
20.000	24.000	80	1.168.000	---	< 0,50	"	---
19.000	22.800	100	1.460.000	---	< 0,50	"	---
SUMA							= 62,1

PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

ÁBACO PARA EL PROYECTO DE ESPESORES

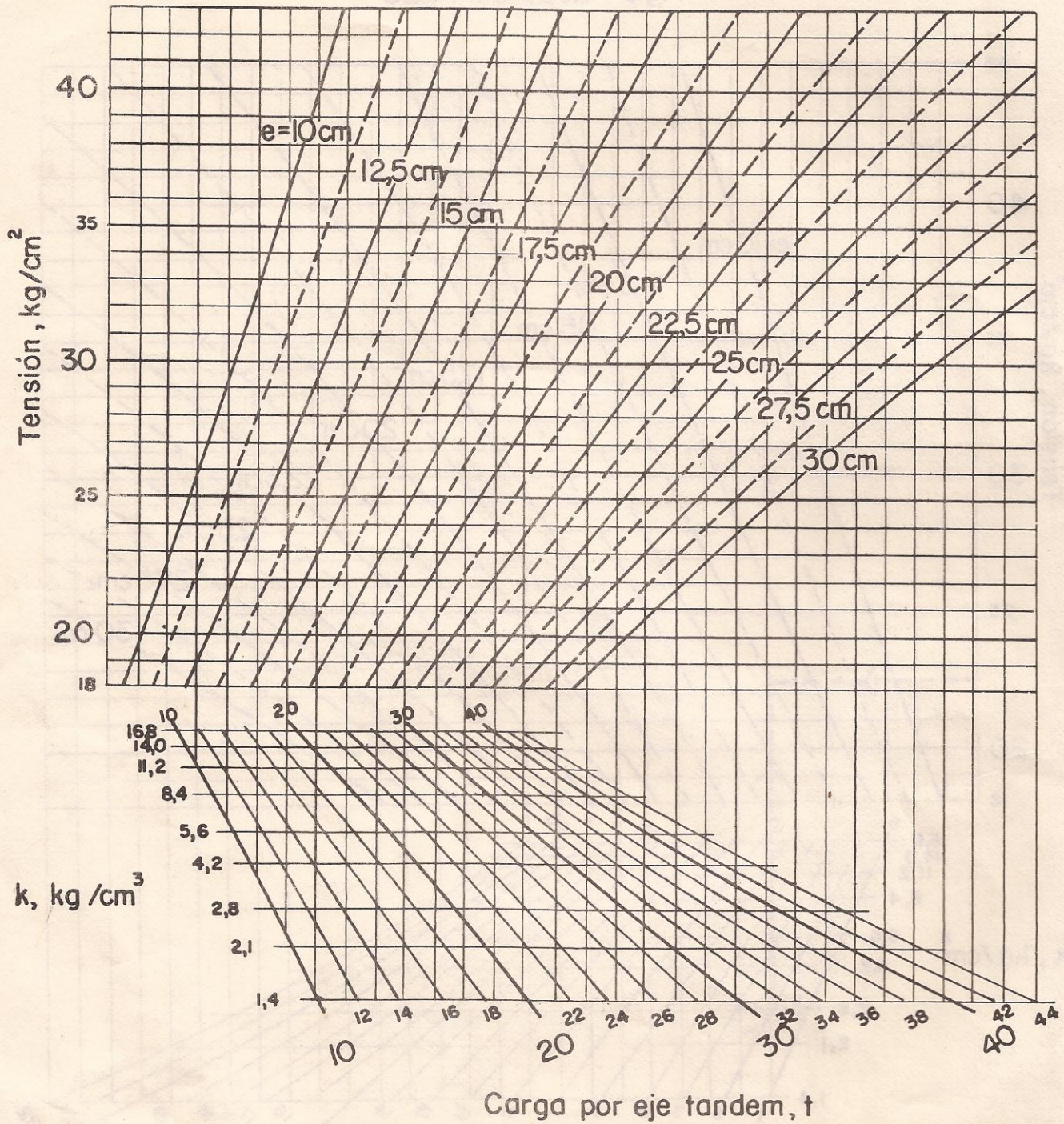
Fig.9- EJES SIMPLES



PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

ÁBACO PARA EL PROYECTO DE ESPESORES

Fig.10- EJES TANDEM



APENDICE C

DIMENSIONAMIENTO DE BARRAS DE UNION, PASADORES Y ARMADURA DISTRIBUIDA

Barras de unión

Las barras de unión se colocan a través de las juntas longitudinales para evitar la separación de sus bordes, manteniéndolos en íntimo contacto y asegurando una adecuada transferencia de cargas entre las losas adyacentes. Las barras de unión no se dimensionan como elementos para transferir cargas, transferencia que se produce por la trabazón de los agregados del hormigón en la grieta que se forma debajo de la ranura practicada en la junta.

Calculada la separación entre barras de unión, que de acuerdo con la experiencia debe ser inferior a 75 cm, la separación entre una barra de unión extrema y la junta transversal, debe ser mitad de aquella. Las barras se ubican en la mitad del espesor de la losa.

Los gráficos de las figuras 11 y 12, que se basan en fórmulas conocidas y tensiones de trabajo seguras, permiten el dimensionamiento rápido de las barras lisas de acero común o conformadas superficialmente de acero de alto límite de fluencia.

Procedimiento para el diseño

Ejemplo 1: Dimensionar las barras lisas de unión empleando acero común, para la junta longitudinal central de un pavimento del sistema colector, con tránsito reducido, de 7,30 m de ancho y 15 cm de espesor.

Las dimensiones (diámetro y longitud) y separación de las barras de unión se establecen con el espesor del pavimento (15 cm) y la distancia entre la junta y el borde libre más cercano (3,65 m), como se indica en la figura 11. Pueden emplearse:

- (1) barras \varnothing 8 mm longitud 60 cm, separación 41 cm ó
- (2) barras \varnothing 10 mm longitud 70 cm, separación 64 cm.

Ejemplo 2: Proyectar las barras de unión conformadas superficialmente de acero de alto límite de fluencia para las juntas longitudinales de un pavimento del sistema arterial mayor de 16 m de ancho (cuatro trochas de 4 m de ancho cada una) y 18 cm de espesor.

El ejemplo desarrollado en el gráfico de la figura 12 da para las juntas longitudinales laterales, con una distancia de 4 m al borde libre más cercano:

- (1) barras \varnothing 6 mm, longitud 45 cm, separación 32 cm ó
- (2) barras \varnothing 8 mm, longitud 55 cm, separación 58 cm.

En la junta longitudinal central, cuya distancia al borde libre más cercano será de 8 m, se colocará el doble del número de barras de unión adoptado en las juntas laterales, con las dimensiones anteriormente establecidas, puesto que la sección de acero necesaria está en relación directa con aquella distancia.

Barras pasadores

Estas barras son verdaderos dispositivos mecánicos para transferir cargas a través de las juntas transversales. Cuando su uso es necesario, se colocan a través de las juntas, permitiendo el movimiento de las losas y manteniendo sus bordes a un mismo nivel. La deflexión de una losa cargada, es resistida a través de la barra pasador, por la losa adyacente, la que también deflexiona y soporta una parte de la carga.

La experiencia indica que la separación entre barras pasadores no debe ser superior a 45 cm ni inferior a 20 cm; la separación entre una barra pasador extrema y el borde libre del pavimento, estará comprendida entre 22,5 y 10 cm. Cuando se aconseja el uso de estas barras, que son lisas y de acero común, en juntas transversales de expansión o de contracción, se ubican en la mitad del espesor de la losa, llenando los demás requisitos indicados en el apéndice A (Fig. 5).

El dimensionamiento de las barras pasadores se logra mediante un laborioso cálculo que no es materia de este manual (6), pero existe una regla práctica que permite efectuarlo aproximada y rápidamente. Según esta regla, cuando la separación entre barras es de 30 cm, el diámetro de las mismas es aproximadamente $\frac{1}{8}$ del espesor de las losas. Su longitud es de 40 cm en juntas de contracción y 50 cm en juntas de expansión.

Armadura distribuida

Para controlar el agrietamiento, siempre posible en losas de grandes dimensiones, debe recurrirse a la colocación de armadura distribuida, cuya finalidad es mantener unidos los bordes de cualquier grieta que eventualmente pudiera producirse.

Pueden utilizarse mallas preparadas en el obrador con barras de acero o mallas comerciales soldadas, cuyo dimensionamiento se determina como se explica a continuación:

Procedimiento para el diseño

Ejemplo: Dimensionar la armadura distribuida para losas de 3,65 m de ancho, 12,00 m de longitud y 20 cm de espesor (pavimento para cargas pesadas y frecuentes).

Como se indica en la figura 13 para un espesor de 20 cm y longitud de 12 m la armadura longitudinal necesaria es:

- (1) 2,70 cm²/m de acero común ($\sigma_{adm} = 1\ 600$ kg/cm²) ó
- (2) 1.45 cm²/m de acero alto límite de fluencia ($\sigma_{adm} = 3\ 000$ kg/cm²).

Para un ancho de losa de 3,65 m la posibilidad de producción de fisuras o grietas es remota, de

modo que la armadura transversal es la de repartición suficiente para mantener en posición la armadura longitudinal. Por ejemplo: 3 Ø de 6 mm por metro, del mismo tipo de acero empleado longitudinalmente.

Para anchos mayores la armadura transversal se dimensiona con el gráfico de la figura 13 y con el mismo procedimiento utilizado para la armadura longitudinal.

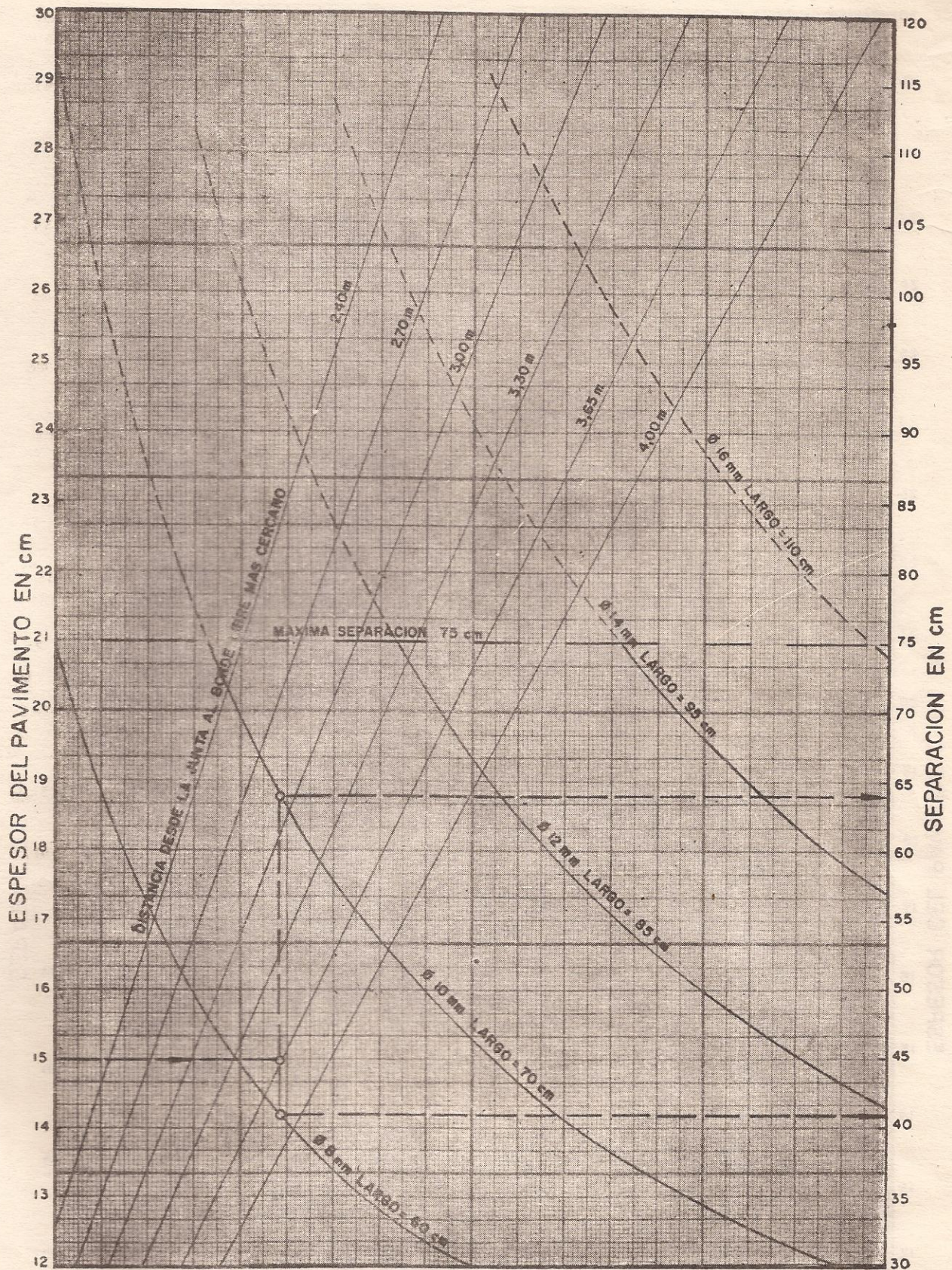


FIG. 11. Gráfico para el cálculo de barras de unión empleando barras lisas de acero común.

TENSION ADMISIBLE TRACCION 1600 kg/cm^2 .
 TENSION ADMISIBLE ADHERENCIA 12 Kg/cm^2

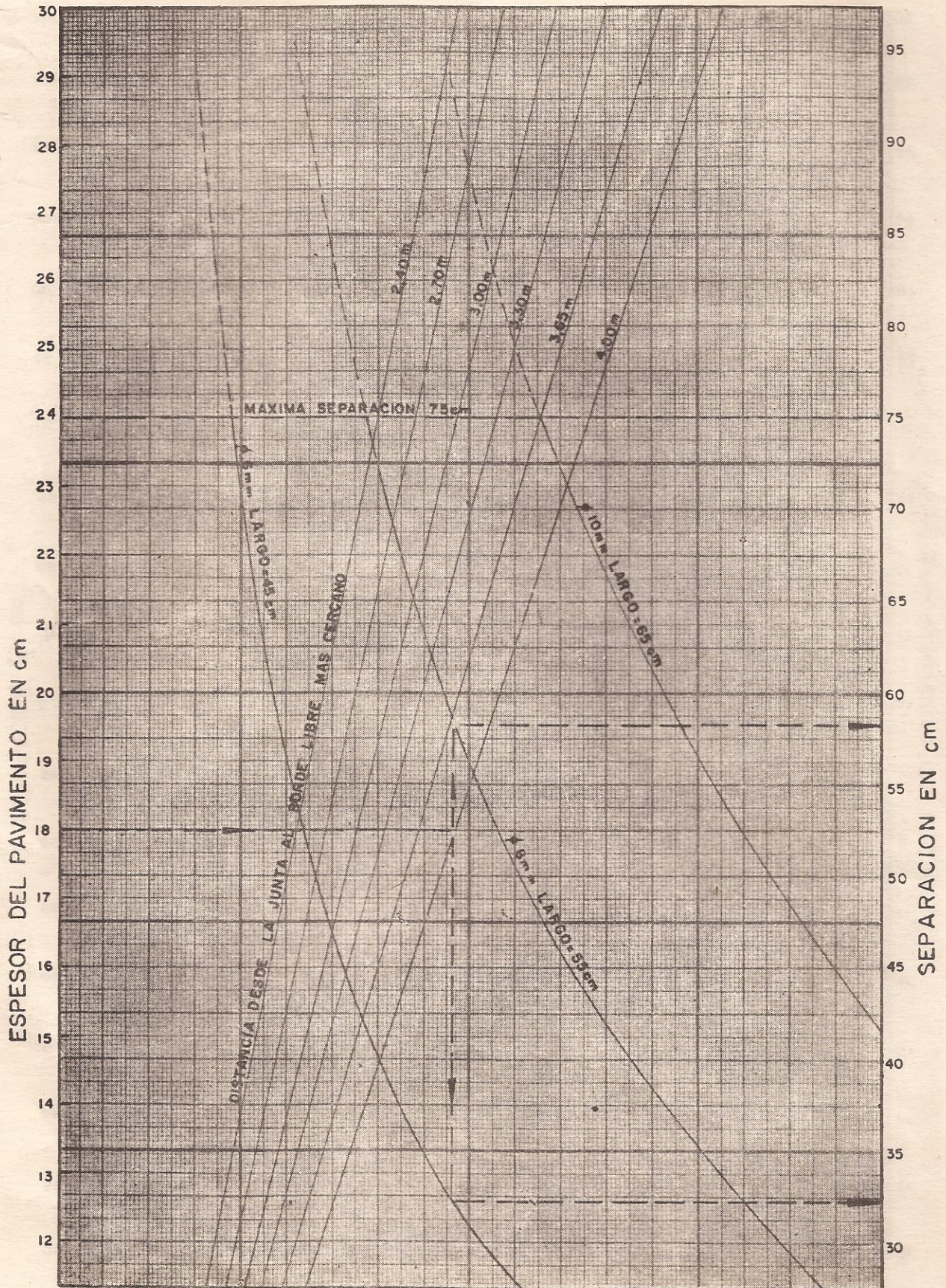


FIG. 12. Gráfico para el cálculo de barras de unión empleando barras conformadas superficialmente de acero de alto límite de fluencia.

TENSION ADMISIBLE TRACCION 3000 Kg/cm^2

TENSION ADMISIBLE ADHERENCIA 24 Kg/cm^2

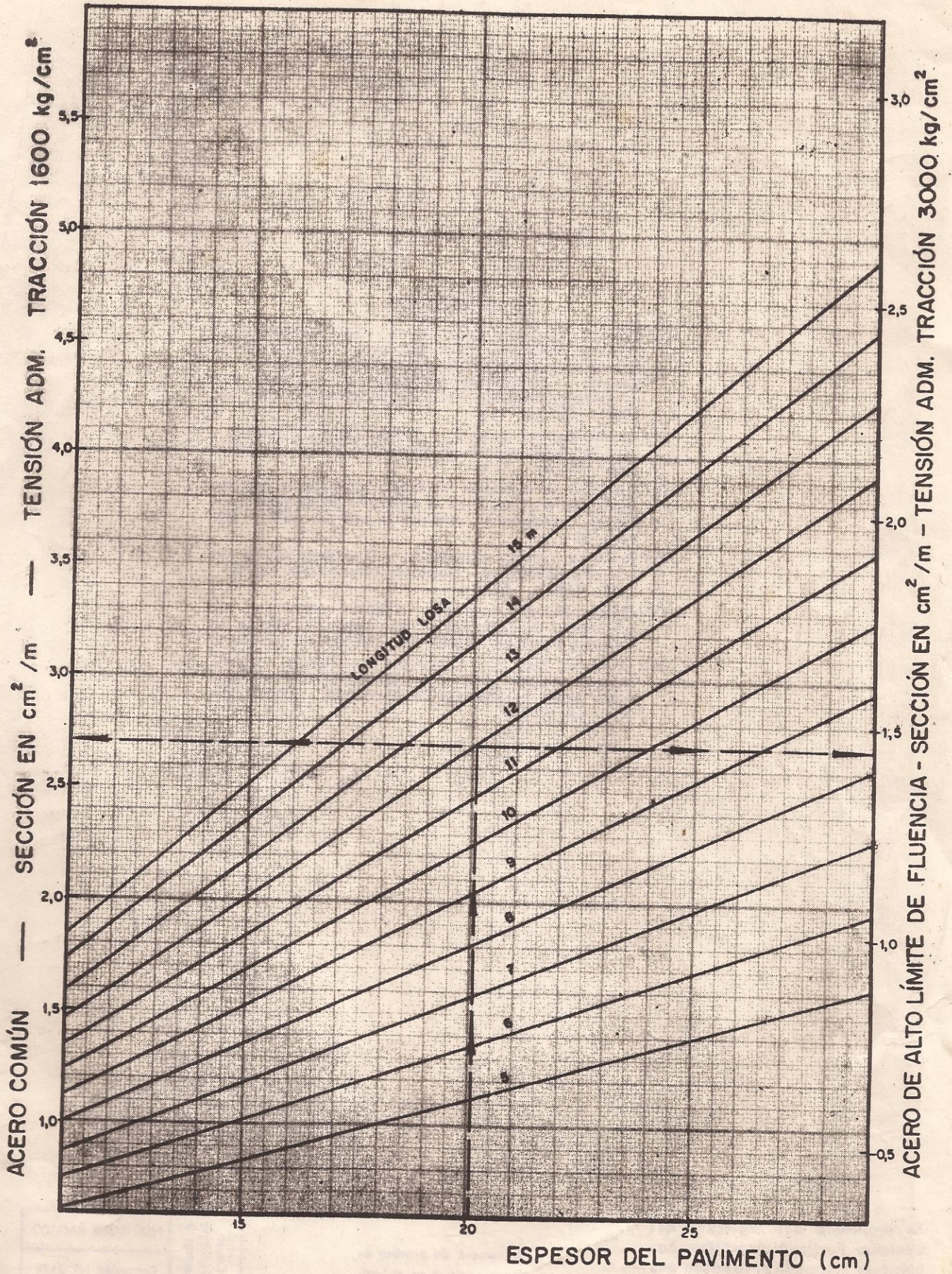


FIG. 13. Gráfico para el cálculo de armadura distribuida.

REFERENCIAS

- (1) Portland Cement Association - Subrasantes, sub-bases y banquetas para pavimentos de hormigón. Traducción del Instituto del Cemento Portland Argentino - (Subgrades, subbases and shoulders for concrete pavements - Concrete Information H B—28, 1960) - Bs. As. - 37 p.
- (2) García Balado, Juan F. - Método para la dosificación de hormigones - Publicación I.C.P.A. N° 42 - 1964 - Bs. As. - 61 p.
- (3) Instituto del Cemento Portland Argentino - Especificaciones técnicas para la construcción de pavimentos de hormigón en caminos y calles - 1976 - Bs. As. - 66 p.
- (4) Portland Cement Association - Thickness design for concrete pavements - Concrete Information H B 35 - 1966 - U.S.A. - 32 p.
- (5) García Balado, Juan F. - Análisis estructural del pavimento de hormigón - Associação Brasileira de Cimento Portland - 1967 - San Pablo - Brasil - 50 p.
- (6) Colombo, Raúl A. y Machado, Luis María - Nuevo método gráfico para el diseño de pasadores. Simposio sobre pavimentos de hormigón - 1962 - Bs. As. - pp. 87-103.

Es propiedad del Instituto del
Cemento Portland Argentino ha-
biéndose efectuado el depósito que
establece la Ley Nacional N° 11.723.

Se terminó de imprimir en
Sistema Offset en el Insti-
tuto del Cemento Portland
Argentino el 10-10-77

Correo
Argentino
Central B

FRANQUEO PAGADO

Concesión N° 3179