



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO REFORZADO PARA EL
TRANSITO DE EQUIPOS PORTUARIOS DE GRAN CAPACIDAD DE
CARGA**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA (CONSTRUCCIÓN)

PRESENTA:

LUIS MIGUEL GÓMEZ GAVITO

ASESOR: JULIO PINDTER VEGA

MÉXICO, D. F.

1989



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

**DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO REFORZADO PARA EL TRANSITO
DE EQUIPOS PORTUARIOS DE GRAN CAPACIDAD DE CARGA**



ASESOR : ING. JULIO PINDTER VEGA

ALUMNO : LUIS MIGUEL GOMEZ GAVITO

JUNIO DE 1989



DEPFI



DEPFI

T. UNAM

1 9 8 9

GOM

INDICE

Capítulo 1 : SUBRASANTES Y SUB-BASES.....	4
Capítulo 2 : CARACTERISTICAS DE LOS VEHICULOS Y ANALISIS DE CARGAS.....	9
Capítulo 3 : DISEÑO DE LOS PAVIMENTOS.....	11
Capítulo 4 : DISPOSICION DE JUNTAS Y ACERO DE REFUERZO.....	25
Capítulo 5 : ASPECTOS CONSTRUCTIVOS.....	41
Anexo 1 : RESISTENCIA A LA TENSION DEL CONCRETO Y EJEMPLO DE APLICACION.....	A1

INTRODUCCION.

El objetivo del presente trabajo es el de desarrollar un sistema práctico y sencillo de análisis y diseño de pavimentos de concreto para el tránsito de los equipos portuarios de gran capacidad de carga.

Estos equipos podemos agruparlos de la siguiente manera :

- Grúas viajeras para contenedores.
- Montacargas de gran capacidad de carga .
- Tracto camiones.

El análisis y diseño de los pavimentos se refiere a aquellos ubicados en los muelles, en los patios de maniobras (carga y descarga) y en los almacenes.

En el presente trabajo se presentan tres tipos básicos de diseño :

- Pavimentos de concreto simple con dispositivos especiales para la transmisión de cargas en las juntas.
- Pavimentos continuos de concreto reforzado.
- Pavimentos de concreto reforzado con dispositivos especiales para la transmisión de cargas en las juntas.

Se han elegido pavimentos de concreto en lugar de los de asfalto debido a las grandes cargas que se presentan, a las fuertes presiones de contacto, a las condiciones climatológicas de nuestro país y al mínimo mantenimiento que requiere la operación de dichos pavimentos.

La información que se presenta en este trabajo tiene la finalidad de determinar los espesores adecuados, el acero de refuerzo en su caso, el diseño y arreglo de juntas y algunas recomendaciones acerca de las subrasantes y sub-bases.

Condiciones de diseño.

En el diseño de pavimentos de concreto para cualquier condición de carga, deben considerarse los siguientes factores:

- 1.- Carga.
- 2.- Area de contacto.
- 3.- Esfuerzo a la flexión del concreto.

4.- Localización de la aplicación de la carga respecto a la frontera de las losas de concreto.

5.- Capacidad de carga de la subrasante y de la sub-base.

6.- Frecuencia de aplicación de las cargas.

7.- Diseño y arreglo de juntas.

Las cargas de los equipos pueden determinarse con razonable precisión a través de los manuales proporcionados por los fabricantes. Bajo estas condiciones el análisis se realizará sin considerar los efectos de impacto, quedando fuera del alcance de esta investigación los equipos que presenten una fuerza de impacto mayor del 20 % de la carga estática.

El área de contacto de los neumáticos con la superficie juega un papel muy importante en la evaluación del esfuerzo flexionante actuante en las losas de concreto.

Para los propósitos de diseño las cargas se analizarán aplicadas en una esquina con el área circular de contacto tangente a las juntas longitudinales y transversales.

Como puede observarse, un pavimento rígido tiene como elemento estructural fundamental una losa de concreto, la cual se apoya sobre una capa de material seleccionado, sub-base; pero cuando la subrasante del pavimento tenga la calidad suficientemente buena, la losa de concreto puede colocarse directamente sobre ella, prescindiéndose así de una sub-base especial. De lo que se trata es de que la losa tenga un apoyo suficientemente uniforme y estable, como para garantizar que no quede localmente insuficiente de soporte.

Los concretos que se utilizan en la construcción de las losas suelen ser de resistencia relativamente alta, generalmente comprendida entre 200 y 400 kg/cm². Las losas suelen ser generalmente cuadradas de 3 a 5 m por lado, con tendencia a aumentar dichas dimensiones con un buen diseño de juntas.

Como se mencionó anteriormente el espesor de la losa está afectado fundamentalmente por el nivel de carga que ha de soportar, las presiones de inflado de los neumáticos de los vehículos, el módulo de reacción del suelo de apoyo y las propiedades mecánicas del concreto que en ellas se utilice. Una hipótesis usual en todos los métodos de diseño es la que supone un íntimo y completo contacto entre la losa y el suelo de apoyo en todo momento; esta hipótesis obliga a realizar consideraciones adicionales a los resultados de los cálculos, pues efectos como el bombeo o el alabeo hacen que ese contacto supuesto se pierda parcialmente en

ocasiones, creándose situaciones que han de prevenirse independientemente, generalmente por medio de reglas de arte.

Puede demostrarse fácilmente que el espesor requerido para la losa depende relativamente poco del valor del módulo de reacción del terreno de apoyo, que es el parámetro a través del cual la calidad del suelo influye en el diseño de la losa de concreto. Esto ha conducido a que en la mayor parte de los diseños de pavimentos rígidos se conceda relativamente poca atención a los materiales de sub-base, a los que se permite variar entre límites relativamente amplios, estableciendo algunas especificaciones de carácter empírico con el objeto de prevenir el bombeo u otros efectos perjudiciales. Por estas razones, se decidió trabajar con tres módulos de reacción de la subrasante : uno bajo, uno medio y uno alto, para los fines de aplicación práctica que se persiguen en la presente investigación.

CAPITULO 1. SUBRASANTES Y SUB-BASES.

Debido a la rigidez de los pavimentos de concreto las cargas son extendidas sobre grandes áreas de la subrasante, por lo que las presiones sobre la misma son muy pequeñas. Como resultado, los pavimentos de concreto no necesariamente requieren un gran soporte interior. Sin embargo, es importante que dicho soporte sea razonablemente uniforme y sin cambios abruptos en el grado de resistencia.

Para diseñar y construir una subrasante uniforme se deben controlar las siguientes posibles causas de un soporte irregular :

- 1.- Suelos expansivos.
- 2.- La acción de la helada en los suelos.
- 3.- El bombeo de materiales en suspensión.

Un control efectivo de suelos expansivos y de la acción de la helada es a través de técnicas apropiadas de preparación de la subrasante; para prevenir el bombeo se requiere una sub-base granular o estabilizada. Una sub-base proporciona también el control de los suelos expansivos y de la acción de la helada, sin embargo el uso de capas gruesas de sub-base para el control substancial de estos factores no es más adecuado que una buena preparación de la subrasante, lo cual cuesta generalmente menos.

Los pavimentos que soportan grandes volúmenes de tráfico o bien tráfico canalizado, generalmente requieren una sub-base para controlar el bombeo. Para este tipo de pavimentos es recomendable el uso de sub-bases estabilizadas, debido a los grandes beneficios que proporcionan en la prevención del bombeo.

Suelos expansivos.

Existen varias pruebas para determinar la capacidad de expansión (grandes cambios volumétricos) de los suelos. Una de las pruebas más comunes es a través del índice de plasticidad, el límite de contracción y el límite de contracción lineal, para identificar el potencial cambio volumétrico de los suelos. La siguiente tabla muestra una relación aproximada entre expansión y plasticidad :

Índice de plasticidad	Grado de expansión	Aumento volumétrico aproximado en %
0 - 10	No expansivo	2 ó menos
10 - 20	Moderadamente expansivo	2 a 4
Más de 20	Altamente expansivo	Más de 4

La excesiva diferencia entre contracción y aumento de volumen de suelos expansivos en una subrasante provoca un soporte *no uniforme*. Como resultado, el pavimento de concreto colocado en este tipo de subrasantes puede ser torcido o alabeado. Varias condiciones pueden provocar un soporte no uniforme y dañar al pavimento :

1.- Cuando los suelos expansivos son compactados en condiciones demasiado secas o bien son dejados secar antes de pavimentar, provocan una expansión irregular que puede conducir a rugosidades en el pavimento.

2.- Cuando los suelos expansivos están demasiado húmedos antes de pavimentar provocan una contracción irregular que dejará las esquinas de las losas sin soporte, o bien causar irregularidades considerables en la corona del pavimento.

3.- Cuando un pavimento es construido sobre suelos expansivos con una gran variedad de contenidos de humedad, subsecuentes expansiones y contracciones pueden causar bombeos, depresiones y ondulaciones en la superficie del pavimento. Ondulaciones similares pueden ocurrir cuando hay diferencias grandes en la susceptibilidad a los cambios volumétricos de los suelos de la subrasante.

Un soporte irregular y distorsiones en los pavimentos debidas a contracciones y expansiones irregulares de suelos expansivos son más comunes en regiones áridas, semiáridas y sub-húmedas. Distorsiones importantes pueden ocurrir también en climas húmedos durante los períodos largos de sequía, durante los períodos secos del verano o donde los suelos de la subrasante son extremadamente expansivos.

En todos los climas, la compactación de suelos altamente expansivos cuando están demasiado secos puede provocar expansiones dañinas y el ablandamiento de la subrasante durante los períodos de lluvia posteriores. Al ablandamiento ocurre más rápidamente en las juntas y a lo largo de los extremos de las losas debido a la infiltración del agua. El soporte diferencial resultante puede causar daño al pavimento antes que el suelo de la subrasante pueda ajustarse al medio ambiente, al clima y

desarrollar un contenido de humedad más uniforme y estable.

Las siguientes medidas proporcionan un efectivo y económico control de los suelos expansivos :

1.- Granulometría de subrasantes : Una granulometría selecta y una buena mezcla de materiales de subrasante puede conseguir condiciones razonablemente uniformes en la superficie de la subrasante, con transiciones graduales entre los suelos con propiedades de susceptibilidad a los cambios volumétricos diferentes.

2.- Compactación y control de humedad : Es críticamente importante compactar suelos expansivos de 1 a 3 % más de la humedad óptima. La experiencia señala que los suelos expansivos se "expanden" menos y absorben menos agua cuando son compactados bajo estas condiciones. Resultados de pruebas de compactación de una arcilla típica expansiva, (Fig. 1.1) muestran que a diferentes contenidos de humedad por encima del contenido de humedad óptimo la expansión no es significativa. Después de que los pavimentos son construidos, el contenido de humedad de la mayoría de las subrasantes se incrementa hasta cerca del límite plástico del suelo; esto es, el contenido de humedad desarrollado es ligeramente cercano al óptimo estándar. Si este contenido de humedad es obtenido durante la construcción, los subsecuentes cambios de humedad serán mucho menores y la subrasante retendrá la uniformidad razonable necesaria para un buen desempeño del pavimento.

3.- Cubierta no expansiva : En áreas con prolongados periodos de sequía, las subrasantes altamente expansivas pueden requerir una cubierta de suelo de bajos cambios volumétricos colocada completamente sobre la subrasante. Esta capa minimiza los cambios en el contenido de humedad de la capa inferior (de suelo expansivo) y también tiene un efecto de sobrecarga. Si la capa de bajos cambios volumétricos tiene de baja a moderada permeabilidad, es no sólo más efectiva, sino que es generalmente menos costosa que un suelo granular permeable. Los materiales altamente permeables y muy abiertos no son recomendables como cubierta para suelos expansivos debido a que permiten grandes cambios en el contenido de humedad de la subrasante. La experiencia del lugar es la mejor guía para determinar el espesor adecuado de la cubierta.

4.- Subrasante tratada con cemento : El tratamiento de arcillas expansivas con cemento es muy efectivo no sólo en la reducción de los cambios de volumen, sino también en el incremento de la resistencia del suelo. Debido a este fenómeno, puede ser deseable y económico, en algunos casos, tratar los suelos existentes con cemento en lugar de importar un suelo no expansivo para cubrir una subrasante expansiva. Para

proyectos específicos, el contenido de cemento para controlar los cambios de volúmen e incrementar la resistencia está basado en resultados de pruebas de laboratorio. Algunos cambios volumétricos típicos y datos de resistencia son mostrados en la figura 1.2.

Acción de la helada.

No se discutirá en este trabajo, ya que es muy poco común en nuestro país.

Bombeo.

El bombeo es la fuerza de desplazamiento de una mezcla de suelo y agua que ocurre bajo las juntas de las losas, grietas y extremos de pavimentos de concreto. Es causado por la frecuente deflexión de las losas en las juntas debido a cargas pesadas en las ruedas cuando el suelo fino de la subrasante es saturado. El continuo bombeo incontrolado puede eventualmente provocar el desplazamiento del suelo suficiente para destruir un soporte uniforme.

Estudios recientes de sub-bases muestran que tres factores son necesarios antes de que el bombeo pueda ocurrir :

- 1.- Una subrasante que estará en suspensión.
- 2.- Agua libre entre el pavimento y la subrasante, o saturación de la subrasante.
- 3.- Frecuente paso de cargas pesadas.

La experiencia muestra que el bombeo no ocurre cuando los pavimentos tienen una subrasante con menos del 45 % de material que pasa la malla No. 200 y con un índice de plasticidad de 6 o menos.

Para prevenir la consolidación bajo la acción del tráfico, las sub-bases deberán ser compactadas a un mínimo del 100 % de la prueba estándar.

Para pavimentos con tráfico pesado, se sugiere un espesor máximo de sub-base granular de 15 cm; esto es suficiente para evitar el bombeo. Cuando el espesor de la sub-base es mayor de 15 cm, aumenta el riesgo de un rendimiento pobre del pavimento, debido a la consolidación de la base bajo grandes cargas. Por lo tanto, el mejor rendimiento y economía son obtenidos cuando la losa de concreto soporta la carga por sí misma y utiliza el mínimo espesor de sub-base que evitará el bombeo y la consolidación.

Sub-bases tratadas con cemento :

Un óptimo rendimiento de pavimentos que cargan grandes y pesados volúmenes de tráfico ha sido mostrado a través de sub-bases estabilizadas. Las sub-bases tratadas con cemento ofrecen muchos beneficios adicionales para prevenir el bombeo :

- 1.- Proporcionar un soporte impermeable, uniforme y resistente al pavimento.
- 2.- Eliminar la consolidación de la sub-base.
- 3.- Mejorar grandemente la transferencia de cargas en las juntas.
- 4.- Facilitar el proceso de construcción, ya que una superficie uniforme de trabajo elimina interrupciones debidas a condiciones adversas del clima.

En zonas donde los materiales aceptables de sub-base son escasos o muy caros, las sub-bases tratadas con cemento ofrecen importantes ventajas económicas. En muchas ocasiones, los materiales granulares disponibles no cumplen con las especificaciones de sub-base y por lo tanto son tratados con cemento para adquirir las propiedades necesarias.

Algunas de las propiedades estructurales de las sub-bases tratadas con cemento son las que se presentan a continuación :

PROPIEDAD	VALOR A LOS 28 DIAS
Esfuerzo a la compresión (saturado)	30 a 60 kg/cm ²
Módulo de ruptura	6 a 13 kg/cm ²
Módulo de elasticidad (flexión)	42,000 a 140,000 kg/cm ²

Una sub-base tratada con cemento proporciona una capa altamente impermeable que reduce la cantidad de agua superficial desarrollada por la subrasante y elimina la posibilidad de excesivas presiones de poro que de otra forma pueden desarrollarse en sub-bases granulares.

Las reducciones en los factores de permeabilidad logradas por cementación se muestran en la figura 1:3 para dos materiales de suelo-cemento.

Una propiedad adicional de las sub-bases tratadas con cemento es el gran aumento de valor soporte y la rigidez que ellas proporcionan al sistema de pavimento.

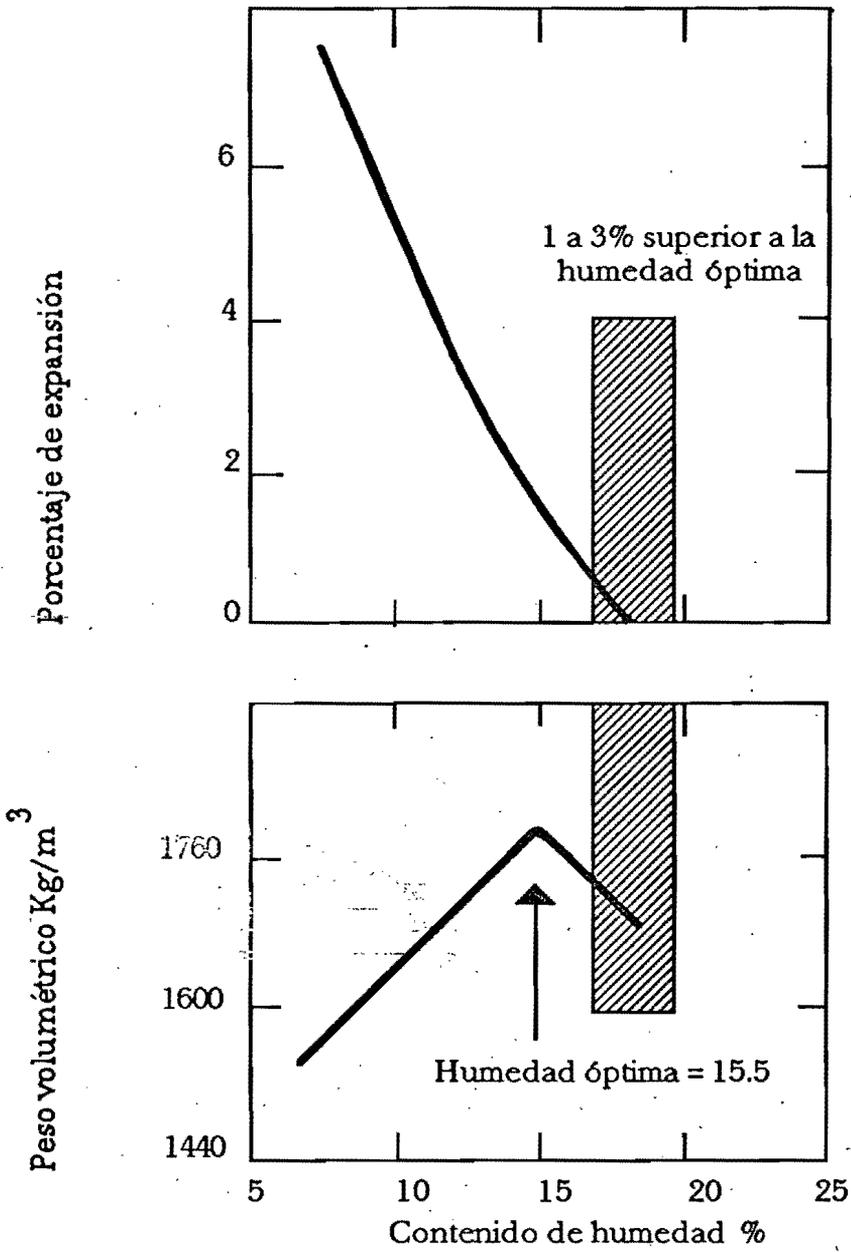


Fig. 1.1 Efecto del contenido de humedad de compactación en suelos expansivos.

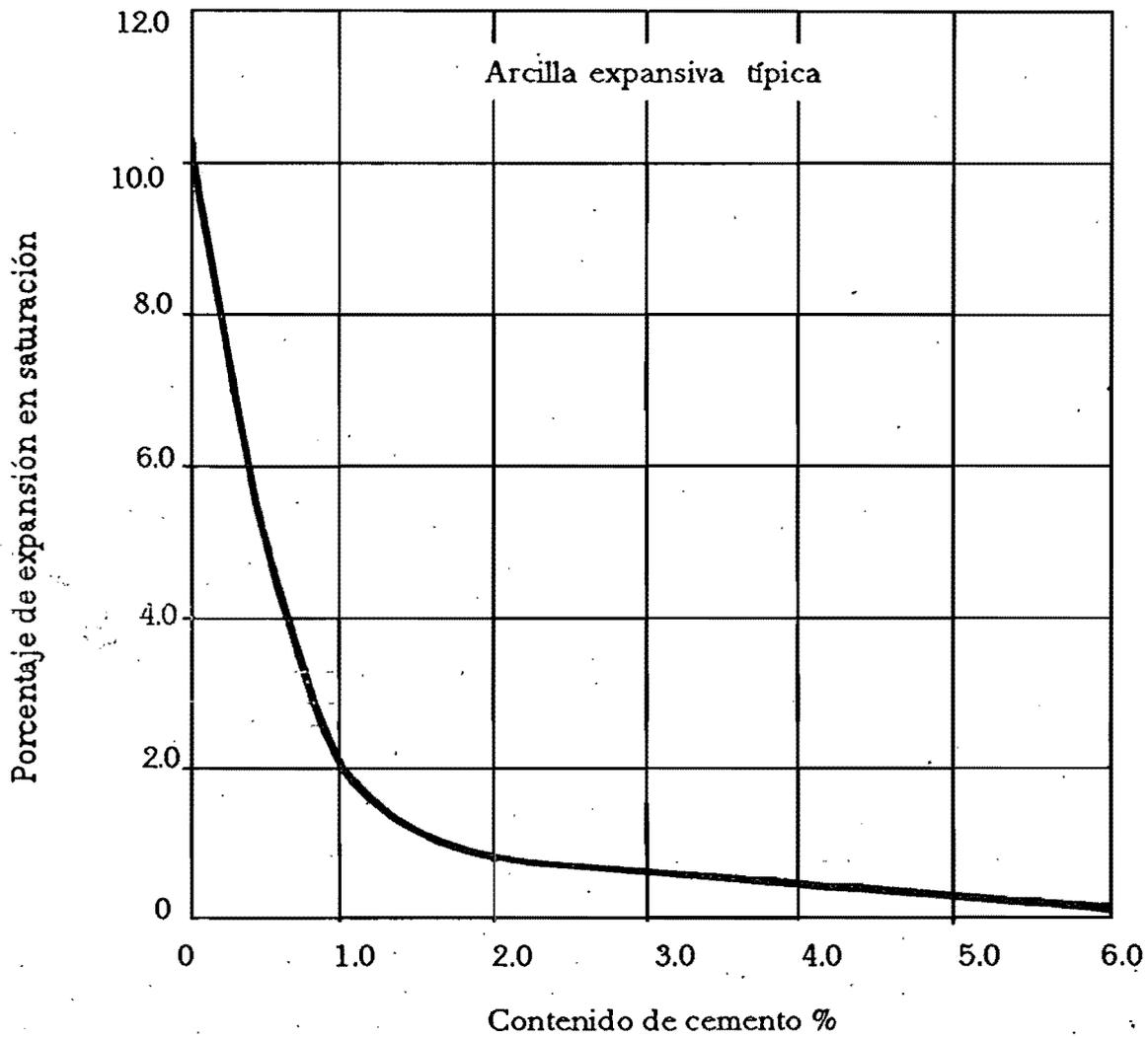


Fig. 1.2 Efecto del contenido de cemento en suelos expansivos

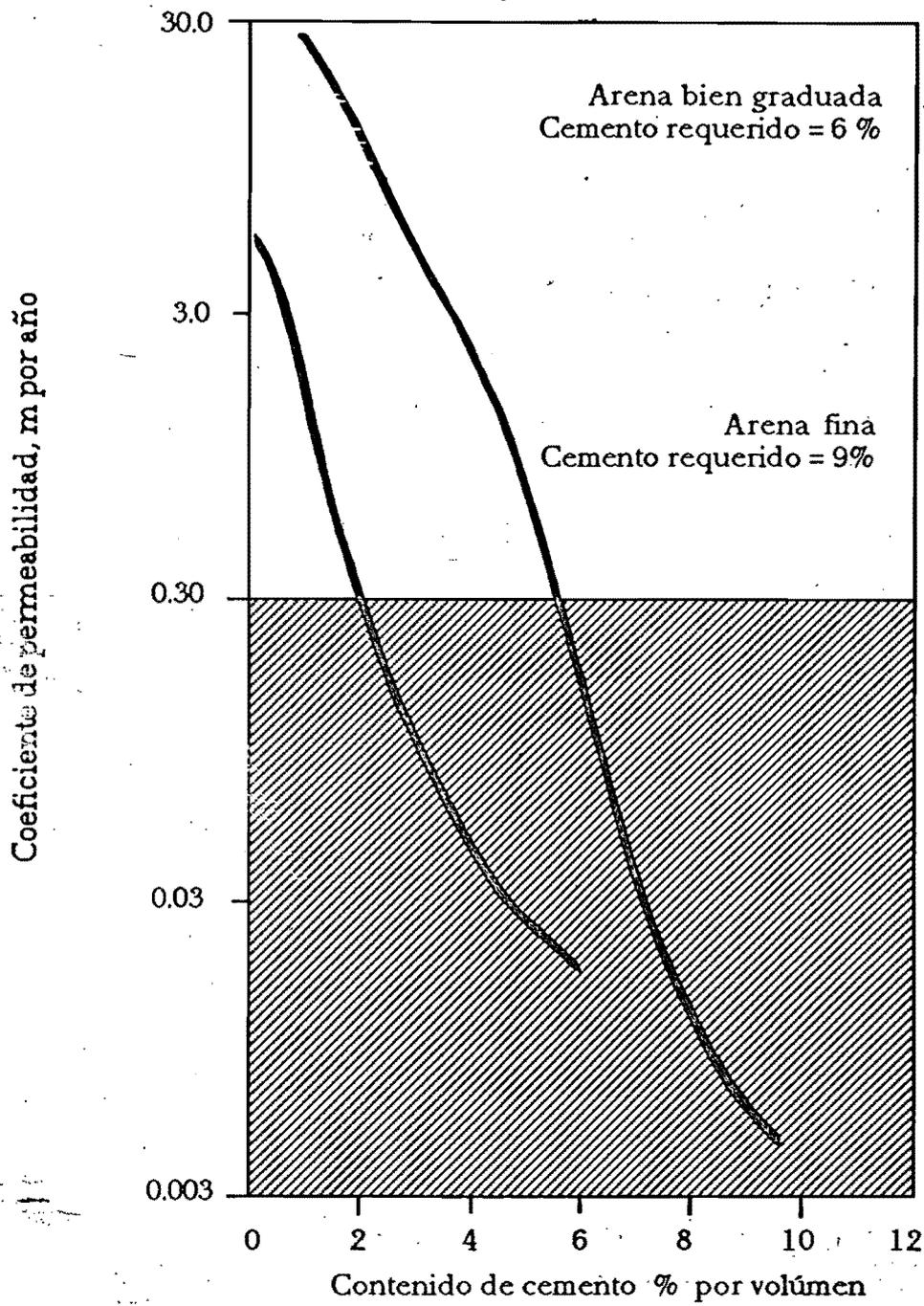


Fig. 1.3 Efecto del contenido de cemento en la permeabilidad para materiales de sub-base tratados con cemento

CAPITULO 2. CARACTERISTICAS DE LOS VEHICULOS Y ANALISIS DE CARGAS

En el presente capítulo se presentan las características de diseño, las cargas actuantes y las presiones de contacto de los vehículos mencionados anteriormente.

En primer lugar se analizarán las características de los tractocamiones, y en el caso particular al que estamos haciendo mención nos limitaremos a dar las características del tractocamión del tipo T3-S2 que es el más común para la carga de contenedores. En la figura 2.1 se muestran dichas características.

Análisis de cargas para un tractocamión T3-S2 :

Eje	Carga	Presión de inflado
1	5.5 Ton	5.8 kg/cm ²
2	18.0 Ton	5.8 kg/cm ²
3	18.0 Ton	5.8 kg/cm ²

A continuación se presenta el análisis de cargas para los montacargas más utilizados en la carga y descarga de mercancías en las instalaciones portuarias, especialmente a las referentes a contenedores. (Ver figuras 2.2, 2.3 y 2.4)

Modelo	R	S	W1	Presión de contacto	Carga por ruedas Gemelas
	mm	mm	mm	kg/cm ²	kg
G5012	710	610	800	5.5	24 370
G4512	600	465	585	8.5	24 200
G4212	570	465	585	8.5	23 000
G4012	570	430	585	8.5	21 300
G3712	520	430	585	8.5	19 600
G3212	490	430	585	8.5	18 200
G2812	470	380	520	8.9	16 100
G2512	430	380	520	8.9	14 950
D2512	390	380	520	8.9	13 680
D2412	380	355	430	9.7	13 300
D2112	320	355	430	9.7	11 300
D1812	300	355	430	9.7	10 325

En las figuras 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9 y 2.10 se muestra un catálogo completo de grúas viajeras para contenedores, el cual presenta las características geométricas y las capacidades de carga de las mismas.

A continuación se presenta una tabla con los datos esenciales de las grúas viajeras para el diseño de pavimentos :

Grúa viajera MI-JACK serie 650C

	Capacidad de carga total de la grúa viajera					
	40 823 kg		52 163 kg		64 410 kg	
	Excéntrica	Centrada	Excéntrica	Centrada	Excéntrica	Centrada
Carga por rueda (kg)	14 228	10 205	18 257	13 040	22 544	16 102
Presión de contacto (kg/cm²)	8.0	7.5	8.0	8.0	8.2	8.3

Para evaluar el área de contacto entre los neumáticos y la superficie de rodamiento, puede considerarse, para fines prácticos como un círculo cuya área es igual a la carga de la rueda dividida entre la presión de contacto; esto para el caso de ejes con ruedas sencillas.

Para el caso de ruedas gemelas se puede considerar que el área de contacto es igual a la suma de las áreas de contacto de cada rueda más el área existente entre ambas unidas por dos líneas paralelas, como se muestra en la Fig. 2.11.

El radio de contacto se evaluará como la raíz cuadrada del área de contacto dividida entre π , esto es, se obtiene el radio de la circunferencia supuesta de contacto.

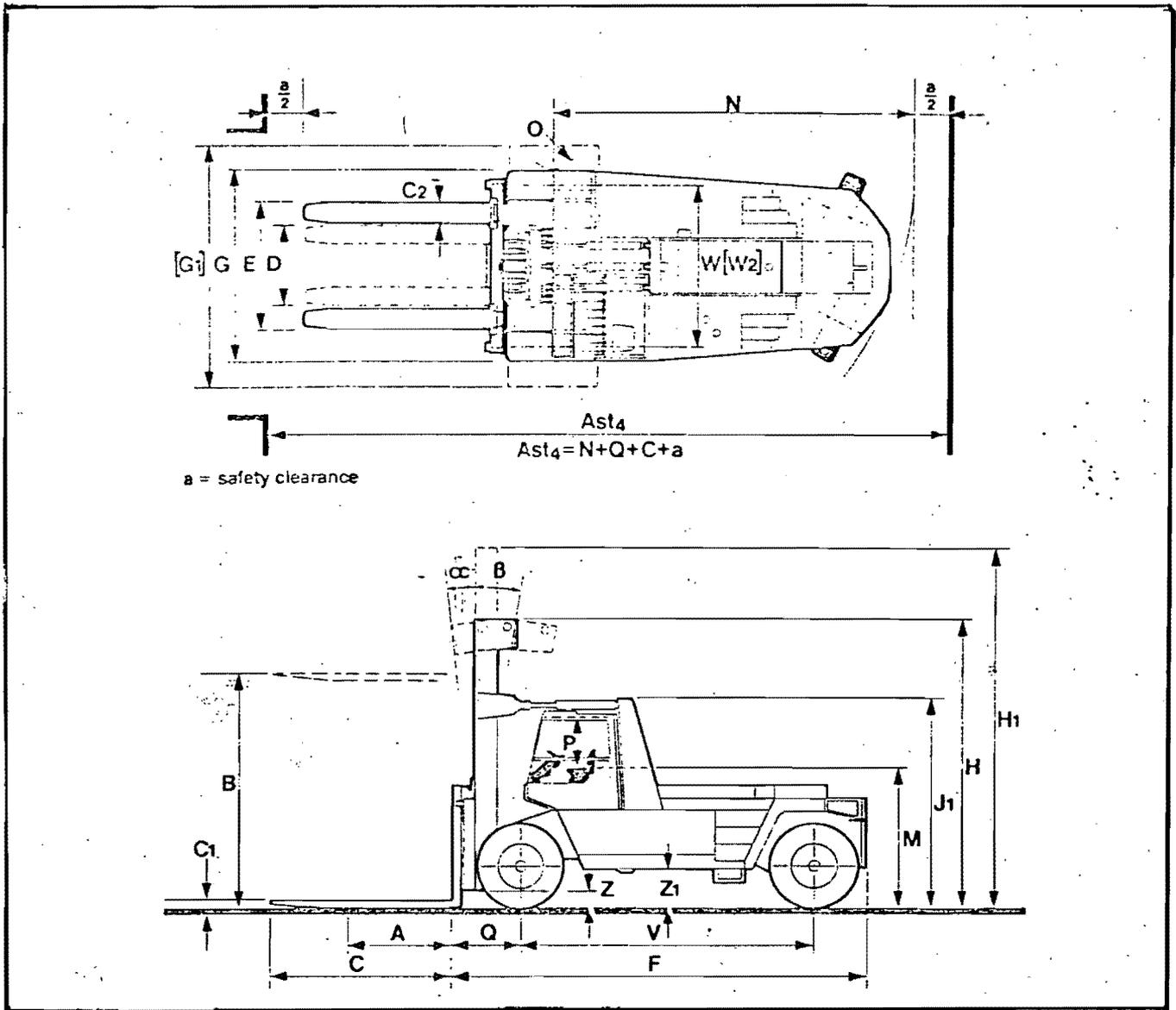


FIGURA 2.2 DIMENSIONES PRINCIPALES DE MONTACARGAS

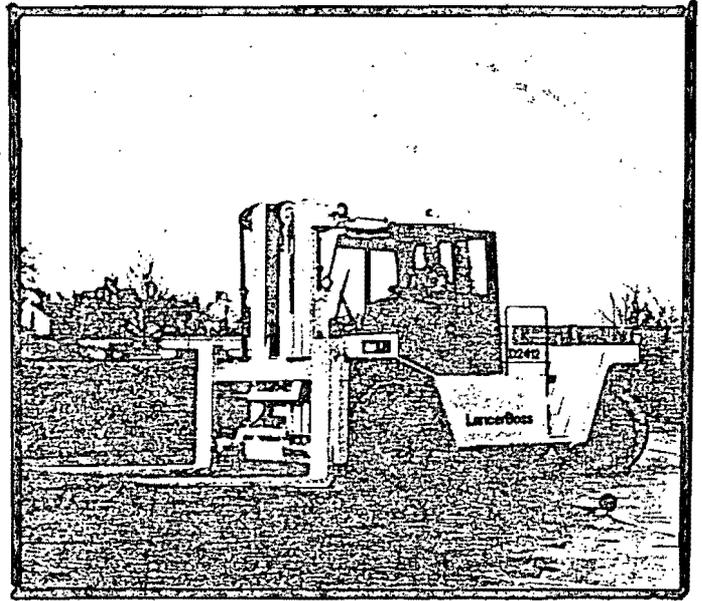
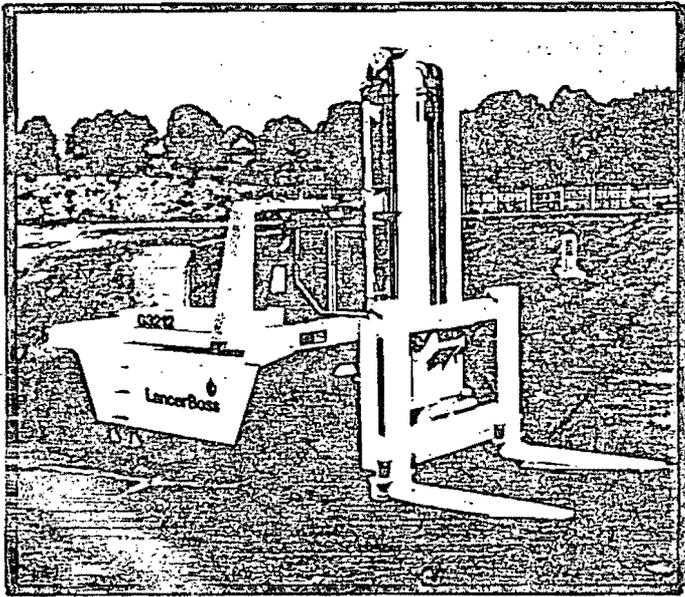


FIGURA 2.3

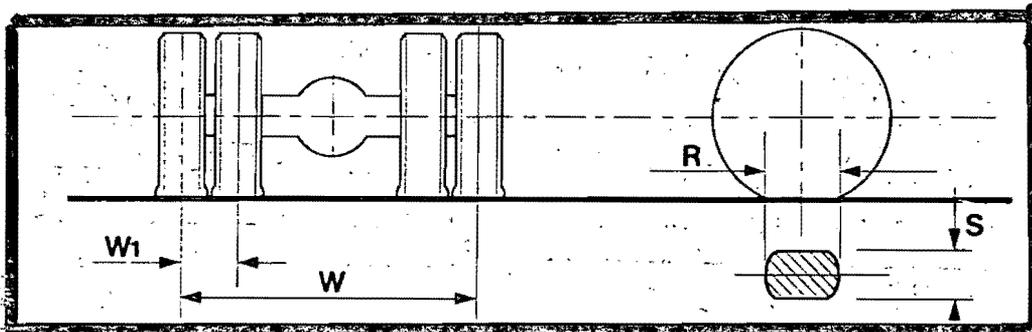
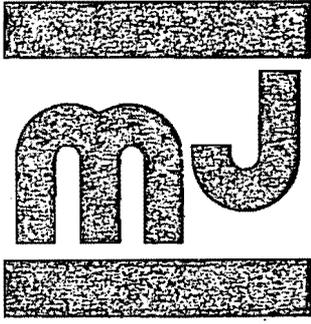


FIGURA 2.4



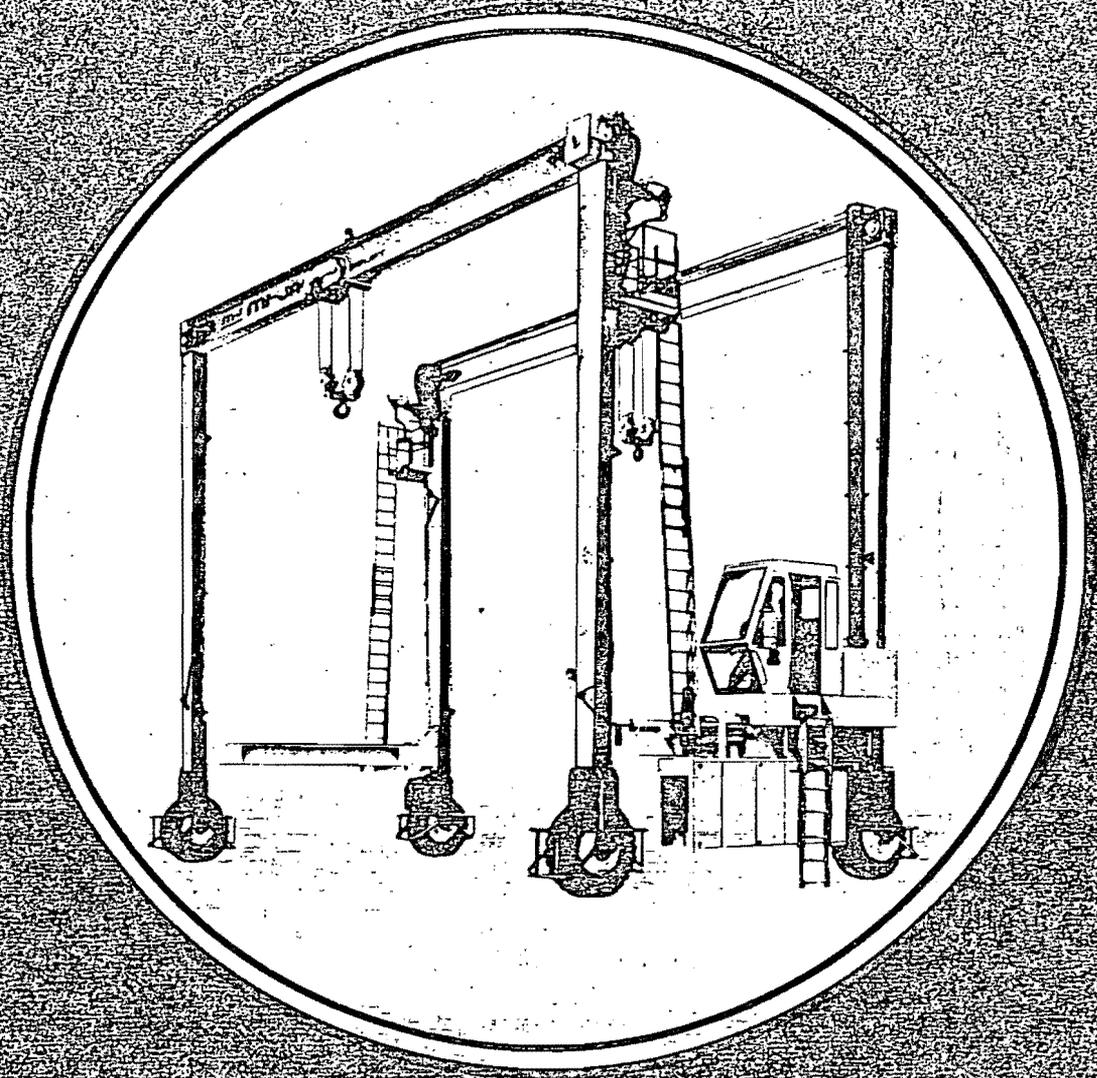
MODEL 650 SERIES C

CATALOGO DE GRUAS VIAJERAS PARA CONTENEDORES

TRAVELIFT*

MJ MACH PRODUCTS

Highway Crane, Illinois 60129, U.S.A. Tel: 312-596-5700, Telex: 271017



Rated capacity
50,000 lbs (22,700 kg)

The World's Largest Manufacturer of Straddle Cranes.

SPECIFICATIONS

650 SERIES C

TRAVELIFT*

ENGINE

Make and model Detroit Diesel 4-53 T
 Fuel No. 2 diesel
 No. of cylinders 4
 Bore and stroke 3.875" x 4.5" (98.4 mm x 114 mm)
 Displacement 212 in³ (3474 cm³)
 Fuel induction Injectors (4)
 Fuel supply Pos. displacement gear-type pump
 Air cleaner Dry type
 Oil filter Renewable cartridge
 Lubrication Positive pressure
 Cooling system Pressurized radiator and lubricated bearing impeller pump

Horsepower

(1) Gross (SAE) 175 @ 2500 rpm
 (131 kW @ 2500 r/min)

(2) Net (SAE) 158 @ 2500 rpm
 (118 kW @ 2500 r/min)

Torque, maximum (SAE) 420 lbs-ft @ 1800 rpm
 (569 Nm @ 1800 r/min)

(1) Gross engine horsepower or torque at flywheel per SAE J270 specification.
 (2) Net engine horsepower or torque at flywheel per SAE J270 specification.

ELECTRICAL

Voltage 12 volt
 Alternator 120 amp
 Batteries (2) 625 CCA @ 0° F (-18° C) for 30 sec

HYDRAULIC SYSTEM

Main pumps: 2 Piston-type pumps driven off engine flywheel, ccw rotation, each rated at 48 gpm @ 2725 rpm (182 l/min @ 2725 r/min).
 Left pump front hoist, front traverse, left drive
 Right pump rear hoist, rear traverse, right drive
 Main control valves: 2 three-spool mono-block.
 Main relief setting 2,750 psi (18 961 kPa)
 Relief valve settings:

Steering 2,100 psi (14 500 kPa)
 Supercharge 225 psi (1 550 kPa)
 Service control 250 psi (1 720 kPa)

TRANSMISSION

Hydrostatic on rear wheels. Two hydraulic motors (one at each wheel) drive a gear transmission with a roller chain final drive. Two drive ratios are available: 3.00:1 and 2.25:1.

STEERING

Full hydraulic with steering orbitrol. Rear wheel drive.
 Pump: Gear, 12 gpm (45 l/min)
 Cylinders: Two double acting, one at each rear wheel.

BRAKES

Service: Full hydraulic disc type; mounted at transmission input; Foot operated.
 Parking: Same as service brakes; Spring applied - hydraulic release.

TIRES

16.00 x 25, 24 PR Hard Rock Lug.

TRAVEL SPEED (Forward & Reverse - no load)

Final Drive Ratio:

2.25:1 6.0 mph (9.7 km/h)
 3.00:1 4.6 mph (7.4 km/h)

TRAVERSE

Hydraulic: One located on each top beam. Each traverse powered by a gear motor through a 60:1 worm gear winch.
 Wire rope 5/8" (16 mm) IPS, IWRC 6 x 37
 Speed 123 fpm (37.49 m/min)
 Slope 10%

HOIST

Hydraulic: One located on each top beam. Each hoist powered by a piston motor attached to a gear transmission.
 Final drive: Roller chain.

Hoist brake: Dual disc and hydraulic holding valve at transmission input.

Wire rope:

Single trolley - 8 parts per hoist block 5/8" (16 mm) IPS
 IWRC 6 x 37
 Dual trolley - 4 parts per hoist block 5/8" (16 mm) IPS
 IWRC 6 x 37
 Sheave pitch diameter 15.00" (381 mm)

Hoist speed - 80,000 lbs (36 300 kg) rated capacity:

Rated load 29 fpm (8.8 m/min)
 No load 31 fpm (9.4 m/min)

MAXIMUM GRADEABILITY* (Paved Surface)

Gross Unit Weight	Sprocket Ratio	
	2.25:1	3.00:1
50,000 lbs (22 680 kg)	12.1%	16.9%
68,000 lbs (30 840 kg)	8.6%	12.0%
87,000 lbs (39 500 kg)	6.6%	9.1%
105,000 lbs (47 600 kg)	5.0%	7.4%
124,000 lbs (56 250 kg)	4.0%	6.0%
142,000 lbs (64 410 kg)	3.4%	5.2%

Shipping weight plus load determines gross unit weight. For gradeability* on other surfaces, deduct as follows:

Loose gravel	2°
Mud	4 to 7%
Soft sand	2 to 13%

*Gradeability is a measure of tractive effort only and does not represent grades on which the machine can operate.

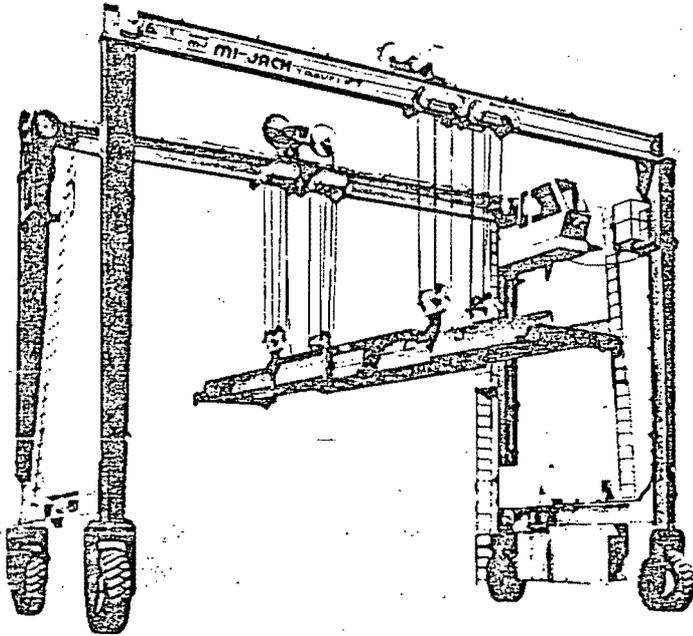
SERVICE CAPACITIES

	U.S.	Litres
Fuel tank	60 gals	227
Hydraulic system (complete)*	35 to 50 gals	132 to 189
Hydraulic reservoir	18 gals	68
Cooling system	32.5 qts	30.7
Engine oil (w/filter)	15 qts	14.2
Pump drive transmission	3 qts	2.8
Drive transmission	4 qts	3.8
Hoist transmission	4 qts	3.8
Traverse gearbox	1 qt	0.9

*System capacity varies depending on height and width of unit.

650C CONTAINER HANDLING OPTIONS

The following options, attachments and/or accessories should be selected when ordering a 650C Travelift for container handling. The letter in parentheses behind the option refers to the corresponding dimension listed on the dimension diagram on page 3.



WHEELBASE AND HOOK CENTERS (H)

19' (5.79 m) wheelbase & hook center required to attach container spreader.

HEIGHT TO HOOK SADDLE (A)

32'10" (10.00 m) height to hook center required to stack 9'6" (2.90 m) containers three high or transport one over two.

INSIDE CLEAR WIDTH (D)

Select one — 29'7" (9.02 m) or 39'7" (12.06 m). See back page.

RAISED CAB (M)

Specify 35'4" (10.77 m) operator's eye level. Provides visibility over containers stacked three high.

650C with Container Handling Package

DUAL/SPLIT TROLLEY

Specify 4'6" (1.37 m) spacing required to attach container spreader.

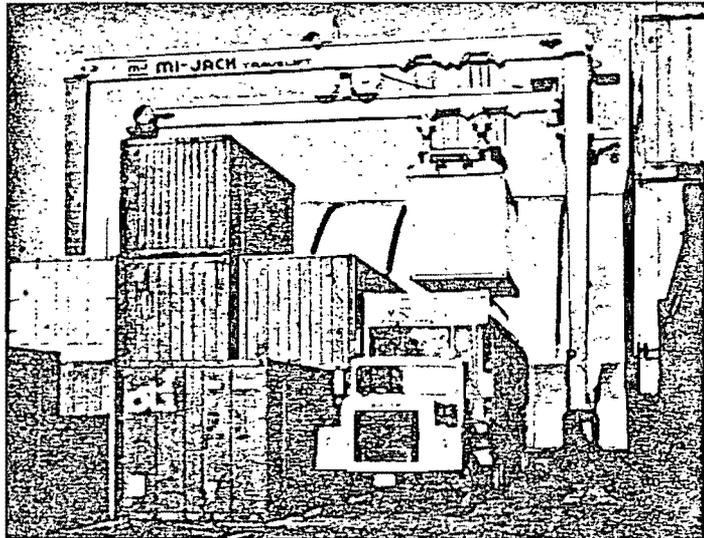
CONTAINER SPREADERS

One or more required:

- 20' - 40' (6.10 m - 12.19 m) expandable container spreader
- 20' (6.10 m) fixed container spreader
- 40' (12.19 m) fixed container spreader

SPREADER CONTROL PACKAGE

Required.



650C Travelift straddling three rows of containers and a roadway — stacking three high.

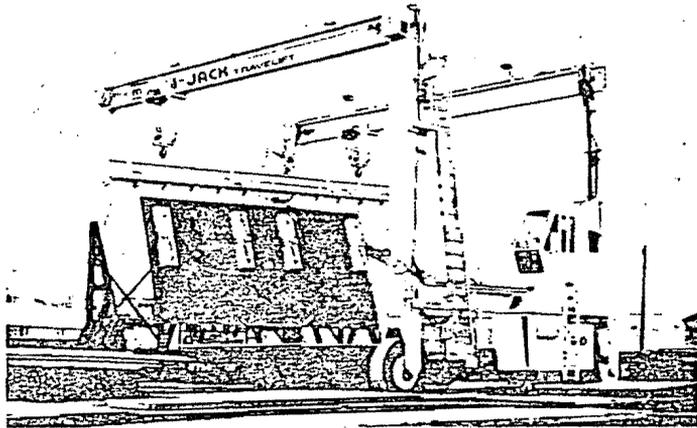
WHEEL LOAD & GROUND BEARING PRESSURE

Unit	Gross Unit Weight					
	90,000 lbs (40 823 kg)		115,000 lbs (52 163 kg)		142,000 lbs (64 410 kg)	
Load	Max-Side	Uniform	Max-Side	Uniform	Max-Side	Uniform
Wheel Load	31,500 lbs (14 228 kg)	22,500 lbs (10 205 kg)	40,250 lbs (18 257 kg)	28,750 lbs (13 040 kg)	49,700 lbs (22 544 kg)	35,500 lbs (16 102 kg)
Ground Bearing Pressure	113 psi (779 kPa)	107 psi (738 kPa)	115 psi (793 kPa)	113 psi (779 kPa)	116 psi (800 kPa)	118 psi (814 kPa)

APPROXIMATE SHIPPING WEIGHTS

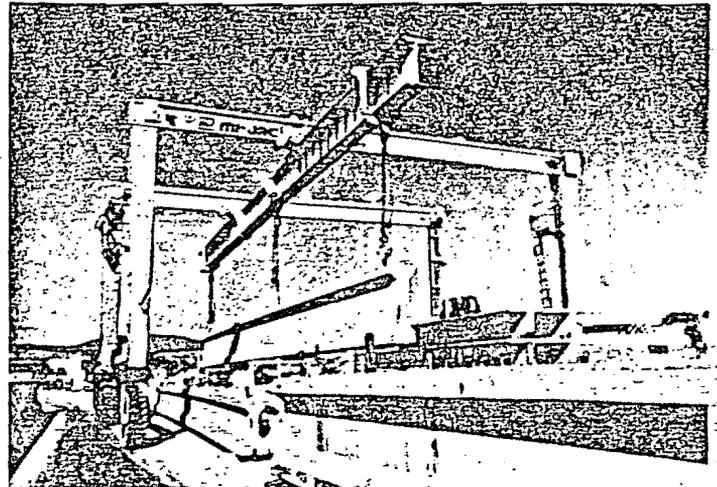
Height to Hook Saddle	Inside Clear Width - 19' (5.79 m) Wheelbase		
	29'7" (9.02 m)	34'7" (10.54 m)	39'7" (12.06 m)
24'7" (7.49 m)	58,200 lbs (26 399 kg)	59,900 lbs (27 170 kg)	61,600 lbs (27 941 kg)
28'7" (8.71 m)	60,050 lbs (27 238 kg)	61,750 lbs (28 009 kg)	63,450 lbs (28 780 kg)
32'10" (10.00 m)	61,900 lbs (28 077 kg)	63,600 lbs (28 848 kg)	65,300 lbs (29 619 kg)

Add 1,250 lbs (567 kg) for 24' (7.3 m) wheelbase.
 Add 2,620 lbs (1 188 kg) for 30' (9.1 m) wheelbase.
 Add 1,900 lbs (862 kg) for raised cab.
 Add 3,100 lbs (1 406 kg) for dual trolley.



Travelift cranes are readily adapted to a variety of below the hook attachments, to increase operating efficiency and improve handling. The unit shown here is handling heavy steel plate with a special magnet package. This is a typical heavy industry application.

Travelift cranes handle massive precast/prestress panels, large diameter pipe and other prestress and precast products. They're highly maneuverable, with front wheel pivot for 360° turn capability. They get through passageways as narrow as 5' (1.50 m). Straddle storage areas to pick up loads well away from aisle access. You can carry full-rated loads at any hook position within the straddle area.



LIFT EFFORTS

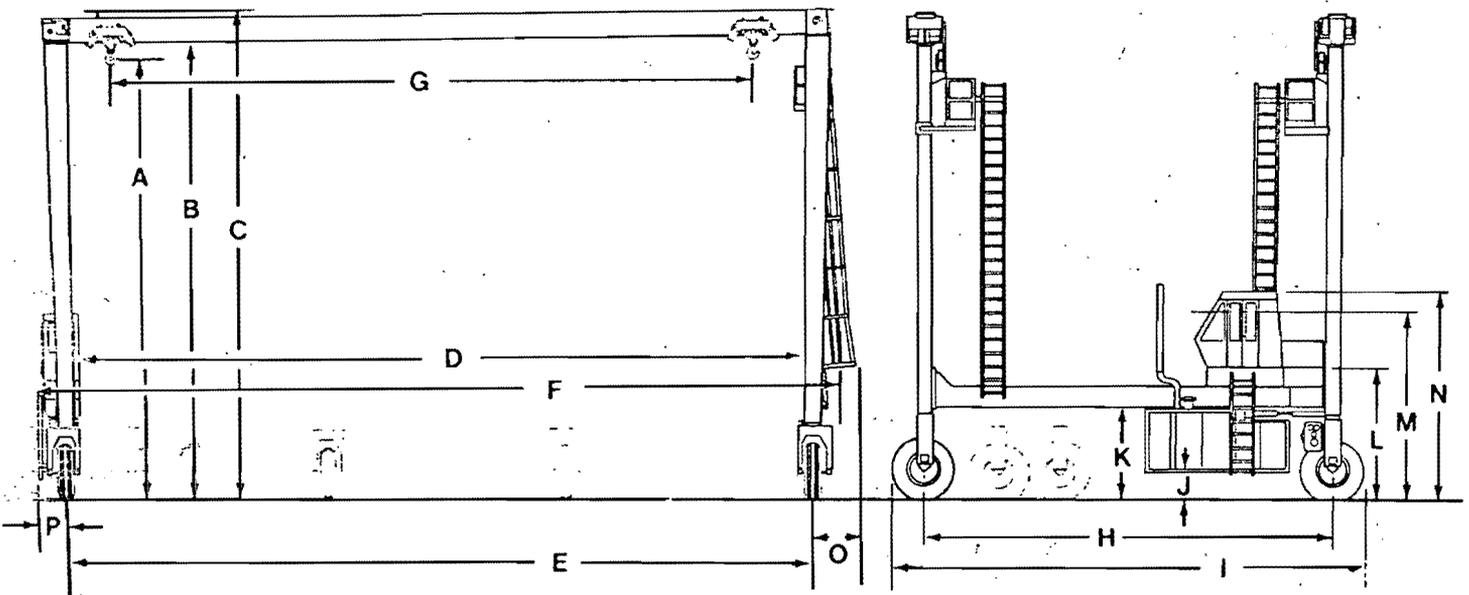
Capacity vs. Unit Dimensions

Height to Hook Saddle	Inside Clear Width		
	29'7" (9.02 m)	34'7" (10.54 m)	39'7" (12.06 m)
24'7" (7.49 m)	80,000 lbs (36 300 kg)	80,000 lbs (36 300 kg)	80,000 lbs (36 300 kg)
28'7" (8.71 m)	80,000 lbs (36 300 kg)	80,000 lbs (36 300 kg)	80,000 lbs (36 300 kg)
32'10" (10.00 m)	80,000 lbs (36 300 kg)	80,000 lbs (36 300 kg)	80,000 lbs (36 300 kg)

OUTSIDE TURNING RADIUS

Wheelbase	Inside Clear Width		
	29'7" (9.02 m)	34'7" (10.54 m)	39'7" (12.06 m)
19' (5.79 m)	39'0" (11.84 m)	43'4" (13.20 m)	47'10" (14.56 m)
24' (7.32 m)	41'9" (12.70 m)	45'10" (13.95 m)	50'1" (15.25 m)
30' (9.14 m)	45'7" (13.86 m)	49'4" (15.04 m)	53'4" (16.24 m)

DIMENSIONAL DATA



Any combinations of widths, heights and lengths shown are available.

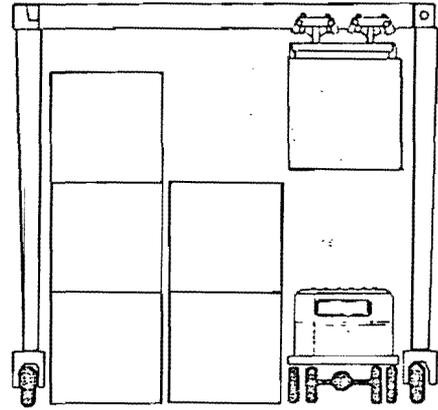
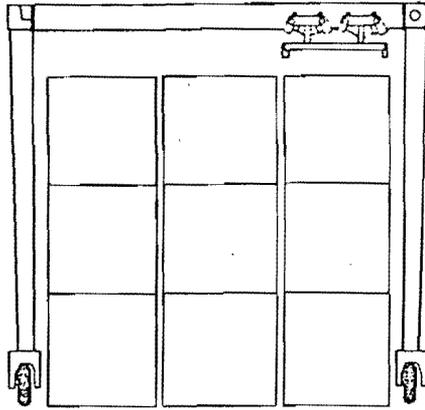
A. Heights to hook saddle	24'7" (7.49 m)
	28'7" (8.71 m)
	32'10" (10.00 m)
B. Heights to bottom of top beam	26'2" (7.97 m)
	30'2" (9.19 m)
	34'5" (10.48 m)
C. Overall heights	28'10" (8.79 m)
	32'10" (10.00 m)
	37'1" (11.30 m)
D. Inside-clear widths	29'7" (9.02 m)
	34'7" (10.54 m)
	39'7" (12.06 m)
E. Tread widths	32'0" (9.75 m)
	37'0" (11.28 m)
	42'0" (12.80 m)
F. Overall widths(1)	36'1" (11.00 m)
	41'1" (12.52 m)
	46'1" (14.05 m)
G. Traverse distances - single trolley(2)	23'3" (7.09 m)
	28'3" (8.61 m)
	33'3" (10.13 m)
H. Wheelbases & hook centers	19'0" (5.79 m)
	24'0" (7.31 m)
	30'0" (9.14 m)
I. Overall lengths(3)	23'11" (7.29 m)
	28'11" (8.81 m)
	34'11" (10.64 m)

J. Ground clearance to engine frame	2'4" (711 mm)
K. Ground clearance to side beam	7'1" (2.15 m)
L. Height to cab floor:	
Standard cab	10'2" (3.09 m)
Raised cab	15'6" (4.72 m)
Raised cab	31'1" (9.47 m)
M. Operator's eye level:	
Standard cab	14'5" (4.40 m)
Raised cab	19'9" (6.01 m)
Raised cab	35'4" (10.77 m)
N. Height to cab roof:	
Standard cab	15'10" (4.82 m)
Raised cab	21'1" (6.42 m)
Raised cab	36'9" (11.19 m)
O. Optional ladder cage	3'6" (1.06 m)
P. Cab ladder(1)	2'4" (711 mm)

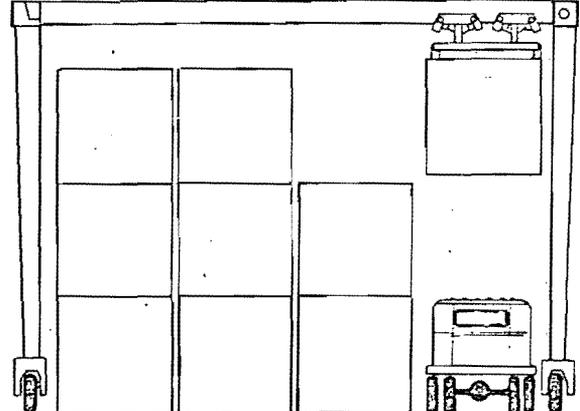
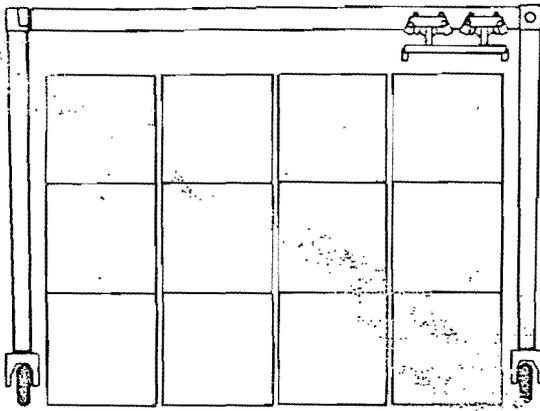
(1) For unit with raised cab options add 22" (559 mm) to left side clearance.
 (2) Subtract dual trolley spacing minus 8" (203 mm) for dual trolley.
 (3) Add 21" (553 mm) for unit with high cab.

NOTE: If unit is equipped with wheel guards subtract 6" (152 mm) from dimension "D" and add 1" (25 mm) to dimension "E". All height dimensions shown are based on tire radius with unit in light condition -- deduct 2.0" (51 mm) for maximum tire deflection. Inside, outside and height dimensions are nominal and may vary due to manufacturing standards and structural deflection.

650C CONTAINER STACKING OPTIONS



29'7" (9.02 m) inside clear width with 32'10" (10.00 m) height to hook spans three rows of containers or two and a road/railway -stacks three high or transports one over two.



39'7" (12.06 m) inside clear width with 32'10" (10.00 m) height to hook spans four rows of containers or three and a road/railway -stacks three high or transports one over two.

EQUIPMENT ATTACHMENTS

STANDARD EQUIPMENT

- Enclosed cab - 14'5" (4.39 m) eye level
- Tinted glass
- Windshield wiper
- Adjustable bucket seat
- Operating switches
- Speed gauges
- Maintenance platforms for hoists
- Ladders for platforms
- Noise suppression
- 8 lights (4 work, 4 drive)
- Two rotating beacons
- Warning alarm
- Detroit Diesel 4-53 T 4 valve engine
- Two wheel drive
- Two wheel steer
- Alternator
- Battery
- 12 volt electrical system
- 16.00 x 25, 24 PR Industrial tires
- Standard black, white and power yellow paint
- Single trolley
- Final drive ratios - 2.25:1 or 3.00:1.

OPTIONAL EQUIPMENT

- Dual/split trolley - specify spacing
- Top beam widths
- Column heights
- Side beam lengths
- Raised operator cab - 19'9" (6.01 m) eye level
- Raised operator cab - 35'4" (10.77 m) eye level - available on 32'10" (10.00 m) HTH-only
- Ladder cages.

ACCESSORIES

- Heater (standard cab)
- Heater (raised cab)
- Wheel guards
- Spare tire and wheel
- Cold weather start kit
- American tool kit (recommended for export)
- Air conditioner
- Filter kit (spares)
- Oil cooler - hydraulic system
- Export preparation.

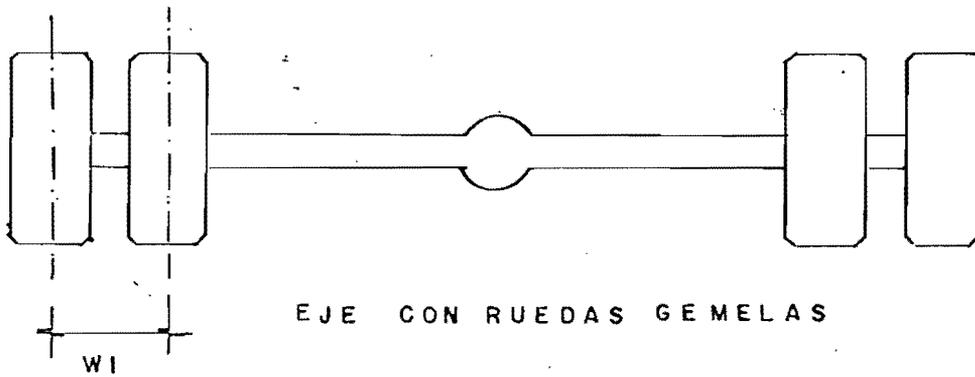
CONTAINER HANDLING OPTIONS AND ATTACHMENTS

- Dual/Split trolley - 4'6" (1.37 m) spacing
- Raised cab - 35'4" (10.77 m) eye level
- 20' (6.10 m) fixed container spreader
- 40' (12.19 m) fixed container spreader
- 21' - 40' (6.10 m - 12.19 m) expandable container spreader
- Spreader control package
- Fixed corner guides/spreader.

NOTE: All specifications are stated in accordance with ICED definitions or SAE standards or recommended practices, where applicable.

MI-JACK PRODUCTS maintains a policy of continuous product improvement and reserves the right to change materials and specifications without notice.

MI-JACK PRODUCTS
3111 West 167th Street
Hazel Crest, IL 60429



EJE CON RUEDAS GEMELAS

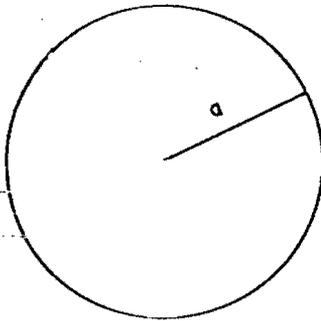
$$A = \frac{P}{p} \quad a = \sqrt{\frac{A}{3.1416}}$$

A = área de contacto (cm²)

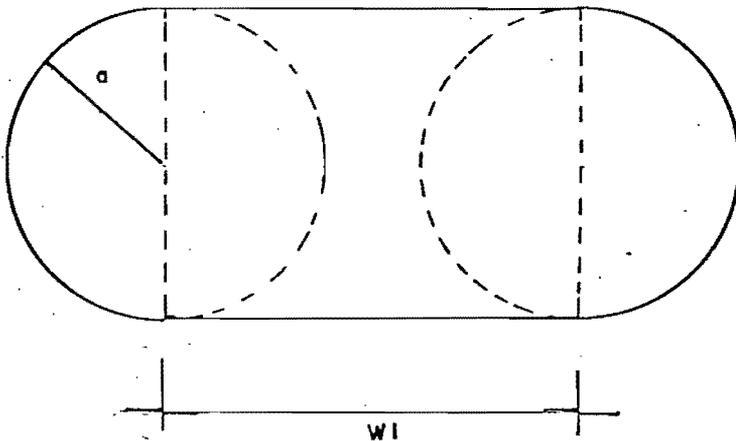
P = carga sobre la rueda (kg)

p = presión de contacto (kg/cm²)

a = radio de contacto (cm)



RUEDA SENCILLA



$$A' = Wl \cdot 2a + A$$

$$a' = \sqrt{\frac{A'}{3.1416}}$$

A' = área de contacto equiv. para ruedas gemelas.

a' = radio de contacto equiv.

RUEDAS GEMELAS

FIGURA 2.11

CAPITULO 3. DISEÑO DE LOS PAVIMENTOS.

La mayoría de los pavimentos de concreto se diseñan en base a las ecuaciones de Westergaard, que usan el valor del módulo de reacción de la subrasante, k , obtenido de una prueba de placa, realizada sobre dicha subrasante. Pero como se mencionó anteriormente, se acostumbra tomar en cuenta el efecto de la sub-base que se colocará sobre la subrasante, por medio de un valor de corrección de k , el cual se comentará posteriormente.

En el presente trabajo se proporcionan nomogramas de diseño basados en el método desarrollado por la "Portland Cement Association" de muy sencilla aplicación.

En dichos nomogramas de diseño, las características del concreto intervienen a través del concepto **Módulo de resistencia a la tensión en flexión, MR**, que se expresa como un esfuerzo y se evalúa a partir de correlaciones con el valor f'_c , resistencia del concreto a la compresión tras 28 días de fraguado. En general el valor de MR oscila entre :

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

Para nuestro caso particular utilizaremos un valor de :

$$MR = 0.12 f'_c$$

Este valor de MR corresponde a la condición de ruptura y el valor correspondiente que aparece en los gráficos de diseño es el de trabajo, con un factor de seguridad comprendido entre 1.75 y 2.00 respecto al de ruptura.

Los nomogramas de diseño proporcionados consideran el módulo de elasticidad del concreto de $280\,000 \text{ kg/cm}^2$ y una relación de Poisson igual a 0.15. En la gráfica correspondiente a grúas viajeras se supone que la carga actúa en el interior de la losa, lo cual resulta razonable al restringir el movimiento de la grúa en franjas predeterminadas. Para los sitios donde transitan tractocamiones y montacargas, la carga se considera aplicada sobre la junta entre losas y que éstas tienen sus esquinas protegidas, es decir, provistas de los elementos adecuados para transmitir cargas a las losas adyacentes.

Como se mencionó anteriormente el valor de k debe obtenerse a través de una prueba de placa, sin embargo, para fines prácticos y dado que el valor de k no afecta

en mucho al espesor de diseño, el valor de k puede obtenerse a través de la correlación con el CBR (Valor Relativo de Soporte) que se proporciona en la Fig. 3.1.

En rigor, los pavimentos rígidos poseen generalmente una sub-base sobre la subrasante cuyo módulo de reacción se haya calculado, de manera que resulta mejorado el apoyo de la losa. El efecto de la sub-base debe tomarse en cuenta haciendo pruebas de placa sobre ella, pero si tal cosa no resultara práctica puede estimarse corrigiendo el valor de k correspondiente a la subrasante, para obtener el valor final con que debe entrarse en los gráficos de diseño. La Fig. 3.2 proporciona los medios para establecer tal correlación en función del espesor de la sub-base.

El espesor de la sub-base de los pavimentos rígidos no es objeto de cálculo, sino que se acostumbra estimar un espesor de sub-base de acuerdo a la experiencia. Nunca se construyen de menos de 10 cm y probablemente 15 cm es una buena dimensión.

En términos generales, el funcionamiento de todos los nomogramas de diseño presentados en este trabajo, es el mismo. Con la resistencia a la tensión en flexión del concreto, el módulo de reacción del suelo de apoyo y el peso de la combinación de las ruedas, puede obtenerse el espesor de la losa de concreto trazando una horizontal por el valor de MR, hasta cortar la recta de la carga; a partir del punto así obtenido, deberá trazarse otra vertical hasta la curva del valor correspondiente del módulo de reacción (o de la presión de inflado, según la gráfica que se trate), definiendo un nuevo punto a partir del que se determina el espesor de la losa por medio de una horizontal.

Otra alternativa consiste en suponer un espesor de losa y revisar si el esfuerzo actuante con el espesor supuesto es igual o un poco menor que el esfuerzo permisible.

Es de notar en los gráficos, la influencia relativamente pequeña del módulo de reacción del suelo de apoyo en los espesores resultantes para las losas.

Los nomogramas de diseño que se presentan a continuación fueron realizados considerando que para el caso de las grúas viajeras la carga se concentra en el interior de la losa, mientras que para el caso de los montacargas y los tractocamiones la carga se considera aplicada en una esquina.

Así mismo se construyeron nomogramas para un valor de CBR bajo, medio y alto, con su correspondiente módulo de reacción de la siguiente forma:

CBR	Módulo de reacción
Bajo : 4	3.5 kg/cm ³
Medio : 8	5.0 kg/cm ³
Alto : 20	7.0 kg/cm ³

Los nomogramas de diseño para grúas viajeras (figuras 3.3, 3.4 y 3.5) se construyeron en base a la fórmula de Westergaard para carga interior :

$$S_i = \frac{0.316P}{h^2} [4 \log (L/b) + 1.069]$$

Donde :

S_i = Esfuerzo de tensión máximo producido por la carga en el interior de la losa expresado en kg/cm². Esto ocurre en el fondo de la losa directamente por debajo de la carga.

P = Carga en kg, incluyendo un margen de seguridad por impacto : (1.2).

h = Espesor de la losa en cm.

L = Radio de rigidez relativa.

Siendo L :

$$L = 4 \frac{E h^3}{12 (1 - u^2) k}$$

Donde :

E = Módulo de elasticidad del concreto en kg/cm²

u = Relación de Poisson, la cual se considerará igual a 0.15

k = Módulo de reacción en kg/cm³

b = Radio de distribución equivalente de la presión expresado en cm. Este factor reconoce la influencia del espesor de la losa en el esfuerzo de tensión directamente por debajo de una carga aplicada.

$$b = 1.6 a^2 + h^2 - 0.675 h ; \text{ cuando } a < 1.724 h$$

$$b = a ; \text{ cuando } a > 1.724 h$$

a = Radio del área de contacto de la carga en cm. Esta área se supone circular en las cargas de esquina e interior.

Debido a que la presión de contacto para las grúas viajeras del catálogo presentado muestran presiones muy similares de 8, 8.1 y 8.3 kg/cm², se tomará una presión única de 8 kg/cm².

A continuación se proporcionan algunos valores calculados de esfuerzo para diversas cargas y espesores que se utilizaron para la construcción de los nomogramas.

Para $k = 3.5 \text{ kg/cm}^3$

CARGA Ton	PRESION kg/cm^2	ESPESOR cm	ESFUERZO kg/cm^2
10 000	8	15	46.31
		16	41.91
		17	38.12
		18	34.82
		19	31.94
		20	29.40
		21	27.15
		22	25.15
		23	23.36
		24	21.76
		25	20.31
		26	19.00
		27	17.81
12 000	8	28	16.73
		29	15.74
		30	14.84
14 000	8	20	33.67
		30	17.22
16 000	8	20	37.65
		30	19.47
18 000	8	25	29.14
		35	16.65
20 000	8	25	31.79
		35	18.30
22 000	8	25	34.31
		35	19.88
24 000	8	25	36.73
		35	21.41
24 000	8	25	39.05
		35	22.89

Para $k = 5 \text{ kg/cm}^2$

CARGA Ton	PRESION kg/cm^2	ESPESOR cm	ESFUERZO kg/cm^2
10 000	8	15	44.14
		16	40.00
		17	36.42
		18	33.31
		19	30.58
		20	28.17
		21	26.04
		22	24.14
		23	22.44
		24	20.91
		25	19.53
		26	18.28
		27	17.14
		28	16.11
29	15.16		
12 000	8	20	32.20
		30	16.56
14 000	8	20	35.94
16 000	8	25	27.89
		35	16.02
18 000	8	25	30.38
		35	17.58
20 000	8	25	32.75
		35	19.08
22 000	8	25	35.01
		35	20.53
24 000	8	25	37.17
		35	21.93

Para $k = 7 \text{ kg/cm}^2$

CARGA Ton	PRESION kg/cm^2	ESPESOR cm	ESFUERZO kg/cm^2		
10 000	8	15	42.02		
		16	38.02		
		17	34.83		
		18	31.88		
		19	29.30		
		20	27.02		
		21	24.99		
		22	23.18		
		23	21.56		
		24	20.10		
		25	18.79		
		26	17.59		
		27	16.51		
12 000	8	28	15.52		
		29	14.61		
		30	13.78		
		20	30.81		
		30	15.95		
		14 000	8	20	34.32
				30	17.99
16 000	8	25	26.71		
		35	15.41		
18 000	8	25	29.05		
		35	16.90		
20 000	8	25	31.27		
		35	18.33		
22 000	8	25	33.38		
		35	19.70		
24 000	8	25	35.40		
		35	21.03		

Los nomogramas de diseño para montacargas (figuras 3.6, 3.7 y 3.8) se realizaron en base a la fórmula de Gerald Pickett para carga aplicada en esquina protegida, esto es, con los elementos necesarios para transmitir parte de la carga a la siguiente losa (ver capítulo referente a juntas) y se dan rangos de presión de contacto para 3.5, 5.5, 8.5 y 9.7 kg/cm².

Ecuación de Pickett:

$$S = (3.36 P / h^2) [1 - (a/l)^{1/2} / (0.925 + 0.22 a/l)]$$

Donde:

S = Máximo esfuerzo a la flexión debido a una carga aplicada en la esquina de la losa, en kg/cm².

h = Espesor de la losa en cm.

a = Radio del área circular equivalente de contacto de la llanta con el pavimento, en cm.

l = Radio de rigidez relativa, en cm.

P = Carga colocada en la esquina de la losa a una distancia igual a "a" de sus extremos, en kg.

A continuación se proporcionan valores para el cálculo de los nomogramas de diseño para los montacargas en cuestión:

Para $k = 3.5 \text{ kg/cm}^2$:

CARGA Ton	PRESION kg/cm^2	ESPESOR cm	ESFUERZO kg/cm^2		
10 000	5.5	15	61.5		
		18	46.2		
		21	36.0		
		24	28.9		
		27	23.7		
		30	19.9		
		33	16.9		
		36	14.5		
		10 000	8.5	15	69.4
				18	51.4
21	39.7				
24	31.6				
27	25.8				
30	21.5				
33	18.2				
36	14.5				
10 000	8.5			15	69.4
				18	51.4
		21	39.7		
		24	31.6		
		27	25.8		
		30	21.5		
		33	18.2		
		36	15.6		
		10 000	9.7	15	71.7
				18	52.9
21	40.8				
24	32.4				
27	26.4				
30	22.0				
33	18.6				
36	15.9				

10 000	3.5	20	34.4
		25	24.2
		30	18.0
		35	13.9
		18	40.4
		16	48.1
		14	58.3
12 000	8.5	15	52.9
		21	45.8
		35	19.2
14 000	8.5	21	59.0
		35	21.7
16 000	9.7	21	59.0
		35	24.8
18 000	9.7	25	48.4
		35	27.3

Para $k = 5 \text{ kg/cm}^2$:

CARGA Ton	PRESION kg/cm^2	ESPESOR cm	ESFUERZO kg/cm^2
10 000	3.5	15	49.3
		18	38.0
		21	30.2
		24	24.6
		27	20.4
		30	17.2
		10 000	5.5
18	43.9		
21	34.4		
24	27.7		
27	22.8		
30	19.1		
33	14.1		
10 000	8.5	15	66.2
		18	49.3
		21	38.2
		24	30.5
		27	25.0
		30	20.9
		33	17.7
10 000	9.7	15	68.9
		18	50.9
		21	39.3
		24	31.4
10 000	9.7	27	25.6
		30	21.3
		33	18.1
12 000	5.5	21	39.3
		30	22.1
14 000	8.5	21	49.4
		30	27.4
16 000	5.5	21	48.0
		30	27.4

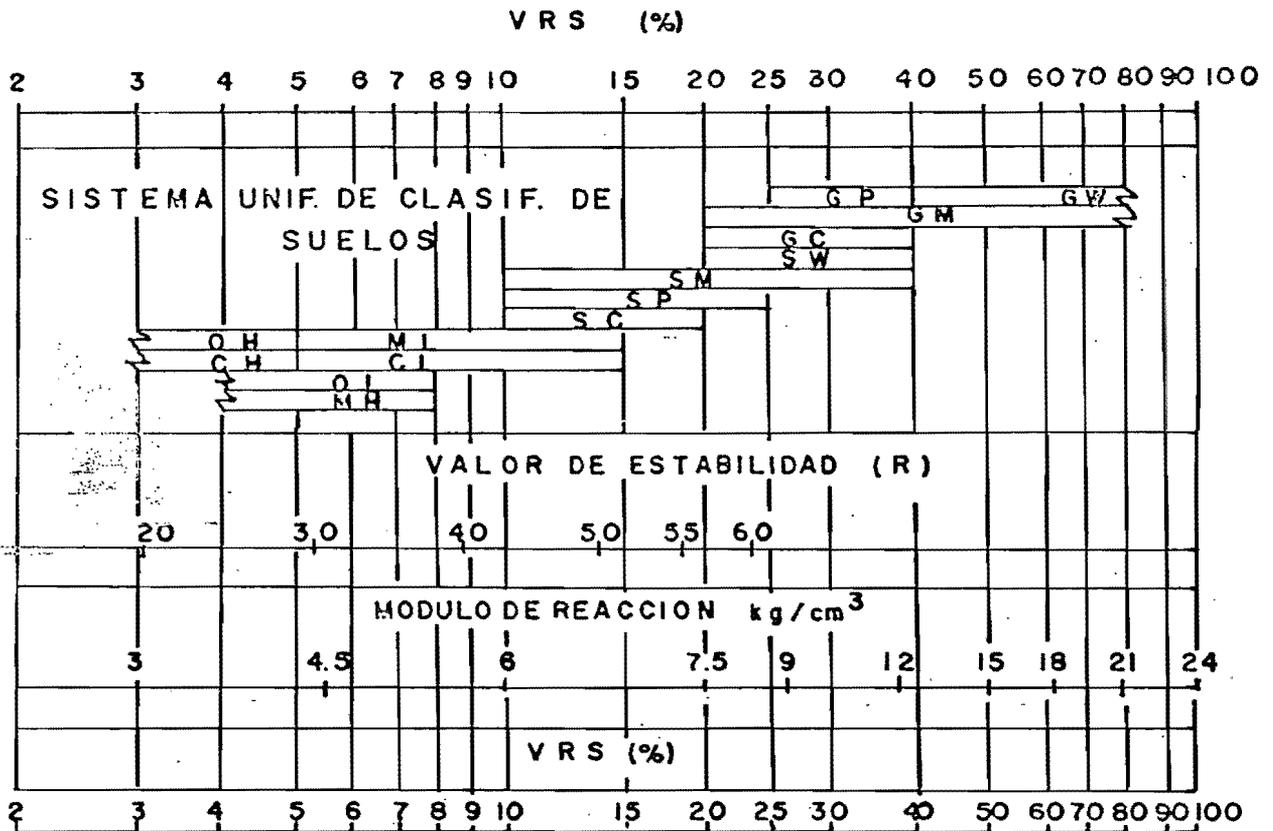
18 000	5.5	21	51.9
		30	29.9
20 000	3.5	21	46.5
		30	28.1
22 000	3.5	21	49.0
		30	29.9
24 000	3.5	21	51.2
		30	31.5

Para $k = 7 \text{ kg/cm}^2$:

CARGA	PRESION	ESPESOR	ESFUERZO
Ton	kg/cm^2	cm	kg/cm^2
10 000	3.5	21	28.5
		24	23.3
		27	19.5
		30	16.5
		33	14.1
		36	12.3
10 000	5.5	21	32.9
		24	26.6
		27	21.9
		30	19.1
		33	16.3
		36	13.6
10 000	8.5	21	36.8
		24	29.5
		27	24.2
		30	20.2
		33	17.2
		36	14.8
10 000	9.7	21	37.9
		24	30.3
		27	24.8
		30	20.7
		33	17.6
		36	15.1
12 000	5.5	21	37.4
		30	21.2
14 000	5.5	21	41.5
		30	23.8
16 000	5.5	21	45.4
		30	26.2
18 000	3.5	21	45.4
		30	24.7
20 000	3.5	21	43.0
		30	28.0
22 000	3.5	25	37.8
		35	23.7

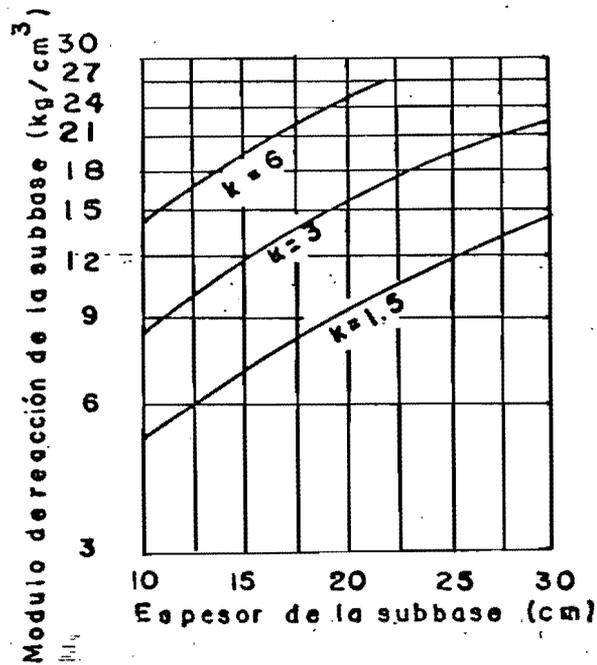
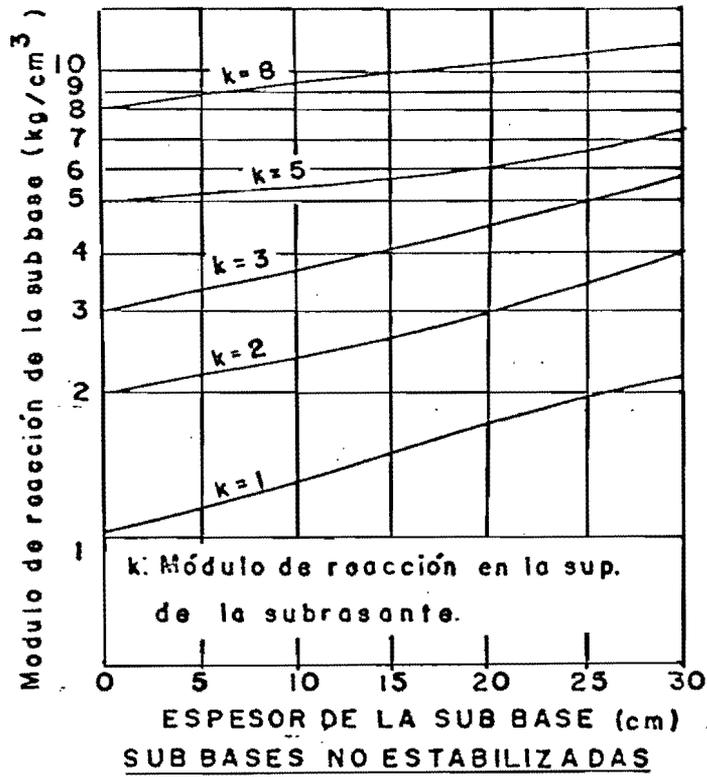
Finalmente, para el diseño de losas transitadas por tractocamiones se proporciona la gráfica de diseño para ejes en tándem, según el método de la Portland Cement Association en la figura 3.9.

La utilización de los nomogramas de diseño se comenta posteriormente en el capítulo correspondiente a ejemplos.



COMPARACION ENTRE VARIOS INDICES DE RESITENCIA

FIGURA 3.1



GRAFICAS PARA OBTENER EL VALOR DE k SOBRE LA SUB BASE

FIGURA 3.2

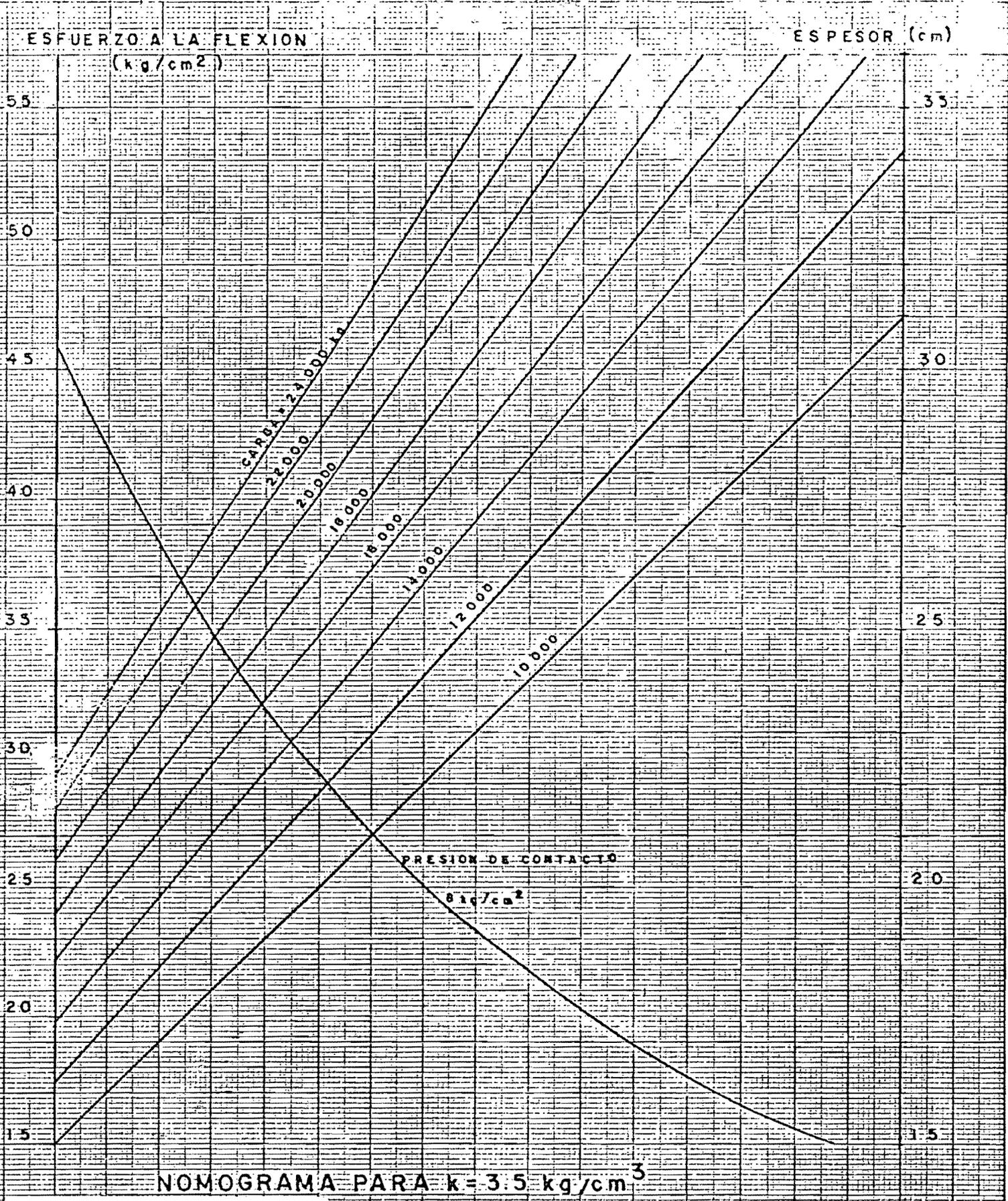


FIGURA 3.3
GRUA VIAJERA

CARGA EN EL INTERIOR DE LA LOSA

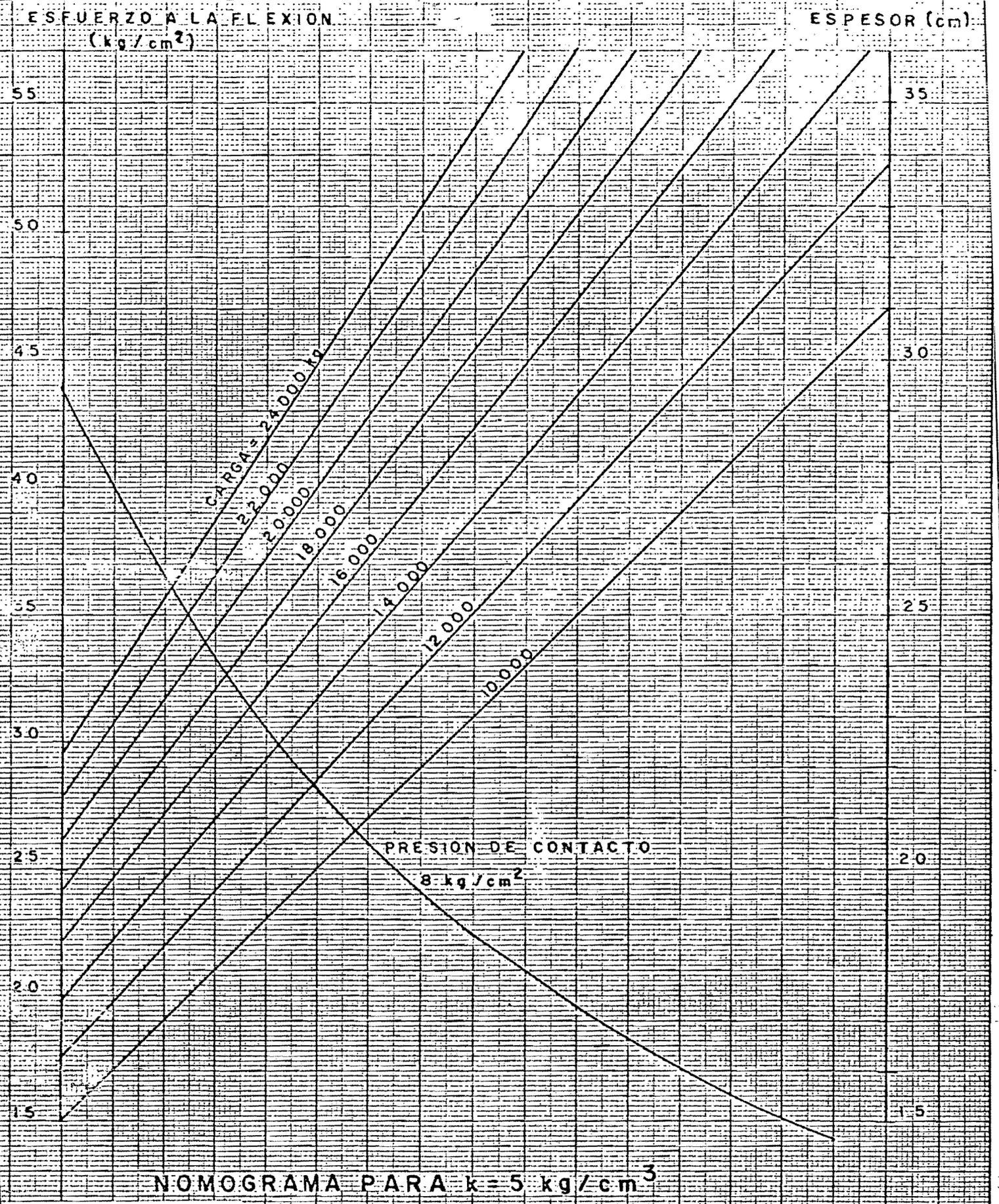


FIGURA 3.4
UA VIAJERA

CARGA EN EL INTERIOR DE LA LOSA.

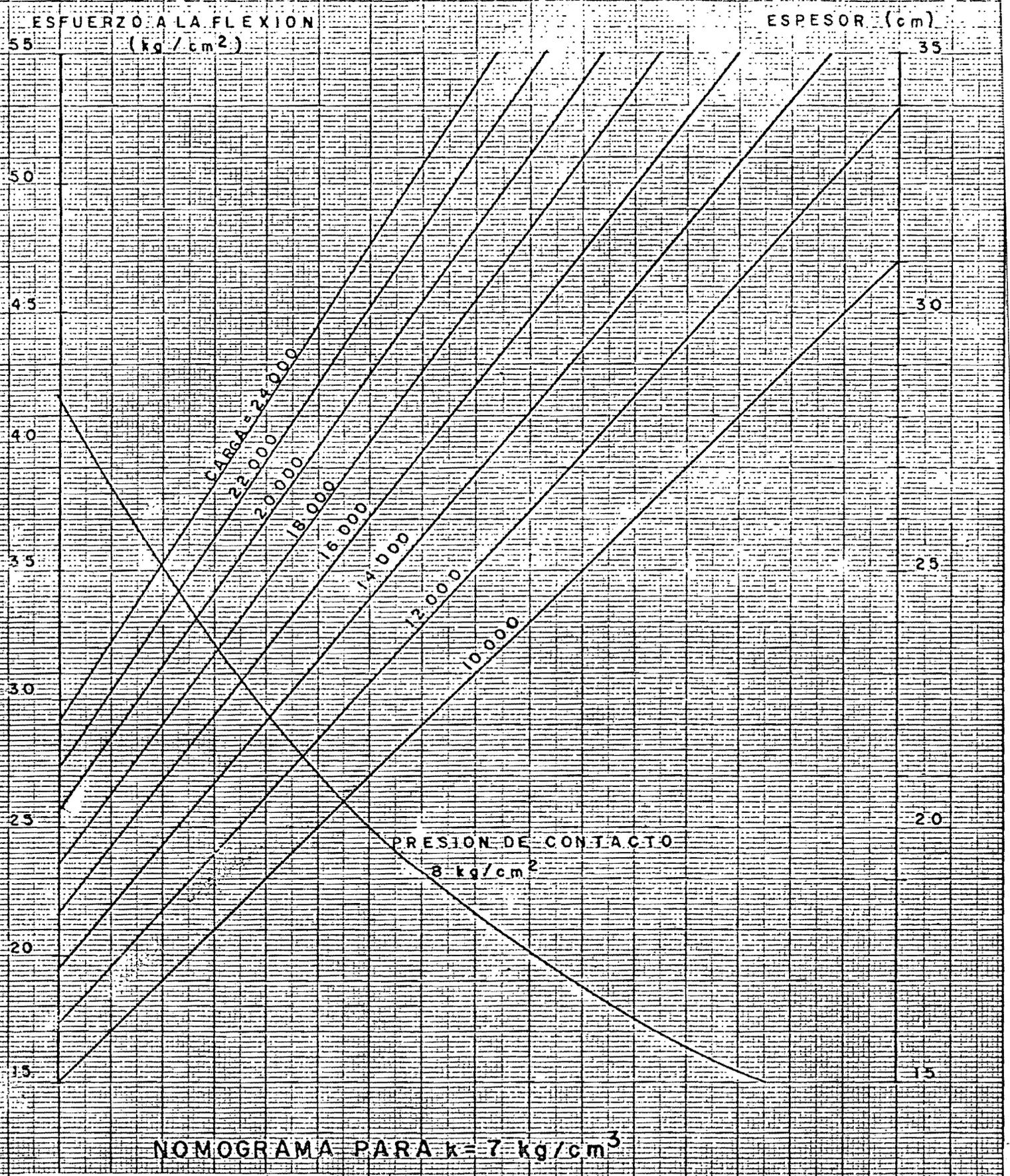


FIGURA 3.5
GRUA VIAJERA

ESFUERZO A LA FLEXION
(kg/cm²)

ESPESOR (cm)

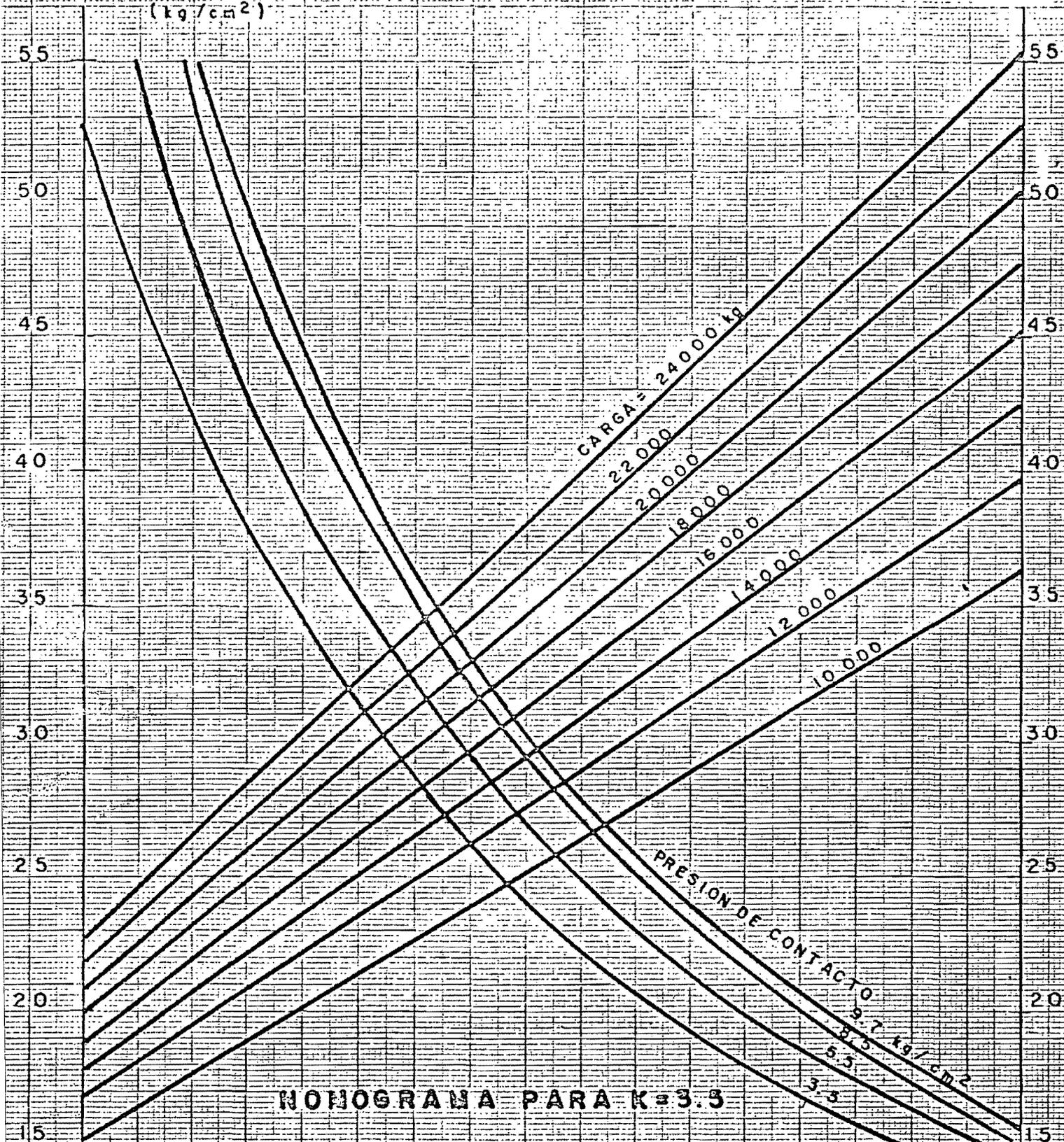
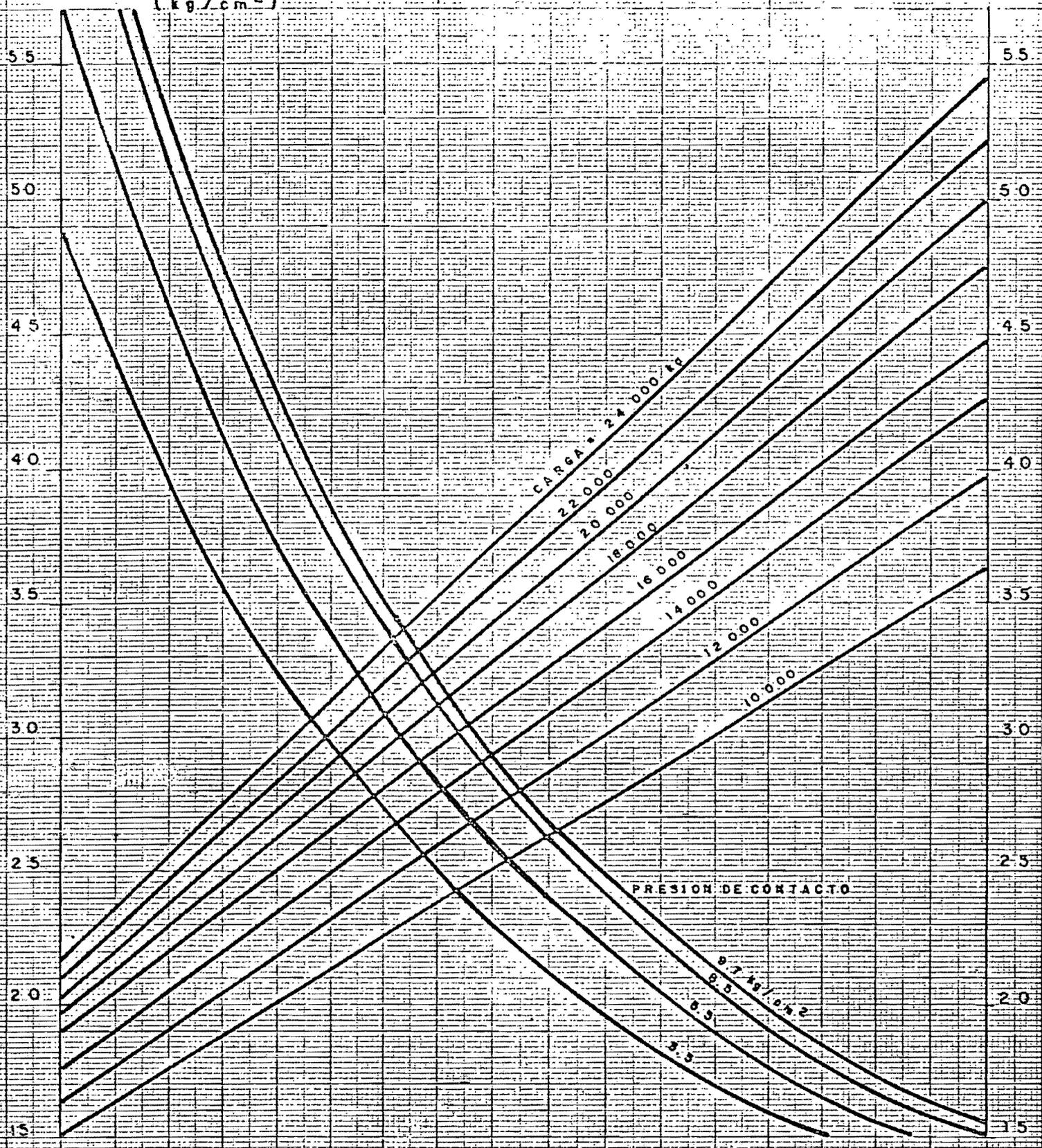


FIGURA 3.6.
MONTACARGAS

ESFUERZO A LA FLEXION
(kg/cm²)

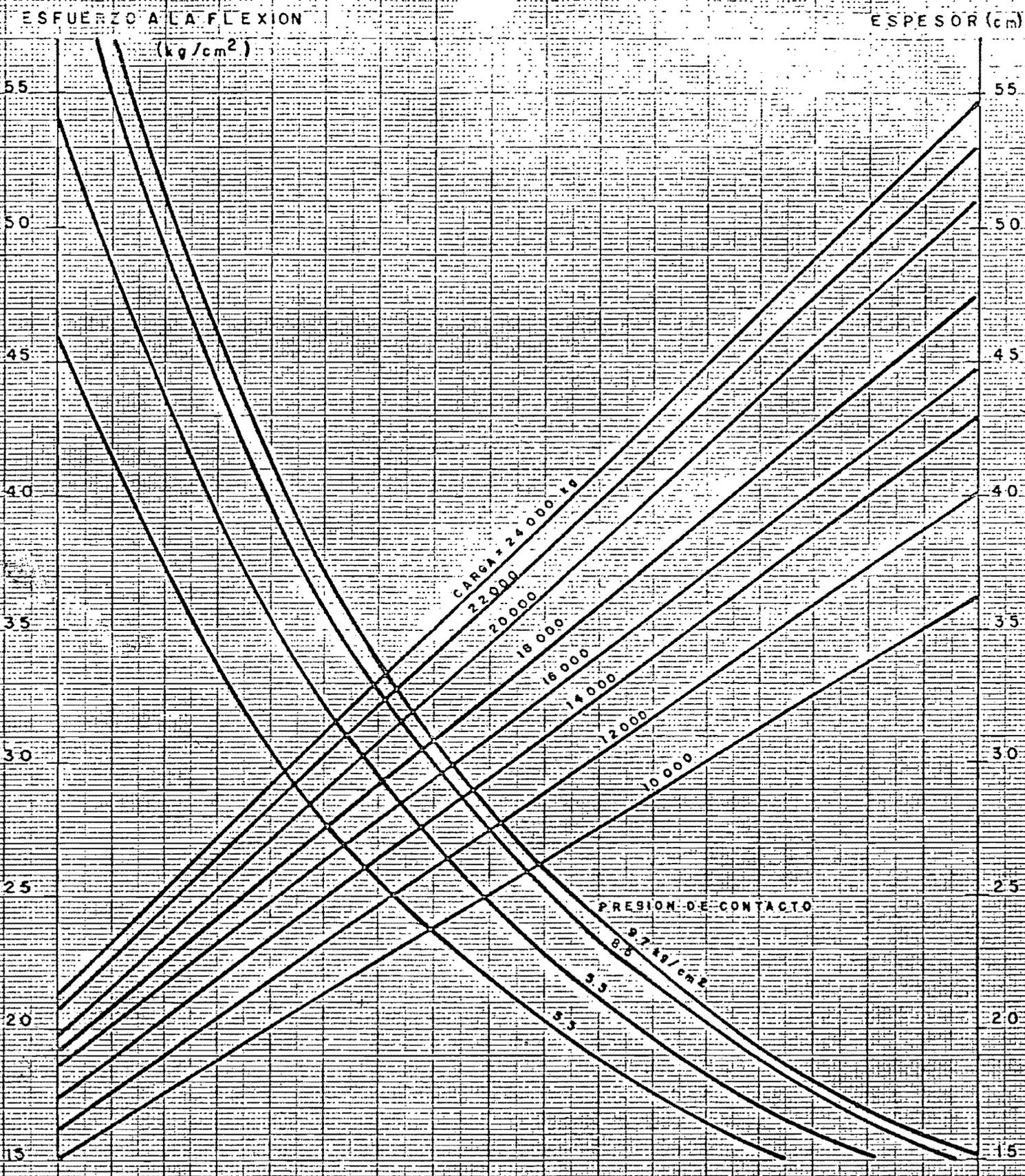
ESPESOR (cm)



NOMOGRAMA PARA $k = 5 \text{ kg/cm}^3$

CARGA EN LA ESQUINA DE LA LOSA.

FIGURA 3.7
MONTACARGAS



NOMOGRAMA PARA $k = 7 \text{ kg/cm}^2$

FIGURA 3-8
MONTACARGAS

CARGA EN LA ESQUINA DE LA LOSA.

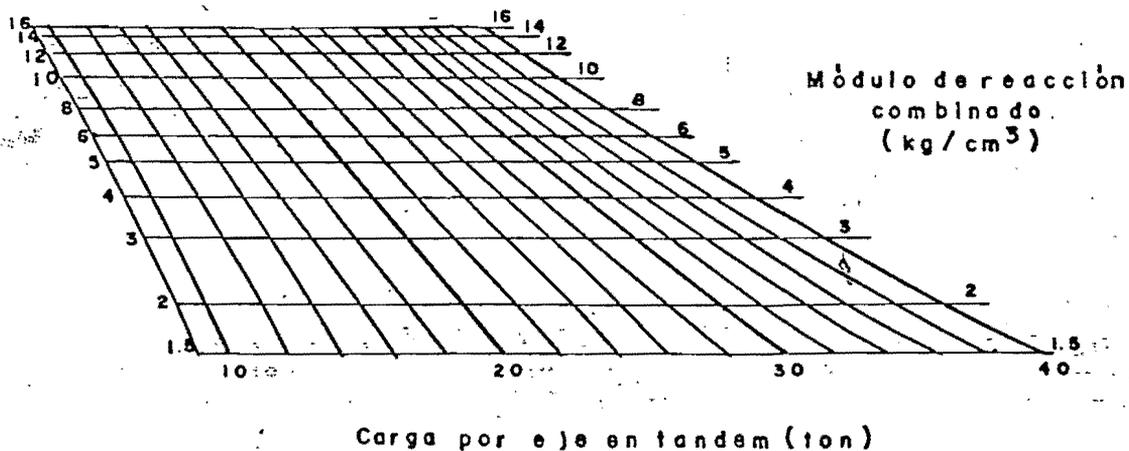
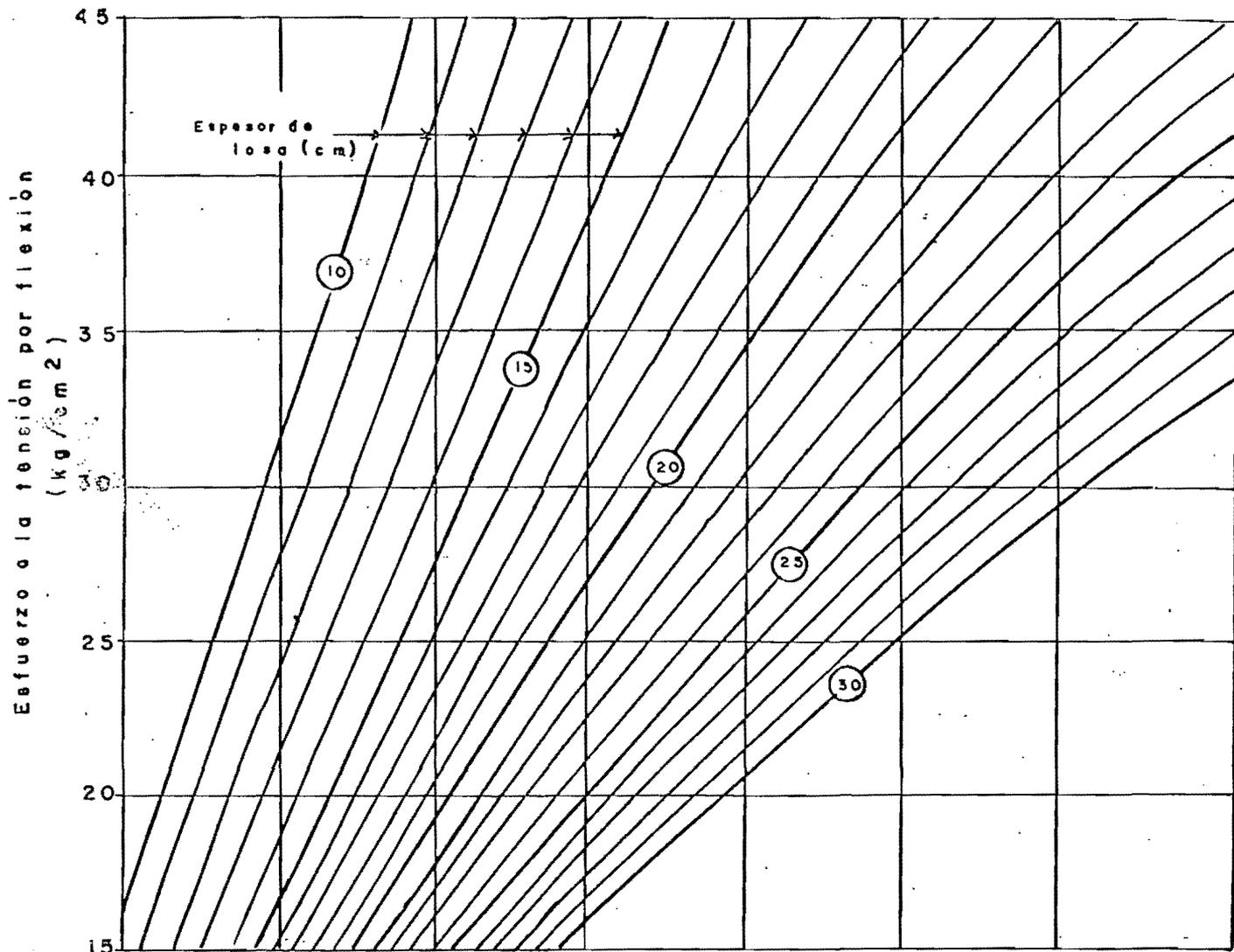


FIGURA 3.9. TRACTOCAMION T3-S2

Diseño de pavimentos de concreto para cargas de eje en tandem.

CAPITULO 4. DISPOSICION DE JUNTAS Y ACERO DE REFUERZO

En el presente trabajo se consideran tres tipos de diseño de pavimentos :

- 1.- Pavimentos continuos de concreto reforzado.
- 2.- Pavimentos con juntas longitudinales y transversales de concreto simple.
- 3.- Pavimentos con juntas longitudinales y transversales de concreto reforzado.

1.- Pavimentos continuos de concreto reforzado.

Un pavimento continuo es aquel que carece de juntas transversales, excepto en las intersecciones o uniones con pavimentos existentes o también estructuras.

Debido al peso relativo del acero continuo de refuerzo en la dirección longitudinal, el pavimento desarrolla grietas transversales a intervalos cercanos, aproximadamente entre 0.90 y 2.00 m.

El diseño de estos pavimentos debe considerar un espesor adecuado para las cargas actuantes y proporcionar suficiente refuerzo longitudinal de acero para que las grietas transversales sean lo más cerradas posible y a una separación deseable.

Espesor del pavimento.

Podría pensarse en una reducción de espesores de un pavimento con refuerzo continuo comparado con un pavimento con juntas, debido a una mejor transmisión de cargas en las juntas transversales. Sin embargo, se considera que cualquier reducción significativa del espesor del pavimento puede resultar perjudicial debido a la reducción de la transmisión de carga en las juntas longitudinales. Además, el incremento de deflexiones en un pavimento más delgado puede provocar excesivas grietas, especialmente para pavimentos que soportan cargas múltiples y pesadas. Es por ello que no se recomienda una reducción de espesores para pavimentos con refuerzo continuo. Dichos espesores serán determinados por los métodos descritos en el Capítulo 3.

Acero longitudinal.

Cantidad de acero.

La cantidad de acero requerida para controlar cambios volumétricos depende primordialmente del espesor de la losa, del esfuerzo a la tensión del concreto y al esfuerzo de fluencia del acero. Otros factores que influyen en la cantidad de acero son

la contracción debida al descenso de la temperatura, la contracción debida al secado y el módulo de elasticidad del concreto y del acero. El factor a controlar es el espesor de la grieta, cuando el acero es insuficiente, las grietas llegan a ser muy amplias, permitiendo la intrusión de sólidos y agua. No se ha establecido un criterio firme para determinar el espaciamiento entre juntas, pero una práctica recomendable consiste en espaciarlas entre 0.90 y 2.00 m. Varias ecuaciones teóricas han sido desarrolladas para calcular la cantidad de acero requerida; pero en general, dicha cantidad está basada en datos empíricos obtenidos de pavimentos experimentales y pavimentos en servicio.

Una práctica usual para calcular la cantidad de acero requerida es considerar el 0.6 % del área transversal del pavimento y un esfuerzo de fluencia mínimo del acero de 4,200 kg/cm². En climas severos, donde el congelamiento y descongelamiento ocurren con frecuencia, o donde el tráfico pesado prevalece, el porcentaje de acero debe aumentarse al 0.7 ó 0.8 %.

La cantidad de acero nunca deberá ser menor que la indicada por la siguiente fórmula:

$$P_s = [f_t / (f_s - n f_t)] \times 100$$

Donde:

P_s = Porcentaje de acero (Área transversal total de acero dividida entre el área transversal de concreto en porcentaje)

f_t = Esfuerzo a la tensión del concreto, se considera igual a 0.4 veces el módulo de ruptura.

f_s = Esfuerzo de trabajo del acero (0.75 x Esfuerzo de fluencia)

n = E_s / E_c (Relación de módulos de elasticidad del acero y del concreto).

En general:

$$E_c = 2.8 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_s = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = 7.5$$

Una vez establecido el porcentaje requerido de acero longitudinal, el área de acero puede ser calculada por la fórmula :

$$A_s = (b h p_s) / 100$$

Donde :

A_s = Área transversal total de acero longitudinal.

b = Ancho de la losa, en cm.

h = Espesor de la losa, en cm

p_s = Porcentaje especificado de acero longitudinal.

Calibre y espaciamiento

El calibre y el espaciamiento de los miembros longitudinales de acero están interrelacionados y dependen de un número de factores . El mínimo calibre debe permitir suficiente espacio entre las varillas para una fácil colocación del concreto. El espacio libre entre varillas debe ser por lo menos dos veces el tamaño máximo del agregado utilizado, pero en ningún caso menor que 10 cm. El calibre máximo está gobernado por el porcentaje de acero, el espaciamiento máximo permitido, el esfuerzo máximo y las consideraciones de transmisión de carga. Para una buena transmisión de carga y de esfuerzos, el espaciamiento no deberá exceder de 23 cm (9").

La relación de calibre y espaciamiento es la siguiente :

$$S_w = \frac{A_b}{h p_s} \times 100$$

Donde :

S_w = Espaciamiento centro a centro, en cm.

A_b = Área transversal de una varilla en cm^2

h = Espesor de la losa, en cm.

p_s = Porcentaje de acero.

Posición.

Como la función primaria del refuerzo en pavimentos con refuerzo continuo es mantener las grietas transversales lo más cerradas posible. La profundidad de colocación en la losa no es extremadamente crítica. En la práctica, varía un poco.

Algunos pavimentos han sido construidos con el acero longitudinal a una profundidad que varía de 2 1/2 " a la mitad del espesor de la losa.

Colocando el refuerzo en la mitad del espesor de la losa, se obtienen esfuerzos menores en el acero al nivel de las grietas debidos a cargas y descensos en la temperatura, que colocándolo en otras posiciones.

Otro criterio es colocar el acero por encima de la mitad del espesor de la losa, porque esto reduce el grosor de la grieta en la superficie. El acero, por supuesto, deberá tener suficiente recubrimiento para prevenir el desarrollo de grietas y minimizar la corrosión del mismo.

Para facilitar la colocación del acero durante la construcción y para mantener la superficie con el mínimo de grietas abiertas, se recomienda como máxima profundidad de colocación del acero, la mitad del espesor de la losa; la mínima profundidad será 1/3 del espesor, pero con un recubrimiento no menor de 2 1/2 ".

Aceros Transversales.

Una cantidad relativamente pequeña de acero transversal es comúnmente usada en pavimentos continuos para mantener el espaciado requerido de las varillas longitudinales, las cuales irán amarradas o bien soldadas a dichas varillas transversales.

En caso de colocar el acero previamente al colado, el acero transversal ayuda a soportar el acero longitudinal desde la sub-base. Una función adicional es proporcionar una cantidad suficiente de acero para mantener las grietas longitudinales más cerradas, y se calcula mediante la siguiente fórmula :

$$A = \frac{b C_f w h}{100 f_s}$$

Donde :

A = Area de acero por metro de longitud de losa, en cm²

b = La mitad del ancho de la losa en m., si no está unida a una losa adyacente. Si varias losas están unidas (intersecciones, etc.) la cantidad de acero transversal para una losa determinada es calculada usando b como la distancia entre el punto más alejado en una recta hacia la junta longitudinal más cercana o extremo libre.

C_f = Coeficiente de resistencia al deslizamiento de la losa y la sub-base (o subrasante en su caso).

W = Peso del concreto, en kg/m^3 (generalmente se considera como $2\,400\ \text{kg/m}^3$).

h = Espesor de la losa, en cm.

f_s = Esfuerzo de trabajo del acero (considerado como el 75 % del esfuerzo de fluencia).

El máximo espaciamiento cuando se utilizan alambres de acero será de 40 cm. Con varillas deformables, la separación mínima será de 90 cm y la separación máxima será de 150 cm.

El diámetro mínimo permisible de alambre transversal deformable deberá ser el del No. W4 (5.72 mm) y el diámetro mínimo de varilla transversal deformable será del No. 3 (3/8").

Juntas transversales.

Algunos aspectos en el diseño de juntas transversales para pavimentos continuos de concreto reforzado deben ser discutidos para su mejor funcionamiento. Los dos tipos de juntas transversales en pavimentos continuos son:

- 1.- Juntas de construcción, colocadas al terminar una jornada de trabajo, o cuando las operaciones de pavimentación son detenidas temporariamente.
- 2.- Juntas de expansión, localizadas en intersecciones con otros pavimentos y en uniones con otras estructuras.

Las juntas de construcción, debido a sus caras lisas, no tienen una gran capacidad de transmisión de carga como las de las grietas naturales, donde el agregado ayuda al acero para soportar el esfuerzo cortante, por lo tanto, es necesario reforzar las juntas de construcción. Esto se realiza instalando varillas deformables adicionales del mismo diámetro del refuerzo longitudinal. Dichas varillas adicionales deberán ser por lo menos de 90 cm de longitud e instaladas a un espaciamiento rítmicamente uniforme a través del pavimento en número suficiente para incrementar el área transversal de acero en la junta, por lo menos en una tercera parte.

Las juntas de expansión para pavimentos continuos de concreto reforzado, requeridas sólo en intersecciones o en uniones con otras estructuras, deberán acomodarse a los grandes movimientos durante las estaciones del año. Deberán utilizarse satisfactoriamente dos tipos de juntas de expansión, la de viga de borde

ancho y la del tipo puente. Estas juntas deberán ser diseñadas para movimientos de 2 a 3 pulgadas, dependiendo de las condiciones climatológicas.

Donde los pavimentos intersectan con pilas o columnas construidas dentro de la subrasante, la experiencia ha mostrado que una pulgada de holgura es suficiente para permitir el movimiento libre, lo cual hace menos costosas este tipo de juntas de expansión.

Una forma más económica consiste en instalar las diversas juntas de expansión convencionales.

2.- Pavimentos con juntas transversales y longitudinales de concreto simple.

Notación :

W : Ancho de la junta, cm.

d : Diámetro de la pasajunta, cm.

β : Rigidez relativa de la barra de sujeción y la masa de concreto.

S_D : Presión de apoyo en el concreto bajo la barra de sujeción en la cara de la losa, kg/cm^2 .

A'_s : Area de la sección transversal de una barra de sujeción, cm^2

L_z : Longitud de la onda primaria de presión de apoyo sobre la pasajunta, cm.

L_T : Longitud de la barra de sujeción, cm.

P_D : Carga concentrada que actúa sobre la barra de sujeción al centro de la junta, kg.

Q : Perímetro de la barra de sujeción, cm

x : Distancia sobre la barra de sujeción desde la cara de la losa en la junta, cm.

M_o : Momento flexionante en la barra de sujeción a la cara de la losa, kg-cm ;

$$M_o = P_D W / 2$$

X_m : Distancia desde la cara de la losa al punto de momento máximo en la barra de sujeción, cm.

Definiciones.

a) *Pasajunta* : Barra lisa embebida en un pavimento de concreto para proporcionar resistencia al esfuerzo cortante a través de la junta.

b) *Barra de sujeción* : Barra corrugada embebida en una junta de un pavimento de concreto y diseñada para mantener a tope las losas.

c) *Juntas* :

1.- Juntas de expansión.

La función principal de una junta de expansión es proporcionar el espacio para que tenga lugar la expansión del pavimento y por consiguiente evitar que se originen esfuerzos de compresión que pudieran causar daños en el mismo. Cuando se instala entre el pavimento y una estructura fija, la junta de expansión sirve también para prevenir que el pavimento ejerza presiones que puedan ocasionar daños a la estructura. Las juntas de expansión funcionan también como juntas de contracción.

2.- Juntas de contracción.

El objeto de una junta de contracción es limitar los esfuerzos de tensión a valores permisibles. Como estas juntas deben estar en libertad de abrirse, la continuidad del refuerzo, si existe, se interrumpe en las juntas.

Básicamente existen tres tipos de juntas de contracción a saber: junta de ranura, junta de tiras metálicas y junta a tope.

Junta de ranura. Esta junta se construye formando una ranura en la superficie del pavimento. Los métodos empleados para formar la ranura consisten en :

- Introducir temporalmente una tira metálica en el concreto.

- Instalar una tira de material premoldeado de relleno para juntas, a la profundidad requerida.

- Aserrar el pavimento después de que el concreto haya endurecido.

Además de la ranura en la superficie, algunas veces se coloca en el fondo del pavimento y bajo la ranura una tira de partición de madera, metal o de un material premoldeado, para asegurar la formación de una grieta vertical y promover las primeras grietas del concreto en la junta.

Junta de tiras metálicas. Esta junta se construye colocando una tira separadora o de partición sobre la subrasante. Este separador, que generalmente consiste en una placa metálica o en una hoja delgada de algún material rígido e incompresible, sirve para interrumpir la continuidad del pavimento. Se forma una ranura en el concreto inmediatamente encima del separador, donde se colocará el material de sellado.

Junta a tope. Esta junta se presenta cuando se cuela concreto a continuación de un concreto endurecido.

3.- Juntas de alabeo o de articulación.

El término **articulación** o **junta de alabeo**, se refiere a cualquier junta que permita un cierto giro, sin una separación considerable entre las losas adyacentes. Su función principal es absorber los esfuerzos por alabeo. A diferencia de las juntas de expansión o contracción, se colocan barras de sujeción a través de la junta, para prevenir separaciones considerables en la junta. En efecto, una junta de este tipo actúa simplemente como una articulación, esto es, permite que las losas en su unión puedan sufrir un cierto desplazamiento angular.

Las juntas a tope se convierten en juntas articuladas cuando se colocan barras de sujeción para mantener unidas las losas adyacentes.

4.- Juntas de construcción.

Es la junta requerida en cualquier suspensión prolongada del colado del concreto, como al final de cada día de trabajo, fallas en el equipo, o retraso en la entrega de materiales.

5.- Juntas longitudinales.

Debido a las frecuentes grietas longitudinales que se han presentado en los pavimentos de concreto en carreteras, construidos con losas de ancho total, se ha convertido en una práctica general dividir el pavimento en bandas por medio de juntas longitudinales.

Esta junta puede ser una junta a tope, como resultado de la construcción de una banda, o bien si la construcción del pavimento se hace a todo lo ancho, se forma colocando dentro del concreto una tira de metal o fibra sobre la línea donde se proyecta la junta, de tal forma que origine una trabazón mecánica de las losas extremas; o puede originarse debilitando el pavimento con una ranura profunda, aserrando o embebiendo una tira de material premoldeado. La separación y fallas entre las bandas adyacentes, se evita mediante el uso de barras de sujeción espaciadas convenientemente.

d) Dispositivos mecánicos para transmisión de cargas.

Debe proporcionarse algún dispositivo para transmisión de cargas, aunque los bordes y esquinas de las losas se diseñan para resistir la carga sin sobreesforzar el concreto. Las cargas que pasan sobre una junta sin dispositivo para transmisión de cargas, pueden causar deflexiones excesivas, que producen daños permanentes en la subrasante. Esto, a su vez, puede traer consigo desplazamientos verticales excesivos

en los extremos de la losa y eventualmente fallas en las juntas, aún cuando los esfuerzos en el concreto no sean considerables.

1.- Los dispositivos mecánicos para transmisión de cargas, pueden dividirse en dos tipos principales :

1.1 Aquellos que tienen resistencia al cortante, pero poca o ninguna resistencia a la flexión. Se incluyen los tipos de superficie unida, tales como placas corrugadas y algunos que propiamente hacen el dispositivo de transmisión de cargas.

1.2 Aquellos que tienen resistencia al cortante y a la flexión, de los cuales el de pasajuntas es el más común. La mayoría de los dispositivos para transmisión de cargas emplean este principio en su diseño.

2.- El dispositivo mecánico para transmisión de cargas debe tener las siguientes características:

2.1 El diseño deberá ser simple, de manera que sea práctica su instalación y encaje perfectamente en el concreto.

2.2 Deberá ser capaz de distribuir los esfuerzos, debidos a las cargas, al concreto adyacente, de manera que estos esfuerzos no excedan el valor permisible en el diseño. Para esto, es muy importante prevenir los altos esfuerzos en el concreto en la superficie de la junta.

2.3 No deberán presentar resistencia a la abertura de las juntas en cualquier tiempo.

2.4 Deberán conservar su estabilidad mecánica bajo la acción y frecuencia de las cargas de ruedas, comparables a las consideradas para el diseño del pavimento mismo.

2.5 Deberán construirse de tal manera que cumplan con los requisitos de comportamiento especificados, relativos a su capacidad para transmisión de cargas.

2.6 Deberán ser resistentes a la corrosión.

3.- La pasajunta de varillas de acero convencional redondo, es el tipo de dispositivo más empleado para transmisión de cargas. Para cualquier carga y condición de pavimento dados, se recomienda que cualquier otro tipo de dispositivo para transmisión de cargas que se use, sea equivalente en capacidad a las pasajuntas.

e) Trabazón de agregados.

El empleo de la trabazón de agregados, para la transmisión de cargas a través de las juntas y mantener el mutuo alineamiento de las losas colindantes está asociado generalmente con la construcción de pavimentos no reforzados y con el uso de juntas de contracción de ranura falsa o aserradas. Para que la trabazón de agregados sea

efectiva, la abertura máxima de las juntas no deberá exceder de 0.5 mm, excepto en los casos en que el pavimento tenga una cimentación excepcionalmente resistente. Pero aún con estas precauciones, la experiencia indica que la trabazón de agregados no es satisfactoria bajo la acción de un gran volumen de tránsito pesado.

Diseño de las juntas.

a) Juntas de expansión.

El ancho del espacio para extensión por junta y el espacio total necesario dependen de los detalles de diseño de los agregados empleados y del clima del lugar. Para propósitos prácticos, el ancho máximo se limita a 25 mm. El ancho usual de aberturas es de 19 mm. Para proporcionar más de 25 mm para expansión en condiciones especiales, tales como puentes y cruceros de ferrocarriles, donde es deseable limitar los esfuerzos de compresión dentro de valores permisibles, se recomienda que se instalen dos o tres juntas de expansión de ancho estándar a intervalos de 6 m. Esto se aplica únicamente cuando las juntas de expansión se omiten en otra parte del pavimento.

Es necesario colocar dispositivos para transmisión de cargas en las juntas de expansión.

En las juntas de expansión, los extremos libres de las pasajuntas deberán penetrar en un casquillo metálico adecuado que permita el movimiento de la pasajunta dentro del concreto durante un ciclo de expansión. La holgura del casquillo deberá ser equivalente al ancho de la junta de expansión más 6 mm.

Los detalles recomendados para el diseño de juntas de expansión se muestran en la figura 4.1.

b) Juntas de contracción.

Los detalles recomendados para las juntas de contracción se explican en los párrafos siguientes y se ilustran en la figura 4.2.

1.- Juntas de ranura.

Este tipo de junta de contracción es el más empleado que cualquier otro. La profundidad de la ranura superficial no será menor de $1/6$ ni mayor de $1/4$ del espesor del pavimento. La profundidad de la ranura puede disminuirse a 4 cm si se forma otra ranura en el fondo del pavimento, mediante la colocación de una tira de partición de altura adecuada sobre la subrasante y en el mismo plano vertical de la ranura superficial. La profundidad de la ranura más la altura de la tira de partición no deberá exceder de $1/3$ del espesor del pavimento. La anchura de la ranura deberá ser por lo menos dos veces la variación anual esperada en el ancho de la junta, pero no

menor de 3 mm. Esto es necesario para facilitar el sellado de la junta y para asegurar que la junta permanezca en esa condición.

Se recomiendan dispositivos mecánicos para la transmisión de cargas bajo todas las condiciones donde el espaciamento entre juntas exceda 6 m, y aún a menor espaciamento donde las condiciones de servicio sean severas.

2.- Juntas de tira metálica.

Para formar esta junta se coloca en el lugar una tira delgada transversal de material no compresible. A la tira se le colocará un casquete temporalmente, de manera que cuando este se retire, se forme una ranura adecuada para contener el material de sellado de la junta. Se recomiendan dispositivos para transmisión de carga bajo cualquier condición de espaciamento de juntas.

3.- Juntas de tira corrugada.

Recientemente se han empleado tiras metálicas con corrugaciones horizontales, con el doble objeto de formar la junta y proporcionar una trabazón mecánica. Las características de diseño de este tipo de juntas son tales que no deberán usarse cuando la longitud de las losas exceda de 6 m.

4.- Junta a tope.

Esta es básicamente una junta de construcción, y deberá considerarse de la misma forma que los otros tipos de junta de contracción que requieren dispositivos para la transmisión de cargas.

c) Juntas de alabeo o de articulación.

Hay dos tipos de juntas de alabeo : de ranura y machihembrada. Se utilizan generalmente en la construcción de juntas longitudinales. En estas juntas, la separación entre las losas colindantes se evita mediante la adherencia con barras de sujeción de acero, o de conectores de dos piezas. La transmisión de carga se lleva a cabo mediante trabazón de agregados o dispositivos mecánicos y en parte por las barras de sujeción.

1.- Juntas de ranura.

Aunque el método comúnmente usado es preformar la ranura, el procedimiento de corte del pavimento con una sierra se está generalizando y de preferencia es el método que se recomienda.

2.- Juntas ensambladas.

El elemento principal de esta junta es el machiembrado, el cual permite la transmisión de cargas, y las barras de sujeción mantienen las losas de bandas adyacentes a tope. El machiembrado se puede formar a todo lo ancho del pavimento,

colocando en el sitio requerido una tira metálica premoldeada. En la construcción de pavimentos por bandas, se recomienda que la ranura deseada en el borde de la losa se forme usando liras de metal corrugado o de madera fijadas a la cimbra.

Los bordes superiores de la junta a tope deberán terminarse con una ranura de tal forma que se logre un sello efectivo de la misma.

3.- Los detalles de diseño recomendados para las juntas articuladas se ilustran en la figura 4.3.

d) Barras de sujeción.

1.- El propósito de las barras de sujeción es mantener las caras de las losas colindantes en contacto íntimo, asegurando así una transmisión de cargas adecuada. Sin embargo no se diseñan para actuar como dispositivos de transmisión de cargas.

Las barras de sujeción se diseñan para resistir las fuerzas de tensión máximas que se requieren para vencer la fricción entre el pavimento y la subrasante, desde la junta en cuestión hasta el borde libre más próximo.

2.- Recomendaciones de tamaños y longitudes de barras de sujeción para diferentes condiciones de pavimentos se presentan en la Tabla 4.1.

3.- La práctica usual del doblado de las barras de sujeción que después se desdoblan, como en la construcción por bandas, con frecuencia da como resultado que dichas barras se rompan, queden mal colocadas o se tuerzan. Para evitar estas dificultades se recomienda que tales barras de sujeción se fabriquen de acero grado estructural, acero de eje, o de acero de lingote de hogar abierto de horno eléctrico, o que se emplee un conector de dos piezas de algún tipo aprobado. La resistencia a la tensión de tales conectores deberá ser por lo menos la correspondiente a las barras de sujeción requeridas para un diseño dado de pavimento.

e) Dispositivos para transmisión de carga.

1.- En la Tabla 4.1 se presentan los requerimientos mínimos recomendados para pasajuntas en pavimentos de diferentes espesores.

2.- Las recomendaciones para transmisión de cargas en juntas están basadas en el tipo comúnmente usado de dispositivos para transmisión de cargas, o sea, varillas lisas redondas de acero. Si se utiliza algún otro dispositivo adecuado en lugar de la varilla de acero, deberá tener una capacidad de transmisión de carga igual o mayor a la de la pasajunta recomendada.

3.- Pavimentos con juntas longitudinales y transversales de concreto reforzado.

El acero en pavimentos con juntas de concreto reforzado puede actuar en dos formas :

1.- Como acero distribuido en forma de mallas electrosoldadas o varillas distribuidas en el concreto.

2.- En forma de barras deformables y pasajuntas lisas a través de ciertas juntas.

Cuando el pavimento tiene juntas para formar losas que controlarán grietas intermedias, el acero distribuido no es necesario.

Cuando las juntas son colocadas para formar largos paneles y algunas grietas intermedias son esperadas, el acero distribuido es utilizado en este caso. Las pasajuntas son utilizadas en todas las juntas transversales para proporcionar una adecuada transmisión de cargas, especialmente cuando existen grandes aberturas en las juntas.

Acero Distribuido.

La función del acero distribuido en pavimentos con juntas es mantener a tope las caras fracturadas de las losas cuando se forman grietas. La cantidad de acero usada puede variar de 0.05 a 0.30 % del área de la sección transversal de la losa, dependiendo del espaciamiento entre juntas, del espesor de la losa y de otros factores.

La capacidad estructural a través de las grietas es proporcionada por la trabazón de las caras rugosas de las losas, además de que la infiltración de material extraño es minimizada.

El acero distribuido no incrementa significativamente la capacidad de esfuerzo flexionante cuando es utilizado en cantidades que están dentro de un rango económico, por lo que el espesor del pavimento reforzado es el mismo para un pavimento sin refuerzo.

La experiencia indica que un pavimento reforzado permanecerá en condiciones de servicio por algún tiempo después de la aparición de grietas. Pero una reducción en el espesor puede provocar un incremento en las deflexiones y, por lo mismo, excesivas grietas bajo grandes volúmenes de tráfico pesado. Recientes estudios indican que las losas sin refuerzo con separaciones cortas entre juntas son ligeramente menos funcionales que las losas reforzadas con separaciones mayores entre juntas.

Debido a que el acero es usado para mantener a tope las grietas, debe ser lo suficientemente fuerte para mantener dos losas juntas durante las contracciones del concreto.

Los factores que deben ser considerados en el diseño del acero distribuido incluyen el peso de la losa de concreto, el coeficiente de rozamiento de la subrasante y el esfuerzo permisible a la tensión del acero utilizado. La cantidad de acero por metro de ancho de la losa se calcula mediante la siguiente ecuación :

$$A = \frac{L C_f w h}{200 f_s}$$

Donde :

A = Area de acero requerida por metro de ancho de la losa, en cm^2 .

L = Distancia entre juntas libres, en m.

C_f = Coeficiente de resistencia al deslizamiento entre la losa y la subrasante.

w = Peso del concreto en kg/m^3 (Generalmente considerado como $w = 2400 \text{ kg/m}^3$).

h = Espesor de la losa, en cm.

f_s = Esfuerzo de trabajo del acero, en kg/cm^2 .

Cuando esta ecuación es usada para calcular el acero longitudinal, L será la distancia entre juntas transversales. Para el acero transversal, L es la distancia entre las juntas longitudinales libres más cercanas o extremos del pavimento. Un valor de $C_f = 1.5$ es comúnmente usado para diseño.

Cuando el espaciamiento entre juntas longitudinales libres es suficiente para controlar grietas intermedias, la cantidad de acero transversal podrá ser menor a la de la ecuación anterior, incluso podrá ser únicamente la cantidad necesaria para espaciar el acero longitudinal.

Colocación del acero distribuido.

Debido a que el acero distribuido no trabaja a flexión su posición dentro de la losa no es crítica, sólo debe estar protegido para evitar la corrosión con una cubierta de concreto de por lo menos 5 cm. El acero puede colocarse a la mitad del espesor de la losa, o ligeramente arriba, a 1/3 del espesor de la losa debajo de la superficie de rodamiento.

Quando se traslapeñ dos piezas de malla electrosoldada o de varillas, el traslape no será menor que 30 veces el diámetro del alambre o varilla en su caso. En ocasiones se recomienda un traslape de 30 cm para ambos casos. El traslape transversal deberá ser por lo menos de 15 cm y no menor que 20 veces el diámetro.

Diseño de pasajuntas.

Las pasajuntas son instaladas a través de las juntas de pavimentos de concreto y actúan para transmitir la carga de una losa a otra, permitiendo a la junta abrirse o cerrarse.

La Tabla 4.2 sugiere el tamaño de las pasajuntas y sus separaciones según el espesor de la losa. Estas deberán instalarse en medio del espesor de la losa.

Diseño de las barras de sujeción.

Las barras de sujeción son usadas para mantener a tope las caras de las losas en las juntas. El área transversal requerida de barra de sujeción por metro de longitud de junta está dada por la siguiente ecuación :

$$A = \frac{b C_f w h}{100 f_s}$$

Donde :

A = Área de acero requerida por metro de longitud de la junta, en cm^2 .

b = Distancia entre las juntas libres o extremos libres, en cm.

C_f = Coeficiente de resistencia al deslizamiento entre la losa y la subrasante (o sub-base). Generalmente, $C_f = 1.5$

w = Peso del concreto, en kg/m^3 . $w = 2\,400 \text{ kg}/\text{m}^3$.

h = Espesor de la losa, en cm.

f_s = Esfuerzo de trabajo del acero, en kg/cm^2 . (Generalmente considerado como $f_s = 2/3 f_y$.)

Las barras de sujeción deben ser suficientemente largas para anclar en cada lado de la junta para desarrollar el esfuerzo permisible de trabajo de las mismas. La longitud de dichas barras será :

$$L_t = \frac{1}{2} \frac{f_s d_b}{25} + 3$$

Donde:

L_t = Longitud de la barra de sujeción, en cm

f_s = Esfuerzo permisible de trabajo del acero, en kg/cm^2

$$f_s = 2/3 f_y$$

d_b = Diámetro de la barra de sujeción, en cm.

TABLA 4.1 ESPACIAMIENTO MAXIMO RECOMENDADO PARA BARRAS DE SUJECION Nos. 4 Y 5

Tipo y grado de acero	Esfuerzo de trabajo (kg/cm ²)	Espesor del pavimento (cm)	Barras No. 4			Barras No. 5				
			Longitud total (cm)	Espaciamiento en cm Ancho de la banda			Longitud total (cm)	Espaciamiento en cm Ancho de la banda		
				3 m	3.30 m	3.60 m		3 m	3.30 m	3.60 m
Acero grado estructural de lingote o de eje	1500	15.0		115	105	95		120	120	120
		17.5		98	90	82		120	120	120
		20.0	50	85	77	70	60	120	120	112
		22.5		75	70	62		120	107	100
		25.0		67	62	57		107	97	90
Acero grado intermedio de lingote o de eje	1900	15.0		120	120	117		120	120	120
		17.5		120	110	100		120	120	120
		20.0	60	105	95	87	68	120	120	120
		22.5		92	85	77		120	120	120
		25.0		85	77	70		120	120	110
Acero de riel o de lingote o de eje, grado duro	2300	15.0		120	120	120		120	120	120
		17.5		120	120	120		120	120	120
		20.0	68	120	117	117	83	120	120	120
		22.5		115	105	95		120	120	120
		25.0		102	92	85		120	120	120

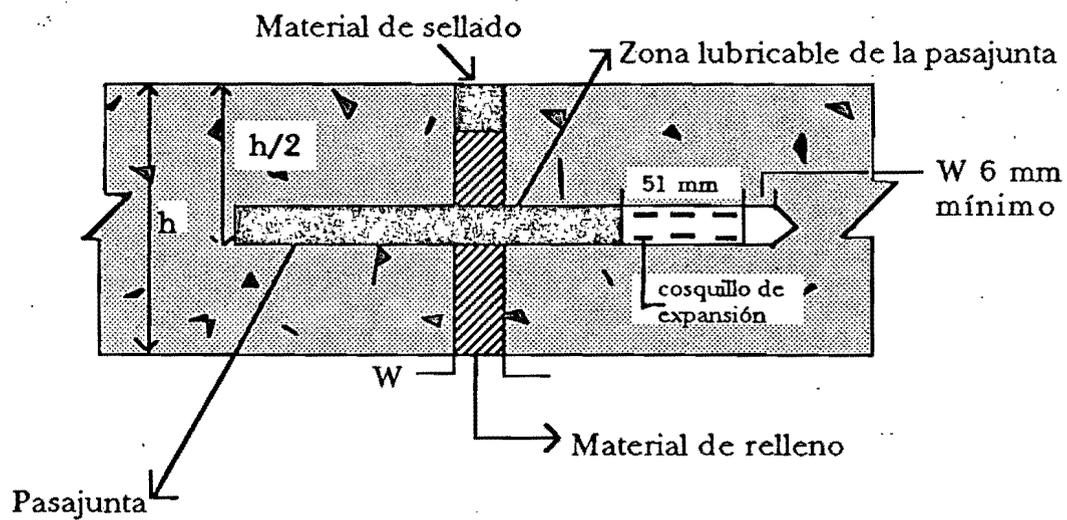


Fig. 4.1 Detalles recomendados de diseño para junta trasversal de expansión.

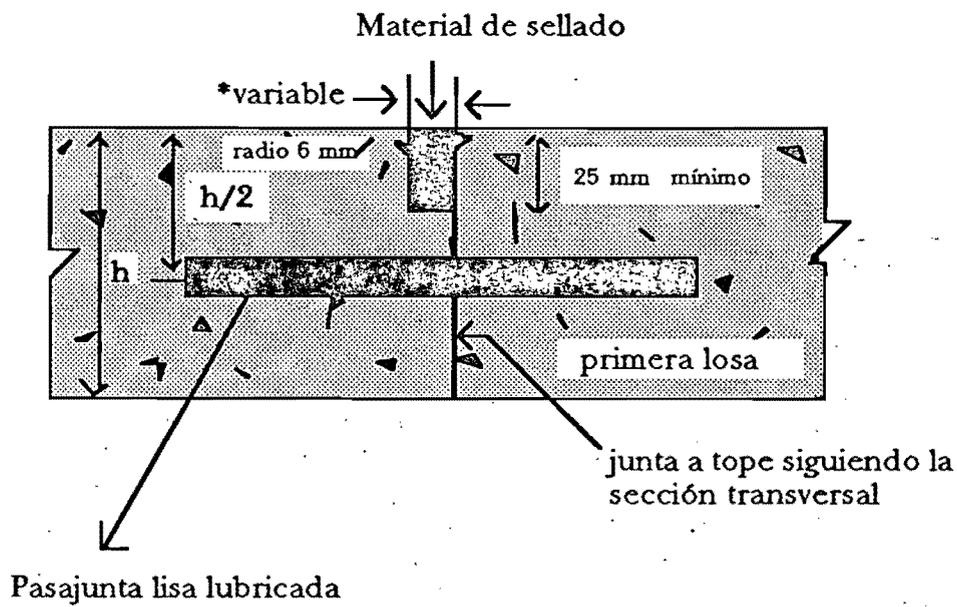
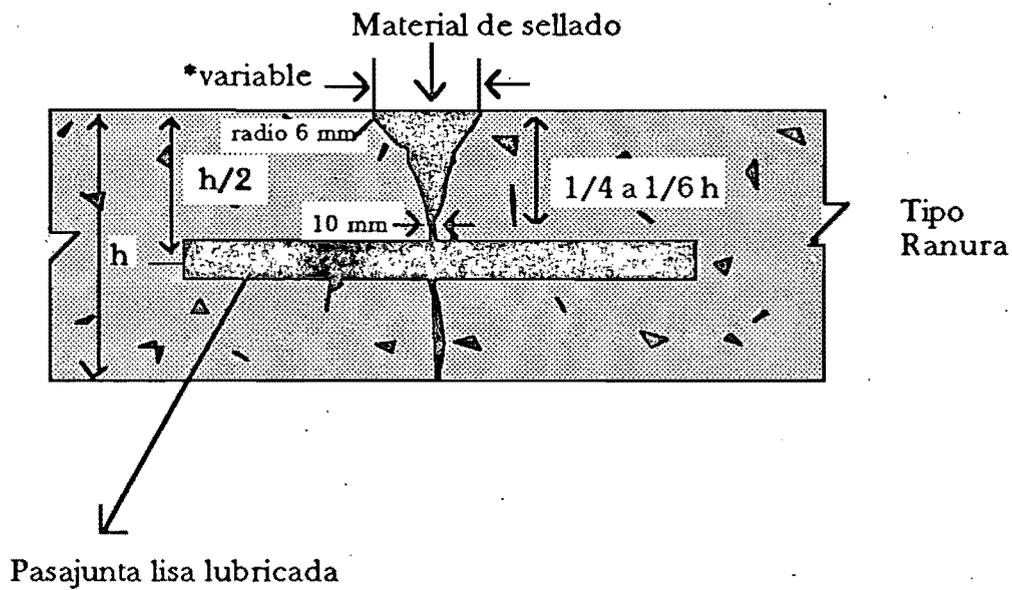


Fig. 4.2 Detalles recomendados de diseño de junta de contracción transversal

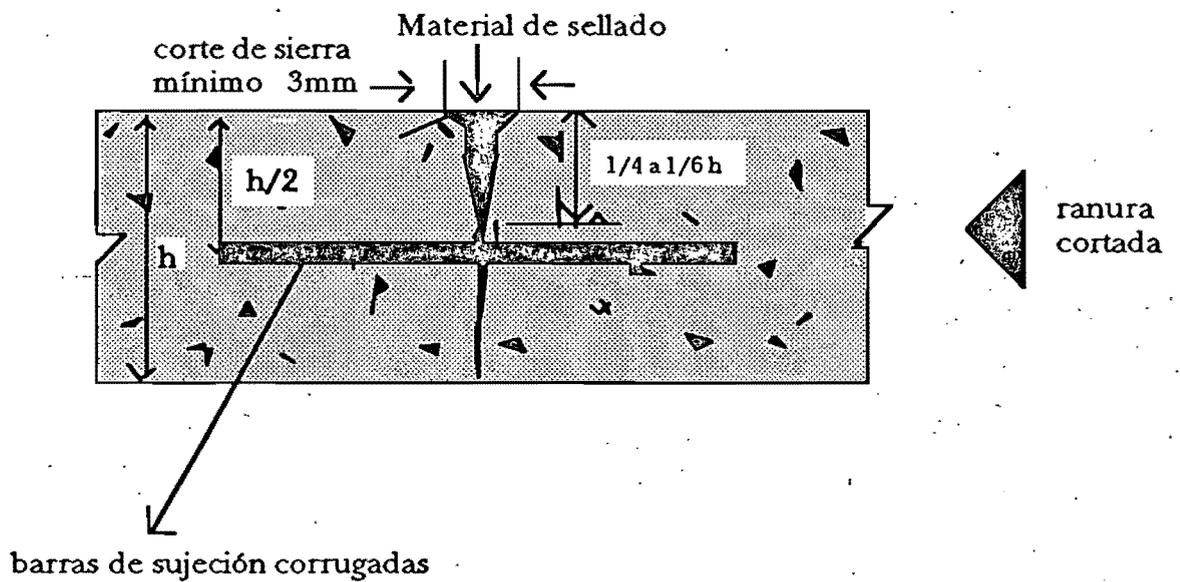
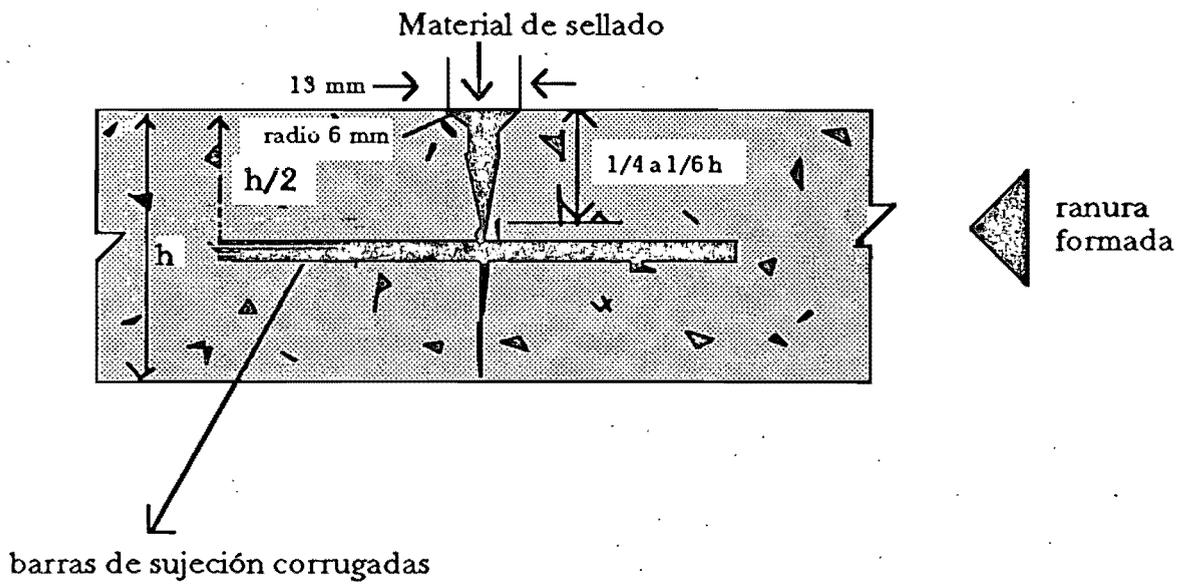
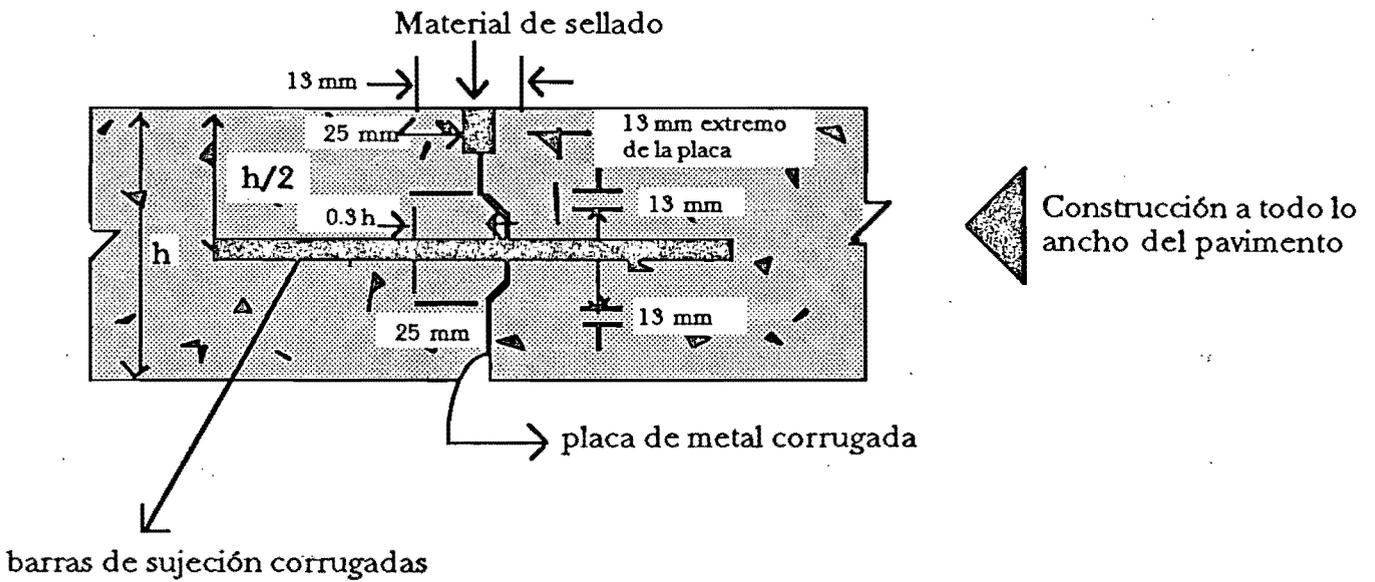
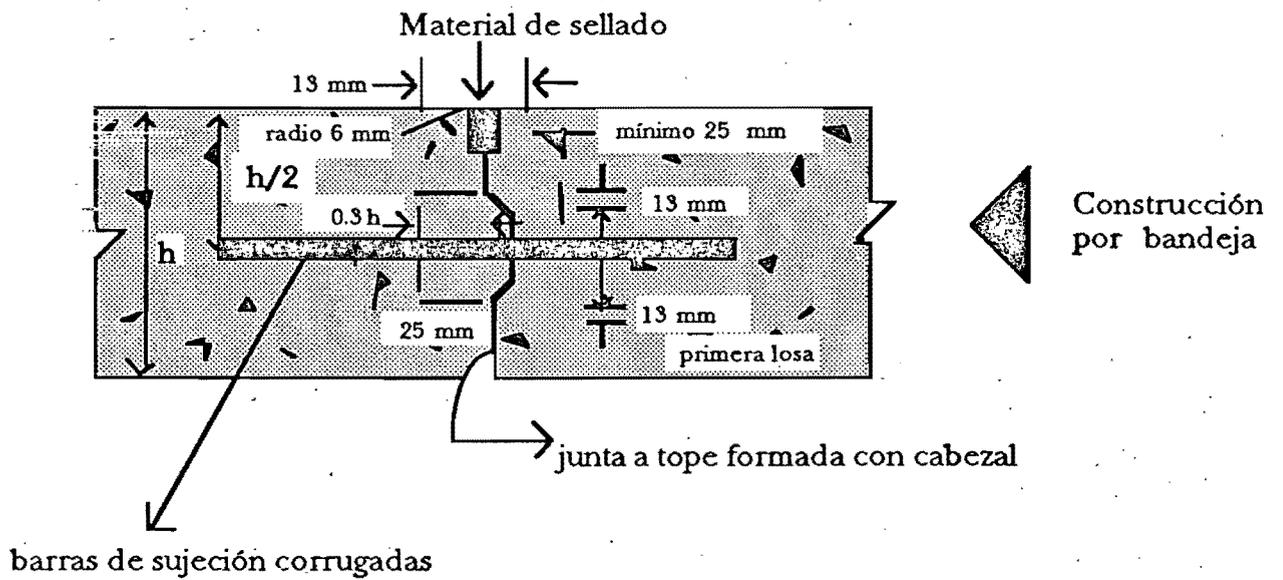


Fig. 4.3 Detalles recomendados de diseño de juntas articuladas longitudinalmente



Junta tipo Machihembra



CAPITULO 5. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS.

Materiales.

1.- Fuentes de abastecimiento.

Los materiales deben provenir solamente de fuentes de abastecimiento aprobadas antes de que se inicie su explotación y se usarán siempre y cuando cumplan con los requisitos de las especificaciones. La base para la aprobación de dichas fuentes de abastecimiento debe ser la capacidad de producir materiales de la calidad y en la cantidad requerida. A menos que las condiciones locales indiquen la necesidad de efectuar alguna modificación, se recomienda que los materiales reúnan las especificaciones que se dan a continuación.

2.- Aditivos.

Pueden usarse aditivos para modificar las propiedades del concreto, con objeto de que éste resulte más adecuado para un determinado propósito. Su empleo para obtener características deseables debe basarse en la apropiada evaluación de sus efectos sobre las combinaciones específicas de los materiales y sobre consideraciones económicas. Ciertos aditivos pueden mejorar la trabajabilidad del concreto y facilitar su colocación. Otros pueden acelerar el fraguado, permitiendo efectuar más pronto las operaciones de acabado, remoción de cimbras y apertura al tránsito, así como reducir el tiempo de protección contra la congelación durante la época de frío. Otros aditivos pueden retardar el fraguado del concreto, cuando es indeseable un rápido endurecimiento. Muchos aditivos retardantes aceleran el incremento de resistencia tan pronto como se alcanza el fraguado inicial del concreto.

3.- Agregados,

El agregado grueso debe surtirse por lo menos en dos tamaños distintos, con separación por la malla de 19 mm, cuando se especifique material combinado con graduación entre las mallas No. 4 y la de 38.1 mm de tamaño máximo nominal o de 50.8 mm de tamaño máximo, y con separación por la malla de 25.4 mm. Cuando se especifique material combinado con graduación entre las mallas No. 4 y la de 50.8 mm de tamaño máximo nominal o de 63.5 mm de tamaño máximo. Cuando el tamaño máximo nominal del agregado sea de 25.4 mm o menor, no es necesaria esta separación. Con el uso de equipo especial de manejo, puede utilizarse un sólo agregado grueso con tamaño máximo nominal de 38.1 mm, sin que se presente una segregación importante.

Los agregados deben ser manejados y almacenados de tal manera que se reduzcan al mínimo la segregación, degradación, contaminación o el mezclado de diferentes clases o tamaños. Si se hace necesaria la operación del equipo de acarreo sobre un almacenamiento, todas las rampas y pasos por el mismo deben protegerse con esteras o entablados apropiados o usarse sólo vehículos con llantas de hule, para minimizar la degradación. Cualquier material extraído de un almacenamiento que esté segregado, degradado o contaminado hasta el punto de que ya no cumpla con las especificaciones, antes de usarse debe ser reacondicionado mediante mezclado, cribado o cualquier otro procedimiento aprobado. Cuidados de este tipo deben tenerse durante la extracción de material para evitar la segregación.

Los agregados deben tener una humedad razonable uniforme cuando entren a la mezcladora. El humedecimiento de los agregados secos, antes de la dosificación, les producirá enfriamiento por evaporación, y si esto se efectúa cuidadosamente, puede minimizar las variaciones de humedad y reducir la absorción excesiva del agua de la mezcla.

4.- Cemento.

El tipo o los tipos de cemento que vayan a utilizarse deben ser especificados y habrán de apegarse a los requisitos correspondientes a las especificaciones ASTM. Todos los cementos que se usen en una determinada obra deben provenir de la misma fuente, a menos que las especificaciones permitan lo contrario.

5.- Relleno para juntas de expansión.

El relleno para juntas de expansión será del tipo especificado y deberá ajustarse a las especificaciones siguientes, dependiendo de las condiciones de su uso particular:

Especificaciones para rellenos preformados de juntas de expansión para pavimentos de concreto y construcción estructural (tipos bituminosos, no expulsables y resilientes).

Especificaciones para rellenos preformados de juntas de expansión, de hule espuma y corcho para pavimentos de concreto y construcción estructural.

Especificaciones para rellenos preformados de juntas de expansión para concreto (tipos bituminosos).

6.- Selladores para juntas.

Entre las especificaciones comunes para selladores de juntas, pueden citarse las siguientes:

- Especificaciones para sellado de juntas de concreto, de tipo de aplicación en frío.

Compuesto sellador para juntas de pavimentos de concreto, dos componentes, elastomérico, tipo polímero, de aplicación en frío.

Especificaciones para sellador de juntas de concreto, tipo elástico, vertido en caliente.

Compuesto sellador para pavimentos de concreto, dos componentes, elastomérico, tipo polímero, resistente a combustibles de aviones, aplicado en frío.

Selladores preformados de policloropreno, elastoméricos, para juntas de pavimentos de concreto.

7.- Tiras separadoras de plástico.

El agrietamiento controlado para la formación de juntas longitudinales o de otro tipo puede provocarse por medio de tiras de polietileno de espesor adecuado, instaladas con máquinas en el concreto plástico, hasta la profundidad especificada.

8.- Acero de refuerzo y accesorios.

Los tipos deseados de acero de refuerzo y de accesorios deben ser especificados de acuerdo con las normas siguientes, apropiadas en cada caso :

Refuerzo de malla de varillas de acero. Especificaciones para malla soldada de alambre de acero para refuerzo de concreto o especificaciones para malla soldada de alambre de acero corrugado para refuerzo de concreto.

Mallas. Especificaciones para mallas de barras o varillas de acero para refuerzo de concreto. El tamaño y espaciamiento de los elementos debe mostrarse en los planos del proyecto. Todas las intersecciones de las varillas transversales y longitudinales deben ser amarradas con alambre, sujetadas con grapas o soldadas en el taller del proveedor.

Varillas de refuerzo. Las varillas de refuerzo deben ajustarse a los requisitos de una de las siguientes normas :

Varillas corrugadas y lisas de acero de lingote, para refuerzo de concreto, grado 40 o grado 60.

Varillas corrugadas y lisas de acero de riel, para refuerzo de concreto.

Varillas corrugadas y lisas de acero de eje, para refuerzo de concreto.

Condiciones de la superficie. El acero de refuerzo debe estar libre de polvo, aceite, pintura, grasa u otros materiales orgánicos que puedan tener un efecto perjudicial o reducir la adherencia con el concreto. La presencia de óxido, pequeñas escamas o de una combinación de ambos puede considerarse aceptable siempre y cuando las dimensiones mínimas, el peso y las propiedades físicas de una muestra de prueba, frotada a mano con un cepillo de alambre, no sean menores que los requisitos de especificación ASTM aplicable al caso.

Barras de sujeción. Las barras de sujeción serán varillas corrugadas que satisfagan los requisitos de las especificaciones para varillas de refuerzo, excepto que sólo ~~se~~ usarse varillas de grados de acero que puedan ser enderezadas y dobladas, cuando se indique este procedimiento/Las barras de sujeción pueden tener varias formas, dependiendo del método de colocación : rectas, para encajarlas desde la superficie; dobladas, para formar patas que permitan colocarlas previamente en su correcto nivel; sinuosas, para que desarrollen adherencia cuando se inserten en el borde del concreto fresco formado por la cimbra. Como alternativa pueden utilizarse pasadores o pernos con gancho para juntas, con diámetros no menores de 13 mm, equipados con uniones adecuadas.

Pasajuntas. Las pasajuntas deben ser varillas lisas, redondas que satisfagan los requisitos de las especificaciones para varillas lisas redondas. Las varillas pasajuntas no deben tener rebabas, asperezas o perder su redondez, de manera que se afecte su deslizamiento dentro del concreto. Cuando se usen casquillos metálicos de expansión, éstos deberán cubrir los extremos de las varillas para juntas de expansión en no menos de 50 mm y no más de 75 mm. El casquillo debe estar cerrado por un extremo y debe permitir la expansión adecuada. Debe estar diseñado de tal manera que el extremo cerrado no se rompa durante la construcción. Experimentalmente se han venido usando pasajuntas recubiertas de plástico en lugar de grasa o pintura, a fin de minimizar la corrosión y la adherencia. También se ha experimentado el uso de acero inoxidable, aleaciones de níquel y cobre y recubrimientos con resinas epóxicas.

Silletas. Las silletas usadas para sostener el acero de refuerzo, las pasajuntas a las barras de sujeción sobre la sub-base del material granular debe tener la resistencia adecuada estar diseñadas para resistir desplazamientos o deformaciones antes y durante la colocación del concreto.

Estacas. Las estacas utilizadas para sostener los rellenos de las juntas de expansión deben ser de metal y tener la longitud y rigidez adecuadas para mantener los rellenos en su posición correcta durante la colocación del concreto.

9.- Agua.

El agua que se usa para el mezclado y el curado del concreto debe estar limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceite, sal, ácidos, material vegetal u otras sustancias dañinas al producto terminado. El agua obtenida de fuentes naturales debe ser extraída de manera que se excluya la posibilidad de que contenga lodo, limo, hierba u otros materiales extraños. El agua debe obtenerse de fuentes aprobadas con anterioridad o de fuentes que se aprueben de acuerdo con la especificación : Calidad

del agua para usarse en el concreto. Podría aceptarse el uso de un agua no potable, solamente si la resistencia a los 7 y 28 días de muestras de mortero fabricadas con agua destilada.

Preparación de la capa subrasante o de la sub-base.

1.- Generalidades.

El trabajo preparatorio esencial, previo a la pavimentación, incluye aspectos tales como afinamiento, ajustes pequeños, en caso de requerirse, a la superficie de la capa subrasante o de la sub-base, o a los materiales de la misma, adición de agua y recompactación de materiales sueltos, así como la preparación de la superficie terminada para que se ajuste a la rasante y a la sección transversal que fija el proyecto.

El afinamiento hecho con precisión es importante para el contratista desde el punto de vista de la cantidad necesaria de concreto para terminar el trabajo. Las sub-bases de estabilidad adecuada beneficiarán la tersura del pavimento. Cuando se utilice cimbra deslizante se recomienda que el ancho de la sub-base sea 60 cm mayor a cada lado de los carriles de circulación para acomodar las guías de la cimbra.

2.- Acabado.

Cuando se utilizan cimbres en los trabajos de pavimentación, el acabado de la superficie para nivelación se hace normalmente con equipos que se deslizan sobre las cimbbras una vez que éstas han sido alineadas y niveladas correctamente. Las zonas salientes deben ser rebajadas hasta la elevación adecuada, en tanto que las zonas bajas deben rellenarse y compactarse de acuerdo con los requisitos de compactación especificados para el material que subyacerá a la losa de concreto. Si el equipo se controla con un sistema de guía automático, operando desde una cuerda de alambre tensa, el equipo de acabado puede moverse directamente sobre la superficie sin terminar. El acabado de sub-bases tratadas con cemento debe efectuarse antes del endurecimiento inicial del material, que toma de 4 a 6 horas.

3.- Requisitos y verificación de la subrasante.

Antes de colocar el concreto, la capa de material subyacente debe verificarse para ver si satisface los requisitos de compactación y de sección transversal. Esta puede revisarse pasando sobre la cimbra una plantilla aprobada o por medio de una cuerda, cuando no se requiera el uso de cimbra. A menos de que se especifique papel para subrasante u otro tipo de barrera de vapor, el material subyacente debe ser suficientemente humedecido antes de la colocación del concreto para asegurar que esté húmedo al momento de recibir el concreto. El material subyacente debe estar libre de materias extrañas, sobrantes de la mezcla y desperdicios de toda clase.

4.- Colocación del papel para subrasante o barrera de vapor.

Si se especifica papel para subrasante o recubrimiento de polietileno, estos deben ser colocados sobre la subrasante terminada. Las tiras adyacentes deben quedar traslapadas no menos de 10 cm y los extremos no menos de 30 cm. El papel para subrasante o la cubierta de polietileno deben ser cuidadosamente colocados, a fin de evitar que se perforen o se rompan. Deben también tomarse precauciones para que no sufran daños por la acción del viento.

Cimbras.

1.- Materiales y dimensiones.

Deben utilizarse cimbras capaces de soportar las cargas impuestas por el equipo de construcción. Una prueba para evaluar la capacidad de carga de las cimbras metálicas rectas exige como requisito que no se deformen más de 6 mm cuando se prueben como viga simplemente apoyada con un claro de 3 m y una carga igual al peso de la máquina de acabado de otro equipo de construcción que opere sobre ellas. Los espesores de dos tipos de cimbras de uso general son 6.4 y 8.0 mm. Si las cimbras van a soportar equipo de construcción pesado, deben tener un espesor mínimo de 8.0 mm. Se recomienda que la cimbra tenga un peralte mínimo igual al espesor de la losa de concreto, y un ancho en la base igual a 0.75 del peralte, pero no menor de 20 cm. Las cimbras deben estar provistas de sistemas adecuados de sujeción que les permita permanecer en su sitio una vez colocadas y soportar, sin giros ni asentamientos apreciables a simple vista, el impacto y las vibraciones del equipo de acabado y de compactación del concreto. Los puntales de los patines deben sobresalir un mínimo de 2/3 de la altura de la cimbra. Las cimbras aumentadas con piezas más pequeñas no son recomendables para obras donde el área del pavimento sea mayor de 1 700 m². Si se emplean estas cimbras reconstruidas, el incremento en el peralte no debe ser mayor del 25 % del peralte de la cimbra original. Cuando se revisen las cimbras para verificar su alineamiento, no deben variar más de 3 mm en 3 m del plano real de la parte superior, ni más de 6 mm en 3 m a lo largo de su plano lateral. Las cimbras deben tener dispositivos para sujetar firmemente los extremos a lope de los distintos tramos.

2.- Colocación de las cimbras.

Es indispensable que el terreno bajo las cimbras se compacte y se nivele adecuadamente para que al colocarlas se apoyen uniformemente en toda su longitud y queden en la correcta elevación. Es siempre preferible que la nivelación se dé cortando. El terreno de apoyo que esté abajo del nivel establecido debe rellenarse en

capas de 13 mm o menos, hasta 45 cm de cada lado de la cimbra y compactarse bien, de acuerdo con las especificaciones de la obra. El contratista debe verificar el alineamiento y la nivelación de la cimbra y hacer las correcciones necesarias, inmediatamente antes de la colocación del concreto. Cuando alguna cimbra ha sido movida o después de corregir varias zonas mal apoyadas, debe volver a colocarse bien y revisarse. La colocación de las cimbras debe llevar un espaciamiento suficiente con respecto al frente del concreto, para permitir el avance y la inspección del trabajo. Una vez que las cimbras se han colocado correctamente, la capa subrasante o la sub-base debe compactarse mecánicamente o a mano, en ambos lados de la base de la cimbra. Las cimbras deben fijarse por lo menos con tres estacas por cada tramo de 3 m. Los tramos de cimbra deben estar bien sujetos, libres de todo juego o movimiento en cualquier dirección. No deben desviarse de su correcto alineamiento en más de 6 mm. No deben ocurrir asentamientos o giros excesivos de las cimbras bajo la acción del equipo de acabado. Las cimbras deben estar limpias y engrasadas antes de la colocación del concreto.

3.- Remoción de la cimbra.

La cimbra debe permanecer en su lugar cuando menos 8 horas después de la colocación del concreto. Si la temperatura ambiente es menor de 10⁰ C en cualquier momento dentro de las 8 horas de colocado el concreto, las cimbras deben permanecer en su lugar el tiempo que sea necesario para garantizar que los bordes del pavimento no serán dañados al quitarlas. Inmediatamente después de la remoción de las cimbras debe iniciarse el curado de los bordes expuestos del pavimento de concreto.

4.- Nivelación de la superficie.

Después de que la capa subrasante o la sub-base ha sido colocada y compactada al grado requerido, la superficie sobre la que va a construirse el pavimento debe perfilarse correctamente. Si las operaciones de nivelación afectan la compactación de la capa subrasante o la sub-base, dicha compactación debe corregirse mediante tratamiento adicional, antes de colocar el concreto. La construcción de la capa subrasante o de la sub-base debe llevarse a cabo antes de la colocación del concreto, con un espaciamiento suficiente para que las dos operaciones no interfieran entre sí. En obras importantes la nivelación se realiza generalmente mediante equipo automático controlado con un alambre o cuerda tensados. Si se permite el tránsito eventual sobre la subrasante terminada, debe verificarse y corregirse la nivelación inmediatamente antes de colocar el concreto.

Colocación de juntas y refuerzo.

1.- Generalidades.

Todas las juntas longitudinales y transversales deben ajustarse a los detalles y a la ubicación mostrados en los planos de proyecto.

Los planos y especificaciones deben ser explícitos en cuanto a la localización y el tipo de juntas en los entronques e intersecciones, y en donde el espaciamiento normal sea alterado al finalizar una jornada de trabajo o por la construcción de juntas de emergencia.

Las juntas transversales serán continuas en todo el ancho del pavimento, y sus caras deberán ser normales a la superficie del mismo.

Debe tenerse especial cuidado en evitar la formación de superficies irregulares en las juntas. Si se requiere o se permite el arreglo de los bordes, debe usarse una regla recta de 3 m de largo, para garantizar que el concreto desplazado no tenga salientes fuertes. Los insertos para formar juntas pueden ladearse si se colocan adelante de la plantilla; si se colocan detrás de ella quedan expuestos a formar fuertes prominencias.

Cuando en las juntas se requiera la formación de llaves, éstas deberán hacerse en forma precisa con material suficientemente resistente para garantizar un buen anclaje y un correcto alineamiento. Las llaves también pueden ser formadas en sus dimensiones adecuadas mediante la pavimentadora de cimbra deslizante.

Cuando se requieran o se permitan juntas transversales aserradas y el ancho terminado del pavimento vaya a ser el resultado de varias pasadas de la pavimentadora, estas juntas sólo se podrán permitir en otras pasadas diferentes a la primera si puede demostrarse que con ello se evitará el agrietamiento prematuro.

2.- Juntas de plano debilitado.

Las juntas de ranura falsa o plano debilitado pueden construirse mediante alguno de los métodos que se mencionan adelante, pero con cualquiera de ellos se deben tener precauciones para asegurar que la profundidad de la separación sea la adecuada para evitar la formación de un agrietamiento irregular. Se recomienda como mínimo una profundidad igual a la cuarta parte del espesor de la losa más 6 mm. En todos los casos el sellado debe hacerse antes de permitir el tránsito, incluyendo el del contratista.

Aserrado. El momento para realizar la operación de aserrado es aquél dentro del cual el concreto fresco no se desmorona y aún no se presenta el agrietamiento. Cuando ya ha ocurrido éste, debe omitirse el aserrado. Con cualquier equipo que se use, sierras de diamante, abrasivo húmedo o cuchillas de abrasivo seco, debe tenerse



DEPFI

especial cuidado en demorar suficientemente el aserrado, para evitar una junta despostillada o erosionada. Las juntas longitudinales son menos propensas al agrietamiento, por una demora en el aserrado, que las juntas transversales.

Tiras delgadas de separación. Una tira de polietileno u otro material adecuado, con un espesor no menor de 0.33 mm, puede ser insertada con máquina en el concreto fresco. Debe procurarse que la tira quede vertical. Estos insertos no deben quedar totalmente sumergidos abajo de la superficie del concreto, ya que puede presentarse desmoronamiento. Estas juntas no deben sellarse. Las tiras de polietileno no han evitado en todos los casos el agrietamiento longitudinal.

Tiras de separación de otro tipo. Puede utilizarse otro tipo de tiras de separación que sean total o parcialmente extraídas antes del sellado. Algunas veces se utilizan placas metálicas dobladas, pero no siempre se adaptan a las altas velocidades de operación de las máquinas.

Juntas de construcción. Las juntas longitudinales de construcción machiembradas, es decir, juntas entre carriles contruidos separadamente, pueden ser formadas, bien sea con métodos de cimbra deslizante o con cimbres estándar de acero provistas de machiembrado. Cuando se utilizan sub-bases estabilizadas debe considerarse la eliminación del machiembrado en estas juntas longitudinales. Deben tomarse las providencias necesarias para la instalación de barras de sujeción o pernos con gancho. Se puede requerir la instalación de barras de sujeción o pernos con gancho. Se pueden requerir pernos con rosca u otros arreglos de barras de sujeción, o bien, éstas pueden ser dobladas contra la cimbra y después enderezadas si las especificaciones lo permiten. Las pavimentadoras de cimbra deslizante deben contar con un mecanismo para la instalación de barras de sujeción o tendrá que disponerse de otros elementos aprobados para mantener unidos los carriles.

3.- Juntas de expansión.

Las juntas de expansión deben colocarse entre todas las estructuras y elementos, tales como depósitos, registros, etc. que se proyectan a través, dentro o contra el pavimento de concreto. A menos que se indique otra cosa en los planos del proyecto, estas juntas no deben tener una abertura menor de 6 mm y serán del tipo premoideado. A menudo se puede prever la necesidad de juntas con mayores aberturas.

Juntas transversales de expansión. Las juntas transversales de expansión deben construirse perpendicularmente a la línea central del pavimento, a menos que se indique otra cosa, y deben extenderse a todo el ancho del pavimento.

Juntas de expansión con pasajuntas. Estas juntas deben formarse manteniendo firmemente en su lugar un sistema adecuado de transmisión de cargas, consistente en un arreglo soldado de pasajuntas, dispositivos de soporte y espaciamiento, y un relleno que puede ser de tipo premoldeado, tiras de madera adecuada u otro material aprobado. El relleno debe quedar comprendido desde la base de la losa hasta 1.3 mm abajo de la superficie terminada del pavimento. La parte superior del relleno debe protegerse con un canal metálico mientras se coloca el concreto. Los arreglos de las juntas deben ser protegidos contra daños hasta su instalación en la obra. Los arreglos que hayan sufrido daños durante el transporte, manejo o almacenamiento, deben ser reparados o reemplazados y no podrán usarse mientras no sean aprobados por el ingeniero.

Relleno para juntas. El relleno diseñado para la junta debe perforarse o taladrarse con el diámetro exacto en los lugares donde irán las pasajuntas. Debe surtirse en tramos de longitudes iguales al ancho de un carril. Cuando se utiliza más de un tramo en una junta, los extremos a tope deben ser alineados. Debe cuidarse que el relleno que llegue a ser cortado durante la pavimentación no dé lugar a lapones de concreto dentro de la junta. El dispositivo de soporte debe proporcionar un apoyo efectivo al relleno para mantenerlo en posición normal a la superficie.

4.- Junta de contracción de plano debilitado.

Las juntas transversales de ranura falsa o plano debilitado deben construirse en la misma forma que las longitudinales del mismo tipo, excepto que puede necesitarse algún sistema de transmisión de carga en lugares en donde el volúmen de tránsito y la magnitud de las cargas esperadas sean importantes. En estos casos se recomienda el uso de pasajuntas deslizantes u otro sistema de transmisión de carga. Muchos pavimentos con fuerte intensidad de tránsito y sin pasajuntas se han comportado bien cuando se emplean bases de alta calidad, estabilizadas con cemento o asfalto, pero en general se recomienda siempre algún tipo de transmisión de carga. Las varillas pasajuntas deben ser sostenidas firmemente en su posición mediante un arreglo soldado para soporte y espaciamiento de las mismas, o bien, se pueden colocar con máquina. Para un buen funcionamiento de las pasajuntas se debe asegurar su correcta colocación. La profundidad de las ranuras no debe ser menor de una quinta parte del espesor de la losa.

5.- Juntas de alabeo de plano debilitado.

Las juntas de alabeo de plano debilitado, cuando estén especificadas, se construirán en los lugares que indiquen los planos del proyecto, y en la misma forma que las juntas de contracción de plano debilitado, excepto que se omitirán los

sistemas de transmisión de carga y el refuerzo del pavimento será continuo a través de la junta.

6.- Juntas transversales de construcción.

A menos que coincidan con otro tipo de junta especificado, las juntas transversales de construcción deben hacerse al final de cada jornada de trabajo o donde ocurran interrupciones durante la operación de colocación del concreto. Las condiciones climáticas regirán el criterio para definir el tiempo de interrupción de la colocación del concreto que obligue a colocar una junta. Una interrupción de 30 minutos puede considerarse un límite razonable para condiciones de clima cálido, seco o con mucho viento; este lapso puede ser hasta de una hora o más en condiciones menos severas.

Las juntas transversales de construcción se harán fijando en el lugar un armazón de forma adecuada y conteniendo un machiembrado y aumentando el tamaño de las barras de sujeción hasta ser igual al de las varillas pasajuntas.

Las juntas transversales de construcción no deben hacerse cuando se dé lugar a una losa de menos de 3 m de longitud. Si no se cuenta con suficiente concreto para formar una losa de 3 m de longitud cuando menos, la junta de construcción debe formarse en el lugar correspondiente a la junta anterior. El espaciamiento de las juntas transversales subsecuentes se medirá a partir de la última junta transversal de construcción colocada.

7.- Dispositivos para transmisión de carga.

Pasajuntas. Las varillas pasajuntas deben ser del diámetro adecuado al espesor de la losa y se colocarán a la mitad de dicho espesor. Debe garantizarse el adecuado alineamiento vertical y horizontal, bien sea mediante arreglos aprobados para la colocación de pasajuntas, o bien colocándolas con máquina. Es esencial una buena compactación del terreno alrededor de las pasajuntas, para asegurar un comportamiento satisfactorio.

Recubrimiento de las pasajuntas. El extremo libre o sin unir de cada pasajunta debe recubrirse con un material que evite la corrosión. Cuando el recubrimiento haya secado, el extremo libre de cada varilla debe aplicársele con una brocha una capa delgada de algún lubricante inmediatamente antes de que sea colocada en su posición. Debe evitarse un exceso en el material de recubrimiento. El extremo libre de estas varillas, para el caso de juntas de expansión, deberá estar provisto de un casquillo metálico especial. Puede utilizarse un tipo aprobado de pasajuntas recubiertas de plástico, en lugar de pasajuntas lubricadas, o bien, considerar la

posibilidad de emplear algún otro tipo de recubrimiento con el fin de evitar la corrosión y/o la adherencia con el concreto.

8.- Instalación de los arreglos de pasajuntas.

Los arreglos de pasajuntas deben colocarse sobre la sub-base o subrasante preparada. Los arreglos transversales para las pasajuntas deben colocarse perpendiculares a la línea central del pavimento, a menos que se detalle en forma diferente en los planos del proyecto. Las juntas provistas de varillas pasajuntas que se requieran o que se permita que se coloquen en ángulos diferentes a 90° respecto a la línea central del pavimento, necesitarán de un detalle y de una instalación cuidadosa, para asegurar la libertad de movimientos. Las pasajuntas deben ser fijadas con seguridad en su posición. En curvas ampliadas, la junta longitudinal deberá colocarse, hasta donde sea posible, en una posición equidistante de las orillas del pavimento de concreto. La junta deberá colocarse con el alineamiento y nivel requeridos y deberá fijarse en su lugar por medio de estacas, dispositivos de instalación adecuados o por cualquier otro sistema aprobado. Las pasajuntas deben ser instaladas en tal forma que la presión del concreto no altere su alineamiento.

Si las juntas se construyen por tramos, no deben existir discontinuidades entre unidades adyacentes. Las varillas pasajuntas deben ser revisadas en su posición y alineamiento tan pronto como el arreglo de la junta se fije con estacas a la sub-base o a la capa subrasante y se haya verificado dicha junta para comprobar que esté bien apoyada. Cualquier junta que no esté firmemente en su lugar, debe colocarse de nuevo. Los alambres o varillas utilizados para sujetar los arreglos de las juntas para su transporte, que pudieran ofrecer restricciones a las primeras contracciones del concreto, deberán eliminarse antes de la colocación de éste último.

9.- Sellado de juntas.

La parte superior de las juntas de expansión y todas las juntas de bordes o aserradas deben sellarse con el material especificado antes de permitir el tránsito sobre el pavimento. La abertura de la junta debe estar completamente limpia de toda materia extraña antes de colocar el material sellador. Todas las caras de contacto de la junta deben limpiarse para remover el material suelto, y las superficies deben estar secas cuando se utilice material sellante de verido en caliente. Cuando se requiera o se permita aserrar el concreto estando todavía **verde**, debe ponerse especial cuidado en eliminar el líquido pastoso depositado a lo largo del corte.

El material sellante debe colocarse en la abertura de la junta siguiendo los detalles descritos en los planos del proyecto. La colocación debe hacerse de manera que el material no se derrame sobre la superficie libre del concreto. Cualquier exceso

de material sobre el pavimento de concreto debe eliminarse inmediatamente, procediendo después a limpiar la superficie.

Los selladores que necesiten ser vertidos no deben colocarse cuando la temperatura ambiente impida hacerlo adecuadamente. Las recomendaciones del fabricante serán útiles para definir los límites de la especificación.

Cuando se utilice un material preformado para junta, como el neopreno, el ancho del material sin comprimir debe estar adecuadamente equilibrado con el ancho de la abertura de la junta, el que a su vez será consistente con la longitud de la losa y con las variaciones de temperatura separadas. El mecanismo de instalación debe garantizar que el material preformado no se estire más del 5 % durante la inserción, ya que este estiramiento daría lugar a una reducción drástica de la vida útil del material.

En ocasiones se especifica la aplicación del material sellante en los bordes de la losa y zona inferior, lo cual puede ser de utilidad para evitar infiltraciones. Estos sistemas han presentado grados de éxito muy variables y su uso debe basarse en la experiencia.

Algunos materiales para juntas son incompatibles entre sí y no deben usarse en contacto directo, sino mediante un separador inerte. Ciertos materiales bituminosos, por ejemplo, no deben ponerse en contacto con un sellador de juntas de tipo polisulfuro de dos componentes. Pueden ser separados por una tira de neopreno o de algún otro material relativamente inerte.

10.- Colocación del refuerzo.

Cuando se usa acero de refuerzo en pavimentos con juntas, éste debe consistir en mallas soldadas de alambre o entramados de varillas. El ancho de las mallas o parrillas debe ser tal que cuando se coloquen adecuadamente en la obra, la distancia entre los elementos longitudinales extremos de la malla o parrilla y los bordes de la losa no sea mayor de 15 cm ni menor de 5 cm. La longitud de las mallas o parrillas será la mostrada en los planos de proyecto y debe ser tal que cuando se coloquen en su posición correcta, el refuerzo traspase la ubicación de la junta de contracción transversal en no menos de 15 cm, medidos a partir del centro de la junta hacia los extremos de los elementos longitudinales de la malla o parrilla.

Cuando la disposición del refuerzo se muestra en los planos del proyecto, las varillas deben quedar firmemente unidas en todas las intersecciones. Los extremos adyacentes deben traslaparse en no menos de 30 diámetros.

Cuando se fabriquen mallas soldando las varillas en todas las intersecciones, el traslape de las barras longitudinales debe ser de 30 diámetros como mínimo. Si el patrón de entramado es tal que las varillas longitudinales de los bordes o las varillas transversales extremas de las mallas deben traslaparse, la superposición debe hacerse de tal manera que las referidas varillas se traslapen por lo menos 5 cm, para que el concreto pueda ser compactado.

Las mallas de acero deben traslaparse según se muestre en los planos del proyecto y deben quedar firmemente unidas entre sí para evitar que sean desplazadas, en particular, arrastradas por el tren de pavimentación.

Cuando el concreto reforzado se coloque en dos capas, la primera de ellas debe construirse uniformemente y llegar hasta un nivel que diste no menos de 5 cm ni más de la mitad del espesor total de la losa de la superficie terminada del pavimento, colocando el refuerzo sobre dicha capa. El concreto debe ser extendido por todo el ancho de la faja que se construye y en una longitud suficiente, que permita la instalación de todo el tramo de malla o parrilla de refuerzo en su posición final en el concreto, sin tener que moverla posteriormente. Las parrillas o mallas adyacentes deben sujetarse bien, para evitar que se separen. El resto del concreto debe colocarse sobre el refuerzo. La primera capa tendida de concreto no debe dejarse expuesta, particularmente en época de calor o de mucho viento. Probablemente un lapso de 30 minutos sea un máximo razonable. Durante la colocación del concreto debe revisarse y, en su caso, corregirse la posición del acero de refuerzo.

Cuando el concreto se coloque en una sola capa, las mallas o parrillas de refuerzo podrán instalarse en su correcto alineamiento horizontal, sobre todo el

espesor del concreto ya colocado y a continuación vibrarse sobre todo el espesor del concreto ya colocado y a continuación vibrarse con máquina o apisonarse para que baje hasta su nivel adecuado.

Debe cuidarse que las máquinas para esta instalación estén diseñadas y ajustadas de manera que no dejen planos inclinados en los elementos de acero, ni muevan las mallas o parrillas de su posición correcta. En cada junta transversal debe hacerse una revisión para asegurar que quede la distancia adecuada entre los extremos de la malla y la junta.

Cuando se especifica pavimento de concreto con refuerzo continuo, debe colocarse el acero en la cantidad, tipo y grado que indiquen los planos del proyecto, de tal modo que el acero tenga un recubrimiento mínimo de 5 cm y los elementos longitudinales no queden por debajo de la mitad del espesor de la losa, a menos que se especifique o se muestre de otra manera en los planos de proyecto.

Cuando el concreto se coloca en una sola capa, el acero debe quedar instalado sobre los apoyos que lo mantengan en la posición especificada, mientras la mezcla se va depositando o colocando mecánicamente. Cuando no se utilizan varillas transversales, el acero puede colocarse a través de los tubos instalados en una esparcidora de concreto en una sola capa.

Los traslapes de varillas individuales, las mallas prefabricadas con varillas o de parrillas soldadas de alambre de acero corrugado, generalmente parecen diseñados en los planos del proyecto y deben revisarse cuidadosamente en la obra. Debe enfatizarse la importancia de efectuar traslapes adecuados y de colocarlos correctamente. El peligro de falla en los traslapes a temprana edad puede minimizarse arreglando empalmes en forma sesgada o utilizando un patrón de entrelazamiento desde un borde del pavimento hacia el otro. La longitud de los traslapes debe mostrarse en los planos o especificaciones, pero no será menor de 30 diámetros ni menor 40 cm.

Colocación y acabado del concreto.

1.- Colocación.

Equipo. El equipo de colocación debe ser capaz de transportar el concreto desde la mezcladora o desde el equipo de acarreo hasta una zona cercana a su posición final y de descargarlo sobre la subrasante con un mínimo de segregación y sin causarle daños. Para obras grandes se cuenta con esparcidores del tipo de tornillo, bandas o tolvas, cuyo uso debe exigirse en estos casos. Operan generalmente desde las orillas y acarrear el concreto a todo lo ancho de la subrasante. Si se

emplean mezcladoras pavimentadoras, puede recurrirse al uso de grúa y cubeta para realizar un buen trabajo. Cuando se utilizan mezcladoras ambulantes, provistas únicamente de canales para depositar el concreto sobre la subrasante, es aconsejable la pavimentación por carriles. Cuando se construye pavimento simple mediante una pavimentadora con cimbra deslizante, se acostumbra vaciar el concreto de los camiones directamente sobre la superficie, enfrente de la citada máquina.

Situaciones especiales. Cuando el ancho de la calzada es variable, como en el caso de entronques e intersecciones, no siempre es posible el uso de métodos ideales. Sin embargo es igualmente importante que el concreto no se vacíe irregularmente y que se palee o vibre hasta llevarlo a su posición final. Puede hacerse necesario palear a mano el concreto para evitar la segregación.

2.- Tendido.

Equipo. Para obras grandes existen esparcidores de tipo de paleta o tornillo y de bandas, así como el del tipo de tolva y tornillo. Debe exigirse en estos casos su uso a menos que se empleen pavimentadoras con cimbra deslizante. Las pavimentadoras con cimbra deslizante incluyen espaciadores interconstruidos, para un adecuado tendido. Todos estos equipos deben operarse con cuidado y de manera uniforme para reducir al mínimo la segregación del concreto.

En obras pequeñas, el concreto puede extenderse de muchas maneras : con enrasador mecánico, con herramientas de mano o por medio de un tablón, pero siempre debe colocarse en el espesor adecuado para su correcta compactación y acabado.

Construcción de dos capas. Cuando se utiliza malla de refuerzo colocada a mano se enrasa el concreto que va a quedar debajo de la malla, se deposita ésta sobre él y se coloca la capa superior restante del propio concreto. Un procedimiento que se usa más comúnmente consiste en colocar primero todo el espesor de concreto, asentar sobre él la malla y luego vibrar o apisonar ésta hasta que baje a su posición final.

3.- Compactación.

Métodos. El acomodo mediante el picado en juntas y bordes, la aplicación de una regla, el apisonado mecánico y el uso de vibradores son procedimientos efectivos hasta cierto grado, pero automáticamente no pueden asegurar la obtención de un concreto denso. Los vibradores, ya sean de inmersión o de superficie, pueden producir buenos resultados.

Procedimiento. Toda el área del pavimento debe ser compactada en la forma más efectiva que sea posible. Debe ponerse especial atención en los bordes, la línea

central y las otras juntas. La colocación mecánica de las mallas de acero de refuerzo puede proporcionar cierta compactación. Los vibradores de inmersión son accionados dentro de la masa del concreto para eliminar vacíos grandes mientras la pavimentadora se mueve hacia adelante y deben pararse cuando ésta se detiene.

Situaciones especiales. Debe ponerse especial cuidado para asegurar una compactación adecuada del concreto alrededor de los pasajuntas y las silletas de apoyo, en bordes y esquinas, alrededor de los drenes y en zonas de forma irregular relacionadas con entronques e intersecciones.

4.- Acabado.

Pavimentadoras con cimbra deslizante. La pavimentadora con cimbra deslizante está diseñada para colocar, compactar, emparejar y dar acabado al concreto fresco en una sola pasada de la máquina, dejando en esta forma un pavimento homogéneo y bien consolidado, que requiere un mínimo de de acabado manual para cumplir con las tolerancias de la superficie. La máquina debe vibrar al concreto del pavimento en todo su ancho y espesor. Esta vibración generalmente se proporciona introduciendo y sacando alternativamente vibradores de inmersión.

La pavimentadora de cimbra deslizante debe operar con un movimiento lo más continuo posible y todas las operaciones de mezclado, decarga y tendido del concreto deben coordinarse en tal forma que aseguren un avance uniforme del trabajo, con el mínimo número de paradas de la máquina. Cuando se necesite detener la pavimentadora, deben también detenerse los elementos de vibración. Las pavimentadoras de cimbra deslizante son capaces de nivelar una capa subrasante o una sub-base correctamente terminada cuando cuentan con equipo automático, o mediante aparatos sensibles trabajando a partir de una cuerda tirante.

Equipo. Los requisitos para los equipos de acabado no deben ser tan restrictivos que impidan el uso de otros nuevos y mejores.

Procedimiento. Independientemente del tipo de equipo que se emplee, se pueden obtener buenos resultados si todas las máquinas se coordinan bien, se ajustan adecuadamente y son operadas por personal experimentado. Sólo una pequeña cantidad de concreto debe desplazarse en cada operación. Es prácticamente imposible que el equipo que vaya a utilizarse subsecuentemente en el tren de pavimentación pueda corregir completamente una tendencia del esparcidor a dejar mucho o poco concreto, o bien, cantidades erráticas del material.

5.- Acabado de la superficie.

La superficie de un pavimento debe incluir tanto texturas finas como gruesas. La textura fina (arenosa) está formada por la arena de la capa de mortero de cemento,

mientras que la textura gruesa la constituyen los bordes que deja la operación de acabado.

Puede aplicarse a la superficie del concreto una amplia gama de patrones de texturas antiderrapantes; en una misma obra pueden requerirse texturas diferentes en distintos lugares. El método de acabado que se emplee debe ser compatible con el medio ambiente, con la velocidad e intensidad del tránsito y con la topografía y geometría del pavimento.

Puede obtenerse una textura adecuada en el pavimento mediante cualesquiera de los siguientes procedimientos : uso de manta o yute, escobillado, empleo de cepillos de alambre, cepillos de plástico, etc.



ANEXO I

I.- RESISTENCIA A LA TENSION DEL CONCRETO.

La resistencia verdadera (técnica) de la pasta de cemento, o de cualquier material quebradizo similar, como la piedra, es mucho más baja que la resistencia teórica calculada con base en la cohesión molecular y considerada a partir de la energía superficial de un sólido que se supone perfectamente homogéneo y sin fallas. Se ha calculado que la resistencia teórica es de hasta 1.05×10^5 kg/cm².

Esta discrepancia se puede explicar por la existencia de los defectos postulados por Griffith. Dichos defectos conducen a las altas concentraciones de esfuerzos en el material sometido a carga, ya que se alcanzan altos esfuerzos en volúmenes muy pequeños del espécimen, lo que causa fracturas microscópicas, mientras que el promedio del esfuerzo (nominal) de todo el espécimen es comparativamente bajo. Los defectos varían en tamaño y sólo unos cuantos de los más grandes son los que causan la falla; así pues, la resistencia de un espécimen es un problema de probabilidad y estadística, y el tamaño del mismo afecta el esfuerzo nominal probable en el que se observa la falla.

Se sabe que la pasta de cemento contiene numerosas discontinuidades -poros, fisuras y cavidades-, pero aún no se conoce el mecanismo por el cual éstas afectan la resistencia. Las cavidades en sí no actúan necesariamente como defectos, aunque el daño puede ocurrir en las grietas individuales relacionadas con los huecos, o bien por contracción o mala adherencia. En el concreto no segregado, las cavidades se distribuyen de manera aleatoria, condición necesaria para la aplicación de la hipótesis de Griffith. Aunque no se sabe cuál es el mecanismo exacto de ruptura del concreto, es muy posible que éste se relacione con la adherencia dentro de la pasta de cemento y entre la pasta y el agregado.

La hipótesis de Griffith postula que existen fallas microscópicas ubicadas donde hay defectos, y suele suponerse que la unidad de volumen que contenga el defecto más débil es la que determina la resistencia del espécimen de concreto. Este enunciado implica que cualquier grieta se espaciará por toda la sección del espécimen sujeto a determinado esfuerzo o, en otras palabras, un incidente que tiene lugar en un elemento, se identifica con el mismo incidente que ocurre en el cuerpo como un todo.

Este comportamiento sólo puede esperarse bajo una distribución uniforme de esfuerzos, con la previsión adicional de que el segundo defecto más débil no sea suficientemente resistente para soportar un esfuerzo de $n/(n-1)$ multiplicado por el

esfuerzo al que el defecto más débil falló; donde n es el número de elementos de la sección sujeta a carga y cada elemento contiene un defecto.

Puesto que una fractura local se inicia en determinado punto y es gobernada por las condiciones que en él prevalezcan, el hecho de conocer los esfuerzos en el punto allamenté esforzado del cuerpo mencionado no es suficiente para pronosticar una falla. También es necesario saber cuál es la distribución de esfuerzos en un volúmen bastante extenso en torno a dicho punto, ya que las respuestas de deformación del material, especialmente cerca de la falla, dependen del comportamiento y estado del material que rodea el sitio crítico; este estado afecta mucho la difusión de las fallas. Lo anterior explicaría, por ejemplo, la razón por la cual los esfuerzos máximos de las fibras de especímenes sujetos a flexión en estado de falla incipiente son mayores que los que se determinan bajo tensión directa; en este último caso, el material que rodea la fractura no bloquea su propagación.

Así pues, es posible observar que, en determinado espécimen, los diferentes esfuerzos producirán fracturas en diversos puntos, pero no es alterar sus condiciones respecto al resto del cuerpo. Si la resistencia de un espécimen se rige por elemento más débil que contenga, el problema es el mismo del proverbial eslabón más débil de una cadena. En términos estadísticos se tiene que determinar el valor mínimo (o sea la resistencia de falla más efectiva) en una muestra de tamaño n , donde n es el número de defectos del espécimen. La analogía de la cadena puede no ser la más adecuada, ya que en el concreto los enlaces pueden estar distribuidos tanto en paralelo como en serie, pero los cálculos que se basan en el supuesto del eslabón más débil proporcionan resultados de orden correcto. Se deduce que no se puede describir la resistencia de un material frágil, como el concreto, únicamente por medio de un valor promedio; se debe dar un indicio de la variabilidad de la resistencia, así como información relativa al tamaño y forma del espécimen.

2.- RELACION ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION Y A LA TENSION.

A partir del análisis de la resistencia a la compresión y a la tensión (tanto directa como por flexión) en especímenes de prueba, se puede esperar que los dos tipos de resistencia se relacionen íntimamente entre sí. De hecho, ese es el caso, pero no existe ninguna proporcionalidad directa, ya que la relación de ambas resistencias depende de la resistencia general del concreto. En otras palabras, conforme aumenta la

resistencia a la compresión, f_c , la resistencia a la tensión, f_t , también aumenta, pero a una velocidad descendente.

Hay una serie de factores que afectan la relación entre ambas resistencias, como el efecto benéfico del agregado grueso triturado sobre la resistencia a la flexión, pero parece ser que las propiedades del agregado fino también influyen en la relación f_t/f_c . La graduación del agregado afecta aún más esta relación. Probablemente esto se deba a las diferentes magnitudes de los efectos de los muros sobre las vigas y sobre especímenes sujetos a compresión; sus relaciones de superficie/volumen son disímiles, de tal suerte que se requieren cantidades diferentes de morteros para lograr una compactación total.

La edad también es un factor que influye en la relación entre f_t y f_c ; al pasar aproximadamente un mes la resistencia a la tensión aumenta más despacio que a la compresión, de tal manera que la relación f_t/f_c disminuye con el tiempo. Esto concuerda con la tendencia general de la relación a disminuir con un aumento en f_c .

- En el concreto, la resistencia a la tensión es más sensible a un mal curado que la resistencia a la compresión, posiblemente porque los efectos de una contracción no uniforme en las pruebas de flexión en vigas son muy graves. Por lo tanto, el concreto curado al aire tiene una f_t/f_c más baja que la del curado en agua.

El aire incluido afecta la relación f_t/f_c porque la presencia del aire incluido hace descender más la resistencia a la compresión que la resistencia del concreto a la tensión, especialmente cuando se trata de mezclas ricas y consistentes.

En términos generales el concreto ligero se ajusta al patrón de relaciones entre f_t y f_c del concreto normal. A resistencias muy bajas (por ejemplo de 21 kg/cm²) la relación f_t/f_c puede llegar a ser incluso de 0.3, pero cuando las resistencias son más altas es la misma que para concreto normal. Sin embargo, el secado reduce la relación aproximadamente en un 20 %, por lo que en el diseño de concreto ligero se emplea un valor reducido de f_t/f_c . En el concreto normal, la relación suele variar entre 0.16 y 0.07, cuando la resistencia del cubo a la trituración se toma como f_c y el módulo, de ruptura bajo carga en un tercer punto como f_t .

Se ha sugerido toda una serie de fórmulas empíricas para correlacionar f_t y f_c , y muchas de ellas son del siguiente tipo :

$$f_t = k (f_c)^n$$

donde k y n son coeficientes. Algunas pruebas efectuadas en la Building Research Station en cubos de 100 mm y vigas de 100 x 100 x 400 mm cargadas centralmente,

han producido valores de $n = 1/2$ y un promedio de $k = 8.3$. En realidad este último varía entre 6.2 para algunas gravas y 10.4 para roca triturada. Otros experimentos demuestran que n puede variar entre $1/2$ y $3/4$. El primero de dichos valores es empleado por el ACI, pero Gardner y Poon encontraron un valor más cercano al último de ellos; en ambos casos se utilizaron cilindros.

El Comité Européen du Béton supone que la resistencia media directa a la tensión se relaciona con la resistencia a la compresión característica de los cilindros dada por la expresión :

$$f_t = 0.651 (f_{cy,k})^{2/3}$$

cuando la resistencia se expresa en kg/cm^2 . Este tipo de relación puede ser útil para el diseño, pero no describe las propiedades del material.

En vista de los numerosos factores que influyen en la relación de resistencias, no debe sorprender que no se logre una relación simple de aplicación general. La tabla A-1 incluye los datos obtenidos en los laboratorios de la Portland Cement Association.

3.- PRUEBAS DE FLEXION.

Aunque el concreto no se diseña normalmente para resistir tensión directa, el conocimiento de la resistencia a la tensión es de gran valor para estimar la carga bajo la cual se desarrollará el agrietamiento. La ausencia de agrietamiento es de considerable importancia para mantener la continuidad de una estructura de concreto y, en muchos casos, para evitar la corrosión del acero de refuerzo. Los problemas del agrietamiento surgen, por ejemplo, cuando se emplea acero de refuerzo de alta tensión diagonal debido a esfuerzos cortantes; pero el caso más frecuente de agrietamiento se debe a la contracción por restricción, y a gradientes de temperatura. La apreciación de la resistencia a la tensión del concreto es de gran ayuda para comprender el comportamiento del concreto reforzado, aun cuando en muchos casos, los cálculos reales de diseño no tomen expresamente en cuenta la resistencia a la tensión.

La aplicación directa de una fuerza de tensión pura, libre de excentricidad, es difícil, y se complica todavía más debido a esfuerzos secundarios incluidos por mordazas o pernos empotrados. No existe, por lo tanto, ninguna prueba estándar en la

que se emplee tensión directa. No obstante, se ha logrado cierto éxito con el empleo de piezas terminales epóxicas adheridas y con mordazas de tenaza floja.

Debido a estas dificultades es preferible medir la resistencia a la tensión del concreto sometido a flexión una viga sencilla. De hecho, esta es una de las pruebas estándar de tensión. El máximo esfuerzo teórico de tensión que se alcanza en la fibra inferior de la viga de prueba, se conoce como el **módulo de ruptura**. El calificativo de teórico se refiere a la presunción, en el cálculo del módulo de ruptura, de que el esfuerzo es proporcional a la distancia desde el eje neutro de la viga, en tanto que se sabe que la forma real del bloque de esfuerzos bajo cargas cercanas a la falla no es triangular sino parabólica. Así pues, el módulo de ruptura sobrestima la resistencia a la tensión del concreto y proporciona un valor mayor del que se obtendría en una prueba de tensión directa. No obstante, para nuestro caso, la prueba de flexión es muy útil para el diseño de losas de pavimentos porque en ellas la tensión por flexión es un factor crítico.

El valor del módulo de ruptura depende de las dimensiones de la viga y, sobre todo, de la distribución de la carga. Se emplean dos sistemas: la carga en un punto central, que produce una distribución triangular del momento de flexión, de manera que el esfuerzo máximo tiene lugar sólo en una sección de la viga; y la carga simétrica en dos puntos, que produce un momento constante de flexión entre dos puntos de carga. Con esta última distribución una parte de la superficie inferior de la viga -por lo general la tercera parte del claro- está sometida al esfuerzo máximo, y la grieta crítica puede iniciarse en cualquier sección que no sea lo suficientemente resistente para soportar este esfuerzo. Por otra parte, con la carga en un punto central la falla ocurre generalmente sólo cuando la resistencia de la fibra inmediatamente debajo del punto de carga esté exhausta. Este enunciado no es estrictamente correcto, ya que una fibra sometida a un esfuerzo menor que el máximo que actúa sobre la viga también puede ser suficientemente débil para fallar. No obstante, puede observarse que la probabilidad de que un elemento débil (de cualquier resistencia especificada) sometido al esfuerzo crítico es considerablemente mayor bajo carga en dos puntos, que cuando actúa una carga central. Puesto que el concreto está constituido por elementos de resistencia variable es de esperarse que la carga en dos puntos rendirá un valor de módulo de ruptura menor que cuando se aplica una carga en un sólo punto.

Existen cuatro razones por las que es posible que la prueba del módulo de ruptura rinda un valor de resistencia mayor que la prueba de tensión directa hecha sobre el mismo concreto. La primera está relacionada con la suposición de la forma

del bloque de esfuerzos mencionada anteriormente. La segunda es que la excentricidad accidental en una prueba de tensión directa da como resultado una resistencia del concreto aparentemente menor. La tercera ofrece un argumento similar al que justifica la influencia de la distribución de la carga sobre el valor del módulo de ruptura: bajo tensión directa, el volumen total del espécimen está sometido al máximo esfuerzo alcanzado por la fibra puede ser mayor que en tensión directa, ya que la propagación de la grieta se bloquea por el material menos esforzado que se encuentra más cerca del eje neutro. Así pues, la energía disponible es menor que la necesaria para la formación de nuevas superficies agrietadas. Estas cuatro razones para la diferencia entre el módulo de ruptura y la resistencia a la tensión directa no son todas de la misma importancia.

La figura A-1 muestra la relación común entre la resistencia a la tensión directa y el módulo de ruptura, pero los valores reales pueden variar dependiendo de las propiedades de la mezcla.

— Cuando la fractura ocurre dentro del tercio central de la viga, el módulo de ruptura se calcula basándose en la teoría elástica común y, por lo tanto, es igual a:

$$MR = PL/(bd^2).$$

donde P = carga total máxima sobre la viga

L = claro

b = ancho de la viga

d = peralte de la viga

Sin embargo, cuando la fractura ocurre fuera de los puntos de carga, digamos a una distancia a del apoyo más cercano, midiendo a a lo largo de la línea central de la superficie a tensión de la viga, entonces el módulo de ruptura está dado por:

$$MR = 3Pa / (bd^2)$$

Esto significa que el esfuerzo máximo en la sección crítica, y no el esfuerzo máximo sobre la viga, es lo que se considera en los cálculos. Tanto las normas inglesas como las americanas estipulan que las pruebas en las que la falla ocurre en una sección comprendida en $L/3 - a > 0.05 L$ deben desecharse.

Por lo general, las vigas se prueban sobre el lado en relación con su posición de colado, pero, siempre que el concreto no esté segregado, la posición de la viga sometida a prueba en relación con la posición de colado no afecta el módulo de ruptura.

4.- PRUEBA BRASILEÑA DE TENSION.

Un método indirecto para aplicar la tensión en forma de división fue ideada por Fernando Carneiro, brasileño, por lo que se la conoce como prueba brasileña, aunque también fue desarrollada en forma independiente en Japón. En esta prueba se coloca un cilindro de los que se emplean para pruebas de compresión, con su eje horizontal, entre las platinas de la máquina de prueba y se incrementa la carga hasta la falla por separación a lo largo del diámetro vertical. Cuando la carga se aplica a lo largo de la generatriz, un elemento en el diámetro vertical del cilindro (figura A - 2) queda sometido a un esfuerzo vertical de compresión de :

$$C = \frac{2 P}{\pi L D} - \frac{D^2}{r (D - r)} - 1$$

y a un esfuerzo horizontal de tensión de :

$$T = \frac{2 P}{\pi L D}$$

Donde :

P = carga de compresión sobre el cilindro

L = largo del cilindro

D = diámetro del cilindro

r y (D-r) son las distancias del elemento desde las dos cargas respectivamente.

No obstante, justamente debajo de la carga se inducirá un elevado esfuerzo de compresión y, en la práctica, se intercalan entre el cilindro y las platinas angostas tiras de material de empaque, como triplay. Sin las tiras de empaque, la resistencia registrada suele ser un 8 %. Las tiras son por lo general de 3 mm de espesor, y es conveniente que su ancho sea igual a 1 ½ del diámetro del cilindro. En estas circunstancias, el esfuerzo horizontal sobre una una sección que contiene el diámetro vertical es como se muestra en la figura A - 3. El esfuerzo se expresa en términos de $2P/\pi LD$ y puede observarse que existe un elevado esfuerzo horizontal de compresión en la vecindad de las cargas, pero como esto va acompañado por un esfuerzo vertical

de compresión de magnitud comparable, produciéndose así un estado de esfuerzo biaxial, no se presenta la falla por compresión.

Durante la prueba brasileña las patinas de la máquina de prueba no deben rodar en un plano perpendicular al eje del cilindro, pero debe permitirse un ligero movimiento en el plano vertical que contiene el eje, para poder corregir una posible falla de paralelismo en las generatrices del cilindro. Esto se logra mediante un sencillo dispositivo de rodillo dispuesto entre una platina y el cilindro.

Los cubos también pueden someterse a la prueba brasileña, aplicando la carga a través de piezas semicilíndricas apoyadas contra el cubo sobre líneas centrales de dos caras opuestas; opcionalmente, la carga puede aplicarse a través de dos bordes diagonalmente opuestos del cubo. El primer mecanismo rinde el mismo resultado que la prueba brasileña en un cilindro, o sea que el esfuerzo horizontal de tensión es igual a:

$$T = \frac{2 P}{\pi a^2}$$

donde a es el lado del cubo. Esto significa que sólo el concreto del cilindro inscrito en el cubo resiste la carga aplicada.

La separación diagonal de un cubo es menos confiable, probablemente debido a la distribución irregular del esfuerzo.

La prueba brasileña es fácil de realizar y proporciona resultados más uniformes que otras pruebas de tensión. Se considera que la resistencia determinada en la prueba brasileña es más aproximada a la resistencia real de tensión del concreto que la del módulo de ruptura; la resistencia de separación es del 12 al 15 % más elevada que la resistencia de tensión directa. Se ha señalado, sin embargo, que en el caso de mortero y concreto de agregado ligero la prueba brasileña rinde un resultado demasiado bajo. Con agregado normal, la presencia de partículas grandes cerca de la superficie donde se aplica la carga puede influir en el comportamiento. Una ventaja de la prueba brasileña es que el mismo tipo de muestra puede emplearse tanto para la prueba de compresión como para la de tensión.

RELACION ENTRE RESISTENCIAS

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS kg/cm ²	MODULO DE RUPTURA CON RESPECTO A LA RESISTENCIA A LA COMPRESION	RESISTENCIA DIRECTA A LA TENSION CON RESPECTO A LA RESISTENCIA A LA COMPRESION	RESISTENCIA DIRECTA A LA TENSION CON RESPECTO AL MODULO DE RUPTURA
70	0.23	0.11	0.48
141	0.19	0.10	0.53
211	0.16	0.09	0.57
281	0.15	0.09	0.59
352	0.14	0.08	0.59
422	0.13	0.08	0.60
492	0.12	0.07	0.61
562	0.12	0.07	0.62
633	0.11	0.07	0.63

TABLA A-1 : RELACION ENTRE RESISTENCIAS DEL CONCRETO A LA COMPRESION Y A LA TENSION

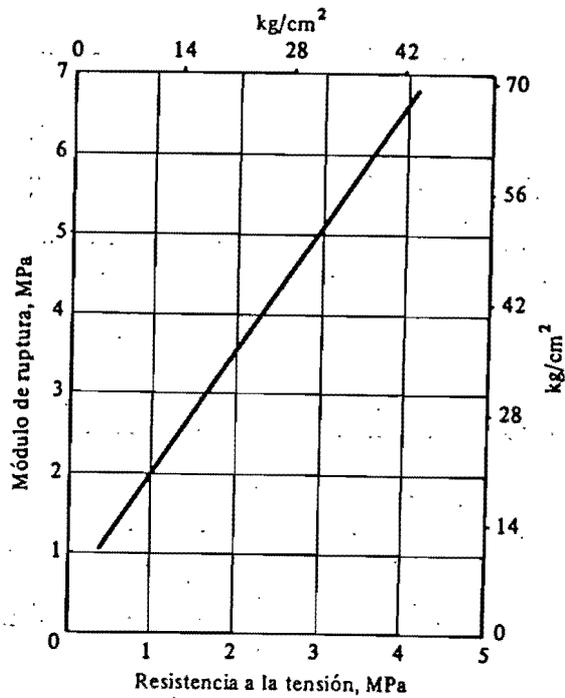


Fig. A-1 Relación entre el módulo de ruptura y la resistencia en tensión directa.

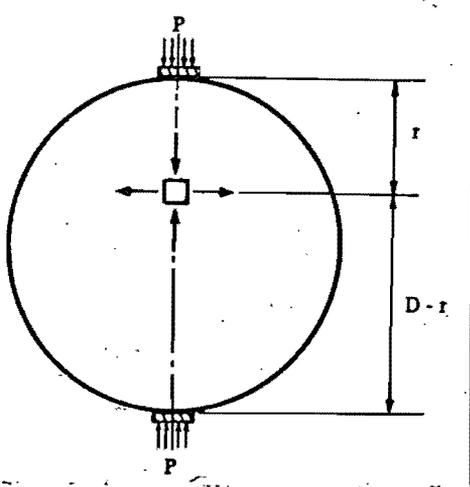


Fig. a-2 Prueba brasileña de tensión

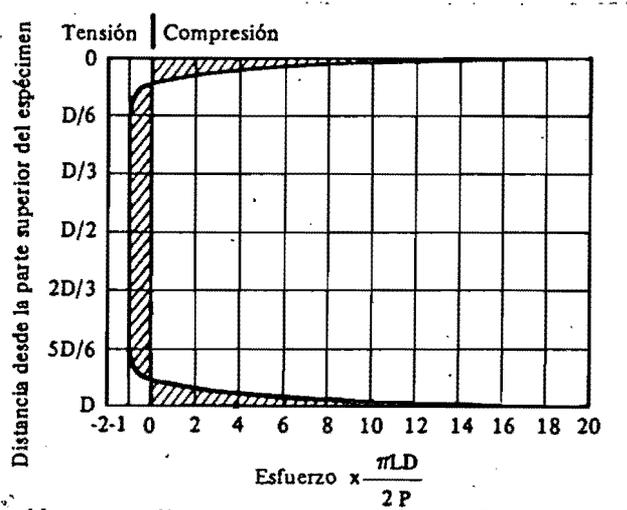
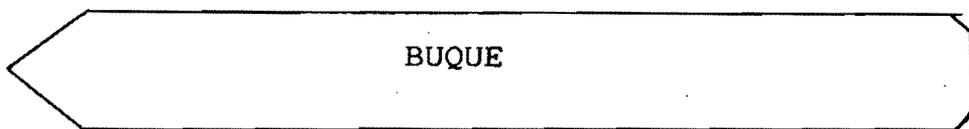


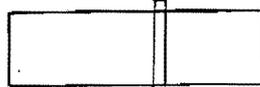
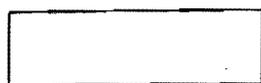
Fig. A - 3 Distribución del esfuerzo horizontal en un cilindro cargado sobre un ancho igual a 1/12 del diámetro.

EJEMPLO DE DISEÑO.

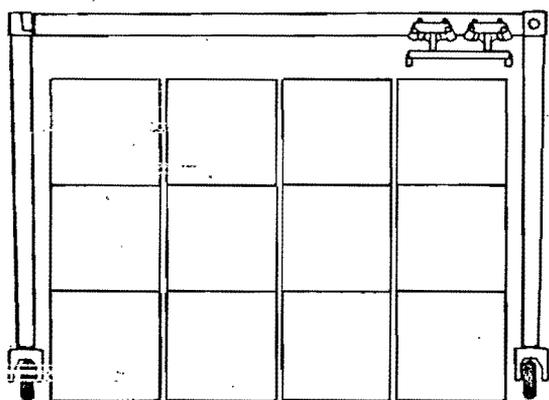
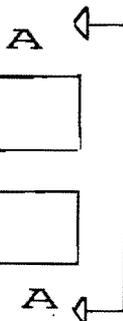
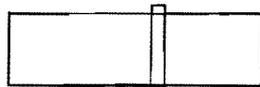
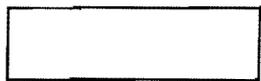
Se pretenden diseñar los pavimentos de concreto armado para un muelle de contenedores con la siguiente distribución :



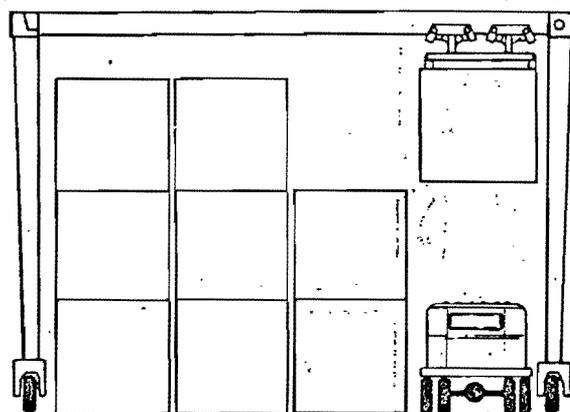
BLOQUE DE CONTENEDORES DE EXPORTACION



BLOQUE DE CONTENEDORES DE IMPORTACION



12.80



5.00

12.80

CORTE A_A

Características de los vehículos :

Grúa viajera MI-JACK de 40,823 kg de capacidad de carga.

Carga por rueda : $P = 14,228 \text{ kg}$

Presión de contacto : $p = 8 \text{ kg/cm}^2$

Tractocamión T3-S2 de 30 ton de capacidad de carga.

Carga por eje : $P = 18,000 \text{ kg}$

Presión de contacto : $p = 5.8 \text{ kg/cm}^2$

Condiciones del suelo :

Se realizarán diseños para tres tipos de subrasantes :

CBR	Módulo de reacción de la subrasante (k)
Bajo : 4	3.5 kg/cm ³
Medio : 8	5.0 kg/cm ³
Alto : 20	7.0 kg/cm ³

Materiales :

Se utilizará concreto con un $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$

Se realizó una prueba de tensión en flexión del concreto y se obtuvo un módulo de ruptura a la flexión del concreto de:

$MR = 30 \text{ kg/cm}^2$

Diseño de espesores, acero de refuerzo y barras de sujeción.

a) Pistas para las grúas viajeras.

1.- *Diseño de espesores.*

$$P = 14,228 \text{ kg}$$

$$p = 8 \text{ kg/cm}^2$$

$$MR = 30 \text{ kg/cm}^2$$

$$k_1 = 3.5 \text{ kg/cm}^3$$

$$k_2 = 5.0 \text{ kg/cm}^3$$

$$k_3 = 7.0 \text{ kg/cm}^3$$

Para $k_1 = 3.5 \text{ kg/cm}^3$ utilizamos la gráfica de diseño de la figura 3.3. Empezar a la izquierda con un esfuerzo $MR = 30 \text{ kg/cm}^2$, después desplazarse hacia la derecha hasta llegar a la curva de presión de contacto de 8 kg/cm^2 , subir hasta la recta de cargas para $P = 14,000 \text{ kg}$ y finalmente hacia la derecha para encontrar el espesor de diseño de la losa $h = 23 \text{ cm}$.

Se procede de igual forma con la gráfica correspondiente para los diversos módulos de reacción.

$$\text{Así para } k = 5 \text{ kg/cm}^3 \quad h = 22.5 \text{ cm}$$

$$\text{Para } k = 7 \text{ kg/cm}^3 \quad h = 21.8 \text{ cm}$$

Como era de esperarse la diferencia de espesores no es considerable, ya que en este tipo de diseños lo que se pretende es que el concreto absorba la mayoría de los esfuerzos actuantes (Ver Capítulo 3).

Por fines constructivos para los tres casos puede considerarse un espesor $h = 25 \text{ cm}$.

2.- *Acero de refuerzo.*

$$L C_1 w h$$

$$As = \frac{\text{-----}}{200 f_s} \quad (\text{Pág. 38})$$

Sustituyendo valores :

$$3.00 (1.5) (2400) (25)$$

$$As = \frac{\text{-----}}{200 (0.75 \times 4200)}$$

$$As = 0.43 \text{ cm}^2 / \text{m de ancho de losa.}$$

$$\text{Utilizando malla } 6 \times 6 / 10 \times 10 \quad As = 0.61 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

3.- Barras de sujeción.

Según la tabla 4.1 utilizando barras del No.4 de grado intermedio para un espesor de 25 cm se requieren barras de 60 cm @ 85 cm.

b) Pistas para tractocamiones.

1.- Diseño de espesores.

Carga por eje $P = 18,000 \text{ kg}$

Presión de contacto $p = 5.8 \text{ kg/cm}^2$

$MR = 30 \text{ kg/cm}^2$

De la figura 3.9 obtenemos los siguientes espesores para los diferentes tipos de subrasantes :

Para $k_1 = 3.5 \text{ kg/cm}^3$ $h = 14.5 \text{ cm}$

$k_2 = 5.0 \text{ kg/cm}^3$ $h = 13.5 \text{ cm}$

$k_3 = 7.0 \text{ kg/cm}^3$ $h = 13.0 \text{ cm}$

Por fines constructivos podemos considerar un espesor de 15 cm para cada uno de los diferentes casos.

2.- Acero de refuerzo.

$3.00 (1.5) (2400)(15)$

$$A_s = \frac{\text{-----}}{200 (0.75 \times 4200)}$$

$A_s = 0.26 \text{ cm}^2/\text{m}$ de ancho de losa.

Por fines constructivos también se utilizará malla 6x6/10x10

3.- Barras de sujeción.

De la tabla 4.1, utilizando barras del No. 4 de grado intermedio y para un espesor de 15 cm se requieren barras de 60 cm @ 1.20 m.

REFERENCIAS

Principles of Pavement Design. Yoder. John Wiley.

Highway Engineering. Oglesby. John Wiley.

Thickness design for concrete pavements. Portland Cement Association.

Influence Charts for Concrete Pavements. Picket and Ray. Paper No. 2425 Transactions of American Society of Civil Engineers.

Highway Engineering Handbook. Woods, Mc. Graw Hill.

Concrete Pavement Design. Portland Cement Association.

Design of Concrete Pavement for Heavy Wheel Loads. Portland Cement Association.

Design of Concrete Airport Pavements. Portland Cement Association.

La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres. Rico y del Castillo. Limusa.

Tecnología del Concreto. Neville. IMCYC.

Práctica recomendable para la construcción de pavimentos y bases de concreto. ACI-316-74. IMCYC.