

Carreteras

Año IV

Nº 14

ABRIL - JUNIO 1958



**ASOCIACION ARGENTINA
DE CARRETERAS**

CONSEJO DIRECTIVO DE LA ASOCIACION ARGENTINA DE CARRETERAS

ADHERIDA A LA INTERNATIONAL ROAD FEDERATION

Presidente	LUIS DE CARLI	(Cámara Argentina de la Construcción)
Vicepresidente 1º	EDGARDO RAMBELLI	(Shell Argentina, Ltda.)
Vicepresidente 2º	JUAN AGUSTIN VALLE	(Categoría "A" Socios Individuales)
Secretario	EZIO M. A. STRAZZOLINI	(Yacimientos Petrolíferos Fiscales)
Prosecretario ...	MARTIN STEWARD HENRY	(Esso, S. A. Petrolera Argentina)
Tesrero	LUCAS G. M. MARENGO	(Marengo, Industrial, Comercial y Financiera)
Protesorero	WALTHER BURGWARDT	(Burgwardt y Cía. S. A. Ind., Com. y Agroganadera)
Vocales	NESTOR C. ALESSO	(José M. Aragón S. A.)
	EDUARDO ARENAS	(Dirección Nacional de Vialidad y L.E.M.I.T.)
	JORGE BOISO	(Asociación de Fabricantes de Cemento Portland)
	ARTURO C. A. BUXTON	(Automóvil Club Argentina)
	MAURICIO A. OTTOLENGHI	(Touring Club Argentino)
	ALFREDO PINILLA	(Comisión Permanente del Asfalto)
	JOSE MARIA RAGGIO	(Categoría "A", Socios Individuales)
	MARCOS SASTRE	(Categoría "A", Socios Individuales)
	HENRY WEST	(Fotor Motor Co.)

COMISION REVISORA DE CUENTAS

AARON BELLINSON	(Bubis, Artabe y Beilinson)
JOSE FORNAROLI	(E.C.C.Y.P., Empr. de Constr. Civiles y Públicas, SRL.)
ADOLFO VIDELA	(Viabit, Cía. de Asfalto Frío)

DELEGACION CORDOBA

Presidente	MANUEL ACUÑA	Manuel H. Acuña, S.R.L.). (En uso de licencia especial)
Vicepresidente 1º (En ejercicio de la presidencia)	ALFREDO GARCIA VOGLINO	(Instituto del Cemento Portland Argentino)
Secretario	MIGUEL ANGEL YADAROLA	(Centro de Ingenieros de Córdoba)
Tesorero	FRANCISCO FLORES (h.)	(Federación Económica de la Provincia)
Vocales	FRANCISCO BERNABE GARCIA	(Iggam, S. A. Industrial)
	ENRIQUE LAISECA	(Dirección Nacional de Vialidad)
	JOSE V. MARTINEZ GUIASOLA	(Shell Argentina Ltda.)
	ALBINO MENEGHINI	(Dirección Provincial de Vialidad)
	LEOPOLDO TIREL	(Igamma S. A.)

DELEGACION LA PLATA

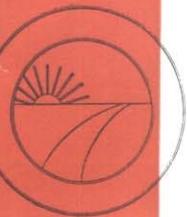
Presidente	JUAN F. GARCIA BALADO	(Centro de Ingenieros de la provincia de Buenos Aires)
Vocales	ADOLFO GRISI	(Cámara de Comercio y Dirección de Vialidad de la provincia de Buenos Aires)
	JOSE MARTIN	(Rotary Club)
	PEDRO PETRIZ	(Dirección Nacional de Vialidad)
	ANGEL F. PLASTINO	(Cámara Argentina de la Construcción)
	JORGE T. RECA	(Yacimientos Petrolíferos Fiscales)

DELEGACION MENDOZA

Vicepresidente .. (En ejercicio de la presidencia)	JUAN GARCIA EIJO	(Neumáticos Goodyear)
Secretario	VICTOR GALFIONE	(Instituto del Cemento Portland Argentino)
Tesorero	CRISTOBAL MURPHY	(Shell Argentina Ltda.)
Vocales	ROBERTO AZZONI	(Centro de Ingenieros y Arquitectos de Mendoza)
	JUAN F. BARBERA	(Dirección Nacional de Vialidad)
	FRANCISCO BARRERAS	(ARMCO Argentina)
	ALBERTO CITON	(Centro de Bodegueros del Este)
	JOSE MARIA DIEZ	(Unión Industrial y Comercial)
	RAFAEL GAVIOLA	(Cámara de Comercio de San Rafael)
	MAURICIO WAISMAN	(Cámara Argentina de la Construcción)

DELEGACION SANTA FE

Presidente	CARLOS A. MAI	(Cámara Argentina de la Construcción)
Vicepresidente ..	REYNALDO GERVASINI	(Unión Industrial)
Secretario	MARCELO J. ALVAREZ	(Dirección Nacional de Vialidad)
Vocales	ANTONIO D'ANDREA	(Centro Comercial de Santa Fe)
	ANTONIO MOSCATO	(Empresas de Omnibus)
	JUAN M. SAMATAN	(Vialidad Provincial de Santa Fe)



Carreteras

ASOCIACION ARGENTINA DE CARRETERAS

ño IV N° 14

ABRIL - JUNIO

1958

Director

Ing. ENRIQUE HUMET

Reg. Prop. Int. N° 604.329

Secretario de Redacción
ANTONIO P. LOMONACO

SUMARIO

Pág.

PROYECTO DE UN PAVIMENTO DE HORMIGON. (Método Gráfico de Verificación).

Trabajo premiado por el Instituto del Cemento Portland Argentino. Por los ingenieros civiles Julio Aníbal Monge Navarro y Juan José Orden

2

RESULTADO DEL CONCURSO ORGANIZADO POR LA ASOCIACION ARGENTINA DE CARRETERAS CON MOTIVO DEL 25º ANIVERSARIO DE LA LEY NACIONAL DE VIALIDAD

32

PORTADA: Acceso Norte a la Capital Federal (1ª Sección). Vista panorámica del cruce con la Avenida General Paz.

CONTRATAPA (interior): Provincia de Neuquén, Ruta N° 231. Tramo Copahue - Lencopué. Vista hacia Copahue en las proximidades del puente sobre el Río Agrío. Al fondo el cerro Tolón Grande.

CONTRATAPA (exterior): Del Sistema Nacional de Señales Camineras. Señal de peligro; se utiliza en casos de puentes que no permiten o hacen riesgoso el cruce de dos vehículos.

CARRETERAS,
revista trimestral editada
por la Asociación Argentina
de Carreteras.

Afiliada a la Asociación
de la Prensa Técnica
Argentina

Dirección, Redacción y
Administración:

VENEZUELA 770

Buenos Aires - Argentina

Dirección Cablegráfica
"CARRETERAS"

Teléfonos:

30 - 0889 y 34 - 8076

Por Más y Mejores Caminos

PROYECTO DE PAVIMENTO

Por los ingenieros civiles

METODO GRAFI



JULIO ANIBAL
MONGE NAVARRO



JUAN JOSE ORDEN

Este trabajo compartió el primer premio, en el Concurso organizado por el Instituto del Cemento Portland Argentino, destinado a estudiantes de ingeniería, con el que ya fuera publicado en el número anterior de esta revista bajo el mismo título por el ingeniero Armando Cima.

Sus autores ya han finalizado sus carreras universitarias y poseen, cada uno, el título de ingeniero civil.

La institución organizadora del concurso ha tenido la gentileza de autorizar a esta revista a publicar estos trabajos.

DE HORMIGON

VERIFICACION

SUMARIO

SE hace un análisis somero de los distintos factores que intervienen en el proyecto de un pavimento de hormigón, dando idea de su determinación. Se incluye una serie de ábacos originales para el cálculo de tensiones por cargas en el interior, borde y esquina de losas; tensiones en las juntas y tensiones por diferencia de temperatura. Estos ábacos y otros gráficos ya conocidos, permiten verificar gráficamente un pavimento de hormigón, que es lo que se trata como último punto.

FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROBLEMA

EL proyecto de un pavimento de hormigón puede encararse como el de una estructura a la intemperie y sometida a la acción de cargas dinámicas. Así se estudia primeramente la determinación de la carga de cálculo y su frecuencia, el coeficiente de seguridad, la fundación, la acción de los agentes atmosféricos y la determinación de las tensiones en el interior de la estructura.

DETERMINACION DE LA CARGA DE CALCULO Y SU FRECUENCIA

El objeto de un pavimento es permitir la circulación de vehículos sobre él; por consiguiente sus dimensiones tratarán de ajustarse a este fin. Así el ancho total será función del ancho de los vehículos, su número y velocidad; el espesor y el largo de cada losa serán tales que el régimen de tensiones que en ellas se desarrolle permita asegurar al pavimento una vida económicamente ventajosa.

Para conocer número, dimensiones y distribución de los vehículos en una corriente de tránsito, se realiza la operación llamada "censo de tránsito". Para ello se dispone de una serie de estaciones "llave" y secundarias aproximadamente en relación 1:30. Las estaciones "llave" se ubican en los caminos más importantes, se suelen operar en periodos de 8, 16 y 24 horas cubriendo días comunes de semana, sábados y domingos a los largo de todos los meses del año. En ellas se realiza el recuento de vehículos y además se determina su peso y otras características.

En las estaciones secundarias se hace simplemente el recuento de vehículos durante unas pocas horas al año.

En función de los datos así obtenidos y aplicando las leyes de la estadística matemática puede conocerse con error predecible las características del tránsito en la zona y en el tiempo abarcados por el censo.

Para estudiar la variación de la corriente de tránsito en el tiempo hay varios criterios: suponerlo directamente proporcional al probable consumo futuro de nafta determinable por alguna ecuación más o menos aproximada o estimarlo con base en los probables aumentos de población, número de vehículos por habitante y la variación del uso que de ellos se haga.

En la elección de la carga para el cálculo se sigue el criterio que se pasa a exponer.

Se supone disponer ya de todos los datos acerca de peso y volumen de tránsito que pudieron haber sido determinados según se vió anteriormente; sean ellos:

Estimación del tránsito para cuando esté lista la obra V' vehículos por día distribuidos así:

Automóviles y vehículos livianos	a %
Micros, ómnibus y colectivos	m %
Camiones livianos	cl %
Camiones medianos	cm %
Camiones pesados	cp %

$$a + m + cl + cm + cp = 100$$

Esta distribución corresponde a las cargas que transmiten al pavimento las ruedas traseras. Así se tiene

Carga de A Kg por rueda	a %
" " M " " "	m %
" " Cl " " "	cl %
" " Cm " " "	cm %
" " Cp " " "	cp %

siendo $C_p > C_m > C_l > M > A$

En el cálculo se utiliza ésta y no la carga total del vehículo debido a que la influencia de una carga se extiende en una zona menor que la semitrocha de los vehículos usuales. Además consideramos que el valor de la carga transmitida debe ser la carga estática multiplicada por el correspondiente coeficiente de impacto, del que se hablará más adelante.

También debe tenerse en cuenta el crecimiento del tránsito durante la vida del pavimento; el factor de crecimiento puede determinarse según se vió oportunamente, y entonces puede hacerse otra clasificación:

Carga de A Kg por rueda	A'	Veh. día	en una dirección	en el futuro
" " M " " "	M'	" " " " " " "	" " " "	" " " "
" " Cl " " "	Cl'	" " " " " " "	" " " "	" " " "
" " Cm " " "	Cm'	" " " " " " "	" " " "	" " " "
" " Cp " " "	Cp'	" " " " " " "	" " " "	" " " "

Se reduce ahora el tránsito diario a cargas equivalentes de C_p Kg por rueda, que es la mayor; el procedimiento que se sigue es el indicado por el Departamento de Carreteras de California (USA). Partiendo de los factores que da el Departamento en la relación de 1-2-4-8-16-32 para cargas de 4.500; 5.500; 6.500; 7.500; 8.500; 9.500 libras, hemos hallado la ecuación de la exponencial que pasa por esos puntos, que es

$$y = 2^{\frac{x - 2.041,2}{453,6}}$$

en la que

y = factor
 x = carga por rueda en Kg

Para facilitar la aplicación hemos trazado esta curva en la fig. I. A cada carga corresponde un determinado factor F_a ; F_m ; F_{cl} ; F_{cm} , y F_{cp} . Relacionándolos con el que corresponde a la carga máxima se tiene:

$$\frac{F_a}{F_{cp}} = \alpha; \frac{F_m}{F_{cp}} = \beta; \frac{F_{cl}}{F_{cp}} = \gamma; \frac{F_{cm}}{F_{cp}} = \delta; \frac{F_{cp}}{F_{cp}} = 1$$

Con estas relaciones puede calcularse el tránsito diario en una sola dirección equivalente a la carga de C_p Kg

$$\begin{aligned} A' \frac{\text{veh.}}{\text{día}} \times \alpha &= A'' \frac{\text{veh.}}{\text{día}} \\ M' \text{ " } \times \beta &= M'' \text{ " } \\ C_l' \text{ " } \times \gamma &= C_l'' \text{ " } \\ C_m' \text{ " } \times \delta &= C_m'' \text{ " } \\ C_p' \text{ " } \times 1 &= C_p'' \text{ " } \end{aligned}$$

El tránsito diario total equivalente a la carga máxima será entonces

$$A'' + M'' + C_l'' + C_m'' + C_p'' = V \frac{\text{veh.}}{\text{día}}$$

En el proyecto de pavimentos se suele tomar un coeficiente de seguridad igual a 1 lo cual obliga en cambio a tener en cuenta la fatiga por reiteración de cargas.

Si se considera que la vida útil del pavimento es n años, el número de reiteraciones de la carga al cabo de ese tiempo será:

$$R = V \frac{\text{veh.}}{\text{día}} \times 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} \times n \text{ años}$$

Con este valor de R se entra en la curva que da el coeficiente de fatiga y que puede verse más adelante (figura II).

La tensión admisible se obtendrá entonces dividiendo la tensión de rotura por el coeficiente de fatiga. Consideramos que este valor puede incrementarse en un 20% ya que el ensayo de rotura se hace a los 28 días y la resistencia del hormigón aumenta con el tiempo.

Con los procedimientos de dosificación que se usan en el presente puede obtenerse hormigones cuyo módulo de rotura por flexión sea superior a 50 Kg/cm² en el ensa-

yo de vigas con curado húmedo durante 28 días a partir del momento de su construcción.

Además la experiencia dicta que cuando las estructuras de hormigón trabajan a tensiones que no sean superiores al 50% de su resistencia final, no habrá peligro de rotura aunque se sometan a un número ilimitado de repeticiones de dichas tensiones.

LA FUNDACION

Una buena subrasante debe ser homogénea, estable y con adecuada capacidad de soporte.

En cuanto a homogeneidad se considera que es una condición fundamental que debe reunir para no estar en presencia de zonas de distinta capacidad de soporte.

La segunda condición apuntada tiene su importancia en previsión del pronto agrietamiento del pavimento, distorsiones en la losa u otras deformaciones que puedan conducir al fisuramiento.

La subrasante debe protegerse contra la acción de los agentes exteriores, especialmente en cuanto a variación de contenido de humedad se refiere.

La capacidad portante puede lograrse en forma sencilla porque las presiones que el pavimento de hormigón transmite a la subrasante, son insignificantes.

Si naturalmente un suelo posee una capacidad de soporte más o menos apreciable, conviene evitar que disminuya, cosa que puede lograrse compactando debidamente el terreno a humedad óptima y densidad máxima. En caso que el suelo no sea resistente al corte tiene que mejorarse su calidad ya sea aumentando su cohesión o bien su fricción interna; lo primero puede lograrse con el agregado de materiales ligantes cuales son arcilla, cemento o asfalto; y lo segundo, agregando material granular, por ejemplo arena.

Según las características del terreno, materiales que se disponga y las condiciones climáticas del lugar, se echará mano a los distintos métodos correctivos de suelos.

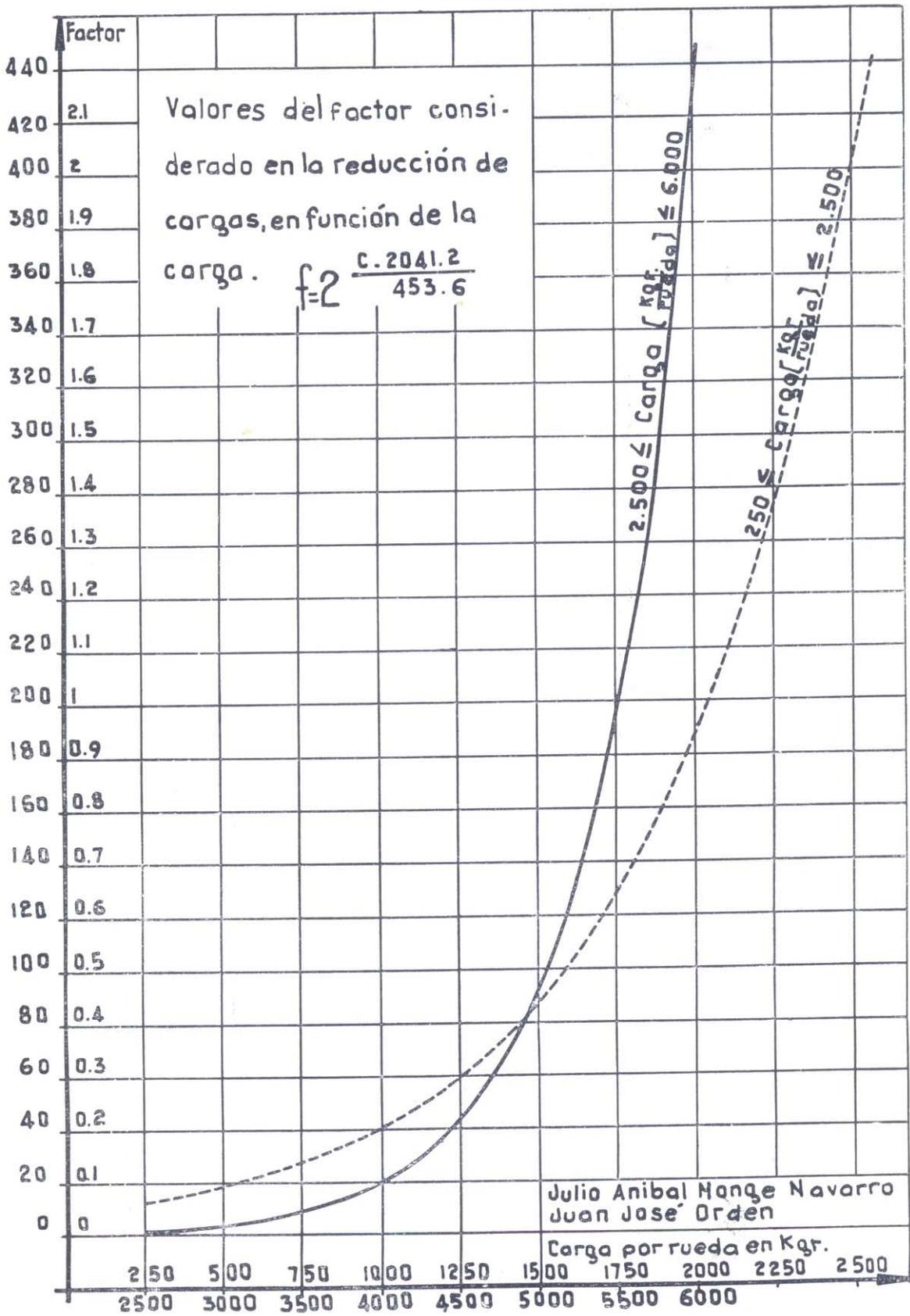


Fig. I

b) que las reacciones de la subrasante son sólo verticales y proporcionales a las deflexiones de la losa.

c) que la reacción de la subrasante por unidad de área en cualquier punto es igual a una constante k (módulo de subrasante), multiplicada por la deflexión en ese punto. Se supone k constante independientemente de las deflexiones y que toma el mismo valor en todos los puntos dentro del área considerada.

d) que el espesor de la losa es uniforme.

e) que la carga en el interior y en la esquina de la losa se distribuye uniformemente en un área circular de contacto. Para la carga de esquina la circunferencia de esta área circular es tangente a los bordes de la losa.

f) que la carga en el borde de la losa se distribuye uniformemente en un área semicircular de contacto cuyo centro está sobre el borde de la misma.

Llegó a las siguientes ecuaciones.

$$\sigma_e = \frac{3 P}{h^2} \left\{ 1 - \left[\frac{12 (1 - \mu^2) K}{E h^3} \right]^{0,15} (a \sqrt{2})^{0,6} \right\}$$

$$\sigma_i = 0,275 (1 + \mu) \frac{P}{h^2} \cdot \log \left(\frac{E h^3}{K b^4} \right)$$

$$\sigma_b = 0,529 (1 + 0,54 \mu) \frac{P}{h^2} \left[\log \left(\frac{E h^3}{K b^4} \right) - 0,71 \right]$$

en las que:

P = carga en Kg

σ_e = máxima tensión de tracción en Kg/cm², en la parte superior de la losa, en dirección paralela a la bisectriz del ángulo de la esquina y debida a la carga P .

σ_i = máxima tensión de tracción en Kg/cm², en la parte inferior de la losa, directamente debajo de la carga cuando ésta actúa en un punto interior de la losa y a considerable distancia de los bordes.

σ_b = máxima tensión de tracción en Kg/cm² en la parte inferior de la losa, directamente debajo de la carga aplicada en el borde y en dirección paralela a éste.

h = espesor de la losa, en cm.

E = módulo de elasticidad del hormigón en Kg/cm².

μ = módulo de Poisson para el hormigón.

K = módulo de subrasante, en Kg/cm³.

a = radio del área de contacto de la carga, en cm.

b = radio equivalente de la distribución de presión. Se introduce para mantener la estructura de la fórmula y tener en cuenta el redondeamiento del diagrama de momentos debido al espesor de la losa, en el caso que $a < 1,724 h$.

Así

$$b = \sqrt{1,6 a^2 + h^2} - 0,675 h \text{ para } a < 1,724 h$$

$$b = a \text{ para } a > 1,724 h$$

Se hace notar que dada la estructura de las fórmulas puede usarse cualquier sistema de unidades sin que varíe el valor de las constantes.

Para el módulo de Poisson se adopta usualmente el valor 0,15 tal como fué aconsejado por Westergaard, sin error sensible en el valor de la tensión.

Introduciendo el valor 1

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

llamado radio de rigidez relativa y adoptando el valor $\mu = 0,15$ las fórmulas anteriores pueden expresarse por

$$\sigma_e = \frac{3 P}{h^2} \left[1 - \left(\frac{a \sqrt{2}}{1} \right)^{0,6} \right]$$

$$\sigma_i = 0,31625 \frac{P}{h^2} \left[4 \log \left(\frac{1}{b} \right) + 1,0693 \right]$$

$$\sigma_b = 0,57185 \frac{P}{h^2} \left[4 \log \left(\frac{1}{b} \right) + 0,3593 \right]$$

la primera debida a Westergaard y las otras dos dadas por Bradbury.

Experimentalmente se ha comprobado que las tensiones de esquina son apreciablemente mayores que las dadas por la ecuación de Westergaard.

Bradbury propuso

$$\sigma_e = \frac{3 P}{h^2} \left[1 - \left(\frac{a}{1} \right)^{0,6} \right]$$

según experiencias de laboratorio de Spangler y Lightburn.

Más tarde, en los ensayos de campo de Arlington, se halló que las tensiones de esquina resultan expresadas por la ecuación

$$\sigma_e = \frac{3 P}{h^2} \left[1 - \left(\frac{a \sqrt{2}}{1} \right)^{1,2} \right]$$

la cual si bien formalmente es similar a las anteriores, no tiene base teórica sino puramente empírica.

Westergaard demostró que la máxima tensión debida a la carga en esquina se produce a una distancia de ésta, medida a lo largo de la bisectriz del ángulo de esquina igual a X_1 donde

$$X_1 = 2 \sqrt[4]{2} \sqrt{a l}$$

En los ensayos de Arlington también se ha encontrado que las tensiones dadas por las fórmulas de Westergaard son mayores que las observadas para el caso de carga interior y menores para el caso de carga de esquina.

No obstante ello y por ser las diferencias comparativamente poco importantes, en general se continúan empleando las fórmulas de Westergaard, en la forma dada por Bradbury ya citadas para los casos de cargas en el borde e interior y se recomienda la de Arlington para el caso de carga en esquina. El valor de la carga P que interviene en el cálculo es el de la carga máxima del cual ya se habló, multiplicada por un coeficiente de impacto.

La determinación del coeficiente de impacto se hace experimentalmente registrando el movimiento de los elásticos del automotor en estudio. Se obtiene así una curva de espacios cuya derivada segunda respecto del tiempo es la de aceleraciones^{"a"}; si se llama P_1 al peso sobre elásticos y P_2 al resto (eje, ruedas, etc) la acción sobre el pavimento puede expresarse por

$$P' = P_1 + P_1 \frac{a}{g} + P_2 = \varphi (P_1 + P_2) = \varphi P$$

en la que

g = aceleración de la gravedad

$P_1 + P_2 = P$ = peso bruto transmitido por la rueda en reposo.

$\varphi = P'/P$ = coeficiente de impacto.

P' = acción dinámica de la carga P a tener en cuenta en el dimensionamiento.

Evidentemente los valores de φ así calculados corresponden al camino ensayado.

Debe observarse que φ varía con P con la velocidad y con el estado del camino. No interesan los valores máxi-

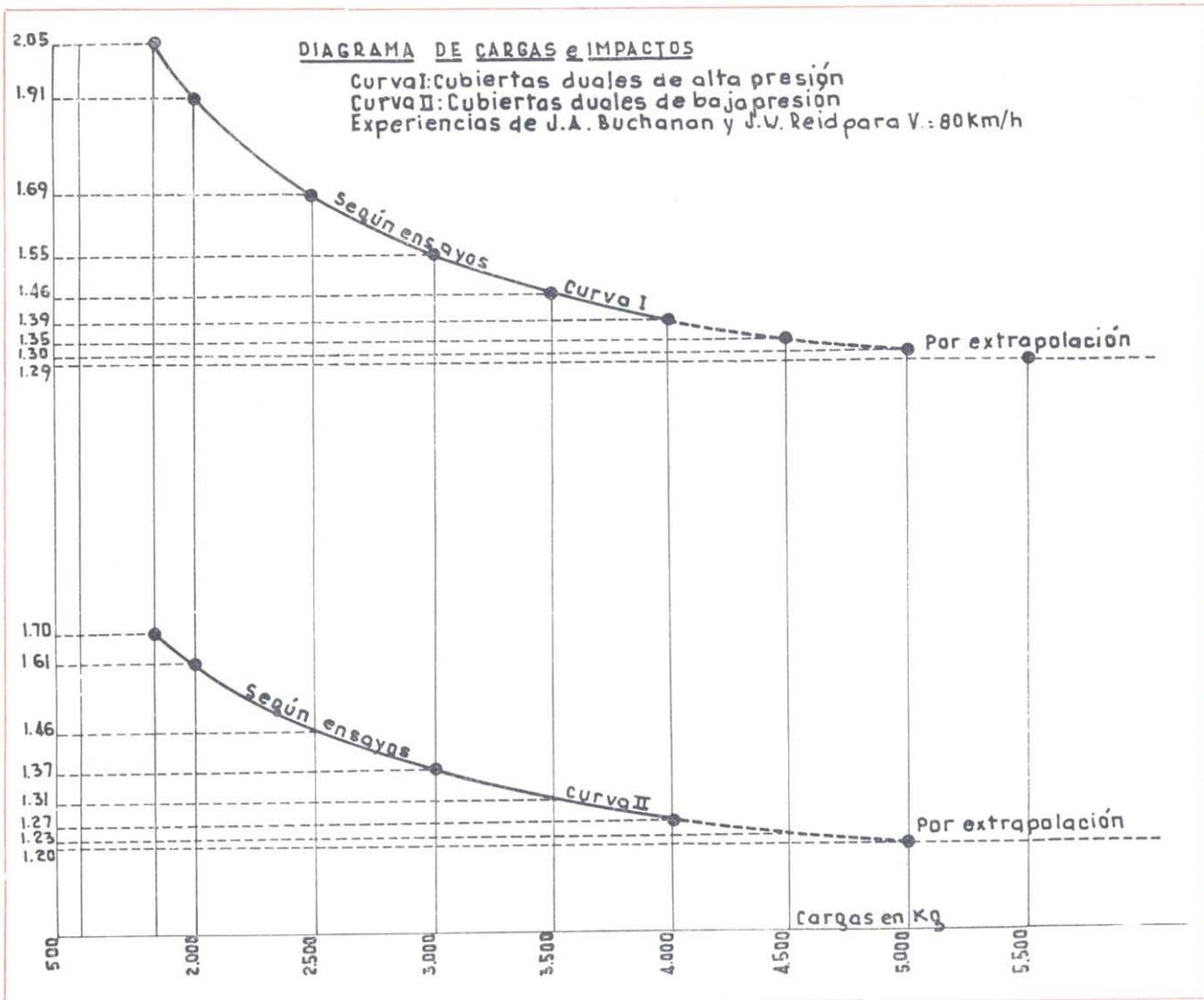


Fig. IV

mos φ , sino aquellos que se repiten un número de veces por unidad de longitud tal que haga conveniente su inclusión en el cálculo.

Hay varios trabajos sobre el particular. Se incluye un gráfico según experiencias de Buchanan y Reid para velocidad 80 Km. por hora y pavimento de hormigón razonablemente liso; los impactos dados son los que pueden esperarse con una frecuencia de 62 por Km. (100 por milla) fig. IV.

Si bien experimentalmente se ha observado que la impronta de la cubierta sobre el pavimento es elíptica, y que la distribución de presiones corresponde muy aproximadamente a la de un casquete elipsoidal, el hecho de suponer la carga uniformemente distribuida sobre un área circular no parece introducir error apreciable en los cálculos.

Tampoco puede afirmarse que sea idéntica la acción de una carga dinámica que la de otra de igual valor actuando estáticamente, pero a falta de otros datos y aparentemente también sin error sensible, para determinar el valor del radio del área de contacto se aplican a cargas dinámicas curvas deducidas con cargas estáticas y que aparecen en la fig. V.

Para las tensiones debidas a la acción de temperatura, también Westergaard ha desarrollado una teoría, reco-

gida y aplicada más tarde por Bradbury y cuyos resultados pueden expresarse por las fórmulas

Tensiones en el borde

$$\sigma_{xb} = \frac{E \cdot e \cdot t}{2} C_x$$

Tensiones en el interior

$$\sigma_x = \frac{E \cdot e \cdot t}{2} \left(\frac{C_x + \mu C_y}{1 - \mu^2} \right); \sigma_y = \frac{E \cdot e \cdot t}{2} \left(\frac{C_y + \mu C_x}{1 - \mu^2} \right)$$

en las que

- σ_{xb} = tensión máxima en Kg/cm² en la fibra extrema del borde de la losa, en dirección longitudinal.
- σ_x = tensión máxima en Kg/cm² en la fibra extrema en el interior de la losa, en dirección longitudinal.
- σ_y = tensión máxima en Kg/cm² en la fibra extrema en el interior de la losa, en dirección transversal.
- E = módulo de elasticidad del hormigón en Kg/cm².

Así resulta

$$\log \frac{\sigma^1}{P} = \log \frac{1,265}{h^2} + \log \left[\log 1,85 + \log \sqrt[4]{\frac{E}{E_1}} + \log l_1 - \log b \right]$$

Como

$$l_1 = \varphi_1(h; K) \quad y \quad b = \varphi_2(h; a)$$

hemos trazado las curvas que en función de h y para valores de $K = 1,4; 2,8; 5,5; y 11$, dan los valores de $\log l_1$.

Análogamente, se trazaron las curvas que en función de h y para valores de a comprendidos entre 11 y 28, dan los valores de $\log b$. Para valores de $h; k$ y a determinados podemos obtener gráficamente el valor de $(\log l_1 - \log b)$ que por medio de rectas a 45° transportamos sobre un eje perpendicular al anterior (eje 3).

Para sumar a esto el valor de $\log \sqrt[4]{\frac{E}{E_1}}$ unimos el

extremo superior del segmento representativo de $(\log l_1 - \log b)$ con el punto correspondiente al módulo de elasticidad adoptado (sobre el eje 4); por el extremo inferior trazamos una paralela hasta encontrar también al eje 4 en un cierto punto. Obtenemos así un segmento que nos

representa $(\log \sqrt[4]{\frac{E}{E_1}} + \log l_1 - \log b)$ Debemos ahora

sumarle el $\log 1,85 = \frac{1,0693}{4} = 0,267325$ y hallar el logaritmo del segmento resultante. Para esto trazamos la logarítmica de las ordenadas medidas sobre el eje 4 con origen en un punto tal que la ordenada del eje 2 sea 0,267325 y podemos entonces determinar gráficamente el valor de

$$\log \left[\log 1,85 + \log \sqrt[4]{\frac{E}{E_1}} + \log l_1 - \log b \right] \quad (1)$$

A este segmento debemos sumarle el valor correspondiente a $\log \frac{1,265}{h^2} = \varphi_3(h)$. Para ello hemos trazado una curva que en función de h (eje 5) da en abscisas el valor de $\log \frac{1,265}{h^2}$ (2).

La disposición de las curvas permite obtener directamente el valor de $(1) + (2) = \log \frac{\sigma_1}{P}$. Este segmento

leído en una escala logarítmica conveniente da el valor de la tensión para carga unitaria. Las disposiciones de la escala resulta del origen que se ha tomado para representar $\varphi_3(h)$ y da directamente los valores de la tensión cuando la carga es de 1 Tonelada. El valor así determinado multiplicado por P (τ) da el valor de la tensión.

GRAFICO DE LAS TENSIONES EN EL BORDE DE LAS LOSAS

La fórmula de Westergaard en la forma propuesta por Bradbury es

$$\sigma_b = 0,57185 \frac{P}{h^2} \left[4 \log \frac{1}{b} + 0,3593 \right]$$

Dado que es de la misma forma que la del caso anterior, se puede hacer un desarrollo análogo y se llega a

$$\log \frac{\sigma_b}{P} = \log \frac{2,2874}{h^2} + \log \left[\frac{0,3593}{4} + \log \sqrt[4]{\frac{E}{E_1}} + \log l_1 - \log b \right]$$

que difiere de la correspondiente al caso de tensiones en el interior de la losa, solamente en las constantes.

Por consiguiente la interpretación del gráfico es la misma que la explicada anteriormente.

GRAFICO DE LAS TENSIONES EN LAS ESQUINAS DE LAS LOSAS (ver esquema en fig. VII)

La fórmula de Westergaard en la forma propuesta por Bradbury es

$$\sigma_e = 3 \frac{P}{h^2} \left[1 - \left(\frac{a}{l} \right)^{0,6} \right]$$

pero según las experiencias de Arlington conviene adoptar

$$\sigma_e = 3 \frac{P}{h^2} \left[1 - \left(\frac{a\sqrt{2}}{l} \right)^{1,2} \right]$$

El logaritmo de una diferencia puede calcularse según los logaritmos de Gauss. En efecto, si $r > s$ resulta:

$$\log(r-s) = \log r - \log \left[\log \frac{r}{s} \right] \text{ sustractivo de Gauss}$$

$$\text{En nuestro caso es } r = 1 \text{ y } s = \left[\frac{a\sqrt{2}}{l} \right]^{1,2}$$

por consiguiente

$$\log r = \log 1 = 0$$

$$\log \frac{r}{s} = \log \frac{1}{\left(\frac{a\sqrt{2}}{l} \right)^{1,2}} = \log \left(\frac{l}{a\sqrt{2}} \right)^{1,2}$$

$$\log \frac{r}{s} = 1,2 [\log l - \log a - \log \sqrt{2}]$$

y como en los casos anteriores

$$\log \frac{r}{s} = 1,2 \left[\log \sqrt[4]{\frac{E}{E_1}} + \log l_1 - \log a - \log \sqrt{2} \right]$$

Trazamos la curva de $\log l_1 = \varphi_1(h; k)$ que es igual a la mencionada anteriormente, la curva de $\log a = \varphi_4(a)$ es inmediata. Según se indica en el esquema obtenemos gráficamente el valor de $(\log l_1 - \log a)$ en función de $h; k; a$ sobre el eje 2 y que transportamos al eje 3. En igual forma que en el caso anterior procedemos a sumar

el valor de $\log \sqrt[4]{\frac{E}{E_1}}$ y restar la constante $\log \sqrt{2}$.

Para hallar el valor del logaritmo sustractivo de Gauss del segmento resultante, trazamos la curva de los logaritmos de Gauss con un origen adecuado teniendo en cuenta para las escalas el factor 1,2. Así para la ordenada

$$1,2 \left[\log \sqrt[4]{\frac{E}{E_1}} + \log l_1 - \log a - \log \sqrt{2} \right]$$

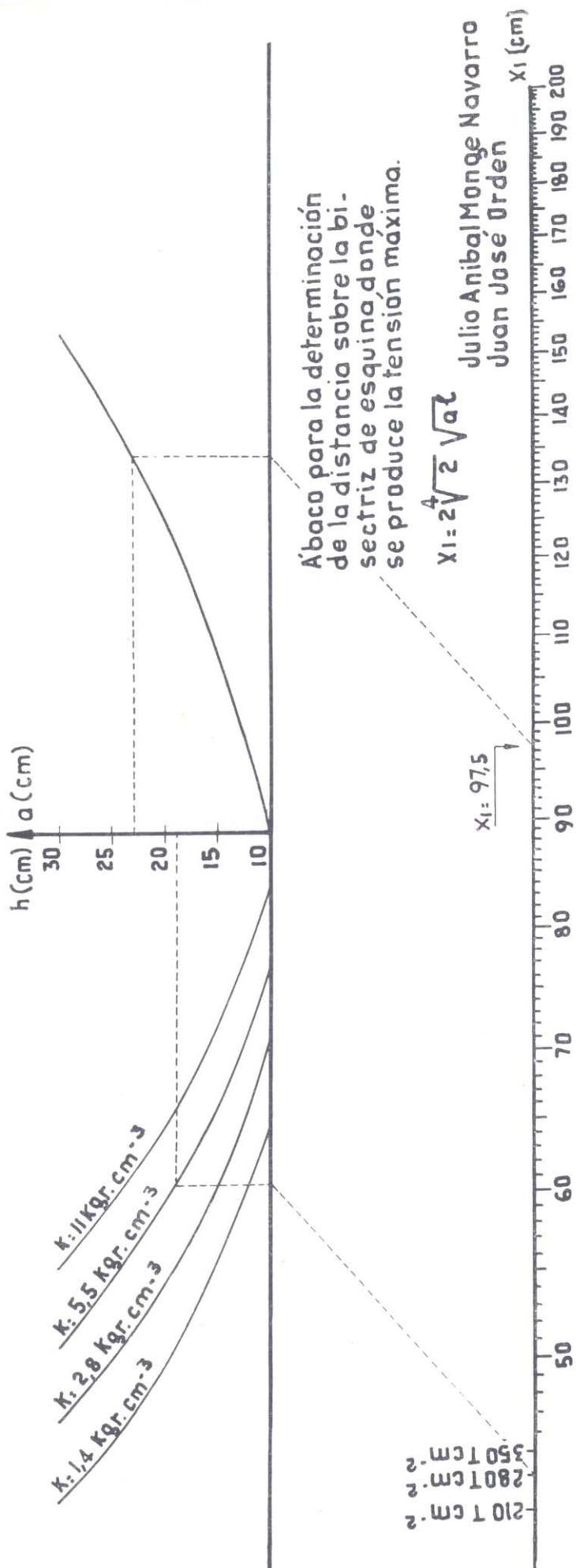


Fig. XIV

Valores de log l₁ en función de h y k

k (kg cm ⁻³)	h (cm)								
	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30
1.4	1.7767	1.8494	1.9088	1.9590	2.0025	2.0408	2.0752	2.1062	2.1345
2.8	1.7014	1.7741	1.8335	1.8837	1.9272	1.9656	1.9999	2.0309	2.0593
5.5	1.6281	1.7008	1.7602	1.8104	1.8539	1.8923	1.9266	1.9576	1.9860
11	1.5529	1.6256	1.6850	1.7352	1.7787	1.8170	1.8513	1.8824	1.9107

Valores de log b en función de h y a

a (cm)	h (cm)								
	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30
11	1.0162	1.0112	1.0141	1.0233	1.0358	1.0515	1.0693	1.0885	1.1073
12	1.0581	1.0500	1.0496	1.0550	1.0648	1.0774	1.0924	1.1089	1.1232
13	1.0969	1.0871	1.0839	1.0867	1.0931	1.1031	1.1153	1.1297	1.1449
14	1.1332	1.1216	1.1166	1.1166	1.1209	1.1284	1.1383	1.1505	1.1670
15	1.1673	1.1547	1.1480	1.1461	1.1483	1.1535	1.1614	1.1717	1.1833
16	1.1992	1.1861	1.1778	1.1744	1.1746	1.1781	1.1844	1.1926	1.2025
17	1.2298	1.2156	1.2066	1.2017	1.2003	1.2022	1.2066	1.2135	1.2217
18	1.2553	1.2438	1.2340	1.2281	1.2256	1.2258	1.2287	1.2340	1.2408
19	1.2788	1.2707	1.2601	1.2533	1.2497	1.2487	1.2504	1.2546	1.2598
20	1.3010	1.2962	1.2840	1.2776	1.2730	1.2711	1.2716	1.2744	1.2785
21	1.3222	1.3206	1.3092	1.3010	1.2958	1.2927	1.2923	1.2940	1.2971
22	1.3424	1.3424	1.3320	1.3235	1.3174	1.3139	1.3124	1.3130	1.3153
23	1.3617	1.3617	1.3541	1.3452	1.3385	1.3343	1.3320	1.3318	1.3333
24	1.3802	1.3802	1.3753	1.3661	1.3589	1.3541	1.3512	1.3503	1.3508
25	1.3987	1.3987	1.3957	1.3861	1.3788	1.3733	1.3698	1.3683	1.3681
26	1.4150	1.4150	1.4150	1.4057	1.3978	1.3920	1.3879	1.3859	1.3851
27	1.4314	1.4314	1.4314	1.4244	1.4163	1.4101	1.4055	1.4030	1.4014
28	1.4470	1.4470	1.4470	1.4423	1.4341	1.4277	1.4228	1.4196	1.4178

Valores de log $\frac{cte}{h^2}$ en función de h

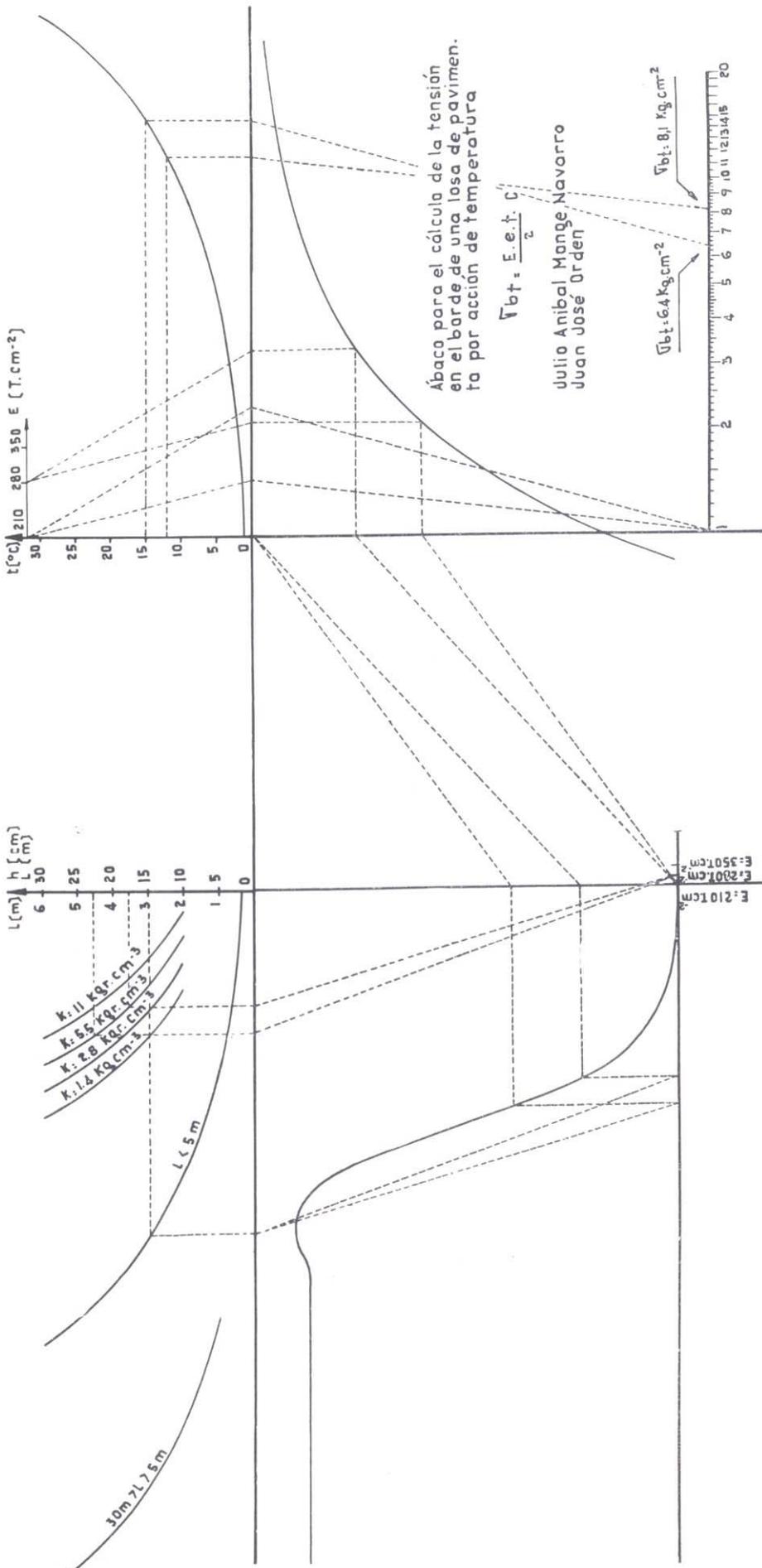
	h (cm)								
	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30
1.265/h ²	-1.8979	-2.0917	-2.2501	-2.3840	-2.5000	-2.6023	-2.6938	-2.7766	-2.8522
2.2874/h ²	-1.6407	-1.8335	-1.9928	-2.1267	-2.2427	-2.3450	-2.4365	-2.5193	-2.5948
3/h ²	-1.5229	-1.7147	-1.8751	-2.0090	-2.1249	-2.2273	-2.3188	-2.4016	-2.4771

Valores de log a en función de a

a (cm)	11	12	13	14	15	16	17	18	19
log a	1.04139	1.07918	1.11394	1.14613	1.17609	1.20412	1.23045	1.25527	1.27875
a (cm)	20	21	22	23	24	25	26	27	28
log a	1.30103	1.32222	1.34242	1.36173	1.38021	1.39794	1.41497	1.43136	1.44716

Valores de log $\sqrt[4]{\frac{E}{E_1}}$ para E₁ = 210 T cm⁻²

E = 280 T cm ⁻²	0.0312
E = 350 T cm ⁻²	0.0555



Ábaco para el cálculo de la tensión
 en el borde de una losa de pavimen-
 to por acción de temperatura

Julio Anibal Mange Navarro
 Juan José Orden

Fig. XVII

Valores de los log l_1 en función de h y k

k (kg cm ⁻³)	h (cm)								
	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30
1.4	1.7767	1.8494	1.9088	1.9590	2.0025	2.0408	2.0752	2.1062	2.1345
2.8	1.7014	1.7741	1.8335	1.8837	1.9272	1.9656	1.9999	2.0309	2.0593
5.5	1.6281	1.7008	1.7602	1.8104	1.8539	1.8923	1.9266	1.9576	1.9860
11	1.5529	1.6256	1.6850	1.7352	1.7787	1.8170	1.8513	1.8824	1.9107

Valores de log L en función de L

L (m)	1	2	3	4	5	6	7.5	10	12.5	15
log L	2.00000	2.30103	2.47712	2.60206	2.69897	2.77815	2.87506	3.00000	3.09691	3.17609
L (m)	17.5	20	22.5	25	27.5	30				
log L	3.24304	3.30103	3.35218	3.39794	3.43933	3.47712				

Valores de log t en función de t

t (°C)	1	2.5	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20	22.5
log t	0	0.39794	0.69897	0.87506	1	1.09691	1.17609	1.24304	1.30103	1.35218
t (°C)	25	27.5	30							
log t	1.39794	1.43933	1.47712							

Valores de C y μC en función de $\log \frac{L}{l}$

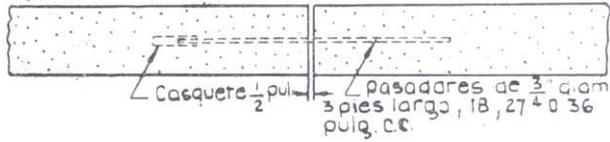
L/l	$\log \frac{L}{l}$	C	μC
1.41	0.14922	0.010	0.0015
2.12	0.32634	0.051	0.008
2.83	0.45179	0.148	0.022
3.54	0.54900	0.309	0.046
4.24	0.62737	0.508	0.076
4.95	0.69461	0.701	0.105
5.66	0.75282	0.856	0.128
6.37	0.80414	0.964	0.145
6.69	0.82020	1.000	0.150
7.07	0.84942	1.032	0.155
7.78	0.89098	1.069	0.160
8.49	0.92891	1.084	0.163
9.90	0.99564	1.078	0.162
11.31	1.05346	1.052	0.158
14.14	1.15045	1.009	0.151

Valores para corrección por módulo de elasticidad cuando $E_1 = 210 \text{ T. cm}^{-2}$

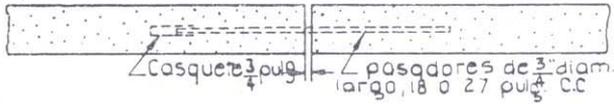
E (T. cm ⁻²)	$\log \frac{E}{E_1}$	$\log \frac{E E_1 e}{E_1 2 (1-\mu^2)}$	$\log \frac{E E_1 e}{E_1 2}$
280	0.12483	0.15590	0.14602
350	0.22167	0.25274	0.24286

JUNTAS TRANSVERSALES

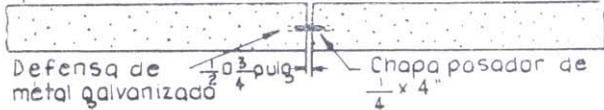
Tipo 1



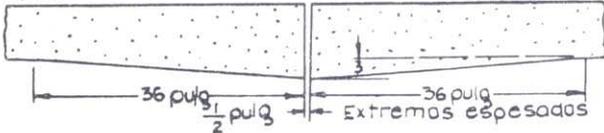
Tipo 2



Tipo 3



Tipo 4



Tipo 5



Tipo 6



EFICIENCIAS MINIMAS DE LOS DISTINTOS TIPOS DE JUNTAS

JUNTAS TRANSVERSALES

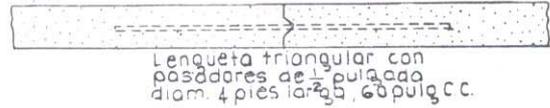
Tipo de junta	Distancia entre pasadores en pulg.	Eficiencia mínima en %
1	18	8
1	27	6
1	36	8
2	18	28
2	27	16
3	Abertura de junta 1/2"	59
3	Abertura de junta 3/4"	66
4	Sin pasadores	57
5	Sin pasadores	4
6	18	66

JUNTAS LONGITUDINALES

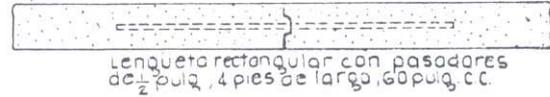
1	60	75
2	60	78
3	Sin pasadores	50
4	60	72
5	60	44
6	Sin pasadores	39
7	60	47
7	48	51
7	36	42
7	24	52

JUNTAS LONGITUDINALES

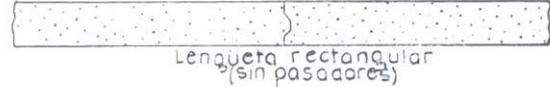
Tipo 1



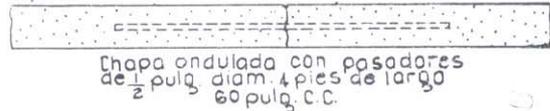
Tipo 2



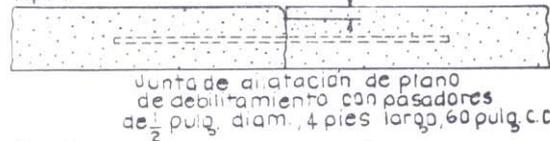
Tipo 3



Tipo 4



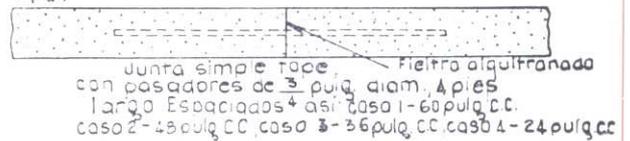
Tipo 5



Tipo 6



Tipo 7



REDUCCION DE TENSION EN LA ESQUINA DEBIDA A LA ACCION DE LAS JUNTAS TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES

JUNTAS TRANSVERSALES

Tipo de junta	Distancia entre pasadores en pulg.	Reducción de tens. en la esquina en %
1	18	43
1	27	38
1	36	—
2	18	35
2	27	42
3	Abertura de junta 1/2"	45
3	Abertura de junta 3/4"	33
4	Sin pasadores	—
5	Sin pasadores	34
6	18	39

JUNTAS LONGITUDINALES

4	60	50
5	60	46
6	Sin pasadores	39
7	24	55

Fig. XIX

GRAFICO PARA LAS TENSIONES EN LAS JUNTAS

(ver esquema en fig. XX)

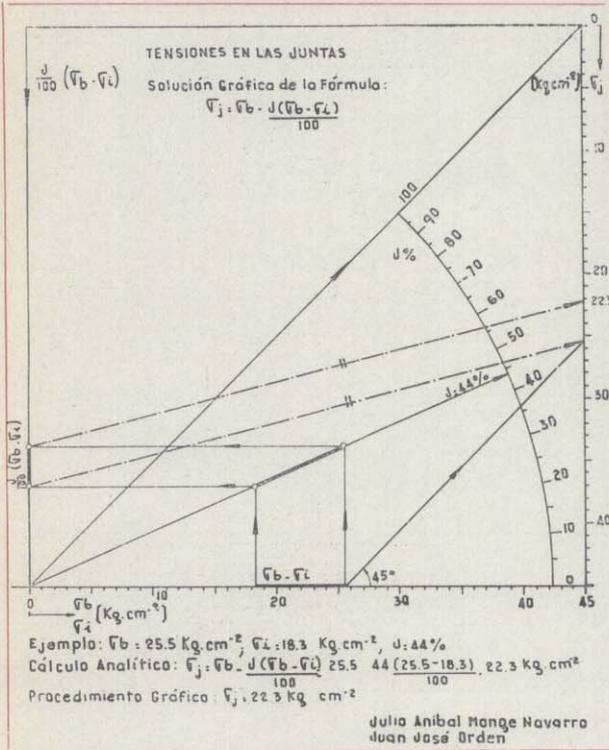


Fig. XX

Si sobre el eje horizontal llevamos en la misma escala los valores de σ_b y σ_i que pudieron haber sido determinados usando los gráficos anteriores, tendremos sobre el mismo eje un segmento que nos representa $(\sigma_b - \sigma_i)$.

Esta diferencia de tensiones debemos multiplicarla por $\frac{J}{100}$ o sea por la eficiencia de la junta que se trate expresada en %. Si el valor de $\frac{J}{100}$ lo asimilamos al de la pendiente de una recta podemos determinar en forma inmediata $\frac{J}{100} (\sigma_b - \sigma_i)$.

Preparamos una escala circular conveniente para ayudarnos a trazar rayos de inclinación J . Si el segmento representativo de $(\sigma_b - \sigma_i)$ lo desproyectamos sobre el rayo cuya pendiente corresponde a $\frac{J}{100}$, tendremos un segmento que vale $\frac{\sigma_b - \sigma_i}{\cos \alpha}$ y si éste a su vez lo proyectamos sobre un eje vertical tendremos otro segmento cuyo valor es $\frac{\sigma_b - \sigma_i}{\cos \alpha} \cdot \sin \alpha = (\sigma_b - \sigma_i) \operatorname{tg} \alpha$.

El gráfico está preparado en forma tal que $\operatorname{tg} \alpha = \frac{J}{100}$ entonces tendremos en aquel segmento el valor de $\frac{J}{100} (\sigma_b - \sigma_i)$. Este segmento debe ser restado del que representa σ_b ; mediante una recta a 45° llevamos el va-

lor de σ_b al eje vertical derecho y luego trasladamos sobre él el segmento correspondiente a $\frac{J}{100} (\sigma_b - \sigma_i)$.

El segmento diferencia que resulta nos da directamente sobre la escala el valor de la tensión en la junta, σ_j .

La fig. XXI corresponde al "Abaco para el cálculo de tensiones en las juntas".

PASADORES

Se ha dicho ya cual es la misión específica del pasador.

Si bien deben tener la resistencia suficiente para poder transmitir las cargas, no deben ser rígidos al extremo tal que impidan cumplir a la junta su función de reducir las tensiones por alabeo.

Los pasadores de las juntas transversales deben permitir el movimiento longitudinal relativo de las losas adyacentes; a tal efecto son anclados en una losa y se impide su adherencia con el hormigón de la otra. Los de las juntas longitudinales, en cambio, deben ser adherentes con el hormigón de ambas losas por no requerirse en el sentido transversal del camino movimientos relativos.

En la actualidad se tiende a aumentar su separación y disminuir su longitud con respecto a lo que era usual años atrás.

Para las juntas transversales resultan suficientes longitudes del orden de 25 y 40 cm para diámetros de 19 y 25 mm respectivamente. En las longitudinales, suele usarse diámetro de 19 mm y longitud del orden de 1 m; la separación depende del esfuerzo a transmitir.

Según trabajos de Friberg, en la fig XXII puede obtenerse en el cuadro el porcentaje de carga transmitido por un pasador cuando la carga incide sobre él y del gráfico la parte de ese esfuerzo que transmite cuando la carga actúa entre pasadores.

En cuanto al dimensionamiento de la longitud del pasador, se hace teniendo en cuenta la tensión admisible de adherencia en el hormigón.

PAVIMENTOS CON Y SIN ARMADURA DISTRIBUIDA

La función que cumple la armadura distribuida en los pavimentos, es procurar que no se produzcan grietas. Pero en realidad nunca va a impedir de una manera absoluta el fisuramiento, de ahí puede inferirse que específicamente, el refuerzo en los pavimentos se usa para "vincular los bordes de grietas y fisuras, de manera de mantenerlos lo más juntos posible".

Las pequeñas grietas que pueden producirse en los pavimentos no son un inconveniente muy serio pues "solo crean técnicamente un borde, donde previamente no existía tal situación". Pero si a esas grietas se logra orientarlas y vincularlas con la cantidad estrictamente necesaria de hierro para que al paso de las cargas sus caras descendían en forma simultánea, se habrá contribuido a eliminar el refuerzo que es un elemento caro y difícil de conseguir en muchos casos.

Si con el uso de armadura distribuida se persiguiera aumentar la resistencia de un pavimento, esta condición puede lograrse de una manera más sencilla y económica aumentando convenientemente el espesor de las losas de hormigón simple.

BIBLIOGRAFIA

- 1) "Apuntes de Construcción de Carreteras". Ing. Eduardo Arenas.
- 2) "Apuntes de Vías de Comunicación". Ing. Pascual Palazzo e Ing. José D. Luxardo.
- 3) "Highway Practice in the USA". PRA 1949.
- 4) "Pavimentos de Hormigón de Cemento Portland sin Armar". Ing. Juan Agustín Valle.
- 5) "Práctica Vial Americana". Laurence Hsley Hewes.
- 6) "Primera Conferencia del Hormigón". Comité Permanente de las Conferencias del Hormigón.
- 7) "Proceedings". American Society of Civil Engineers. Noviembre 1939.
- 8) "Public Roads". Journal of Highway Research. Diciembre 1935; septiembre y octubre 1936; julio 1939; abril, mayo y junio 1943; abril, mayo y junio 1945; enero, febrero, marzo, abril, mayo y junio 1946.
- 9) "Revista Caminos N° 171". Mayo 1957.
- 10) "Revista del Colegio de Ingenieros de Venezuela N° 223". octubre 1956.
- 11) "Traffic Engineering". Matson, Smith y Hurd.

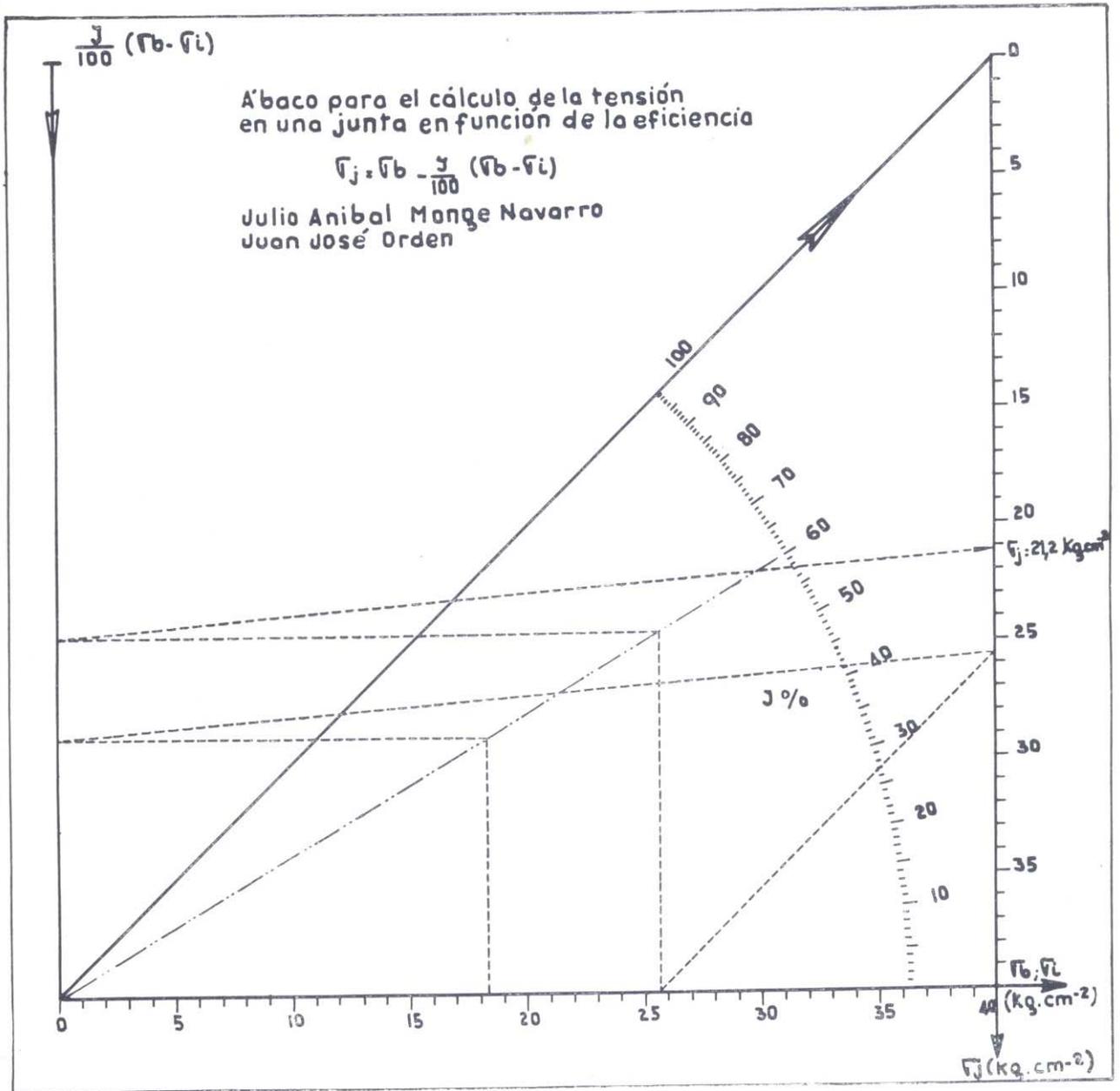


Fig. XXI

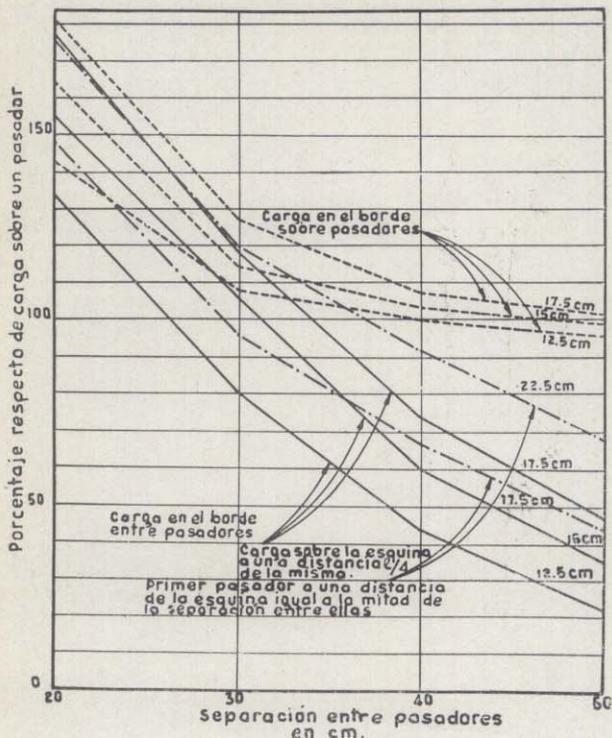
APLICACION

Se desea verificar el pavimento de hormigón sin armar según el plano de fig. XXIII para los siguientes datos:

En función del censo realizado en la zona y teniendo en cuenta el crecimiento probable durante la vida útil, se preve un tránsito de 4.000 vehículos por día en ambas direcciones así discriminados según la carga que transmite su rueda trasera al pavimento (cuenta tenida del impacto).

	%	Kg
Automóviles y vehíc. livianos ..	75	500 por rueda
Micros, ómnibus y colectivos	9	1.500 " "
Camiones livianos	8	3.000 " "
Camiones medianos	5	4.500 " "
Camiones pesados	3	6.000 " "

PORCENTAJE DE TENSION EN EL BORDE PARA CARGA ENTRE PASADORES RESPECTO DE CARGA SOBRE PASADOR.



PORCENTAJE DE CARGA TRANSFERIDA POR UN PASADOR CUANDO LA CARGA INCIDE DIRECTAMENTE SOBRE EL

Ancho de la junta en mm.	Porcentajes para distintos diámetros de pasadores en mm.								
	Espesor 15 cm.			Espesor 17,5 cm.			Espesor 22,5 cm. Junta de esquina		
	19,1	25,4	31,8	19,1	25,4	31,8	19,1	25,4	31,8
0	30,2	35,8	39,5	26,8	32,9	36,8	33,8	38,8	41,8
6,4	27,7	34,2	38,2	24,2	31,0	35,6	31,5	37,3	40,8
12,7	25,3	32,4	37,1	21,8	29,1	34,3	29,2	35,7	39,8
19,1	22,8	30,5	35,6	19,5	27,1	32,6	26,7	34,0	38,6
25,4	20,6	28,7	34,2	17,3	25,2	31,1	24,4	32,2	37,4
38,2	16,5	25,8	31,4	13,6	22,3	28,0	20,1	29,6	34,9

Fig. XXII

Neumáticos duales, baja presión.

Subrasante: se estima puede alcanzar un valor mínimo del CBR = 10 %.

Los ensayos realizados con hormigón similar al que se empleará arrojan los siguientes resultados:

Tensión de rotura por flexión a los 28 días = 50 Kg/cm².

Módulo de elasticidad = 280.000 Kg/cm².

Módulo de Poisson $\mu = 0,15$.

Coefficiente de dilatación del hormigón = $0,00001 \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$

Vida útil del pavimento = 30 años

Distribución del tránsito según carga:

	Kg	%	
Carga de	500 por rueda	75	3.000 vehic. por día
" "	1.500 " "	9	360 " " "
" "	3.000 " "	8	320 " " "
" "	4.500 " "	5	200 " " "
" "	6.000 " "	3	120 " " "

Con los valores de la carga entramos en la fig I y obtenemos las siguientes relaciones de factores

$$\alpha = \frac{0,095}{423,729} = 0,000225 \quad \beta = \frac{0,437}{423,729} = 0,00103$$

$$\gamma = \frac{4,320}{423,729} = 0,0102 \quad \delta = \frac{42,813}{423,729} = 0,101$$

Tránsito diario en una dirección equivalente a carga de 6.000 Kg

$$\begin{aligned} 1.500 \text{ v/d} \times 0,000225 &= 0,337 \text{ v/d} \\ 180 \text{ v/d} \times 0,00103 &= 0,186 \text{ v/d} \\ 160 \text{ v/d} \times 0,0102 &= 1,64 \text{ v/d} \\ 100 \text{ v/d} \times 0,101 &= 10,1 \text{ v/d} \\ 60 \text{ v/d} \times 1 &= 60, - \text{ v/d} \end{aligned}$$

$$\text{Total } \approx 72 \text{ v/d}$$

$$R = 72 \frac{\text{v}}{\text{d}} \times \frac{\text{días}}{365} \times 30 \text{ años} = 790.000 \text{ año}$$

$$R \approx 800.000$$

Con este dato de frecuencia reducido a carga máxima se entra en la curva de fatiga del hormigón (fig. II).

Se observa que el coeficiente de fatiga a tener en cuenta es dos.

Por lo tanto

$$\sigma_{ad} = \frac{\sigma_r}{2} \times 1,20 = \frac{50}{2} \text{ Kg/cm}^2 \times 1,2 = 30 \text{ Kg/cm}^2$$

Con el valor CBR = 10 % la fig. III da $K \approx 5,5 \text{ Kg/cm}^3$ (se aproxima a ese valor ya que la pequeña diferencia prácticamente no influirá en el resultado final).

Con el valor de P, la fig. V da para el radio del área de contacto $a = 22,7 \text{ cm}$.

Con estos datos procederemos a calcular las tensiones en los puntos críticos de la losa dada. Para los cálculos analíticos se han empleado las fórmulas correspondientes a los gráficos con los que se comparan.

PUNTO INTERIOR DE LA LOSA

Del plano se obtiene $h = 18 \text{ cm}$.

a) Cargas:

Del cálculo analítico resulta $\sigma_1 = 18,3 \text{ Kg/cm}^2$.

Del cálculo según ábaco fig. XI resulta

$$\frac{\sigma_1}{P_{(1)}} = 3,05 \frac{\text{Kg/cm}^2}{T}$$

$$\sigma_1 = 3,05 \frac{\text{Kg/cm}^2}{T} \times 6 T = 18,3 \text{ Kg/cm}^2$$

b) Temperatura:

Del plano obtenemos $L_x = 3,00$; $L_y = 3,00 \text{ m}$.

$$t = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 18 = 12 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Del cálculo analítico resulta $\sigma_{it} = 9,9 \text{ Kg/cm}^2$.

Del cálculo según ábaco fig. XVI resulta $\sigma_{it} = 9,9 \text{ Kg/cm}^2$.

BORDE EXTERIOR DE LA LOSA

Del plano obtenemos $h = 23 \text{ cm}$.

a) Cargas:

Del cálculo analítico resulta $\sigma_b = 17,9 \text{ Kg/cm}^2$.

Del cálculo según ábaco fig. XII resulta

$$\frac{\sigma_b}{P} = 2,98 \frac{\text{Kg/cm}^2}{T} \quad (\text{T})$$

$$\sigma_b = 2,98 \frac{\text{Kg/cm}^2}{T} \times 6T = 17,9 \text{ Kg/cm}^2.$$

b) Temperatura:

Del plano obtenemos $L_x = 3,00 \text{ m}$

$$t = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 23 \approx 15^\circ\text{C}$$

Del cálculo analítico resulta $\sigma_{bt} = 6,3 \text{ Kg/cm}^2$

Del cálculo según ábaco fig. XVII resulta

$$\sigma_{bt} = 6,4 \text{ Kg/cm}^2$$

BORDE INTERIOR DE LA LOSA — JUNTA LONGITUDINAL

Del plano obtenemos $h = 18 \text{ cm}$

a) Cargas:

Del cálculo analítico resulta $\sigma_b = 25,6 \text{ Kg/cm}^2$

Del cálculo según ábaco fig. XII resulta

$$\frac{\sigma_b}{P} = 4,27 \frac{\text{Kg/cm}^2}{T} \quad (\text{T})$$

$$\sigma_b = 4,27 \frac{\text{Kg/cm}^2}{T} \times 6T = 25,6 \text{ Kg/cm}^2$$

Según cuadro de fig. XIX estimamos la eficiencia de la junta longitudinal dada en $J = 44\%$ (Tipo 5)

Habíamos obtenido $\sigma_i = 18,3 \text{ Kg/cm}^2$

Del cálculo analítico resulta $\sigma_{jt} = 22,3 \text{ Kg/cm}^2$

Del cálculo según gráfico fig. XX resulta

$$\sigma_{jt} = 22,3 \text{ Kg/cm}^2$$

b) Temperatura:

Del plano obtenemos $L_x = 3,00 \text{ m}$

$$t = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 18 = 12^\circ\text{C}$$

Del cálculo analítico resulta $\sigma_{jlt} = 8,0 \text{ Kg/cm}^2$

Del cálculo según ábaco fig. XVII resulta

$$\sigma_{jlt} = 8,1 \text{ Kg/cm}^2$$

BORDE INTERIOR DE LA LOSA — JUNTA DE CONTRACCION

a) Cargas:

σ_b y σ_i igual al caso anterior; varía la eficiencia de la junta que según cuadro de fig. XIX se estima en

$$J \approx 60\% \text{ (Tipo 3; } \frac{1}{2}''\text{)}$$

Del cálculo analítico resulta $\sigma_{jc} = 21,2 \text{ Kg/cm}^2$

Del cálculo según ábaco fig. XXI resulta

$$\sigma_{jc} = 21,2 \text{ Kg/cm}^2$$

b) Temperatura:

Del plano obtenemos $L_y = 3,00 \text{ m}$

Del cálculo analítico resulta $\sigma_{jct} = 8,0 \text{ Kg/cm}^2$

Del cálculo según ábaco fig. XVII resulta

$$\sigma_{jct} = 8,1 \text{ Kg/cm}^2$$

BORDE EXTERIOR DE LA LOSA — JUNTA DE DILATACION

a) Cargas:

Del plano obtenemos

diámetro de pasadores $\phi = 19,1 \text{ mm}$

distancia entre pasadores = $0,50 \text{ m}$

ancho de la junta = $0,02 \text{ m}$

espesor de la losa $h = 18 \text{ cm}$

Hemos obtenido para borde libre $\sigma_b = 25,5 \text{ Kg/cm}^2$

Según cuadro fig. XXII obtenemos (valores subrayados) que el pasador transmite $19,5\%$ de la carga.

Según gráfico fig. XXII obtenemos para la separación de 50 cm entre pasadores, que la carga transmitida por un pasador para carga entre pasadores es el 47% de la que transmite un pasador cuando la carga actúa directamente sobre él. Por consiguiente la carga total transmitida será

$$19,5\% \times 47\% = 9\%$$

y la soportada por el borde

$$100\% - 9\% = 91\%$$

como cargas y tensiones son proporcionales, resulta

$$\sigma_{bjd} = 0,91 \sigma_b = 0,91 \times 25,5 \text{ Kg/cm}^2 = 23,2 \text{ Kg/cm}^2$$

b) Temperatura:

Igual al caso anterior

Según cálculo analítico resulta $\sigma_{jdt} = 8,0 \text{ Kg/cm}^2$

Según cálculo gráfico resulta $\sigma_{jdt} = 8,1 \text{ Kg/cm}^2$

ESQUINA EXTERIOR — JUNTA DE CONTRACCION

a) Cargas:

Aplicaremos la fórmula de Arlington (PRA).

Por cuanto se refiere a una losa de espesor uniforme, hallaremos primero el espesor promedio:

Según lo aconsejado por Bradbury adoptaremos en primera aproximación

$$\frac{18 + 23}{2} > h > 18$$

$$20,5 > h > 18 \quad \text{sea } h = 19 \text{ cm}$$

Con este valor de h el cálculo analítico da $X_1 = 97,5 \text{ cm}$

El cálculo según ábaco fig. XIV da $X_1 = 97,5 \text{ cm}$

Verificaremos este valor (ver esquema en fig. XXIII)

$$h = \frac{23 + 18}{2} \times 85 + 109 \times 18 = 19,1 \text{ cm} \approx 19 \text{ cm}$$

Es decir, no hace falta rehacer el cálculo.
 Del cálculo analítico resulta $\sigma_e = 31,6 \text{ Kg/cm}^2$
 Del cálculo según ábaco fig XIII resulta

$$\frac{\sigma_e}{P(\tau)} = 5,27 \frac{\text{Kg/cm}^2}{\tau}$$

$$\sigma_e = 5,27 \frac{\text{Kg/cm}^2}{\tau} \times 6\tau = 31,6 \text{ Kg/cm}^2$$

De las experiencias de Arlington, según cuadro figura XIX una junta de contracción como la del plano dado reduce las tensiones de esquina en un 40 %.

Por consiguiente

$$\sigma_{ec} = (1 - 0,40) \sigma_e = 0,6 \times 31,6 \text{ Kg/cm}^2 = 19,0 \text{ Kg/cm}^2$$

b) Temperatura

$$t = \frac{2}{9} h = \frac{2}{9} \times 19 = 4,2^\circ\text{C}$$

Aplicando la fórmula de Bradbury el cálculo analítico da
 $\sigma_{ect} = 2,3 \text{ Kg/cm}^2$
 Siguiendo a Kelley hemos estimado este valor en
 3 Kg/cm^2 .

ESQUINA EXTERIOR — JUNTA DE DILATACION

a) Cargas:

Hemos calculado para esquina libre $\sigma_e = 31,6 \text{ Kg/cm}^2$
 Del cuadro y gráfico fig. XXII sacamos los valores
 Carga transmitida por los pasadores:

$$26,7\% \times 68\% = 18,2\%$$

$$100\% - 18,2\% = 81,8\%$$

$$\sigma_{e_a} = 81,8\% \times 31,6 \text{ Kg/cm}^2 = 25,8 \text{ Kg/cm}^2$$

b) Temperatura:

Igual que el caso anterior.

TENSIONES COMBINADAS

Se procederá a sumar los valores de las tensiones calculadas en cada uno de los puntos.

SITIO	Tensiones máximas en Kg cm-2					
	Debidas a				Combinadas	
	Carga		Temperatura			
	Analíticas	Gráficas	Analíticas	Gráficas	Analíticas	Gráficas
Interior de la losa	18,3	18,3	9,9	9,9	28,2	28,2
Borde exterior	17,9	17,9	6,3	6,4	24,2	24,3
Borde interior longitudinal	22,3	22,3	8,0	8,1	30,3	30,4
Borde interior transversal - Junta de contracción ..	21,2	21,2	8,0	8,1	29,2	29,3
Borde transversal - Junta de dilatación	23,2	23,2	8,0	8,1	31,2	31,3
Esquina exterior - Junta de contracción	19,0	19,0	2,3	3,0 *	21,3	22,0
Esquina exterior - Junta de dilatación	25,8	25,8	2,3	3,0 *	28,1	28,8

* Según criterio de Kelley.

De la confrontación de los valores del cálculo, resulta que la máxima tensión en la losa pasa en menos del 5 % a la admisible por lo cual se considera aceptable el pavimento propuesto.

Por otro lado se hace resaltar la coincidencia entre los valores obtenidos por el cálculo analítico y por el método gráfico que proponemos.



RESULTADO DEL CONCURSO

25º Aniversario de la Ley Nacional de Vialidad

Dictámen del Jurado

En Buenos Aires a dos días del mes de Octubre de mil novecientos cincuenta y ocho reunido el Jurado designado por el Consejo Directivo de la Asociación Argentina de Carreteras para determinar los premios de su concurso de trabajos, resuelve por unanimidad aconsejar:

PRIMERA CATEGORIA: No se adjudique el primer premio y se acuerde el segundo premio al Ingeniero LAURO O. LAURA por su trabajo "Solución Integral del Problema del Tránsito en el Puente Pueyrredón. Tránsito, Vivienda y Espacios Verdes".

SEGUNDA CATEGORIA: No se adjudique el primer premio y se acuerde el segundo premio al Señor JOSE LIEBERMANN por su trabajo "Caminos, Fuerzas del Porvenir".

JUAN A. VALLE

LUIS DE CARLI

EDGARDO RAMBELLI

MARCOS SASTRE

EDUARDO ARENAS

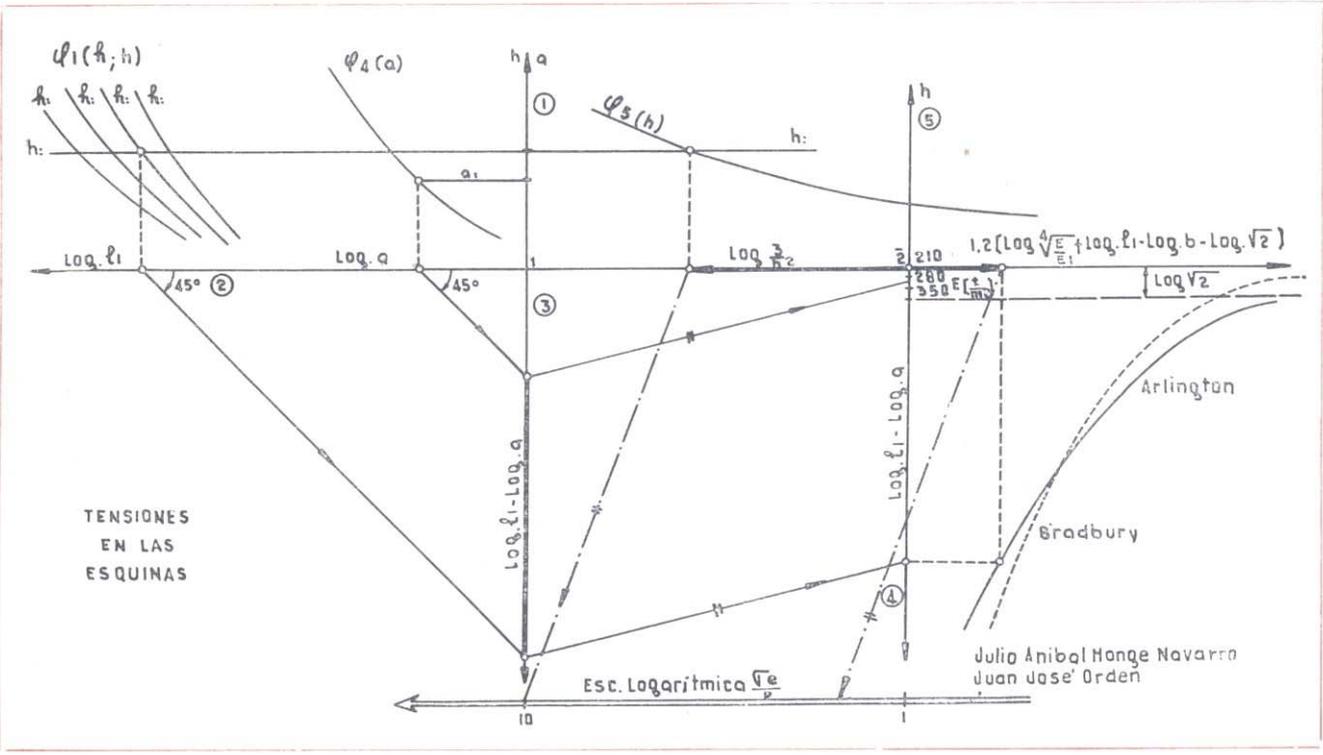


Fig. VII

sobre el eje 4 obtenemos el valor del logaritmo sustractivo de Gauss sobre el eje 2. Debemos restar este valor del $\log 1 = 0$ es decir, cambiarle de signo; el gráfico ya está dispuesto para ello.

Al segmento así determinado debemos adicionarle el $\log \frac{3}{h^2} = \varphi_5(h)$ indicado por una curva que en función de h da el valor buscado sobre el eje 2.

Por la disposición de las curvas obtenemos directamente $\log \frac{\sigma_n}{P}$ que medido en una escala conveniente nos da el valor de la tensión en la esquina de la losa para cargas unitarias.

Se han dispuesto las curvas de forma de obtener directamente la tensión cuando la carga es de 1 Tonelada.

Si se emplea la fórmula propuesta por Bradbury se expresará por:

$$\log \frac{\sigma_n}{P} = \log \frac{3}{h^2} + \log \text{ sust. Gauss } [0,6 (\log 1 - \log a)]$$

Usaremos entonces las mismas $\varphi_1(h; k)$; $\varphi_4(a)$ y $\varphi_5(h)$.

El factor 0,6 lo tendremos en cuenta en las escalas y el eje de abscisas será el mismo eje 2; esta curva se ha indicado por línea de guiones.

En todos los casos para leer el valor de la tensión resultante se une la abscisa determinada con la curva $\varphi_3(h)$ o $\varphi_5(h)$ con el punto 10 de la escala. Por el otro extremo del segmento representativo de la tensión se traza la paralela a la dirección anteriormente determinada hasta cortar a la escala de tensiones en un punto que es indicativo del valor de la tensión.

Para calcular el valor de X_1 , distancia sobre la bise-

triz desde la esquina al punto de tensión máxima, también se ha preparado un gráfico que da solución a la ecuación $X_1 = 2 \sqrt[4]{2} \sqrt{a \cdot l}$ (ver esquema en fig. VIII)

Tomando logaritmos tendremos

$$\log X_1 = \log 2 \sqrt[4]{2} + 0,5 \left[\log a + \log l_1 + \log \sqrt[4]{\frac{E}{E_1}} \right]$$

Las curvas que dan $\log a$ y $\log l_1$ son semejantes a las de los casos anteriores; el $\log \sqrt[4]{\frac{E}{E_1}}$ se tiene en cuenta

en la forma que claramente indica el esquema; hemos considerado en el proceso $E_1 = 210 \text{ T/cm}^2$. El factor 0,5, que multiplica a la suma de esos logaritmos lo tenemos en cuenta en la escala. Al segmento re-

presentativo del corchete debemos sumarle $\log 2 \sqrt[4]{2}$ y el segmento así resultante leído en una escala logarítmica conveniente nos dará directamente el valor de X_1 buscado.

GRAFICO DE LAS TENSIONES POR DIFERENCIAL DE TEMPERATURA, EN UN PUNTO INTERIOR DE LA LOSA

(ver esquema en fig. IX)

Las fórmulas propuestas eran

$$\sigma_x = \frac{E \cdot e \cdot t}{2} \left(\frac{C_x + \mu C_y}{1 - \mu^2} \right);$$

$$\sigma_y = \frac{E \cdot e \cdot t}{2} \left(\frac{C_y + \mu C_x}{1 - \mu^2} \right)$$

La determinación gráfica de cada uno de los sumandos es análoga a la del caso anterior y la marcha del proceso también se halla indicada en el esquema explicativo.

Hemos agrupado los gráficos hasta aquí explicados y ya dispuestos para su aplicación, según la siguiente pauta:

"Abaco para el cálculo de la tensión en una losa de pavimento cuando la carga incide en un punto interior" fig. XI.

"Abaco para el cálculo de la tensión en una losa de pavimento cuando la carga incide en un borde libre" fig. XII.

"Abaco para el cálculo de la tensión en una losa de pavimento cuando la carga incide en una esquina" fig. XIII.

"Abaco para la determinación de la distancia sobre la bisectriz de esquina donde se produce la tensión máxima" fig. XIV.

"Abaco para el cálculo de la tensión en una losa de pavimento por acción diferencial de temperatura en un punto interior" fig. XVI.

"Abaco para el cálculo de la tensión en una losa de pavimento por acción diferencial de temperatura en un borde" fig. XVII.

Para la construcción de estos gráficos hemos procedido a calcular puntos de las curvas que se indican en las tablas de valores de fig. XV y XVIII.

SECCION TRANSVERSAL DE LAS LOSAS

Dos son las secciones más comúnmente empleadas: uniforme y de bordes espesados.

Desde el solo punto vista de la acción de las cargas aparece como más conveniente la sección de bordes espesados, ya que a igualdad de otros factores las tensiones son mayores en un borde libre que en un punto interior; aumentando el espesor h en la zona del borde, se corrige esta situación.

Cuando se consideran acciones de carga y temperatura simultáneamente, las máximas tensiones desarrolladas son semejantes para ambos tipos de losas.

La sección uniforme tiene la ventaja de una mayor sencillez constructiva. Además la estadística muestra que tan solo un 5 % de los vehículos circula con una rueda a menos de 60 cm del borde, y como ésta es precisamente la distancia aproximada hasta la cual se hace sentir el efecto de borde, es éste un argumento más en favor del perfil uniforme, ya que la menor frecuencia de cargas da un menor coeficiente de fatiga, es decir, una mayor tensión admisible.

Otra ventaja de la losa de espesor uniforme es que en el caso de producirse una rotura, no se creará más debilidad que la correspondiente a un borde libre, aunque con mayor frecuencia de carga.

Por consiguiente será ventajoso emplear la losa de bordes espesados sólo en el caso en que las cargas sean de tal magnitud que tengan una acción preponderante en la tensión total y el tránsito sea muy intenso.

En los ensayos de Arlington se ha determinado que la mayor tensión en un borde libre por la sola acción de las

cargas es absorbida por un espesamiento de $\frac{2}{3} h$. Por consiguiente éste es un límite que resultará antieconómico sobrepasar, ya que siempre habrá de tenerse en cuenta la acción de temperatura. La profundidad del espesamiento abarca la zona donde se haría sentir el efecto de borde, en general del orden de 0,60 m.

JUNTAS

En los pavimentos de hormigón las juntas surgen como necesarias para atenuar el efecto de las tensiones que originan causas extrañas a las cargas del tránsito a fin de que la resistencia natural del pavimento pueda hacer frente a las sollicitaciones que aquél crea.

La transferencia de cargas se presenta como un factor a ser tenido en cuenta en el diseño de juntas. Para lograr este fin es que se colocan los pasadores de acero a través

de todas las juntas; la transmisión de la carga se hace por corte. Resulta entonces el borde aliviado de una parte del esfuerzo correspondiente al borde libre y medido por el porcentaje de la carga transmitido por el pasador a la siguiente losa. La situación más desfavorable se presenta cuando la carga incide entre dos pasadores, que es también el caso más probable.

A pesar de que los ensayos efectuados arrojaron algunos valores con cierta dispersión, surge que existe una relación estrecha entre la separación entre pasadores y la eficiencia de la junta.

Se entiende por eficiencia relativa de la junta la relación

$$J = \frac{\sigma_b - \sigma_j}{\sigma_b - \sigma_i}$$

donde es

σ_b = tensión crítica para carga aplicada en el borde libre.

σ_j = tensión crítica para carga aplicada en el borde de la junta

σ_i = tensión crítica para carga aplicada en un punto interior.

Lógicamente resulta $J < 1$. Si la eficiencia fuera nula se estaría en el caso que $\sigma_j = \sigma_b$ o sea en la situación de mayo compromiso; y si fuese igual a la unidad se tendría $\sigma = \sigma_i$ es decir, el caso más favorable.

Este concepto se emplea para comparar las bondades de los distintos tipos de juntas.

La función de las juntas de reducir tensiones se extiende al caso que se produzcan tensiones críticas en las losas por acción de cargas aplicadas en una esquina sin apoyo. Los diversos tipos de juntas cumplen esta condición en una forma más o menos satisfactoria. Ensayos de Arlington arrojaron valores que pueden verse en el cuadro de fig. XIX. Las cifras expresan el porcentaje de la reducción de la tensión de la esquina libre y no la eficacia.

De acuerdo a la función que las juntas cumplen, pueden agruparse así:

- 1) Las que brindan un espacio donde pueda desarrollarse una "expansión ilimitada".
- 2) Las que su diseño permite reducir las tensiones originadas por alguna "restricción en la contracción".
- 3) Las que permiten el alabeo de las losas aminorando de esta manera las tensiones que se desarrollarían si aquél fuese limitado.

Para que las juntas de dilatación no deban abrirse excesivamente se disponen a intervalos del orden de 30 m. Las de contracción, en cambio, se espacian de intervalos menores y la longitud de éstos está limitada por la tensión de trabajo del hormigón; esa longitud se acerca a los 9 m. Si las juntas destinadas a evitar el alabeo se distancian de aproximadamente 3m, las tensiones que se produzcan no llegarán a provocarlo.

Distintos tipos de juntas con sus características, dimensiones y eficiencias según ensayos realizados por PRA en Arlington, pueden verse en fig. XIX.

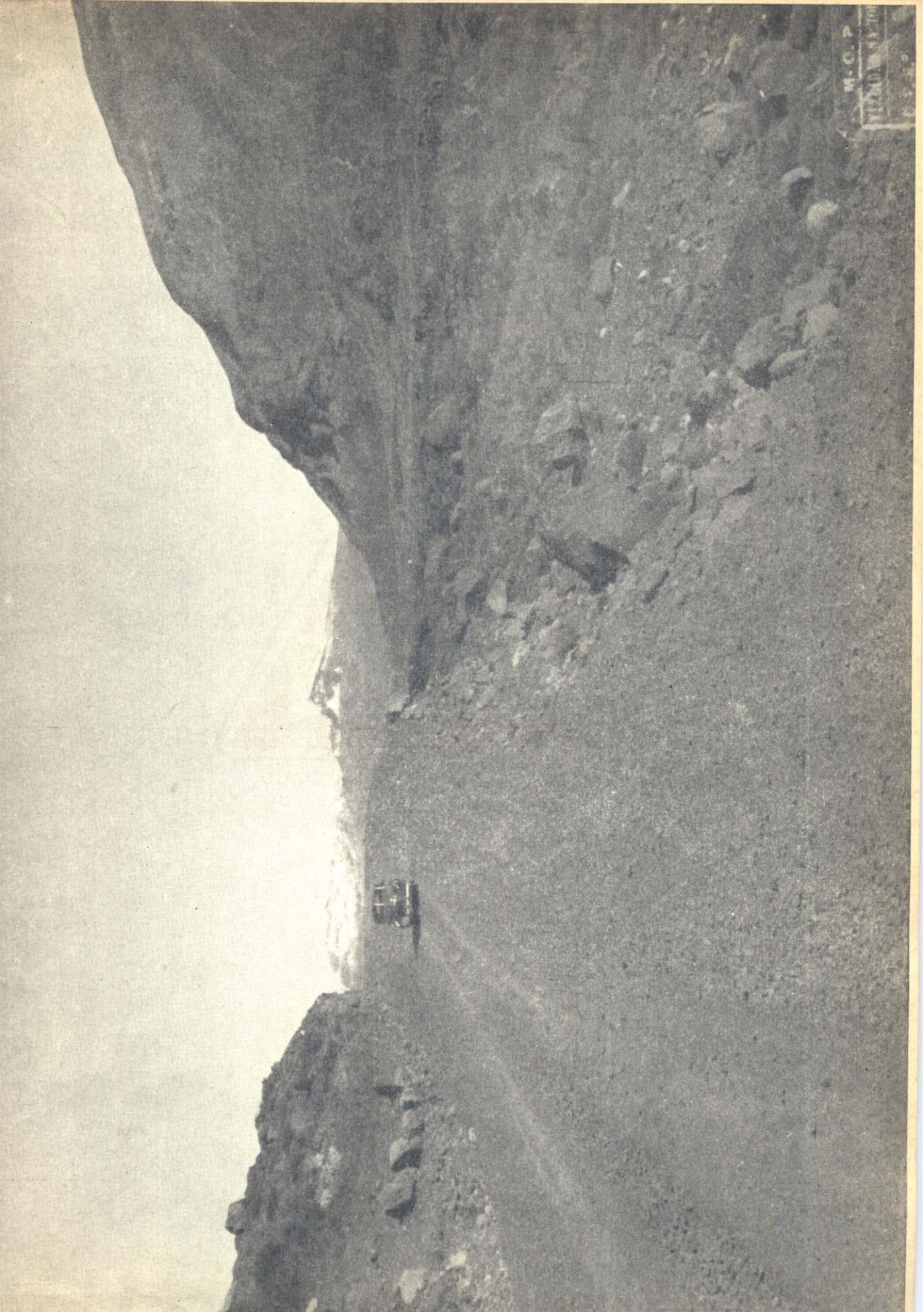
Falta aún considerar las tensiones que se producen en las juntas.

La fórmula propuesta al respecto es

$$c_j = \sigma_b - \frac{J}{100} (\sigma_b - \sigma_i)$$

en la que el significado de cada término ya se explicó al hablar de eficiencia.

Siempre con el propósito de hacer totalmente gráfico el proceso de cálculo de un pavimento, hemos ideado otro gráfico que resuelve la cuestión en forma sencilla.



M.C.P.
STANDARD



Correo Argentino Central (B.)	FRANQUEO PAGADO Concesión Nº 5942
	TARIFA REDUCIDA Concesión Nº 5426

EST. GRAFICOS ESMERALDA
CHILE 2331/49 - BS. AIRES