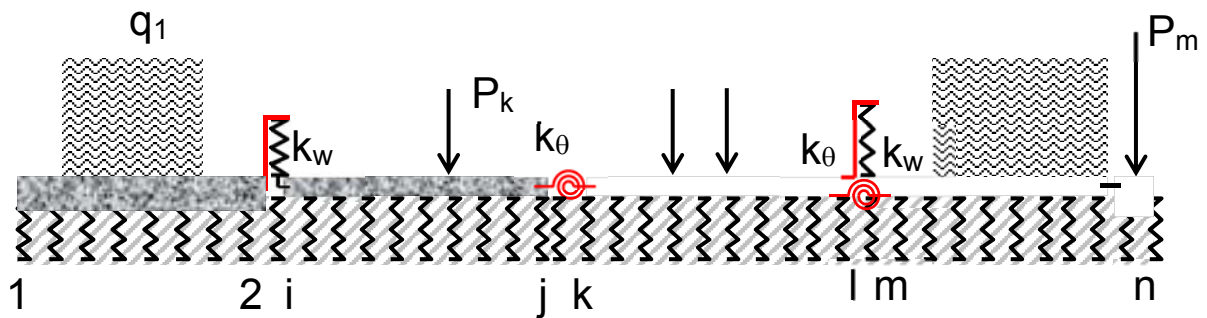
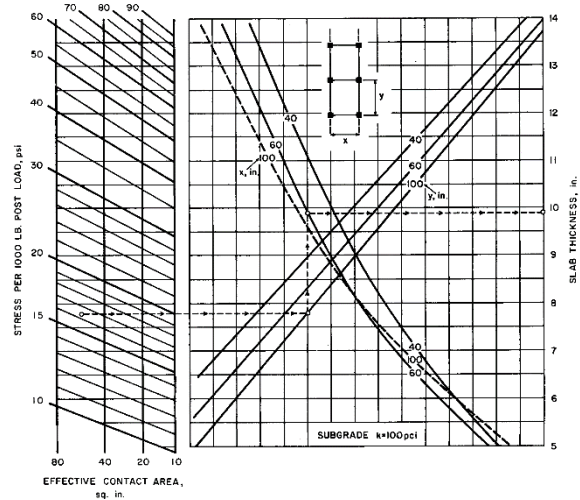
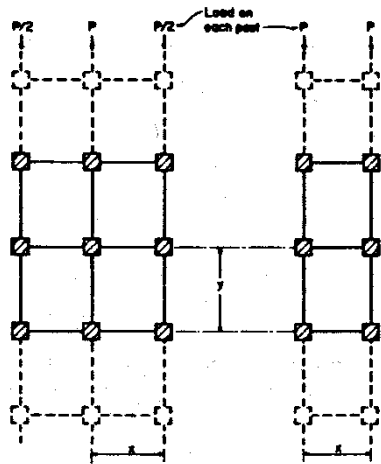
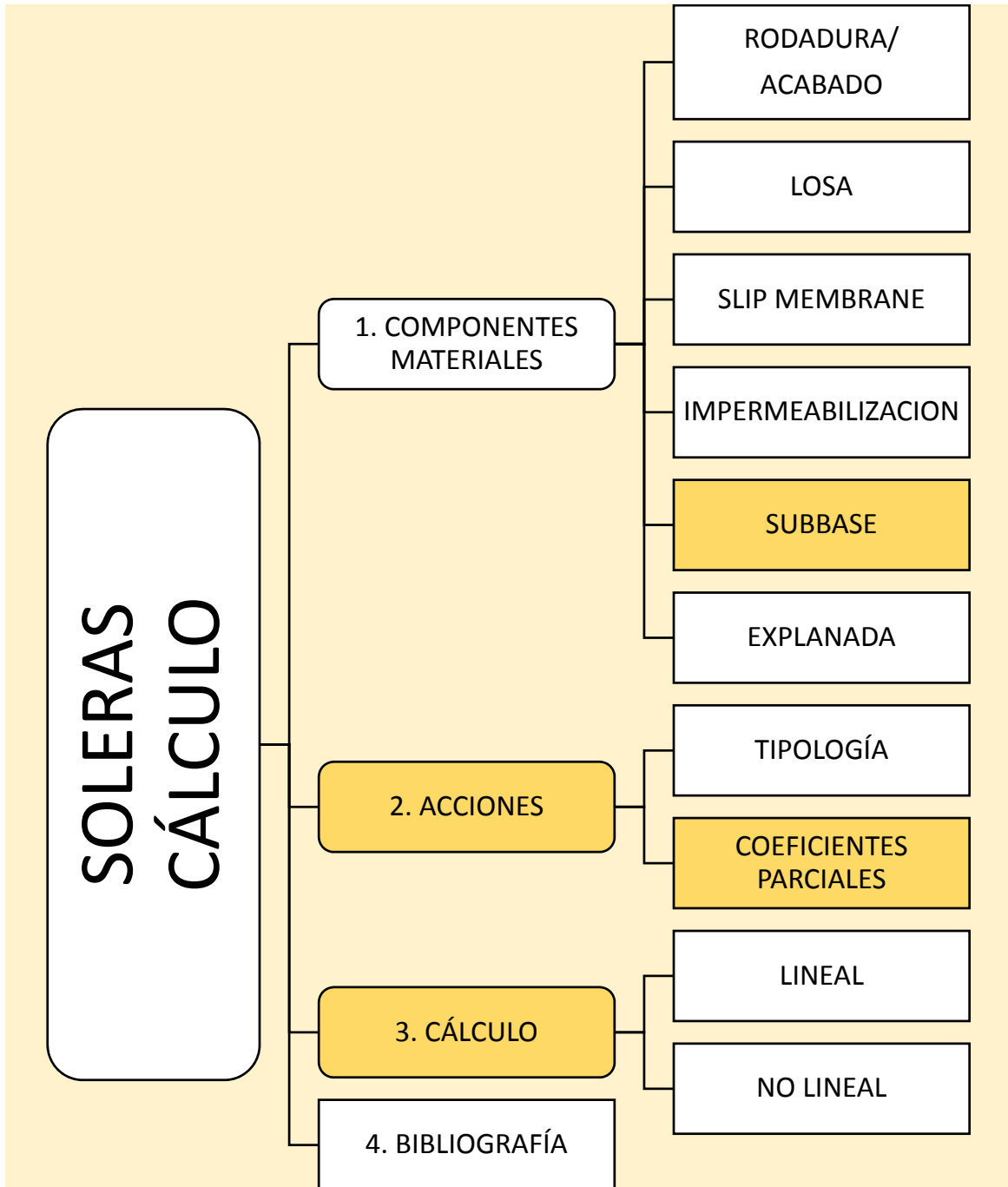


$$\sigma_e = \frac{3 \cdot P}{h^2} \left[1 - \left(\frac{r \cdot \sqrt{2}}{l} \right)^{0,5} \right];$$

$$\delta_e = \frac{A' \cdot P}{k \cdot l^2} \left[1,1 - 0,88 \frac{r \cdot \sqrt{2}}{l} \right]$$





FIRME RÍGIDO/SOLERA

Se entiende por **FIRME** a una estructura superficial que apoya sobre el suelo, el terreno, al que le transmite cargas, permitiendo que sobre ella se desarrollen actividades industriales y logísticas, con la correspondiente circulación y estacionamiento de vehículos además del almacenamiento de productos y mercancías, y que verifica una serie de ELU y ELS derivados de los requerimientos del proyecto.

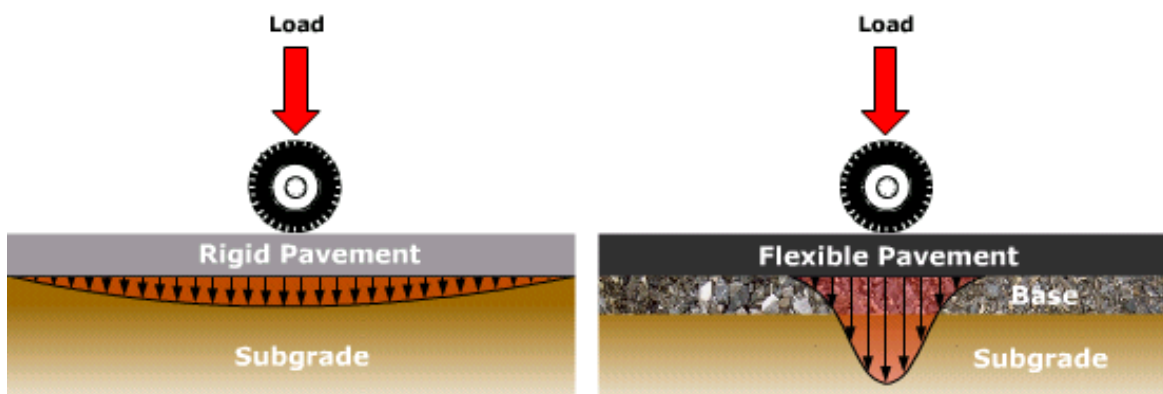
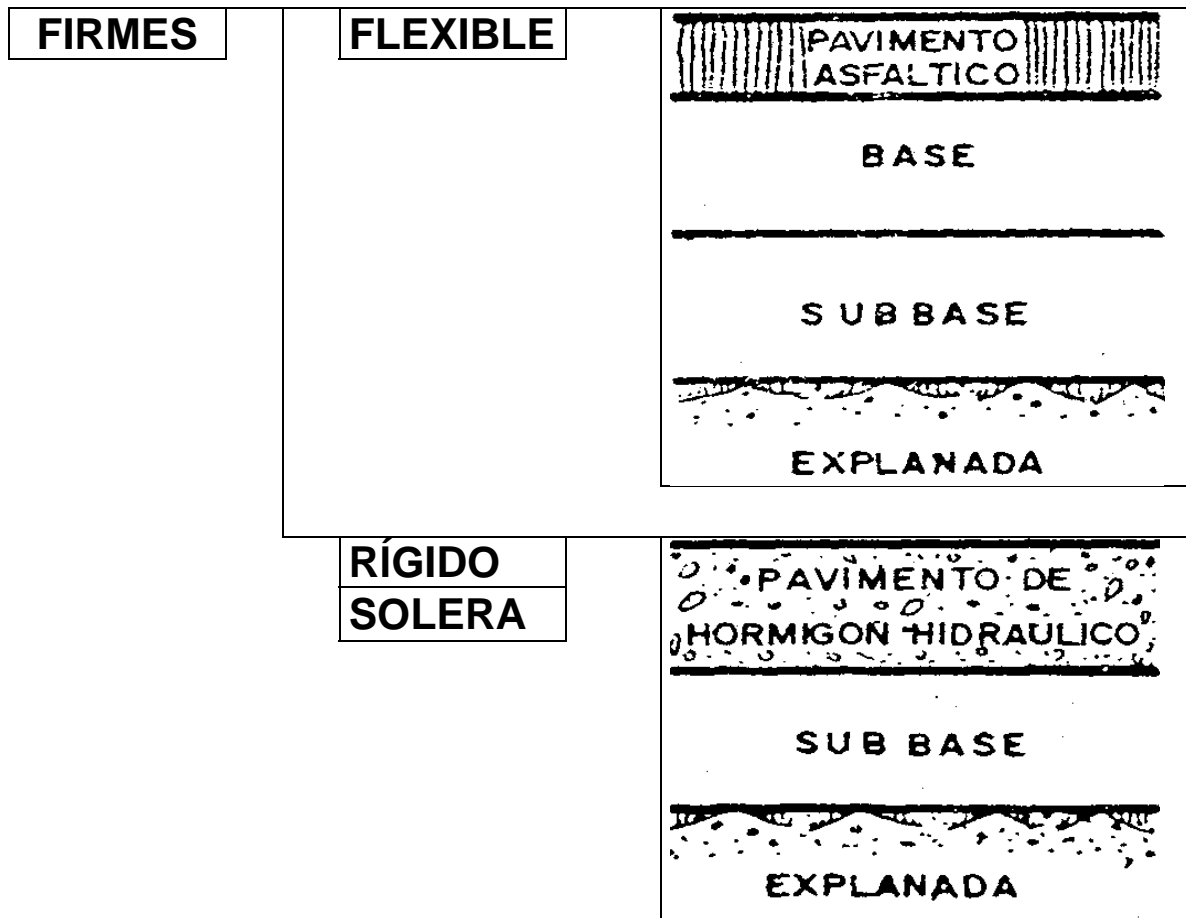
Los firmes se clasifican en dos grandes categorías: **FLEXIBLES** y **RÍGIDOS**, incluyéndose habitualmente en estos últimos las soleras.

En general se entiende por **SOLERA INDUSTRIAL** al firme o pavimento rígido utilizado como piso en el interior de edificaciones (industriales).

Estructuralmente un firme y una solera están compuestos por diversas capas superpuestas constituidas por materiales elaborados que a su vez son función del tipo de firme.

El primer pavimento de hormigón se construyó en 1891 en Bellefontaine. Ohio. USA

FIRMES. TIPOLOGÍAS



Así como los firmes flexibles trabajan por disipación de tensiones, los firmes rígidos, al tener la losa (pavimento) rigidez a flexión distribuye las cargas en una mayor superficie de su cimiento (explanada).

FIRME RÍGIDO/SOLERA

El Comité 360 ACI define solera (*slab on grade, slab on ground, SOG*) como:

Losa, continuamente apoyada en el suelo, cuya carga total dispuesta de modo uniformemente repartido impone una presión en el suelo inferior al 50% de su capacidad portante.

La losa puede ser de espesor uniforme o variable y puede incluir elementos de rigidización como nervios o vigas y en su caso refuerzos de borde.

La losa puede ser de hormigón en masa, armado o pretensado (postesado).

La armadura, pasiva o activa, se dispone frente a los efectos de la retracción, la variación de temperatura o las cargas de origen estructural.

SOLERAS. TIPOLOGÍAS ACI 360R-06

La norma ACI 360R-10 clasifica las soleras en cuatro tipos:

- a) **Tipo A**, LOSA DE HORMIGÓN EN MASA,
- b) **Tipo B**, LOSA ARMADA PAR LIMITAR LA FISURACIÓN debida a las cargas aplicada, la retracción o la temperatura.
 - a. Armada con barras, malla electrosoldada o fibras, con pequeña separación entre juntas de control ($\approx 5\text{m}$).
 - b. Armadura continua (sin juntas de control)
- c) **Tipo C**, LOSA ARMADA PAR EVITAR LA FISURACIÓN debida a las cargas aplicada, la retracción o la temperatura. Puede ser postesa o con hormigón de retracción compensada.
- d) **Tipo D**, LOSA ESTRUCTURAL armada frente acciones adicionales al uso de la solera, provenientes de la estructura del edificio.

Los tipos A y B son los más utilizados como soleras en edificios industriales.

SOLERAS. TIPOLOGÍAS ACI 360R

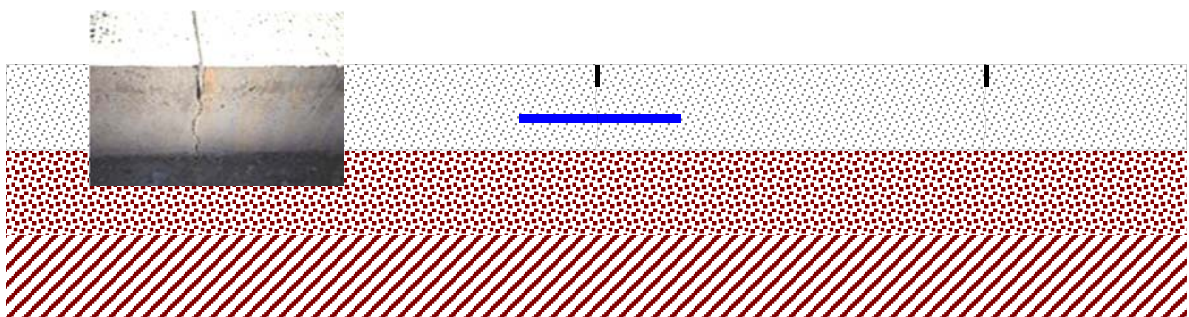
a) Tipo A. LOSA DE HORMIGÓN EN MASA.

Son de espesor uniforme aunque pueden tener reforzadas las juntas (recrecidos).

El espesor (h) se diseña a partir de la condición de no alcanzar el agotamiento del hormigón a flexotracción ($f_{ct,fl}$) debido a la acción de las cargas aplicadas en su superficie.

La retracción y el apoyo uniforme tienen gran influencia en el comportamiento a fisuración de la losa de hormigón en masa.

La fisuración por retracción se limita y controla mediante la adecuada disposición y separación de juntas de contracción y/o construcción. La **PCA** recomienda una separación máxima de 24 a 36 veces el espesor de la losa. (*"2 to 3 ft for each inch of slab tickness"*)



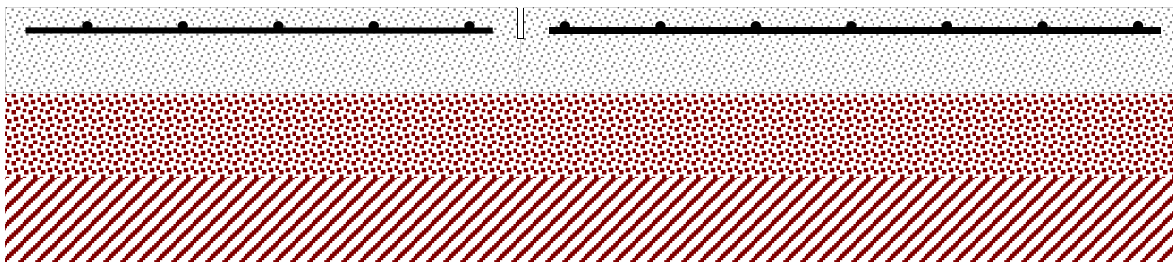
SOLERAS. TIPOLOGÍAS ACI 360R

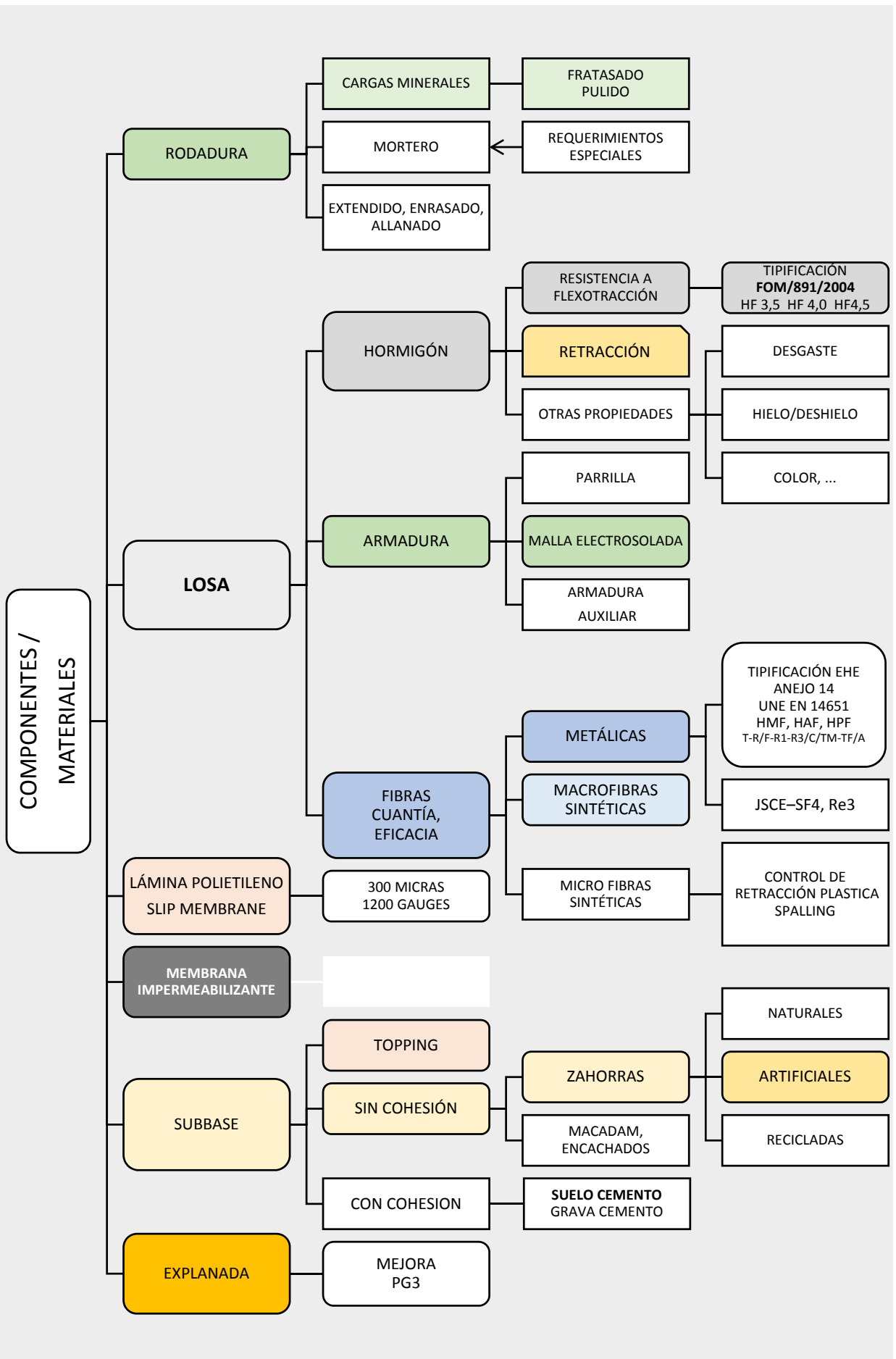
b) Tipo B, LOSA ARMADA A EFECTOS DE RETRACCIÓN Y TEMPERATURA,

El cálculo del espesor (h) es como en las de tipo A, a partir de la condición de no agotamiento a flexotracción bajo la acción de las cargas superficiales.

La fisuración por retracción se controla con armadura de pequeña cuantía, distribuida uniformemente en la mitad superior de la losa, de este modo las juntas pueden espaciarse más. La separación entre juntas, o la armadura para una separación dada, se puede determinar a partir del rozamiento entre la subbase y la losa.

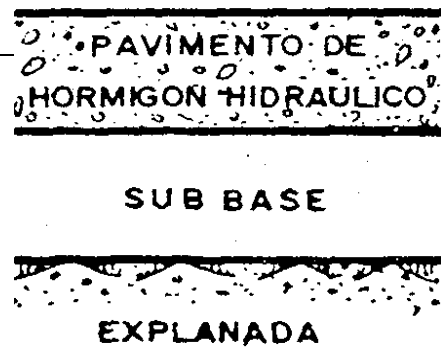
El objetivo de la armadura es mantener fuertemente cerradas cualquier fisura entre juntas. El refuerzo debe tener bastante rigidez y debe colocarse firmemente y con precisión en la mitad superior de la losa. El refuerzo no evita la fisuración y no incrementa significativamente la capacidad de carga de la losa. El modo de incrementar la resistencia a flexión es incrementar el canto.



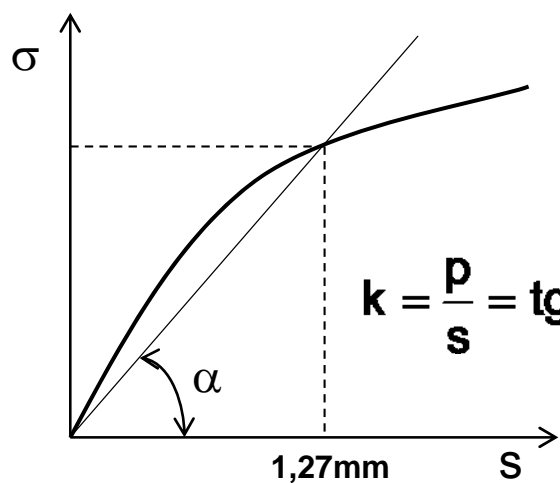


EXPLANADA. COEF. BALASTO K

El coeficiente de balasto de la explanada es una constante de muelle, que depende del tipo de suelo, del grado de compactación y de la humedad.



El coeficiente o módulo de balasto se determina mediante el **ensayo de carga con placa** y expresa la relación entre la presión p aplicada al suelo y el asiento s bajo la placa. Se mide para un asiento de referencia puesto que la relación no es lineal. Tiene dimensiones de densidad kp/cm^3 , bar/cm , MPa/m , N/mm^3 .



$$k = \frac{p}{s} = \text{tg } \alpha$$

$$k = \frac{p}{s} \quad (\text{kp} / \text{cm}^2) / \text{cm}$$

$$s = (1 - \nu^2) \cdot \frac{p \cdot \phi}{E};$$

$$k = \frac{E}{(1 - \nu^2) \cdot \phi} \rightarrow k \cdot \phi = \text{cte}$$

La carga p , se aplica por escalones de $0,35 \text{ kp/cm}^2$. Dado que la relación no es lineal se determina k para una asiento $s=1,27 \text{ mm}$ ($0,05 \text{ in}$).

(1) El modelo de suelo basado en un comportamiento como un fluido de densidad k fue propuesto por Winkler en 1867, Zimmermann lo aplicó al análisis de carriles sobre traviesas de ferrocarril, de ahí la denominación coeficiente de balasto.

EXPLANADA. COEF. BALASTO k

La placa adoptada es de $\varnothing 75\text{cm}$ (30") dado que experimentalmente se comprueba que a partir de esta dimensión k permanece independiente de \varnothing (a).

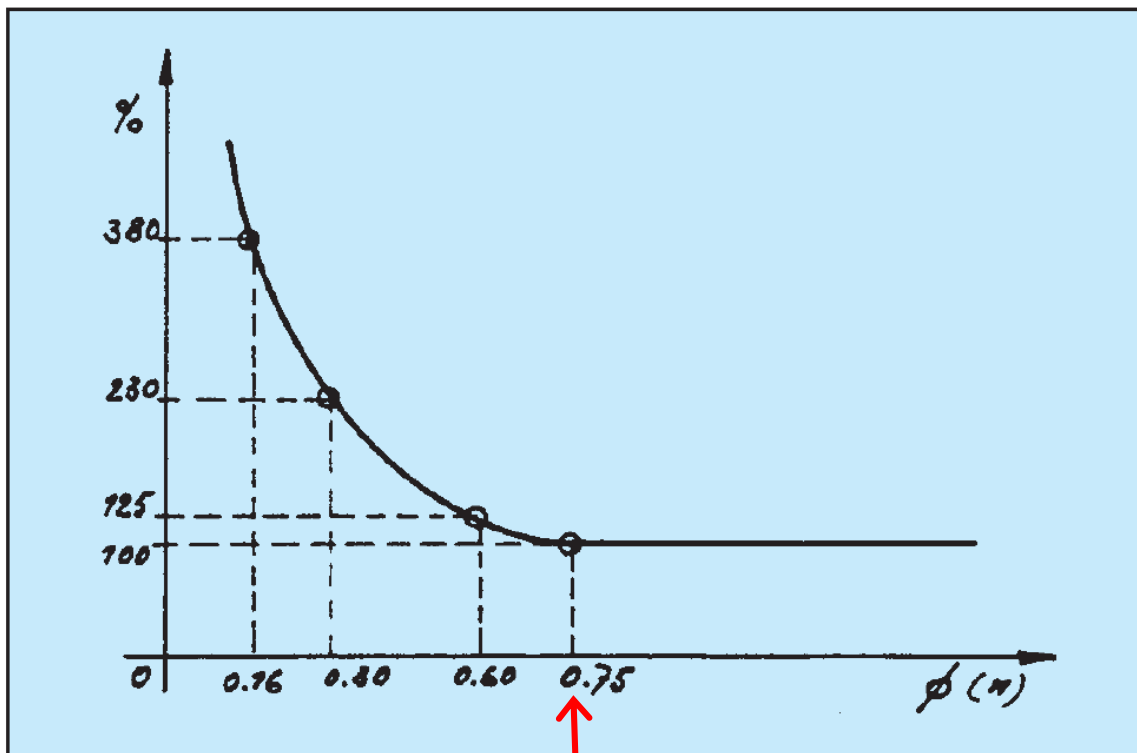
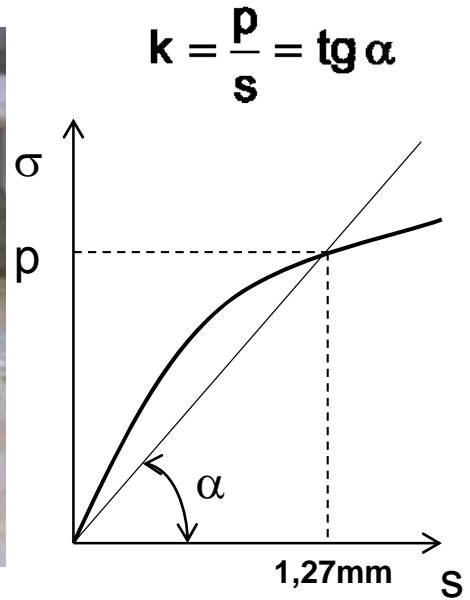


Fig. 3.2.: Diagram of "Stratton"

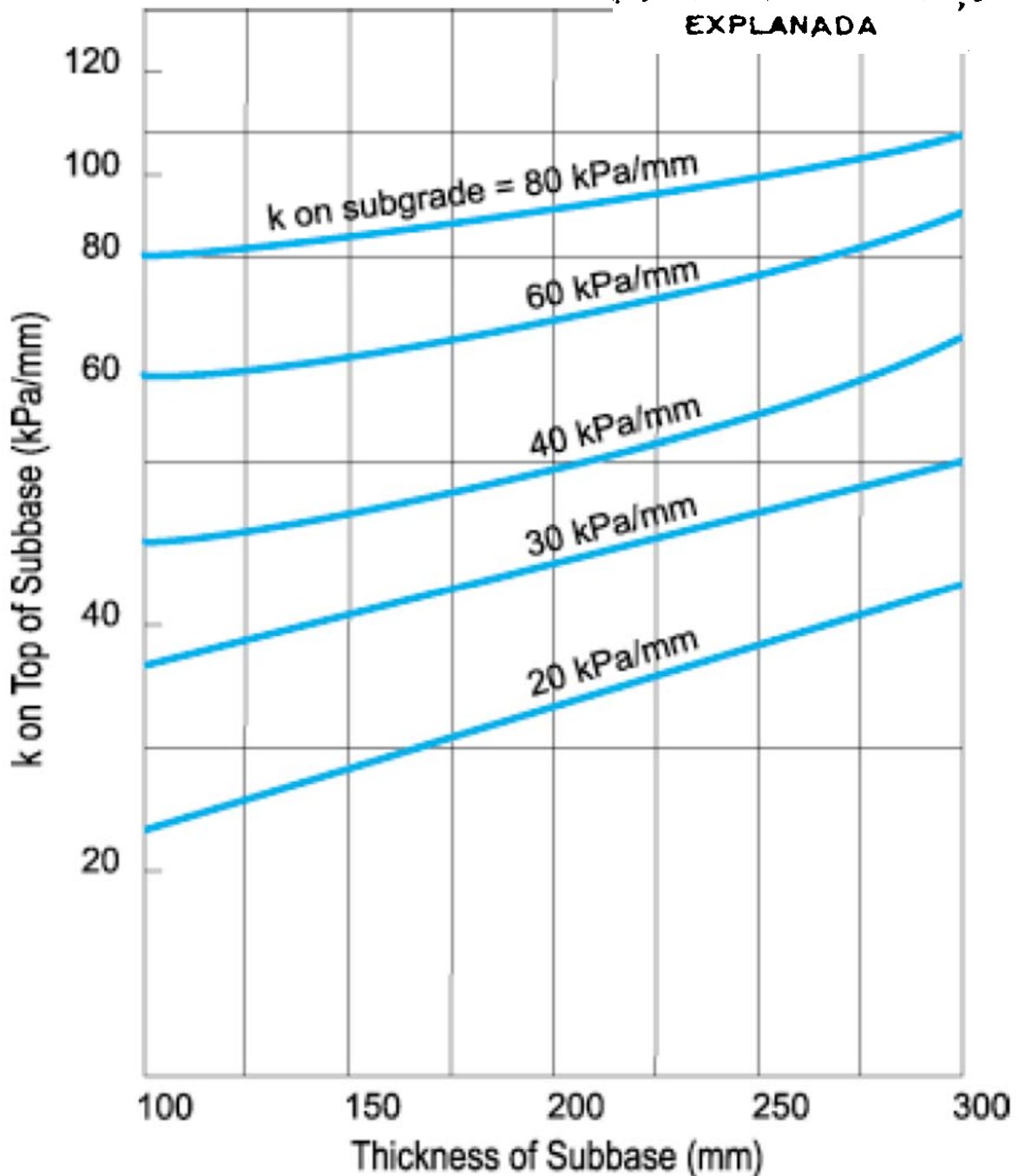
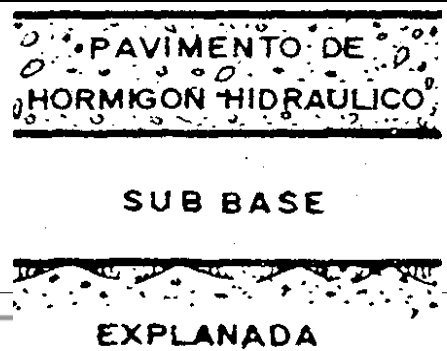
Módulo modificado de reacción del suelo. Se obtiene con un ensayo de placa de 12" (30,48 cm) de diámetro. Este ensayo es más económico y con él se obtiene un módulo reacción de valor doble al obtenido con el ensayo estándar. (30/12)

EXPLANADA. COEF. BALASTO k
ENSAYO DE CARGA CON PLACA



EXPLANADA. COEF. BALASTO K

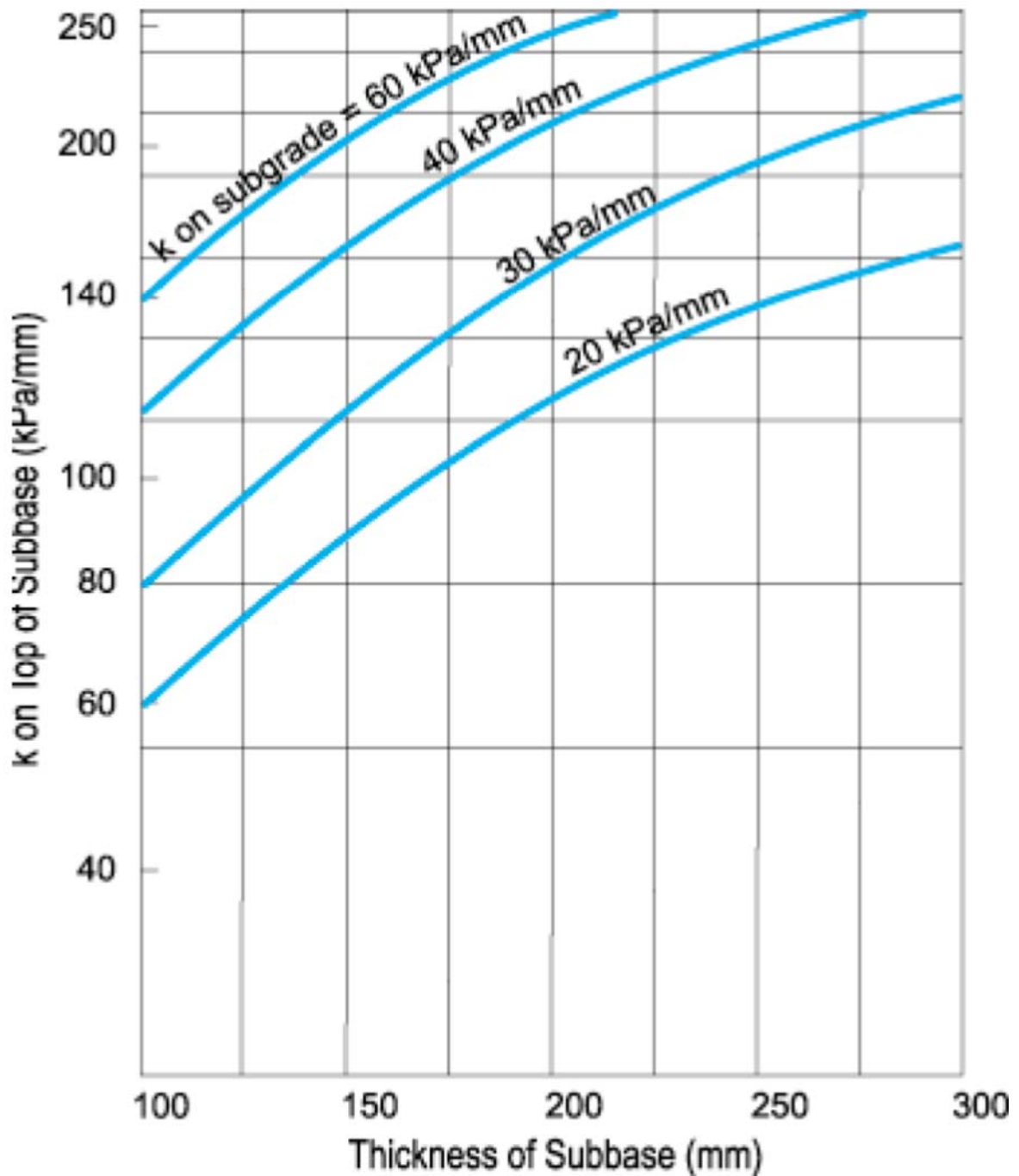
Mejora del coeficiente de balasto sobre la explanada mediante la superposición de una **subbase granular** de zahorra.



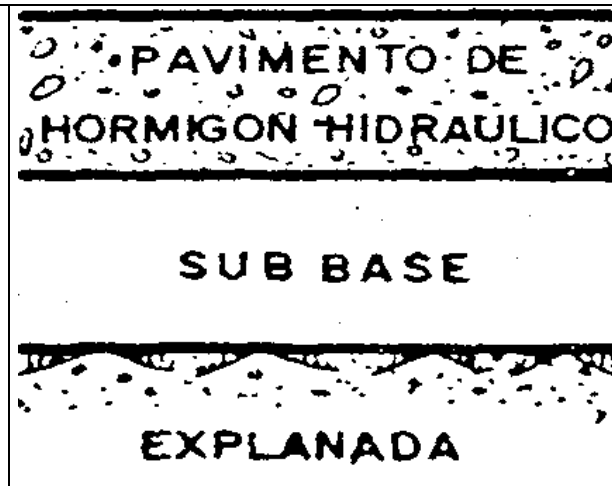
Subbase granular (ZAHORRA)

EXPLANADA. COEF. BALASTO k

Mejora del coeficiente de balasto sobre la explanada mediante la superposición de una subbase de suelo cemento.



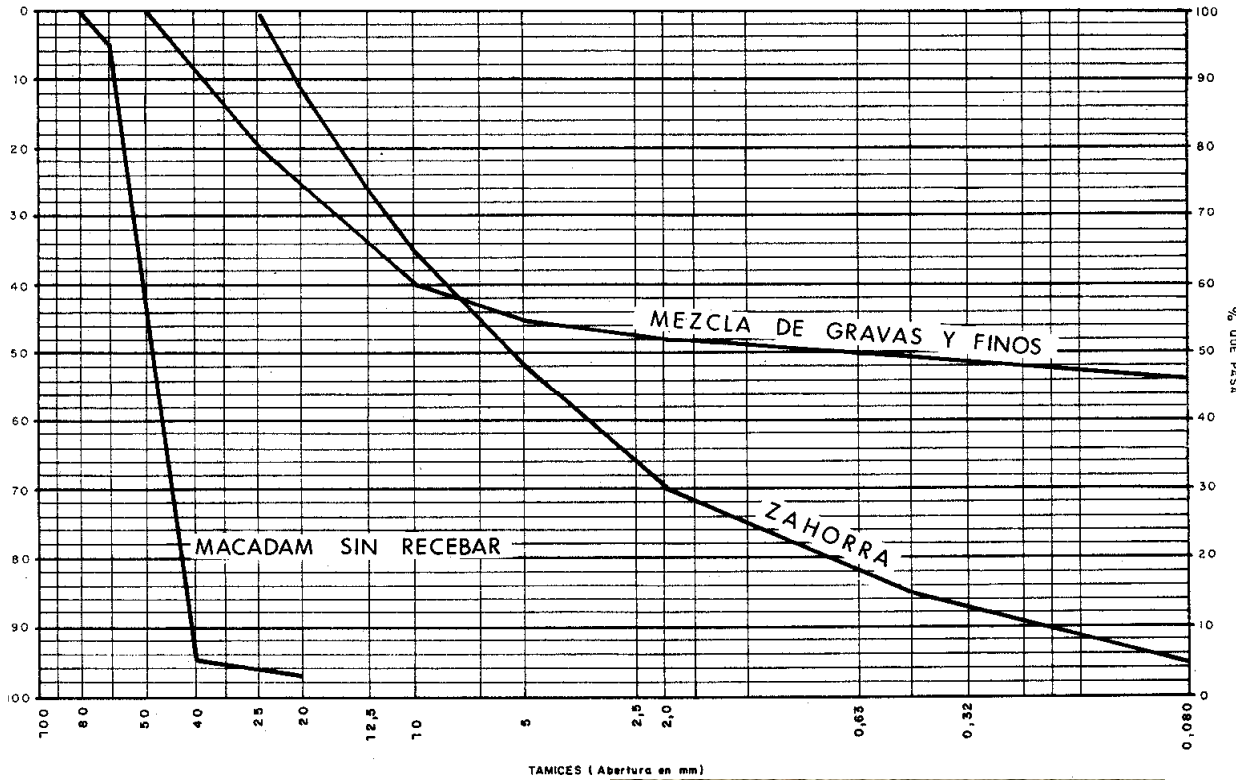
Subbase tratada con cemento (suelo-cemento)

SUBBASE GRANULARES**SOLERA**

Las capas granulares están constituidas por áridos ya sean de origen natural o de machaqueo. Las composiciones granulométricas pueden ser fundamentalmente uniformes y partículas grandes ($5\text{cm} < \phi < 10\text{cm}$) o continuas: macadam o zahorras



SUBBASE GRANULARES



Macadam



Zahorra Natural



Zahorra Reciclada Hormigón



Zahorra Artificial

SUBBASES GRANULARES. ZAHORRAS.

NTE-RSS Planimetría. $\pm 2,5\text{cm}$

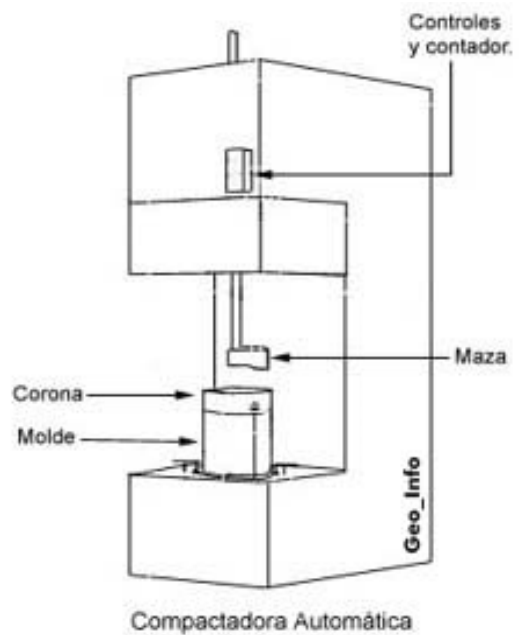
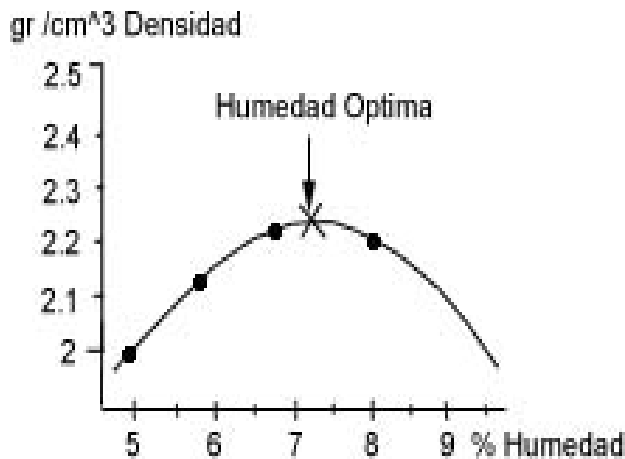
BS 8204-2 the finished surface of the sub-base should be within $+0$ to -25 mm of the datum for the bottom of the slab



SUBBASE. ENSAYO PROCTOR

La densidad de un suelo tras un proceso de compactación depende de su humedad.

El ensayo Proctor tiene como finalidad obtener la humedad óptima de un suelo que permita obtener la mayor densidad (seca) cuando se le aplica una determinada energía de compactación ($kp \cdot m/m^3$).
 (Normal= $60,5kp \cdot m/m^3$,
 Modificado= $275,275kp \cdot m/m^3$)

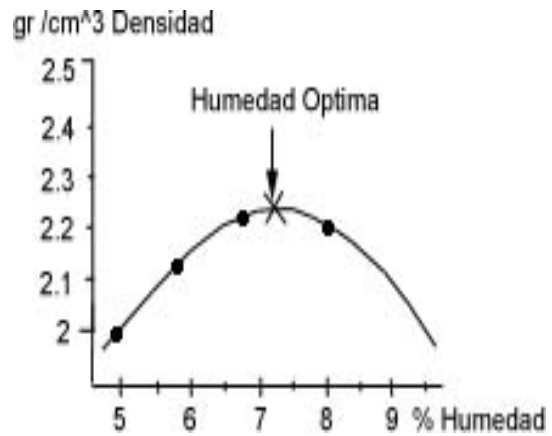


$(M \cdot g \cdot h) \cdot NG / V$

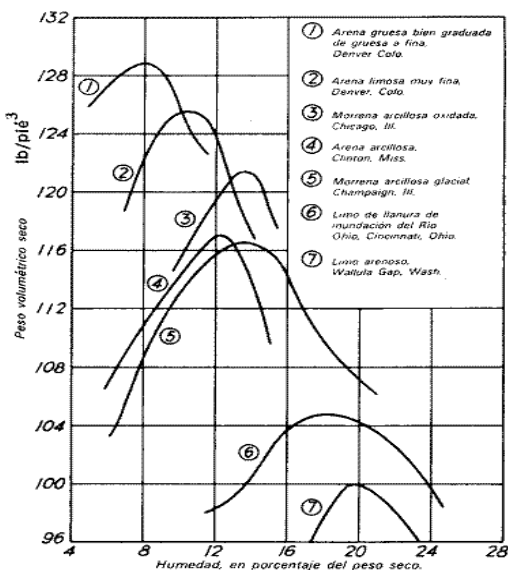
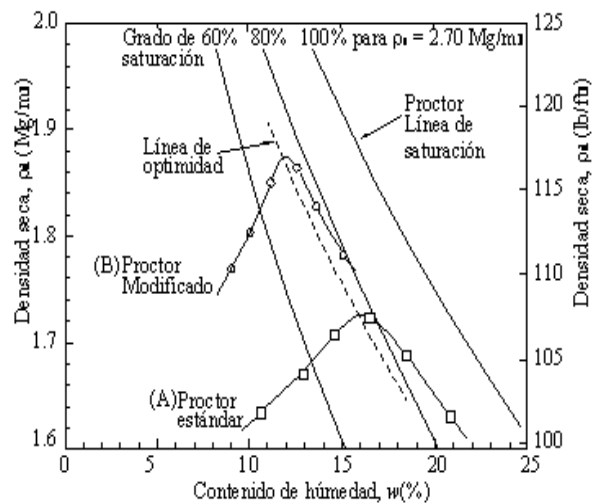
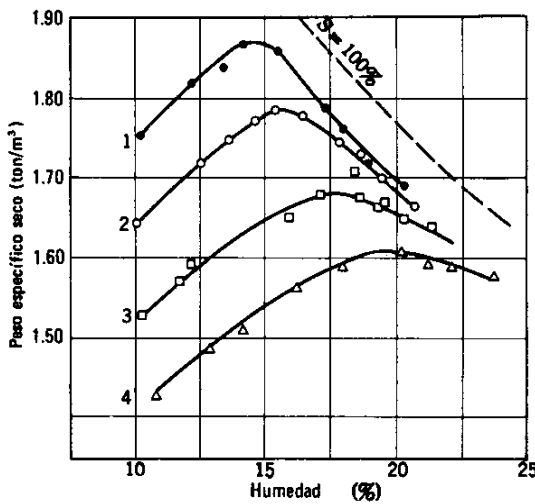
Método Proctor	N	Tamaño molde (cm)	Volumen molde (cm)	Pisón (kg)	Nº Capas	Altura caída (cm)	Nº Golpes	Energía compac. / volumen (kg*m/m3)
ESTÁNDAR	1	11.64*10.16	943.33	2.49	3	30.48	25	60.500
ESTÁNDAR	2	11.64*15.24	2123.03	2.49	3	30.48	55	60.500
MODIFICADO	3	11.64*10.16	943.33	2.49	5	45.72	25	275.275
MODIFICADO	4	11.64*15.24	2123.03	2.49	5	45.72	55	275.275
15 GOLPES	5	11.64*10.16	943.33	2.49	3	30.48	15	36.400

SUBBASE. ENSAYO PROCTOR

La humedad óptima de compactación es aquella (% de agua) para la cual la densidad seca del suelo es máxima cuando se compactar al máximo con una energía concreta.



¿Cómo influye la energía de compactación y el tipo de suelo?

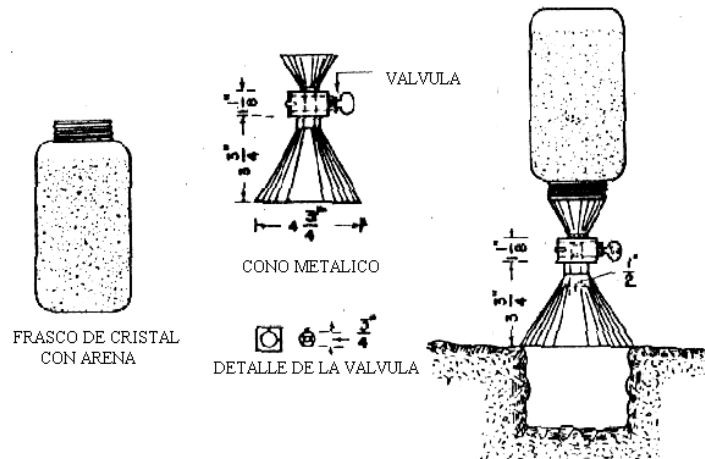


SUBBASE. ENSAYO PROCTOR

In situ se mide mediante dos métodos:

Método del cono de arena NLT-109/58

Una arena estandarizada compuesta por partículas de cuarzo de forma redondeada y granulometría comprendida entre 2,0mm y 0,5mm.



Método con densímetro nuclear.



La determinación de la densidad total o densidad húmeda a través de este método, está basada en la interacción de los rayos gamma provenientes de una fuente radiactiva y los electrones de las órbitas exteriores de los átomos del suelo, la cual es captada por un detector gamma situado a corta distancia de la fuente emisora, sobre, dentro o adyacente al material a medir.

LOSA DE HORMIGÓN. TIPOLOGÍA

LOSA DE HORMIGÓN	EN MASA	VIBRADO
		COMPACTADO
	CON FIBRAS	METÁLICAS
		MACROFIBRAS SINTÉTICAS
		POLIPROPILENO
	ARMADO	(retracción)
	PRETENSADO	
	PREFABRICADO	

Los más utilizados son los de hormigón vibrado, en masa o con fibras, metálicas, macrofibras sintéticas o de polipropileno, por ser de menor coste y construcción más sencilla.

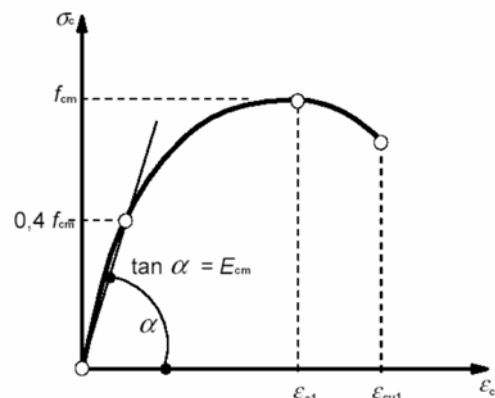
HORMIGÓN. CARACTERIZACIÓN

SOLERA	→	
---------------	---	--



El **hormigón** en masa de la losa que constituye el pavimento se caracteriza mecánicamente por:

Como módulo de deformación longitudinal secante E_{cm} a 28 días (pendiente de la secante de la curva real $\sigma-\varepsilon$), se adoptará: $E_{cm} = 8500 \sqrt[3]{f_{cm}}$



Para cargas instantáneas o rápidamente variables, el módulo de deformación longitudinal inicial del hormigón (pendiente de la tangente en el origen) a la edad de 28 días, puede tomarse aproximadamente igual a: $E_c = \beta_E \cdot E_{cm}$

$$\beta_E = 1,30 - \frac{f_{ck}}{400} \leq 1,175$$

El **coeficiente de Poisson** según Art. 39.9 de EHE tendrá un valor medio de $\nu=0,2$. (varía entre 0,15 y 0,25).

El **coeficiente de dilatación térmica** según EHE, Art. 39.10 vale $\alpha = 10^{-5} \text{ m/m}^\circ\text{C}$.

HORMIGÓN. CARACTERIZACIÓN

RETRACCIÓN

La retracción tiene diferentes causas:

- **plástica** por asentamiento del hormigón,
- **autógena** por contracción del cemento,
- por **carbonatación** del hidróxido cálcico e
- **hidráulica** o por secado (evaporación del exceso de agua de amasado).

la retracción del hormigón de las losas de las soleras produce dos efectos:

- 1) **Acortamiento**, que en el caso de estar restringido por el rozamiento de la cara inferior con la subbase induce tracciones en la solera provocando fisuración. Los valores de la retracción oscilan entre $400\mu\epsilon$ y $800\mu\epsilon$
- 2) **Combadura**. Producida por la retracción diferencial (gradiente) entre la cara superior (expuesta) y la inferior (húmeda). Leonards y Harr establecen para soleras un gradiente térmico equivalente entre $0,66-1,31\text{ }^{\circ}\text{C/cm}$. ($10\mu\epsilon / \text{cm} \approx 1^{\circ}\text{C/cm}$)

HORMIGÓN. CARACTERIZACIÓN

RESISTENCIA A FLEXOTRACCIÓN

La **resistencia a flexotracción** del hormigón $f_{ct,fl}$ o **módulo de rotura** (MOR, MR) puede estimarse mediante ensayo o mediante expresiones empíricas que correlacionan la resistencia a compresión con la resistencia a flexotracción.

La resistencia a flexotracción del hormigón es mayor que la resistencia a tracción, en general estará comprendida entre 1,5 y 2,2 la resistencia a tracción.

La resistencia media a flexotracción, $f_{ct,m,fl}$, viene dada por la siguiente expresión que es función del canto total del elemento h en mm:

$$f_{ct,m,fl} = \max\{(1,6 - h/1000) \cdot f_{ct,m}; f_{ct,m}\}; \quad f_{ct,m} = 0,30 \cdot f_{ck}^{2/3}; \quad f_{ct,k} = 0,7 \cdot f_{ct,m}$$

En todas estas fórmulas las unidades son N y mm.

La Orden FOM/891/2004 tipifica los hormigones para pavimento de hormigón atendiendo a su resistencia a flexotracción expresada en MPa (N/mm^2) en tres tipos:

HF-3,5

HF-4,0

HF-4,5

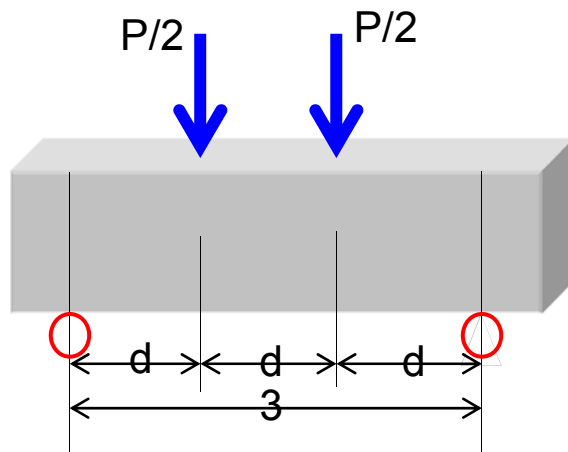
HORMIGÓN. CARACTERIZACIÓN

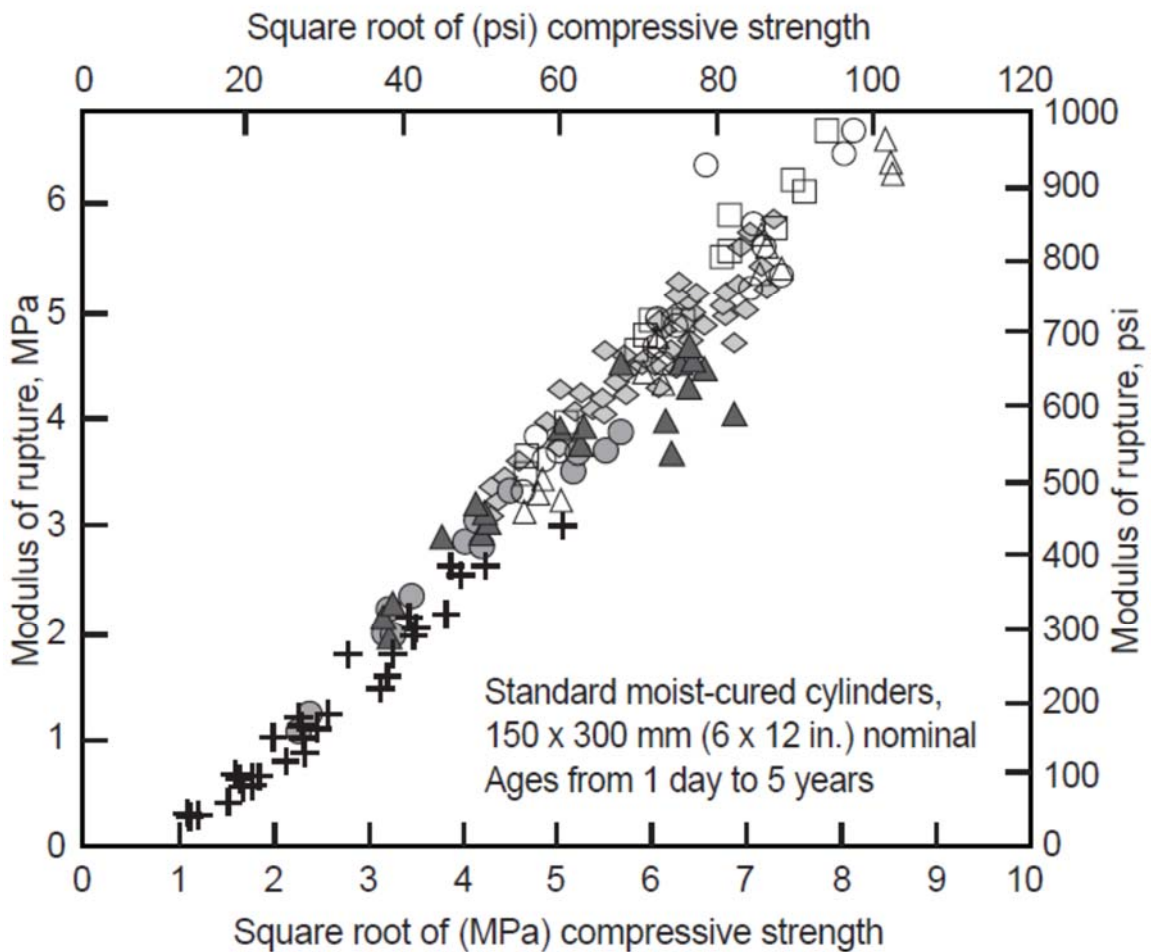
RESISTENCIA A FLEXOTRACCIÓN. ENSAYO

La Orden FOM/891/2004 establece en 550.3 que la resistencia característica a flexotracción, $f_{ct,fl}$, a veintiocho días, se determinará a partir de probetas prismáticas de sección cuadrada, de quince centímetros (15 cm) de lado y sesenta centímetros (60 cm) de longitud, fabricadas y conservadas en obra según la UNE 83301, admitiéndose su compactación con mesa vibrante, ensayadas según la UNE 83305. Ensayos de hormigón. Rotura por flexotracción.

La resistencia característica a flexotracción del hormigón a veintiocho días (28 d) se define como el valor de la resistencia asociado a un nivel de confianza del noventa y cinco por ciento (95%).

$$f_{cf} = \frac{\frac{P}{2} \cdot \frac{L}{3}}{b \cdot d^2} = \frac{P \cdot L}{b \cdot d^2} = \frac{3 \cdot P}{b \cdot d}$$



HORMIGÓN. CARACTERIZACIÓN**RESISTENCIA A FLEXOTRACCIÓN. EMPÍRICA**

$$MR = k \sqrt{f_c}$$

MR = modulus of rupture or flexural strength,
in MPa or psi

f_c = compressive strength, in MPa or psi

k (metric) = constant, usually between 0.7 (for rounded aggregate) and 0.8 (for crushed aggregate)

k (in.-lb) = constant, usually 9 to 11



HORMIGÓN. CARACTERIZACIÓN

RESISTENCIA A FLEXOTRACCIÓN. EMPÍRICA

La **NBN B15-238**

$$f_{ctk,fl} = 0,400 \cdot \sqrt[3]{f_{ck,j}^2}$$

El **ACI 330**

$$f_{ctk,fl} = 0,440 \cdot \sqrt[3]{f_{ck,j}^2}$$

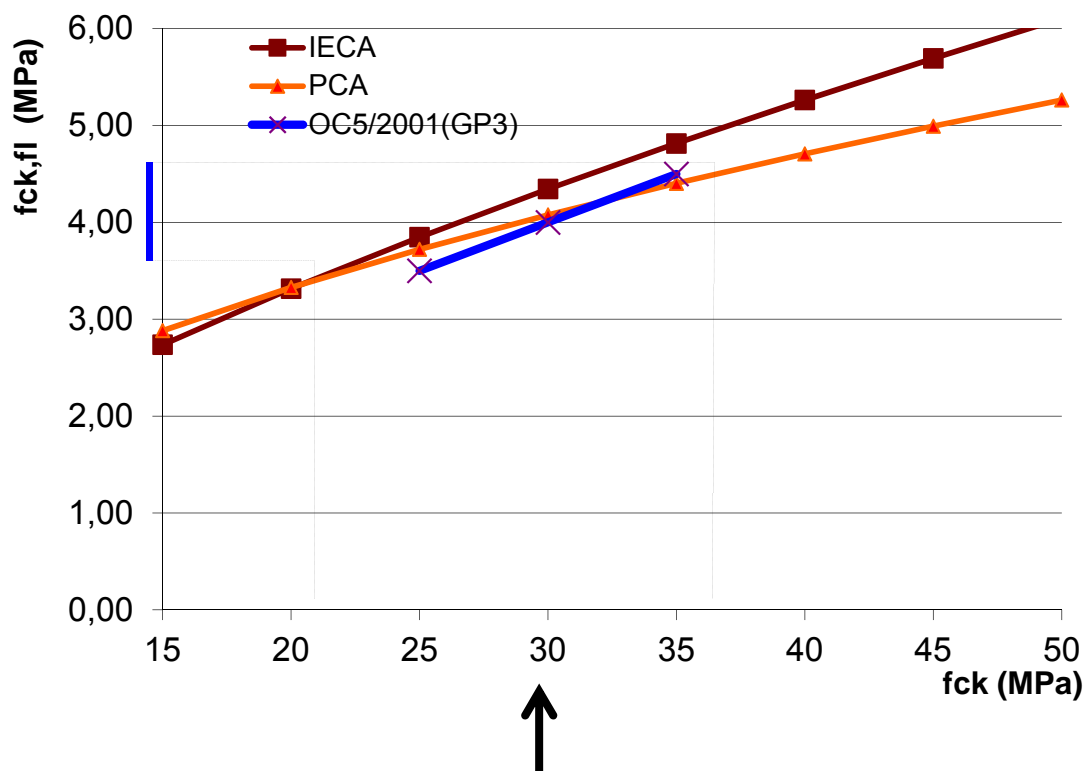
El **IECA**

$$f_{ctk,fl} = 0,464 \cdot \sqrt[3]{f_{ck,j}^2}$$

La **PCA**

$$f_{ctk,fl} = 0,0827 \cdot \left[9 \cdot \sqrt{f_{ck,j}} \right]$$

con $f_{ck,j}$ y $f_{ctk,fl}$ en N/mm² (MPa).



HORMIGÓN. CARACTERIZACIÓN

E.L.U FATIGA (N, σ). EHE

EHE.8.1.2. La denominación de ELU engloba todos aquellos que producen una puesta en fuera de servicio de la estructura (solera) por colapso o rotura de la misma o una parte de ella.

El **ELU de fatiga** se produce por acumulación de deformaciones o fisuración progresiva bajo cargas repetidas. La comprobación del ELU de Fatiga exige verificar que $R_F \geq S_F$, donde R_F es la resistencia a fatiga y S_F es el valor de cálculo del efecto de las acciones de fatiga.

EHE.13.2. El ELU de Fatiga supone comprobaciones especiales que dependen del material considerado, en el caso del hormigón se tendrán en cuenta las sollicitaciones producidas por las cargas permanentes y la carga variable de fatiga, tomado un coeficiente de ponderación para ambas igual a la unidad ($\gamma_G=1$, $\gamma_Q=1$).

EHE.15. A los efectos de establecer los valores característicos de las propiedades de fatiga de los materiales y los coeficientes parciales de seguridad de los mismos (γ_c) se siguen los criterios de **EHE.48** que indica que se definirán de acuerdo con la experimentación existente o con **criterios contrastados de la bibliografía técnica**.

HORMIGÓN. CARACTERIZACIÓN**REPETICIÓN DE CARGAS. FATIGA (N,σ)****LEY DE FATIGA (LEY DE PALMGREN-MINER)**

LEY DE FATIGA: Expresión matemática que permite estimar el número N de aplicaciones de carga que un material puede soportar hasta su agotamiento, en función de un determinado parámetro característico de su comportamiento estructural.

[La PCA, Portland Cement Association](#), recomienda las siguientes ecuaciones de fatiga (Packard, Tayabji, 1985)

$$\text{para } \frac{\sigma}{f_{ct,fl}} \geq 0,55 \quad \log N = 11,737 - 12,077 \cdot \left(\frac{\sigma}{f_{ct,fl}}\right)$$

$$\text{para } 0,45 < \frac{\sigma}{f_{ct,fl}} < 0,55 \quad N = \left(\frac{4,2577}{\sigma / f_{ct,fl} - 0,4325} \right)^{3,268}$$

$$\text{para } \frac{\sigma}{f_{ct,fl}} \leq 0,45 \quad N = \text{ilimitado}$$

El máximo número de veces N que puede repetirse una carga P que produzca una tensión σ valdrá:

$$N = 10^{\frac{1}{A} \cdot (1 - \sigma / f_{ct,fl})} = 10^{12 \cdot (1 - \sigma / f_{ct,fl})}$$

HORMIGÓN. CARACTERIZACIÓN**FATIGA (SUMA DE MINER)**

Una carga P repetida n veces se configura como el par $(P, n) \rightarrow (\sigma, n)$ y produce una fatiga igual a

$$f = \frac{n}{N} = \frac{n}{10^{\frac{1}{A} \cdot (1 - \sigma / f_{ct,fl})}} < 1$$

Un conjunto de cargas P_i repetida n_i veces cada una de ellas, se configura como un conjunto de pares $(P_i, n_i) \rightarrow (\sigma_i, n_i)$ que producen cada uno una fatiga f_i igual a

$$f_i = \frac{n_i}{N_i} = \frac{n_i}{10^{\frac{1}{A} \cdot (1 - \sigma_i / f_{ct,fl})}} < 1$$

La suma de Miner, permite combinar el efecto, la fatiga, del conjunto de cargas como la suma de las fatigas f_i

$$f = \sum_i f_i = \sum_i \frac{n_i}{N_i} = \sum_i \frac{n_i}{10^{\frac{1}{A} \cdot (1 - \sigma_i / f_{ct,fl})}} < 1$$

HORMIGÓN CON FIBRAS. FRC



HORMIGÓN CON FIBRAS. FRC

LOSA DE HORMIGÓN	EN MASA	VIBRADO
		COMPACTADO
	CON FIBRAS	METÁLICAS
		MACROFIBRAS SINTÉTICAS
		POLIPROPILENO
		(retracción)
	ARMADO	
	PRETENSADO	
	PREFABRICADO	

Las fibras metálicas se mezclan con el hormigón con una dosificación comprendida entre 20 y 40 kg/m³ llegándose en alguna situación a 60 kg/m³. En obras portuarias la dosificación habitual es de 30 kg/m³.

El contenido en % de volumen es por lo general inferior al 1% que equivale a una dosificación de 78,5 kg/m³. Dosificaciones en mayor cuantía dificultan la trabajabilidad de la mezcla.

La principal función de las fibras es la transformación del comportamiento frágil del hormigón en un comportamiento dúctil.

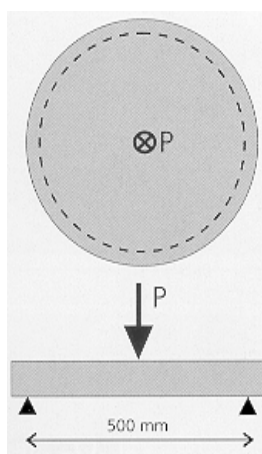
Las fibras al distribuirse uniformemente en el volumen de la losa y suponen una mejora en el comportamiento resistente a flexión (flexotracción) a la vez que una mejora de la resistencia al choque y a la fatiga.

SFRC= STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE

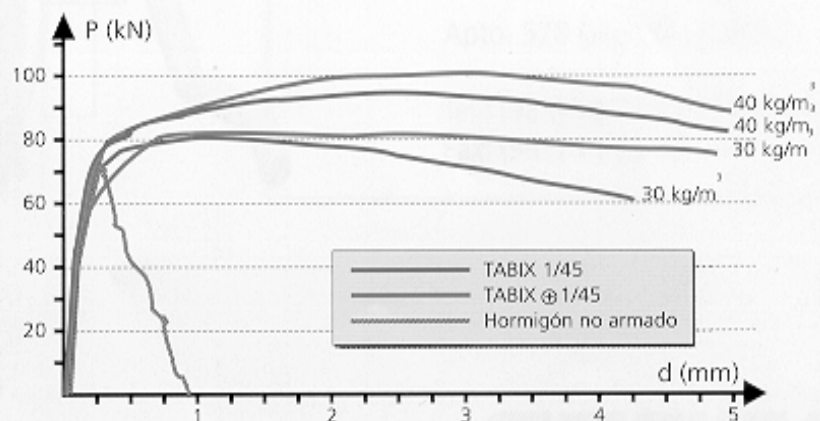
HORMIGÓN CON FIBRAS. SFRC

Las fibras transforman las grietas en rótulas (líneas de rotura) permitiendo la redistribución de esfuerzos incrementando la capacidad de carga de la losa.

La ductilidad de la rótula o de la línea de rotura depende del tipo de fibra y de la cuantía de la dosificación.



Ensayos de carga de rotura sobre losas circulares con diferentes contenidos de fibra y resistencias de fibra



CARGA MÁXIMA DE ROTURA A FLEXOTRACCIÓN

UNE 83509:2004

F,
f_{cf},
P_{max}

JSCE-SF4

Re,3

HORMIGÓN ESTRUCTURAL EHE-08

UNE EN 14651:2007

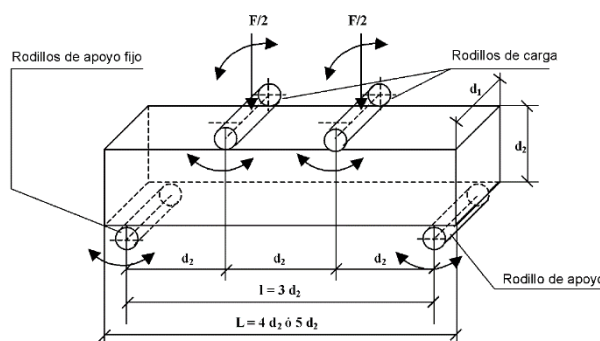
LOP,
FL

HORMIGÓN CON FIBRAS. SFRC.

ROTURA POR FLEXOTRACCIÓN. UNE 83509:2004

CARGA MAXIMA DE ROTURA A FLEXOTRACCIÓN	UNE 83509:2004	F, f _{cf} , P _{max}
	JSCE-SF4	Re,3

La norma UNE 83509:2004 "Hormigones con fibras. Rotura a flexotracción" regula el ensayo para la determinación de la carga máxima a flexotracción para hormigones con fibras, de acero y/o polipropileno, empleando probetas prismáticas de 150x150mm² (sección obligatoria para el caso de pavimentos) con cargas a un tercio de la luz.



La tensión de rotura por flexotracción $f_{ct,fl}$ se calcula con la siguiente expresión

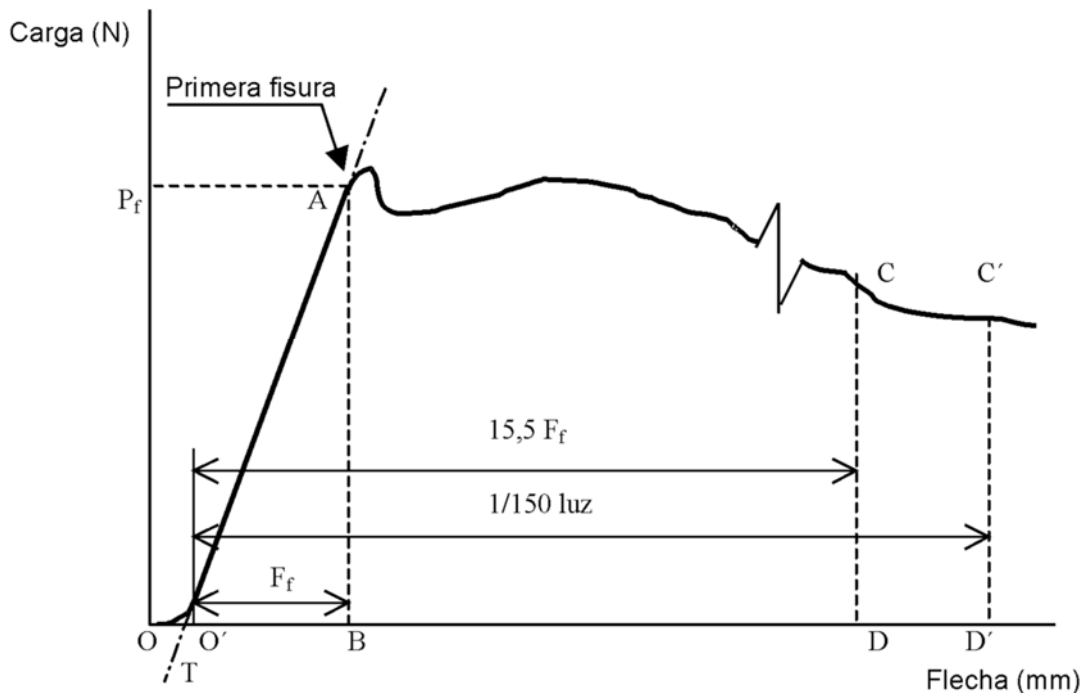
$$f_{ct,fl} = f_{cf} = \frac{M}{W} = \frac{F / 2 \cdot L / 3}{d_1 \cdot d_2^2 / 6} = \frac{F \cdot L}{d_1 \cdot d_2^2} \xrightarrow{d_1 = d_2 = d; l = 3d} \left(3 \cdot \frac{F}{d^2}\right)$$

donde

- f_{cf} es la resistencia a flexotracción (MOR)
- F es la carga de rotura
- L es la distancia entre apoyos
- d₁,d₂ son las dimensiones de la probeta

HORMIGÓN CON FIBRAS. SFRC.

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS.



- (A) **Resistencia a la primera fisura (P_f , LOP)** que es el inicio de la no linealidad en la curva carga flecha. (UNE 83510:2004 "Hormigones con fibras. Determinación del índice de tenacidad y resistencia a primera fisura")
- (B) **Resistencia a rotura por flexotracción $F=P_{max}$** , resistencia máxima alcanzada en el ensayo, permite determinar $f_{c,fl}$ (**módulo de rotura, MOR, MR**). (UNE 83509:2004)
- (C) **Resistencia equivalente $f_{ct,eq,\delta}$** es la asociada a la carga P_c que con un comportamiento rígido plástico del material, tiene la misma energía de deformación que la real para un desplazamiento δ dado. Es un concepto asociado a la tenacidad. Se llama también factor de ductilidad a flexión o de tenacidad. ($R_{e,3}=100 \cdot P_3/P_{max}$)
- (D) **Resistencia residual**. Es la que tiene para un valor de desplazamiento dado

HORMIGÓN CON FIBRAS. SFRC.
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS. JSCE-SF4

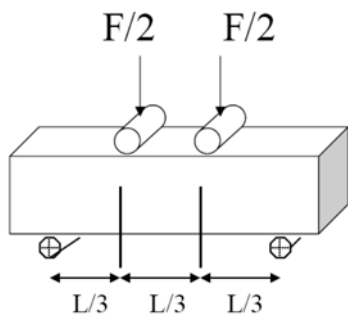
CARGA MÁXIMA DE ROTURA A FLEXOTRACCIÓN

UNE 83509:2004

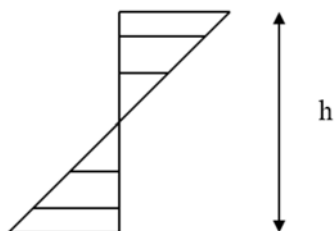
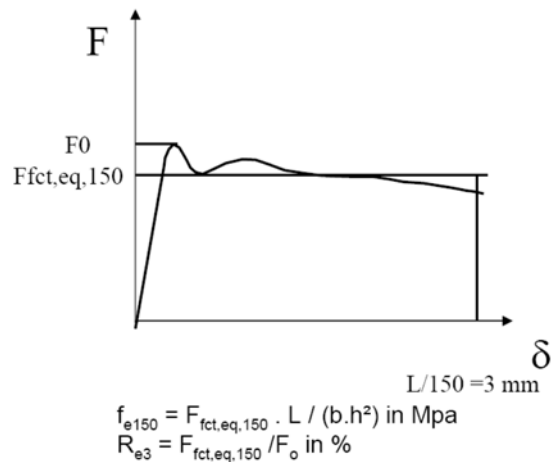
**F,
f_{cf},
P_{max}**

JSCE-SF4

Re,3



L = 450 mm
 b = 150 mm
 h = 150 mm



$$f_{e150} = F_{fct,eq,150} \cdot L / (b \cdot h^2) \text{ in Mpa}$$

$$R_{e3} = F_{fct,eq,150} / F_0 \text{ in \%}$$



HORMIGÓN CON FIBRAS. SFRC. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS. JSCE-SF4

SFRC performance

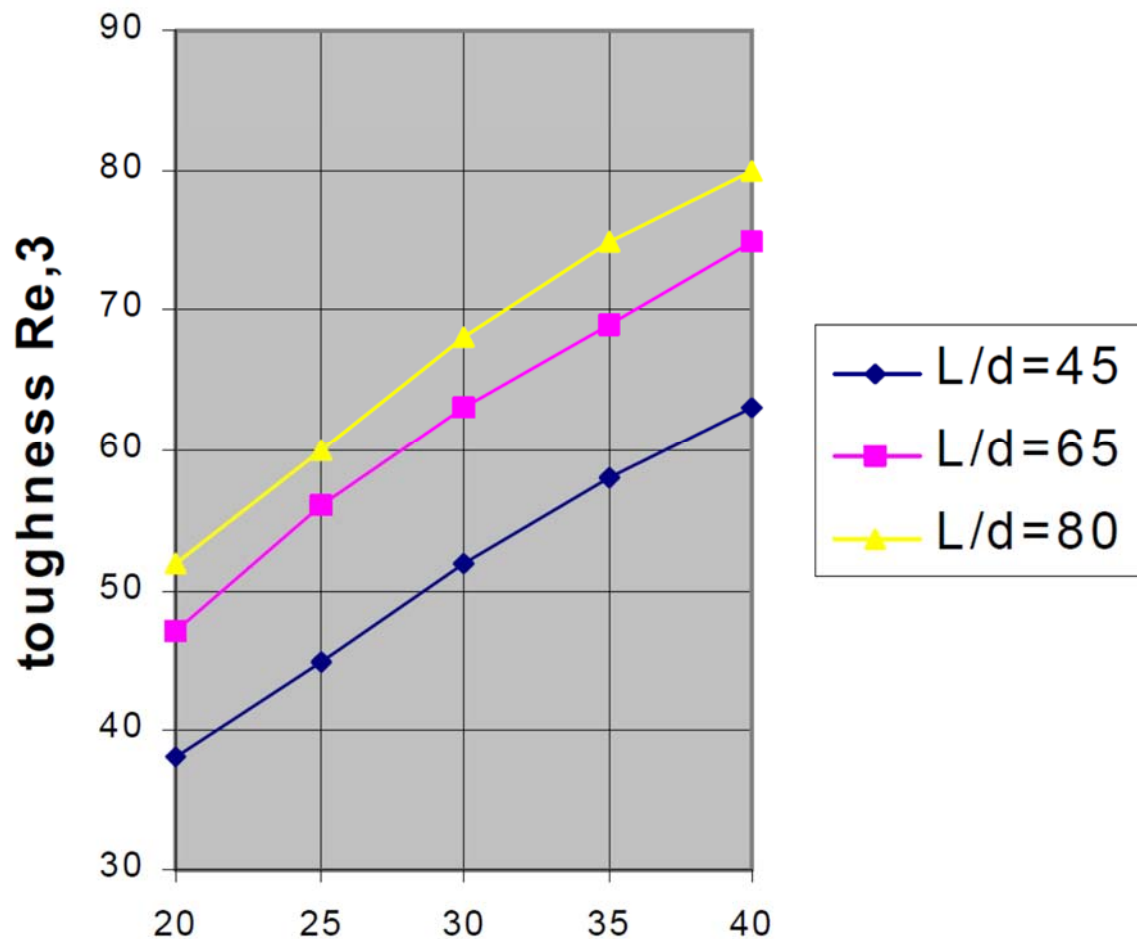


Figure 3 : Identity chart , Toughness value Versus dosage of steel fibers for diffrents types of fibers

LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN A FLEXOTRACCIÓN, A LOS EFECTOS DE LA INSTRUCCIÓN EHE-08

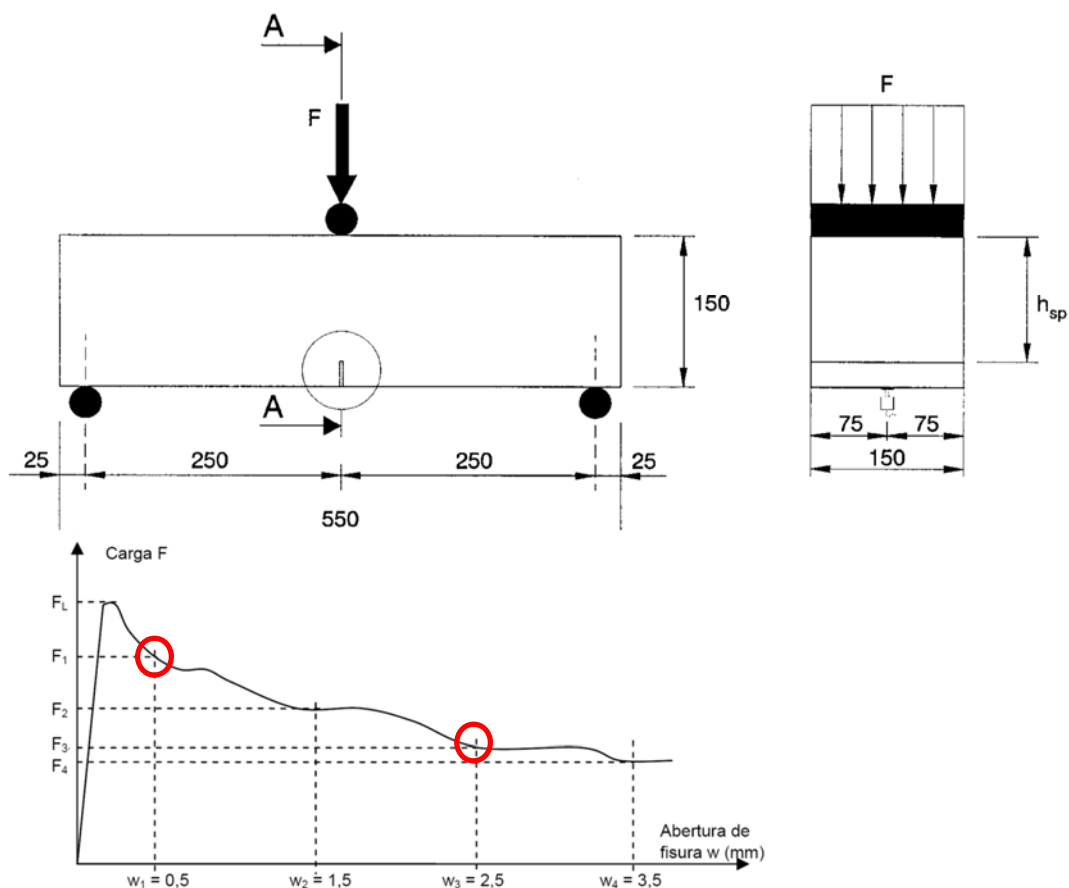
HORMIGÓN ESTRUCTURAL EHE-08

UNE EN 14651:2007

LOP,
FL

Se obtiene a partir de los resultados de ensayo de resistencia a la tracción por flexión, en número igual o superior a tres, realizados sobre probetas prismáticas de ancho igual a 150 mm, altura igual a 150 mm y largo igual a 550 mm, de 28 días de edad, fabricadas, conservadas y ensayadas de acuerdo con:

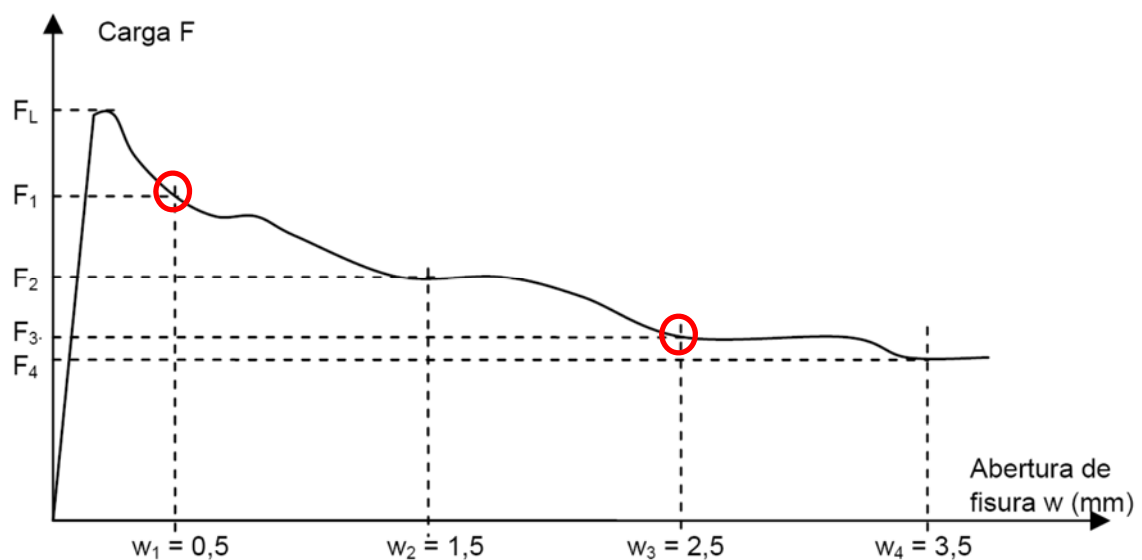
UNE EN 14651:2007 "Método de ensayo para hormigón con fibras metálicas. Determinación de la resistencia a la tracción por flexión (límite de proporcionalidad (LOP), resistencia residual)".



LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN A FLEXOTRACCIÓN, A LOS EFECTOS DE LA INSTRUCCIÓN EHE-08

El cálculo de los valores de resistencia a flexotracción y de resistencia residual a flexotracción se realiza asumiendo una distribución elástico lineal de tensiones en la sección de rotura.

A partir de los valores de carga correspondiente al límite de proporcionalidad (F_L) y a las aberturas de fisura 0,5 mm y 2,5 mm (F_1 y F_3 respectivamente), se obtiene el valor de resistencia a flexotracción ($f_{ct,fl}$) y los valores de **resistencia residual** a flexotracción correspondientes: $f_{R,1}$ y $f_{R,3}$.



Para que las fibras puedan ser consideradas con función estructural la **resistencia característica residual** a tracción por flexión $f_{R,1,k}$ no será inferior al 40 % del límite de proporcionalidad y $f_{R,3,k}$ no será inferior al 20 % del límite de proporcionalidad

TIPIFICACIÓN DE LOS HORMIGONES CON FIBRAS. EHE-08

Los hormigones se tipificarán de acuerdo con el siguiente formato (lo que deberá reflejarse en los planos de proyecto y en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del proyecto):

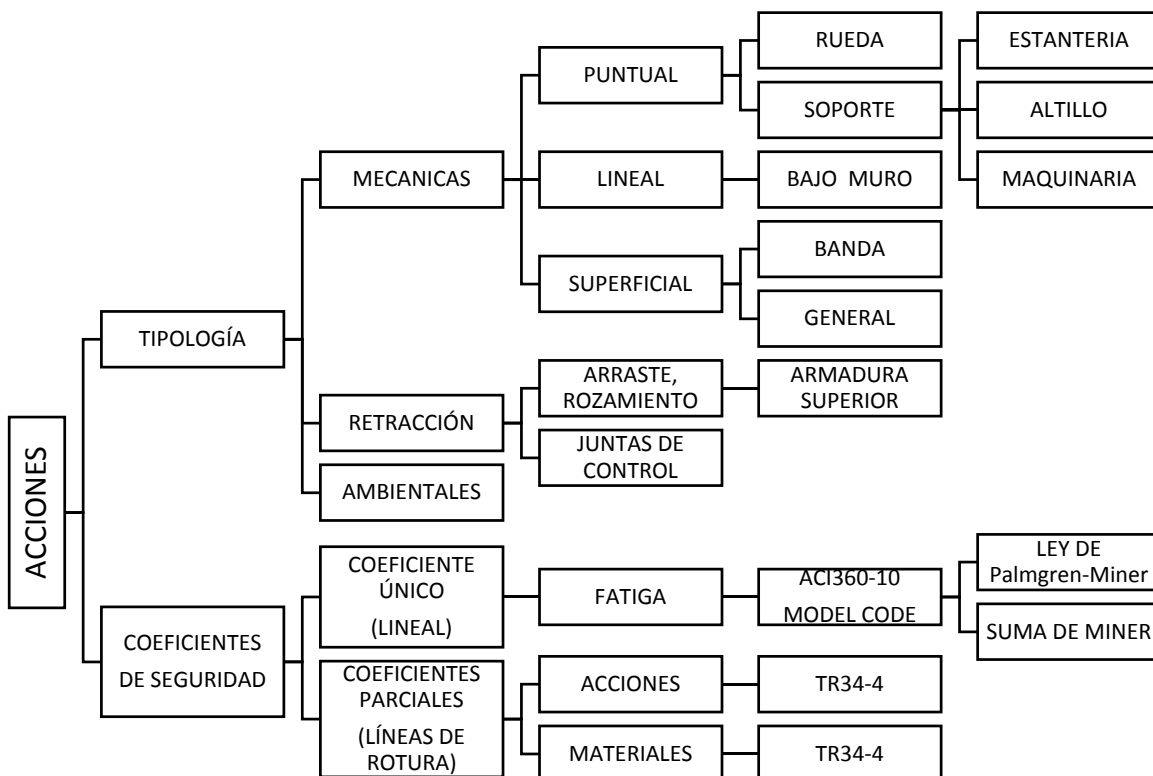
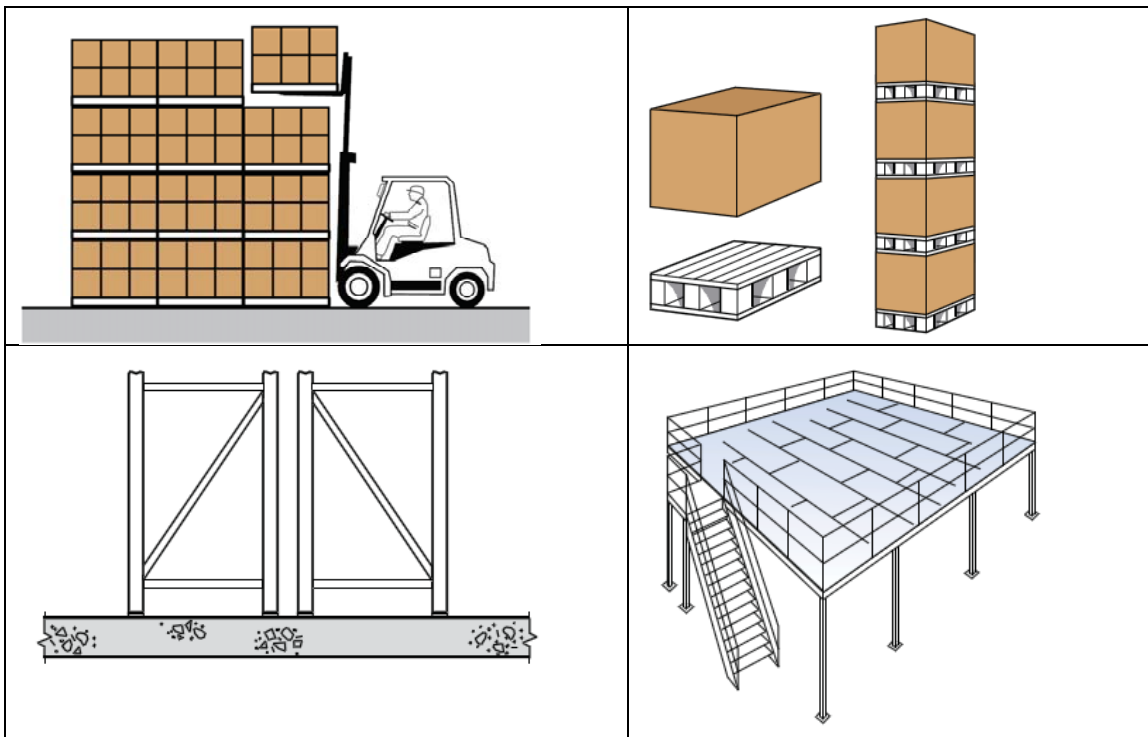
T-R / f-R1-R3 / C / TM-TF / A

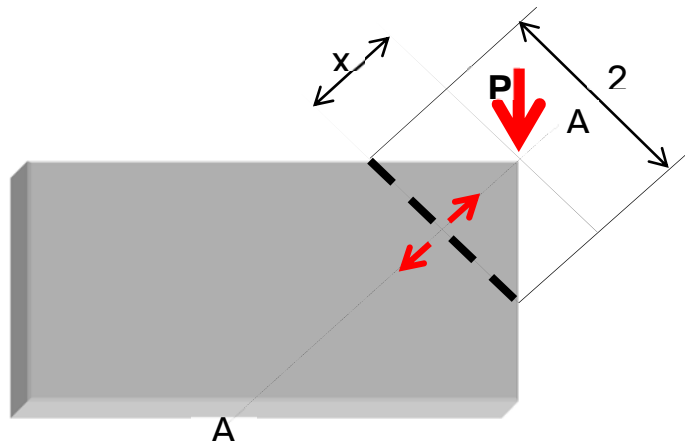
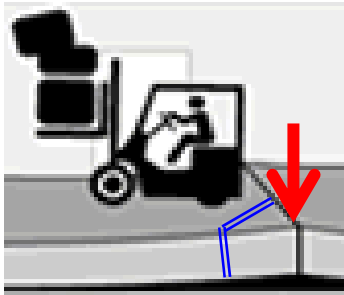
donde:

T	Indicativo que será HMF en el caso de hormigón en masa, HAF en el caso de hormigón armado y HPF en el caso de hormigón pretensado
R	Resistencia característica a compresión especificada, en N/mm ²
f	Indicativo del tipo de fibras que será A en el caso de fibras de acero, P en el caso de fibras poliméricas y V en el caso de fibra de Vidrio
R1,R3	Resistencia característica residual a flexotracción especificada $f_{R,1,k}$ y $f_{R,3,k}$, en N/mm ²
C	Letra inicial del tipo de consistencia
TM	Tamaño máximo del árido en milímetros,
TF	Longitud máxima de la fibra, en mm
A	Designación del ambiente

En cuanto a las resistencias residuales a flexotracción características especificadas, se recomienda utilizar la siguiente serie 1,0 – 1,5 – 2,0 – 2,5 – 3,0 – 3,5 – 4,0 – 4,5 – 5,0 de resistencias residuales a flexotracción características especificadas del hormigón a 28 días, expresada en N/mm².

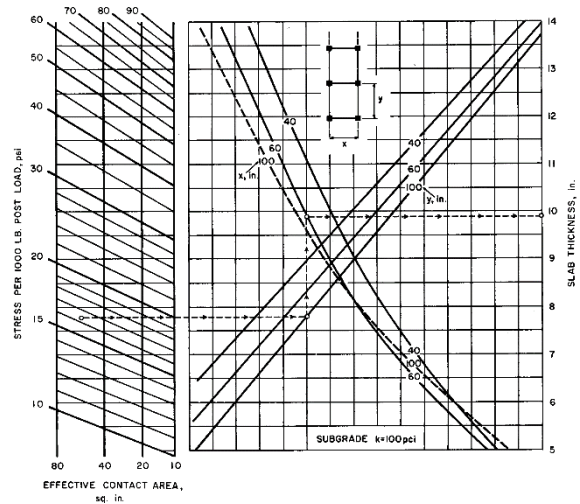
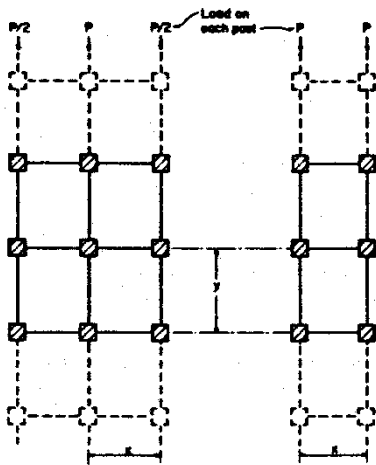
2. ACCIONES





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

$$\delta_e = \frac{P}{k \cdot l^2} \left[1,1 - 0,88 \frac{r \sqrt{2}}{l} \right]$$



2. ACCIONES

Tipos de cargas (sobrecargas):



- a) Cargas de ruedas de vehículos,
- b) Cargas concentradas,
- c) Cargas lineales y cargas en banda,
- d) Cargas uniformes,
- e) Cargas derivadas del proceso de construcción,
- f) Cargas ambientales (retracción, térmicas),
- g) Cargas excepcionales: asientos diferenciales

Las losas de hormigón se deben diseñar para la combinación más crítica de las cargas anteriores.

SOLERAS. ACCIONES

Loading and Design Information

Vehicle Axle Loads

Payload Capacity _____ (lb.) Model No. _____
 Vehicle Weight _____ (lb.) Wheel: Solid or Pneumatic
 Axle: Single Wheel or Dual Wheel Wheel's Tire Width _____ (in.)
 Wheel Spacing WS _____ (in.) or Pressure _____ (psi)
 Dual Wheel Spacing S_d _____ (in.) Wheel Contact Area _____ (sq. in.)

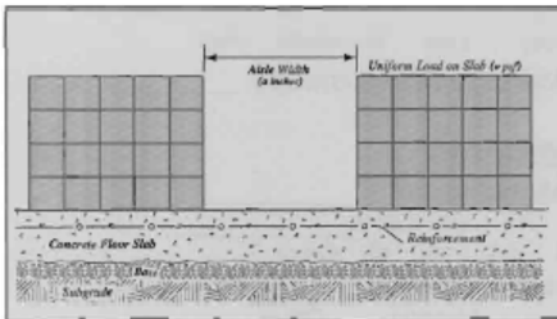
The diagram shows a top-down view of a loaded axle with two wheels. The axle is labeled 'Loaded Axle'. The contact area of each wheel is shaded and labeled 'Contact Area of Each Wheel'. The wheel spacing is labeled 'WS'. The distance from the center of the axle to the center of each wheel is labeled S_d .

Rack and Post Loads

Total load on a section of rack _____ (lb.)
 Post load _____ (lb.)
 Base plate size (area) _____ (sq. in.)
 Post spacing: X= _____ (in.)
 Y= _____ (in.)
 Z= _____ (in.)

The diagram shows a grid of vertical posts connected by horizontal rails. The vertical spacing between posts is labeled 'Y'. The horizontal spacing between posts is labeled 'X'. The width of a post is labeled 'Z'. The entire grid is labeled 'Post Base Plate'.

Uniform Loads with Aisle

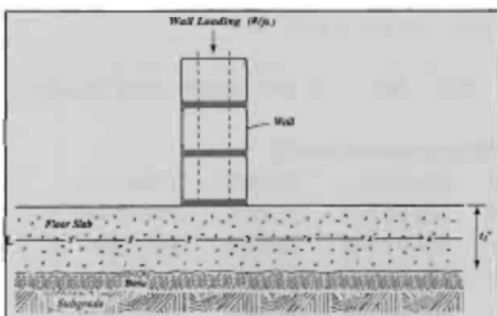


Column Concentrated Loads

Total Design Load at Column Base _____ (lb.)
 Base plate size (area) _____ (sq. in.)
 Slab Thickness at Column _____ (in.)
 Distance to Nearest Joint _____ (in.)

The diagram shows a cross-section of a column base. A vertical load 'P' is applied to the column. The base plate is labeled 'Base Plate b x b'. The distance from the column centerline to the nearest joint is labeled 'Distance to Nearest Joint R1'. The slab thickness is labeled 't'.

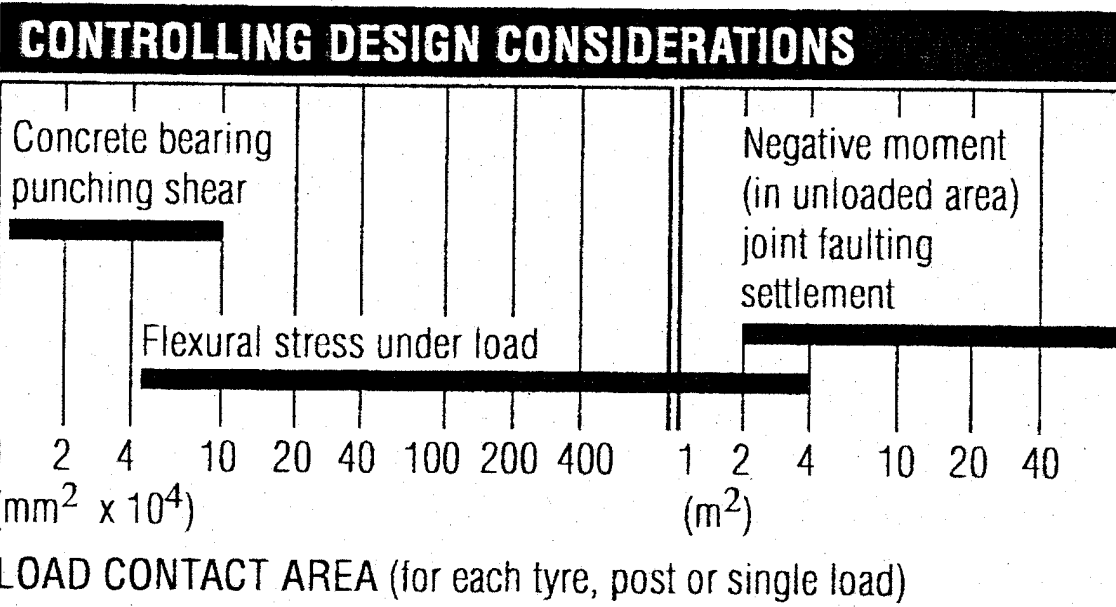
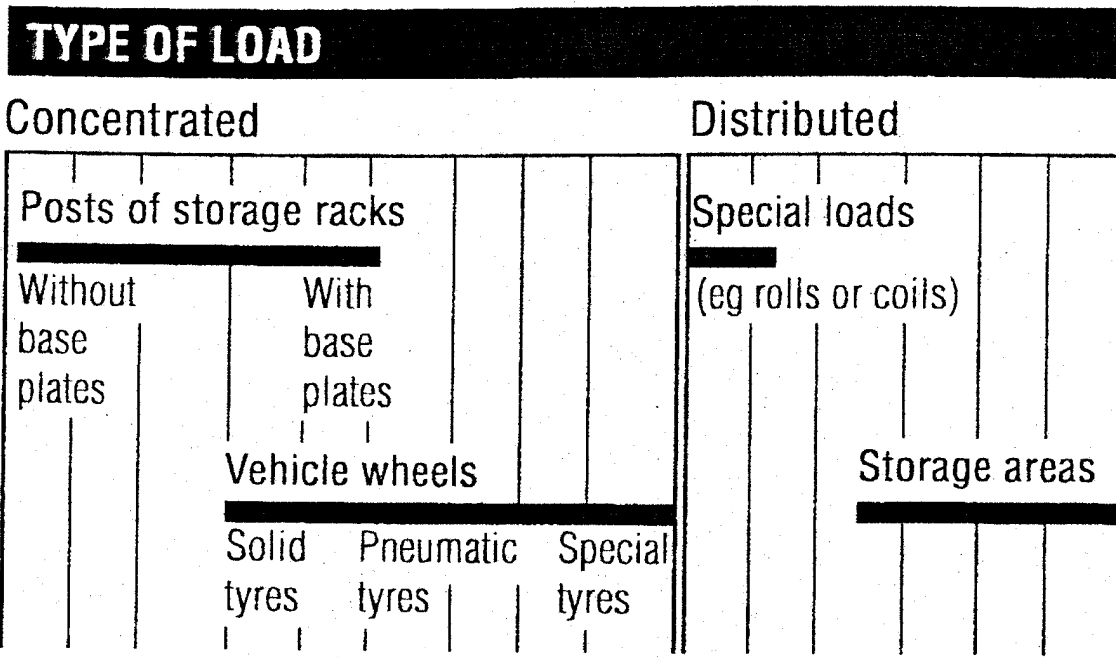
Wall Loads




Other Loading Information

Rack and post height, ft _____
 Rack or posts supporting structures _____
 Anticipated daily forklift repetitions
 25 50 75 100 200 Other _____
 Column, wall or rack loads within 3 ft of joint?
 Yes No

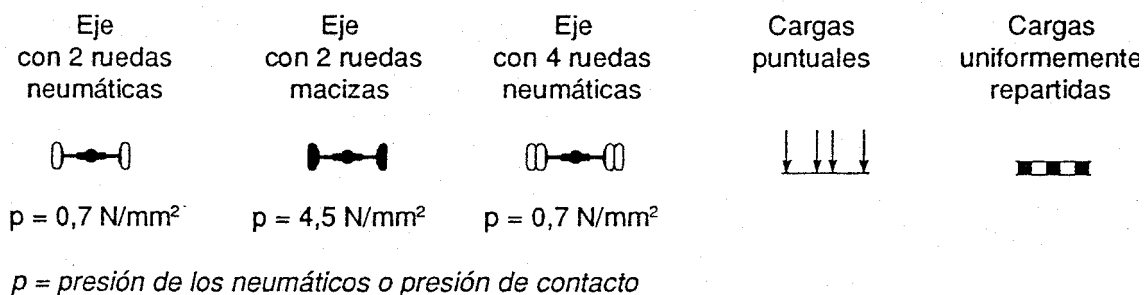
SOLERAS. ACCIONES



SOLERAS. ACCIONES

<p>CARGAS DE VEHÍCULOS (a)↓</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Máxima carga por eje - Distancia entre ruedas cargadas - Área de contacto de la rueda, - Número de repeticiones durante la vida de servicio. - (velocidad)
<p>CARGAS CONCENTRADAS (b)↓</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Carga máxima o representativa por apoyo, - Separación x-y entre apoyos (de las estanterías) y anchura de pasillos, - Área de contacto del apoyo o de la placa de reparto - Apoyos de portacontenedores (palca/rueda metálica)
<p>CARGAS LINEALES Y CARGAS EN BANDA (c)↓↓↓↓</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Máxima intensidad de carga, - Ancho y largo del área cargada, - Ancho del pasillo, - Presencia de juntas longitudinales en los pasillos (en la dirección del pasillo), - Presencia de juntas paralelas a los pasillos a sus lados.
<p>CARGAS UNIFORMES (d)↓↓↓↓↓ ↓↓↓↓↓</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Máxima intensidad de carga, - Ancho y largo del área cargada, - Ancho del pasillo, - Presencia de juntas longitudinales en los pasillos
<p>CARGAS DE CONSTRUCCIÓN (e)↓ ↓</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Cargas de camiones, volquetes, hormigoneras, grúas, andamiajes y acopios de material (paletas),...
<p>CARGAS AMBIENTALES (f) ↔</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Cambios de temperatura, - Cambios de humedad - Rozamiento con su soporte - Pérdida de apoyo por alabeo y combado de la losa - Restricciones constructivas que impiden el libre movimiento de la losa
<p>CARGAS EXCEPCIONALES (g)↑↓→←↙</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Diferentes configuraciones de ejes y ruedas

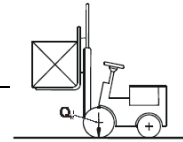
SOLERAS. ACCIONES



Espesor de la losa mm	Módulo de reacción del suelo $k = 0,06 \text{ N/mm}^3$									
	20 kg/m ³					30 kg/m ³				
	T	T	T	T T	T/m ²	T	T	T	T T	T/m ²
120	6	4		2,5	6	8	5		3	8
130	7	5				10	7	11	3,5	
140	8	6		3		12	8	12	4	
150	10	7	10	3,5	7	13	10	13	4,5	9
160	11	8	12	4					5	
170	13	9	13	4,5						
180		10								
190				5						
200										

La acción de los vehículos se caracteriza por el tipo de eje: carga y número de ruedas, el número de repeticiones, el área de contacto de la/s rueda/s y la velocidad.

SOLERAS. ACCIONES
CARRETILLAS



6.3.2.3 Actions induced by forklifts

(1) Forklifts should be classified in 6 classes FL 1 to FL 6 depending on net weight, dimensions and hoisting loads, see Table 6.5.

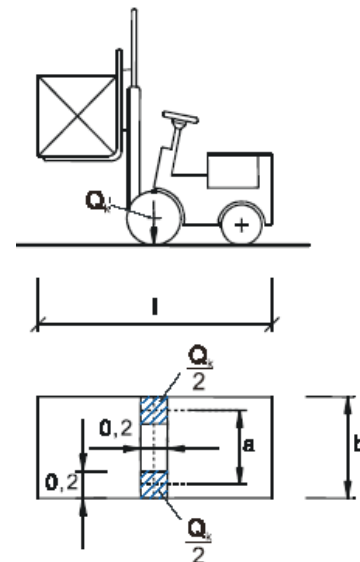
Table 6.5 - Dimensions of forklift according to classes FL

Class of Forklift	Net weight [kN]	Hoisting load [kN]	Width of axle a [m]	Overall width b [m]	Overall length l [m]
FL 1	21	10	0,85	1,00	2,60
FL 2	31	15	0,95	1,10	3,00
FL 3	44	25	1,00	1,20	3,30
FL 4	60	40	1,20	1,40	4,00
FL 5	90	60	1,50	1,90	4,60
FL 6	110	80	1,80	2,30	5,10

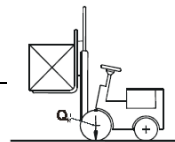
(2) The static vertical axle load Q_k of a forklift depends on the forklift classes FL1 to FL6 and should be obtained from Table 6.6.

Table 6.6 - Axle loads of forklifts

Class of forklifts	Axle load Q_k [kN]
FL 1	26
FL 2	40
FL 3	63
FL 4	90
FL 5	140
FL 6	170



Expresión aproximada:
 $Q_k \approx 2,5 \cdot (\text{Hoisting Load})$

SOLERAS. ACCIONES**CARRETILLAS**

Características de carretillas a partir de datos de fabricantes en EE.UU. (PCA, 1996)

Capacidad Nominal (kN)	Carga máxima por eje (kN)	Rango en cm (c - c)		
		Ruedas simples	Ruedas gemelas	
			S _d	S
8,90	28,47	66- 76	-	-
18,16	46,27	79- 89	-	-
27,24	64,96	81- 96	-	-
45,40	98,77	94-109	25-30	105-135
68,10	144,60	94-114	25-30	120-150
90,80	186,87	100-127	30-35	135-165
136,20	281,63	-	35	145
204,30	447,59	-	45	185
272,40	587,29	-	52,5	177,5

Presión de contacto:

Ruedas macizas, duras o blandas:
1,24-1,72 MPa

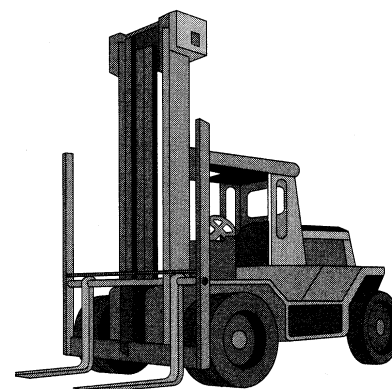
Ruedas neumáticas: 0,55-0,69 MPa

Área de contacto:

Ruedas macizas: 3÷4 el ancho de la rueda

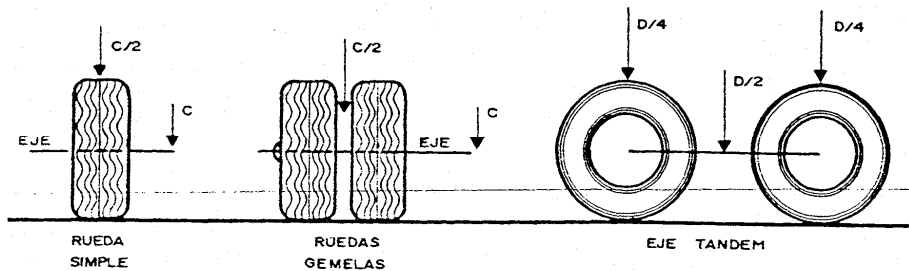
s= separación entre ruedas internas

s_d=separación entre ruedas gemelas



CARGAS DE VEHÍCULOS.

ACCIÓN RUEDA



Eje simple es cada uno de los ejes del vehículo, que forman un solo apoyo del chasis, en **eje simple** con rueda simple o ruedas gemelas, la carga $P_1 = C/2$ siendo C la carga por eje.

Grupo de ejes: los ejes que forman parte de un bogie. En el caso de dos ejes, el grupo se denominará **tándem**, y **tándem triaxial** o **trídem** en caso de tres ejes. Convencionalmente, se considerará que un solo eje es un grupo de un eje.

Eje tándem es un conjunto de dos ejes de un vehículo que constituye un solo apoyo del chasis, en cada eje del **tándem** cada una de las dos ruedas simple o conjunto de dos ruedas gemelas transmitirá $P = D/4$, siendo D la carga por eje.

Ejes tándem MMA

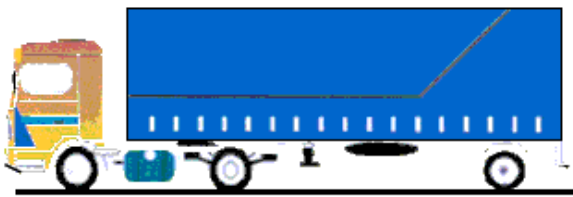
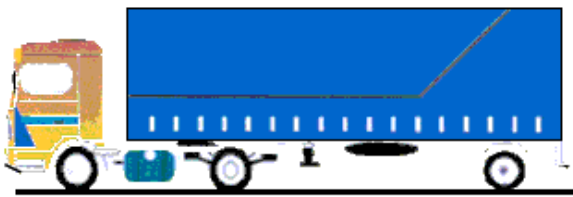





Eje trídem es un conjunto de tres ejes que constituyen un solo apoyo del chasis.



CARGAS DE VEHÍCULOS (MMA)
REGLAMENTO GENERAL DE VEHÍCULOS

- **Pesos máximos (MMA) en función del tipo de eje:**

	TIPO	P_{max} (t)	Esquema														
EJES SIMPLES	a	Ejes simples MMA 	-----														
	b	 Eje motor 11,5 Tm. Eje no motor 10 Tm.	-----														
EJES DOBLES (tándem)	c	Ejes tándem MMA 	-----														
	d		-----														
	e	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Distancia entre ejes</th> <th>Eje tándem motor</th> <th>Eje tándem no motor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$d < 1$ m</td> <td>11,5 Tm</td> <td>11 Tm</td> </tr> <tr> <td>$1 \text{ m} \leq d < 1,3$ m</td> <td>16 Tm</td> <td>16 Tm</td> </tr> <tr> <td>$1,3 \text{ m} \leq d < 1,8$ m</td> <td>18/19/20 Tm</td> <td>18 Tm</td> </tr> <tr> <td>$\leq 1,8$ m</td> <td></td> <td>20 Tm</td> </tr> </tbody> </table>	Distancia entre ejes	Eje tándem motor	Eje tándem no motor	$d < 1$ m	11,5 Tm	11 Tm	$1 \text{ m} \leq d < 1,3$ m	16 Tm	16 Tm	$1,3 \text{ m} \leq d < 1,8$ m	18/19/20 Tm	18 Tm	$\leq 1,8$ m		20 Tm
Distancia entre ejes	Eje tándem motor	Eje tándem no motor															
$d < 1$ m	11,5 Tm	11 Tm															
$1 \text{ m} \leq d < 1,3$ m	16 Tm	16 Tm															
$1,3 \text{ m} \leq d < 1,8$ m	18/19/20 Tm	18 Tm															
$\leq 1,8$ m		20 Tm															
EJES TRIPLES (trídem)		Ejes trídem MMA  Distancia entre ejes <table border="1"> <tbody> <tr> <td>$d \leq 1,3$ m</td> <td>21 Tm</td> </tr> <tr> <td>$1,3 < d \leq 1,4$ m</td> <td>24 Tm</td> </tr> </tbody> </table>	$d \leq 1,3$ m	21 Tm	$1,3 < d \leq 1,4$ m	24 Tm	-----										
$d \leq 1,3$ m	21 Tm																
$1,3 < d \leq 1,4$ m	24 Tm																

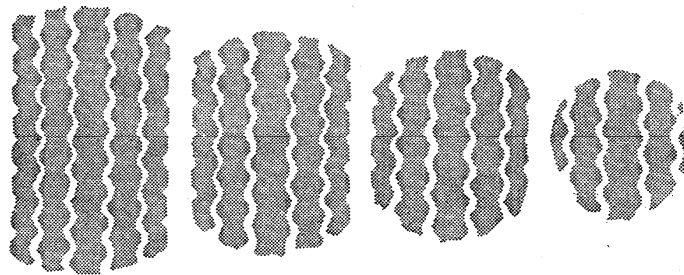
CARGAS DE VEHÍCULOS

ACCIÓN RUEDA. ÁREA DE CONTACTO.

REGLAMENTO GENERAL DE VEHÍCULOS (REAL DECRETO 2822/1998). No se permite la circulación de vehículos con ruedas neumáticas o de elasticidad similar que ejerzan sobre el pavimento una presión superior a 9 kilogramos por centímetro cuadrado de superficie bruta de apoyo.

– **Presión máxima autorizada $p \leq 9 \text{ kp/cm}^2$**

La huella del neumático de un vehículo en reposo puede aproximarse a una elipse adoptando forma circular en movimiento.

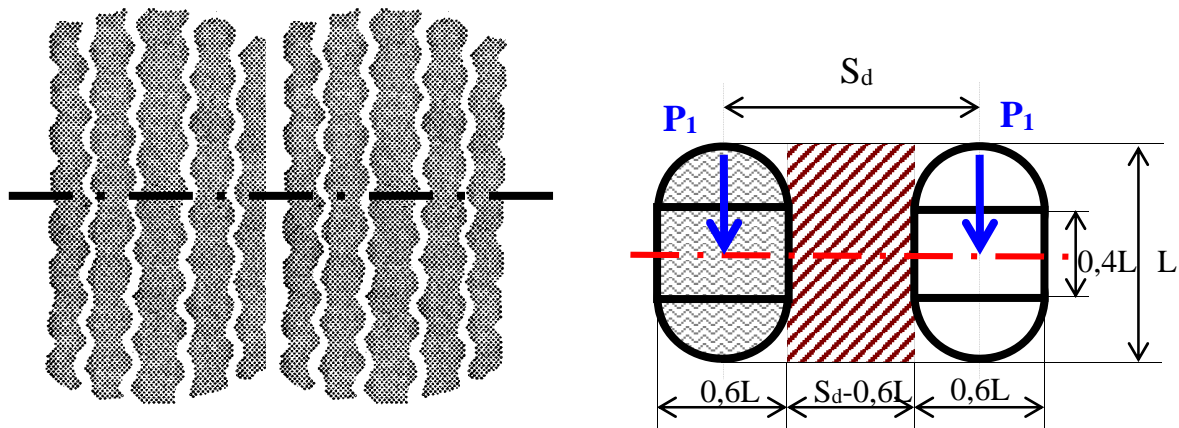


Se admite que la presión de contacto en la huella es uniforme e igual a la presión de inflado que depende del tipo de vehículo:

TIPO DE VEHÍCULO	PRESIÓN DE CONTACTO Kp/cm ²
Turismo	2,3
Camión	5,0
Carretilla con neumáticos	7,5
Carretilla ruedas macizas (180-250 psi)	20,00

Así el radio del círculo de contacto vale $r = \sqrt{P / (p \cdot \pi)}$, siendo P la carga transmitida por rueda y p la presión de inflado.

[Nea,96, p. 40] da como presión de contacto de ruedas de carretilla: 0.7, 1.25 y 1.7 N/mm² para ruedas neumáticas, macizas blandas y macizas duras respectivamente.

CARGAS DE VEHÍCULOS.**RUEDAS GEMELAS. MODELO PCA**

Se ha encontrado una buena correlación entre el efecto de dos ruedas gemelas y la de una carga circular de área igual a la de contacto de la dos ruedas más el área comprendida entre ellas.

De este modo si P_1 es la carga de una rueda, ($P_1=C/4$) S_d la separación entre ejes de las ruedas gemelas y p es la presión de inflado, admitiendo el modelo de contacto de la figura se tiene:

$$\frac{P_1}{p} = \pi(0,3L)^2 + (0,4L) \cdot (0,6L) = 0,5227 \cdot L^2; \quad L = \sqrt{\frac{P_1}{0,5227 \cdot p}}$$

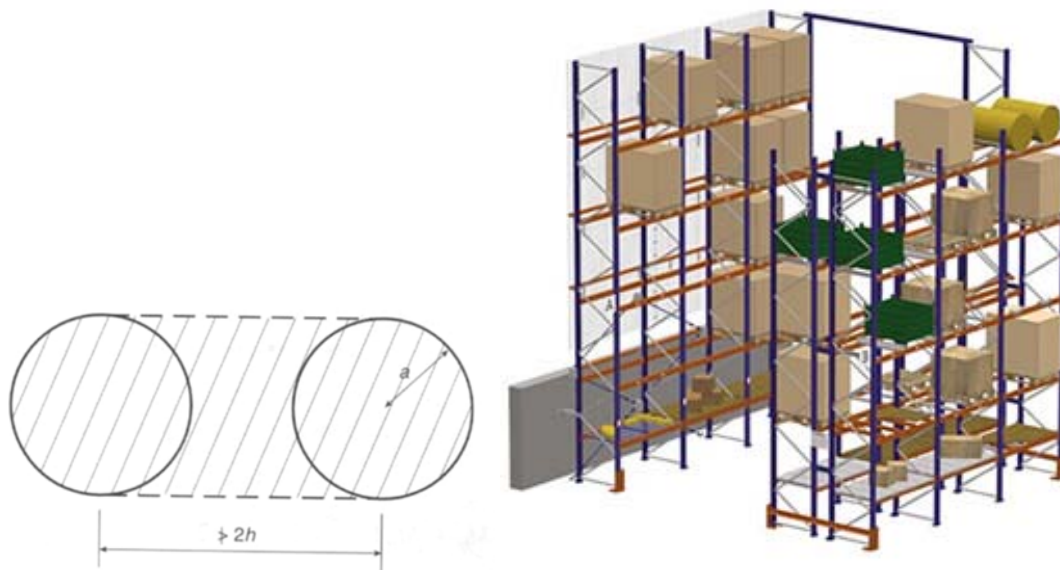
$$\pi \cdot r^2 = 2 \cdot (0,5227 \cdot L^2) + (S_d - 0,6L) \cdot L = 0,4454 \cdot L^2 + S_d \cdot L$$

$$\pi \cdot r^2 = \frac{0,8521 \cdot P_1}{p} + S_d \sqrt{\frac{P_1}{0,5227 \cdot p}}$$

$$r = \sqrt{\frac{0,8521 \cdot P_1}{\pi \cdot p} + \frac{S_d}{\pi} \left(\frac{P_1}{0,5227 \cdot p} \right)^{\frac{1}{2}}}$$

CARGAS DE VEHÍCULOS.

MODELO DEL TR-34



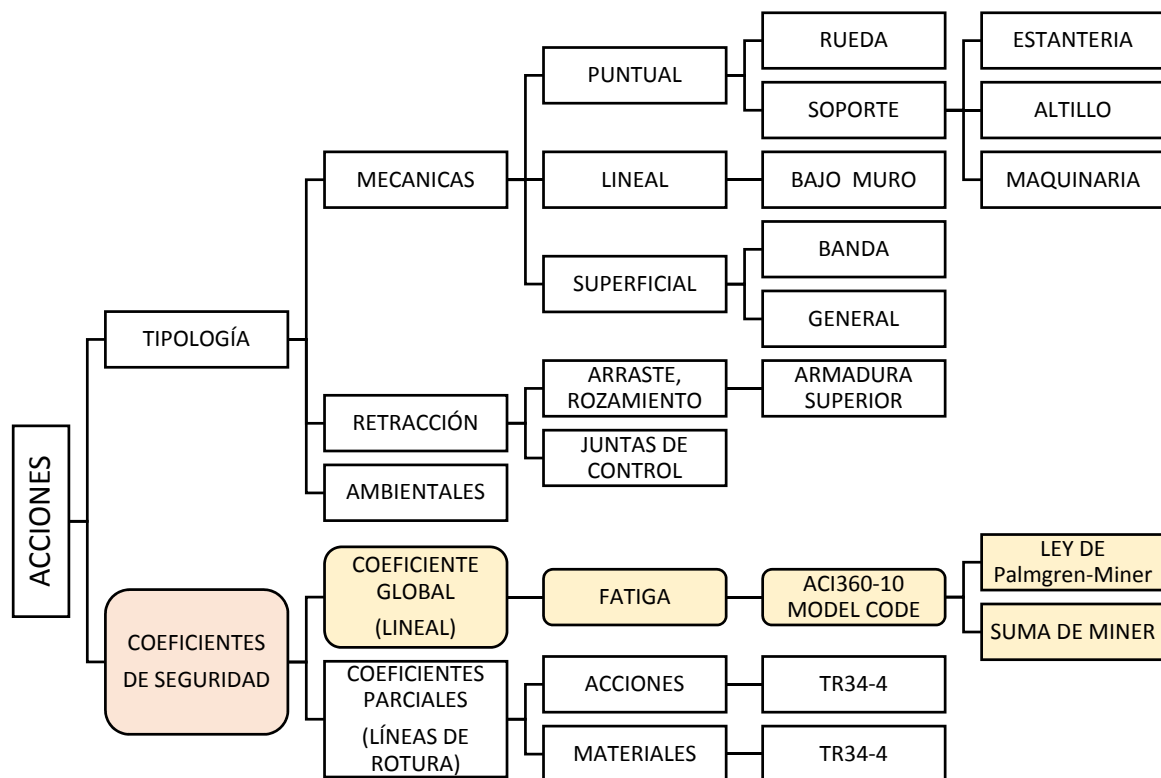
Cuando dos cargas puntuales actúan próximas ($s < 2h$, siendo s la separación entre ejes y h el canto de la losa) puede considerarse que actúan conjuntamente con un área de contacto equivalente igual a la de la huella circular de las ruedas o el área de la placa de apoyo, más el área comprendida entre ellas. En el caso de ruedas con modelo de huella circular se tiene

$$A = \pi \cdot a^2 + s \cdot 2 \cdot a; \quad a = \sqrt{\frac{P}{p \cdot \pi}}$$

$$r = \sqrt{a^2 + \frac{2}{\pi} \cdot s \cdot a} = a \cdot \sqrt{1 + \frac{2 \cdot s}{\pi \cdot a}}$$

Esta situación se da en el caso de estanterías adosadas ($250\text{mm} < s < 350\text{mm}$) o en el caso de ruedas gemelas de carretillas.

2. ACCIONES. COEFICIENTE DE SEGURIDAD



COEFICIENTES DE SEGURIDAD ACI 360-10

No existen normas que indiquen un coeficiente de seguridad para el cálculo de soleras, habitualmente el proyectista fija uno a partir de su experiencia.

El coeficiente de seguridad deberá contemplar los siguientes aspectos:

- 1) Relación entre el MOR y la tensión de flexión producida por las cargas,
- 2) Influencia de las tensiones de retracción,
- 3) Número de repeticiones de las cargas y
- 4) Efectos de fatiga e impacto.

COEFICIENTES DE SEGURIDAD

Un factor crítico en el comportamiento de una losa es el número de veces que los vehículos cruzan los bordes o las juntas entre losas; la retracción y el impacto son por lo general menos significativos en el diseño, aunque la retracción juega un importante papel en el comportamiento causando fisuración, alabeo y combaduras que se traducen en una pérdida de resistencia.

El número n de repeticiones máximo de una carga P antes de la rotura es función de la relación entre la tensión σ que produce la carga P y el MOR.

$$\sigma_{uf} = \sigma(n) = \text{MOR} \cdot (1 - A \cdot \log n) = \frac{\text{MOR}}{\gamma_m}$$

$$\gamma_m = \frac{\text{MOR}}{\sigma_{uf}} = \frac{1}{1 - A \cdot \log n}$$

ACI360R.3.4.2. indica que la composición de coeficientes de seguridad es un error común.

La inclusión de coeficientes en el coeficiente de balasto, en las cargas aplicadas, en la resistencia a compresión del hormigón, en la resistencia a flexotracción y en el número de repetición de las cargas lleva a un diseño caro.

El coeficiente de seguridad γ_m se introduce a través de la resistencia a flexotracción del hormigón (MOR) y es función del número n de repeticiones de la carga.

COEFICIENTES DE SEGURIDAD

Tipo de Carga	Coefficiente de seguridad utilizado habitualmente	Coefficiente de seguridad utilizado ocasionalmente
<i>Carga móvil de rueda</i>	1,7 a 2,0	1,4 a 2,0+
<i>Cargas concentradas</i>	1,7 a 2,0	Mayor en circunstancias especiales
<i>Cargas uniformes</i>	1,7 a 2,0	1,4 es el límite menor
<i>Cargas lineales y en banda</i>	1,7	2,0 es un límite superior conservativo
<i>Cargas de construcción</i>	1,4 a 2,0	

PAVIMENTO DE HORMIGÓN. TRÁFICO (P_i, n_i)

El tráfico se caracteriza por un espectro de cargas de intensidad P_i y frecuencia n_i , (P_i, n_i) que en un punto del pavimento de hormigón producen (σ_i, n_i),

La fatiga f_i producida por cada tipo de carga P_i se determina a partir de (σ_i, n_i) como:

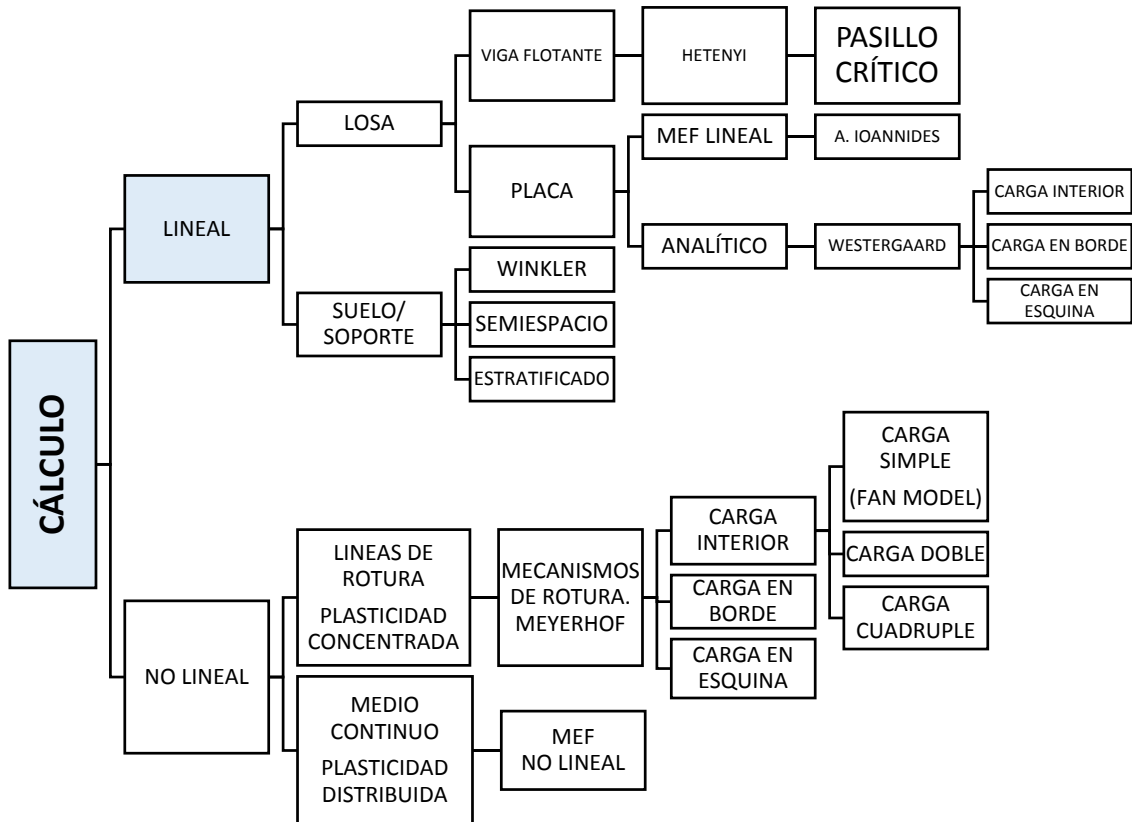
$$f_i = \frac{n_i}{N_i} = \frac{n_i}{10^{\frac{1}{A} \cdot (1 - \frac{\sigma_i}{f_{ct,fl}})}} < 1 \quad \forall i$$

La fatiga total F producida por el conjunto de cargas (P_i, n_i) se determina en virtud de la ley de Miner sumando las fatigas f_i (suma de Miner) como:

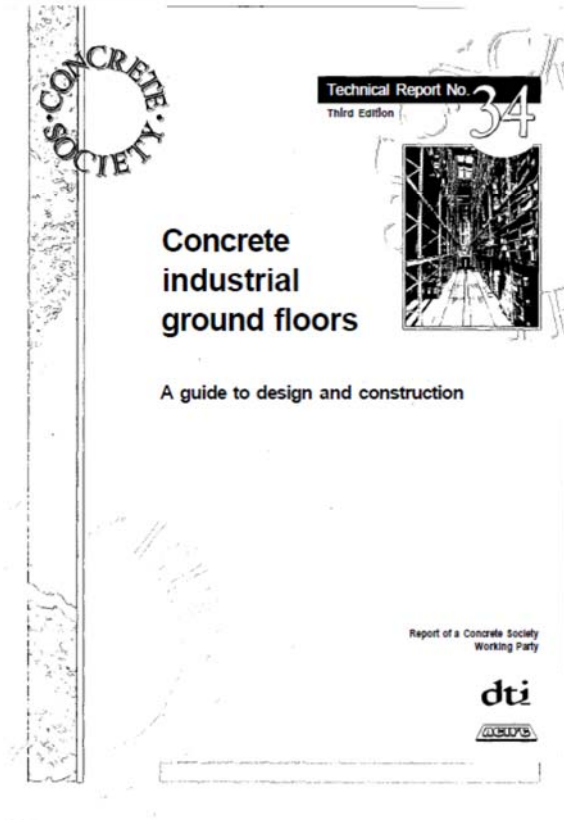
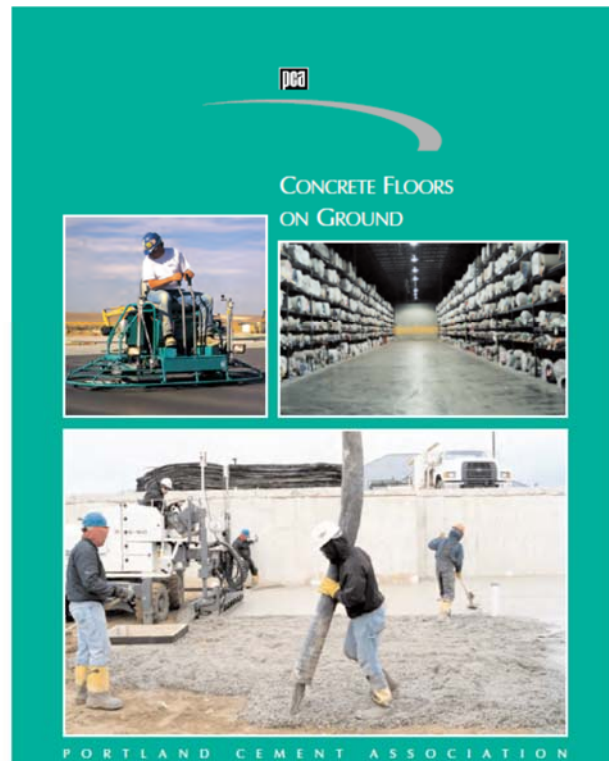
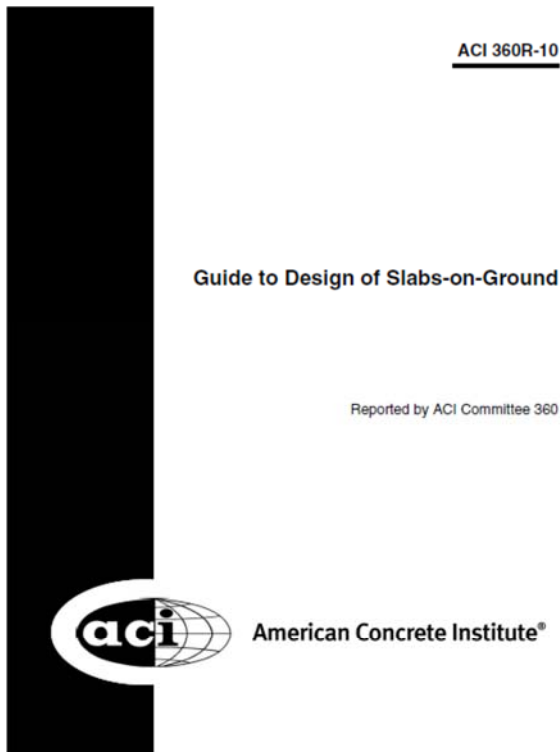
$$F(P_i, n_i) = \sum_i f_i = \sum_i \frac{n_i}{N_i} = \sum_i \frac{n_i}{10^{\frac{1}{A} \cdot (1 - \frac{\sigma_i}{f_{ct,fl}})}} ; \sigma_i = \sigma(P_i)$$

La condición de agotamiento en estado límite último de fatiga (ELU) puede expresarse como $F(P_i, n_i) < 1$

3. CÁLCULO

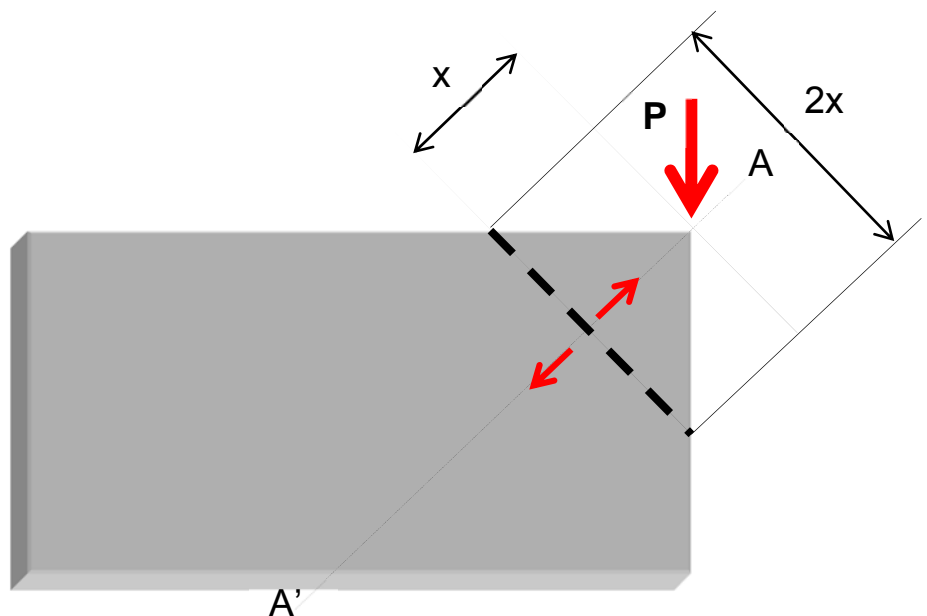
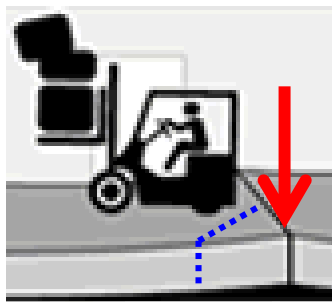


3. CÁLCULO DE SOLERA MANUALES Y NORMAS DE CÁLCULO



MODELO MECÁNICO = Viga de sección variable en voladizo con carga puntual P.

Las formulaciones de **Goldbeck**(1919) y **Older**(1924) son la primeras empleadas en el cálculo del espesor de pavimentos de hormigón y asumían la hipótesis desfavorable de esquina en voladizo (sin apoyo en el suelo, subbase).



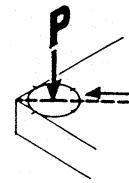
Cuando se aplica una carga en la esquina la tensión en la losa es simétrica respecto de su bisectriz, A-A', produciéndose tracciones en la cara superior.

$$\left. \begin{aligned} M(x) &= P \cdot x \\ W(x) &= \frac{1}{12} \cdot 2x \cdot h^3 = \frac{x \cdot h^2}{3} \end{aligned} \right\} \sigma(x) = \frac{M(x)}{W(x)} = \frac{P \cdot x}{\frac{x \cdot h^2}{3}} = \frac{3 \cdot P}{h^2}$$

la tensión σ es independiente de x.

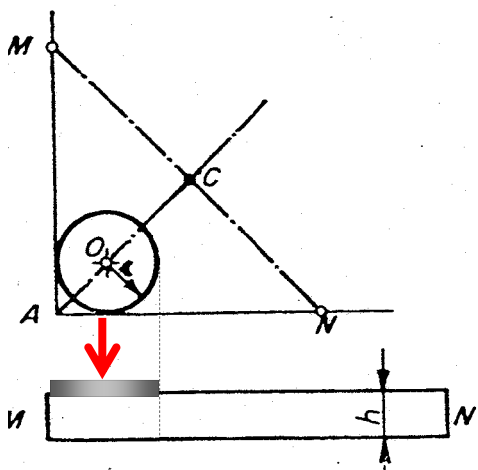
SOLERAS. LOSA

Tensión para carga en esquina σ_e (3):



MODELO MECÁNICO = Viga de sección variable en voladizo con carga P distribuida en un círculo de radio r.

Para el caso de carga con superficie de aplicación circular, cuando la esquina pueda quedar sin apoyo (alabeo, bombeo, asiento), se considera que la esquina flexa alrededor de un eje \overline{MN} base del triángulo isósceles AMN.



$$M = P \cdot \overline{OC} = P \cdot (\overline{AC} - \overline{AO})$$

$$\overline{AC} = \overline{CN} = \frac{\overline{MN}}{2} = \frac{1}{2} \overline{MA} \cdot \sqrt{2}$$

$$M = P \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \overline{AM} \cdot \sqrt{2} - r \cdot \sqrt{2} \right)$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{6 \cdot M}{\overline{MN} \cdot h^2} = \frac{6 \cdot M}{(\overline{MA} \cdot \sqrt{2}) \cdot h^2}$$

$$\sigma_e = \frac{3 \cdot P}{h^2} \left[1 - \frac{2 \cdot r}{\overline{AM}} \right]; \quad \overline{AM} \gg r; \quad \sigma_e = \frac{3 \cdot P}{h^2}$$

Se observa que para $r=0$ el resultado coincide con el de las formulaciones de **Goldbeck** y **Older**.

SOLERAS. MODELOS DE SUELO

MODELOS
DE SUELO

LÍQUIDO (FLOTANTE)
Winkler.

**Westergaard,
Kelly, Spangler**

SÓLIDO (ELÁSTICO)
Boussinesq

**Pickett, Hogg,
Holl,**

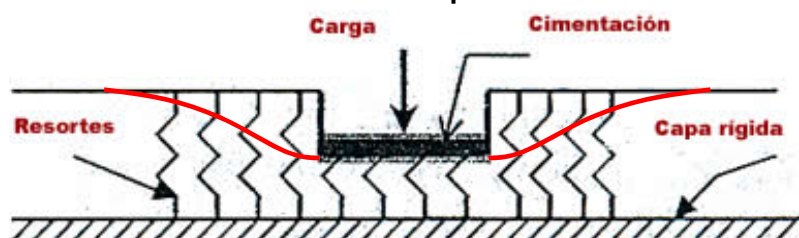
ESTRATIFICADO

**Burmister,
Hank, Scrivner**

El modelo de **Winkler** se caracteriza por una relación fuerza-asiento lineal (muelle).



En el modelo de **Boussinesq**, sólido elástico, el asiento en un punto depende no sólo de la carga aplicada en ese punto sino también de la aplicada en el resto de la losa de modo que:



SOLERAS. MODELO DE LA LOSA

La losa se modela como una PLACA DELGADA sometida a una carga $p(x,y)$ cuya ecuación diferencial de se expresa en función del campo de desplazamientos verticales $w(x,y)$ como:

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{p}{D}; \quad (1)$$

$$D = \frac{E \cdot I}{(1 - \nu^2)} = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)}$$

$$\Delta^2 w = \Delta(\Delta w) = \Delta\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right) = \frac{p}{D}$$

SOLERAS. MODELO DE WESTERGAARD

Los pavimentos rígidos y las soleras de hormigón en masa o con fibras están normalmente divididos en losas rectangulares, independientes o conectadas.

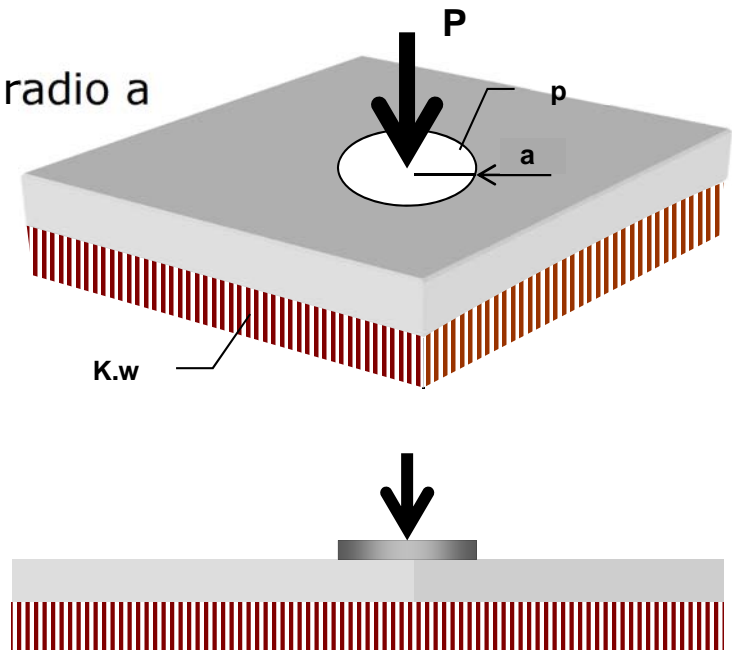
Para el cálculo, la losa se modela aplicando la teoría de **Westergaard** (1925-26) como una PLACA flotante asumiendo las siguientes hipótesis:

- a) La losa de hormigón se asimila a una placa delgada (**Kirchhoff**, 1876), elástica, homogénea e isótropa, que apoya de modo uniforme sobre la explanada o la subbase (el cemento) aunque para la determinación de las tensiones debajo de la carga se corrigen teniendo en cuenta que la placa es gruesa.
- b) La explanada o la subbase solo reacciona verticalmente y proporcional al asiento w , siendo la constante el coeficiente de balasto k , lo que implica asimilar el terreno como un líquido de densidad k . (comportamiento winkleriano).
- c) La acción P de la rueda sobre la losa se supone uniformemente repartida, con una presión p , sobre un círculo de radio a .

SOLERAS. LOSAS

En el caso de una **LOSA FLOTANTE** (modelo winkleriano) con carga uniforme p en área circular de radio a y una reacción $-k \cdot w$ la ecuación diferencial de la placa puede ponerse como:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Bajo el círculo de radio } a \\ \Delta^2 w = \frac{p - k \cdot w}{D} \\ \text{Fuera del círculo} \\ \Delta^2 w = \frac{-k \cdot w}{D} \end{array} \right.$$

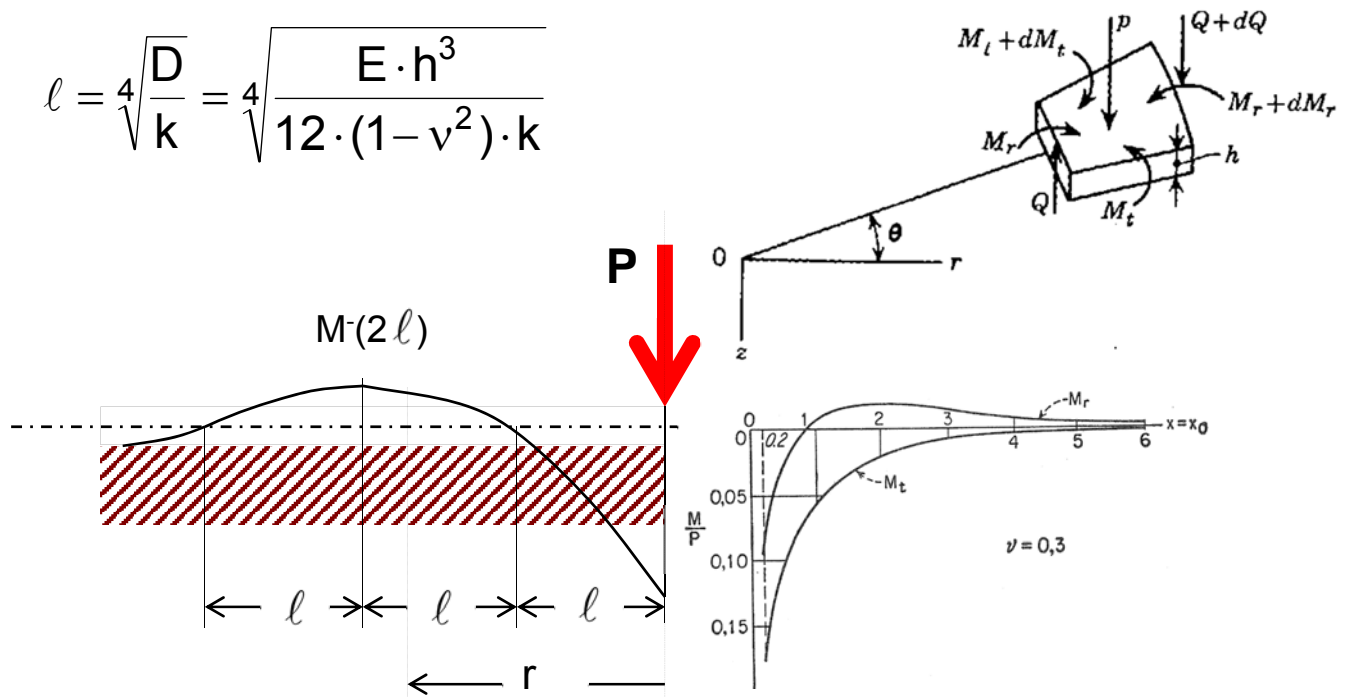


La solución de esta ecuación diferencial en derivadas parciales en el dominio de la placa y con las condiciones de contorno, de borde o sustentación, permiten obtener la función de campo de desplazamientos $w(x,y)$ y a partir de ella los esfuerzos y tensiones.

SOLERAS. LOSAS

En la solución de la ecuación diferencial aparece el parámetro ℓ , "*radio de rigidez relativa de la losa*" que puede expresarse como:

$$\ell = 4\sqrt{\frac{D}{k}} = 4\sqrt{\frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot k}}$$



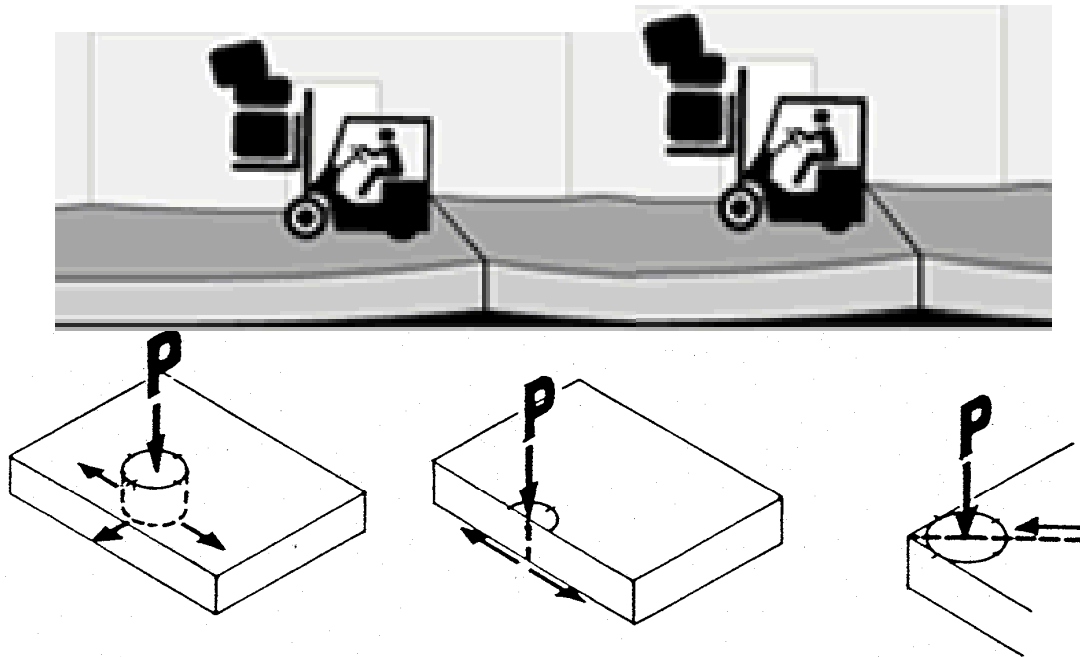
Desde un punto de vista práctico el área de influencia de una carga es el círculo concéntrico con la carga de radio aproximadamente 3ℓ .

Las cargas situadas a una distancia inferior a 1ℓ de un punto dado de una losa tienen influencia significativa en el estado tensional del punto.

En losas consideradas continuas, una junta a menos de $1,5\ell$ de la carga interrumpe la continuidad.

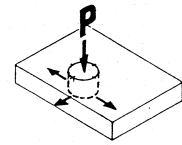
SOLERAS. LOSAS

Los casos de carga más desfavorables resueltos por Westergaard son:



carga distribuida circularmente en interior y en esquina y en semicírculo en borde con los siguientes efectos:

- 1) **Carga interior:** Tracciones máximas en la base de la losa, en el centro del círculo y en todas las direcciones.
- 2) **Carga de borde:** Tracciones máximas en la base de la losa, en el centro del semicírculo y la dirección del borde. $P = 1/2\pi r^2 p$; $r = \sqrt{\frac{2 \cdot P}{p \cdot \pi}}$.
- 3) **Carga de esquina:** Tracción máxima en la cara superior de la losa, en dirección paralela a la bisectriz de la esquina

SOLERAS. LOSAS**Tensión para carga interior σ_i :**

La solución analítica (σ_i, δ_i) de **Westergaard** (1926, 1939):

$$\sigma_i = \frac{3 \cdot P}{h^2} \cdot \frac{1 + \nu}{2\pi} \cdot \left(\ln \frac{\ell}{r_1} + 0,616 \right)$$

$$\delta_i = \frac{P}{8 \cdot k \cdot \ell^2} \left[1 + \frac{1}{2\pi} \left(\ln \frac{r}{2\ell} - 0,673 \right) \left(\frac{r}{\ell} \right)^2 \right]$$

Timoshenko da la siguiente expresión de Westergaard:

$$\sigma_i = 0,275 \cdot (1 + \nu) \cdot \frac{P}{h^2} \cdot \log \frac{E \cdot h^3}{K \cdot r_1^4}$$

$$\sigma_i = 0,275 \cdot (1 + \nu) \cdot \frac{P}{h^2} \cdot \log \frac{E}{k \cdot \left(\frac{r_1}{h} \right)^4 \cdot h} = \alpha \cdot \frac{P}{h^2} \cdot \beta(h)$$

donde el valor de r_1 sustituye a r para tener en cuenta la teoría de placas gruesas en la determinación de la tensión. (Sin esta consideración la tensión sería infinita bajo carga puntual, $r=0$).

r_1 es el radio de acción o efectivo de la carga sobre el suelo.

$$r_1 = \begin{cases} \sqrt{1,6 \cdot r^2 + h^2} - 0,675 \cdot h & r < 1,724 \cdot h \\ r & r \geq 1,724 \cdot h \end{cases}$$

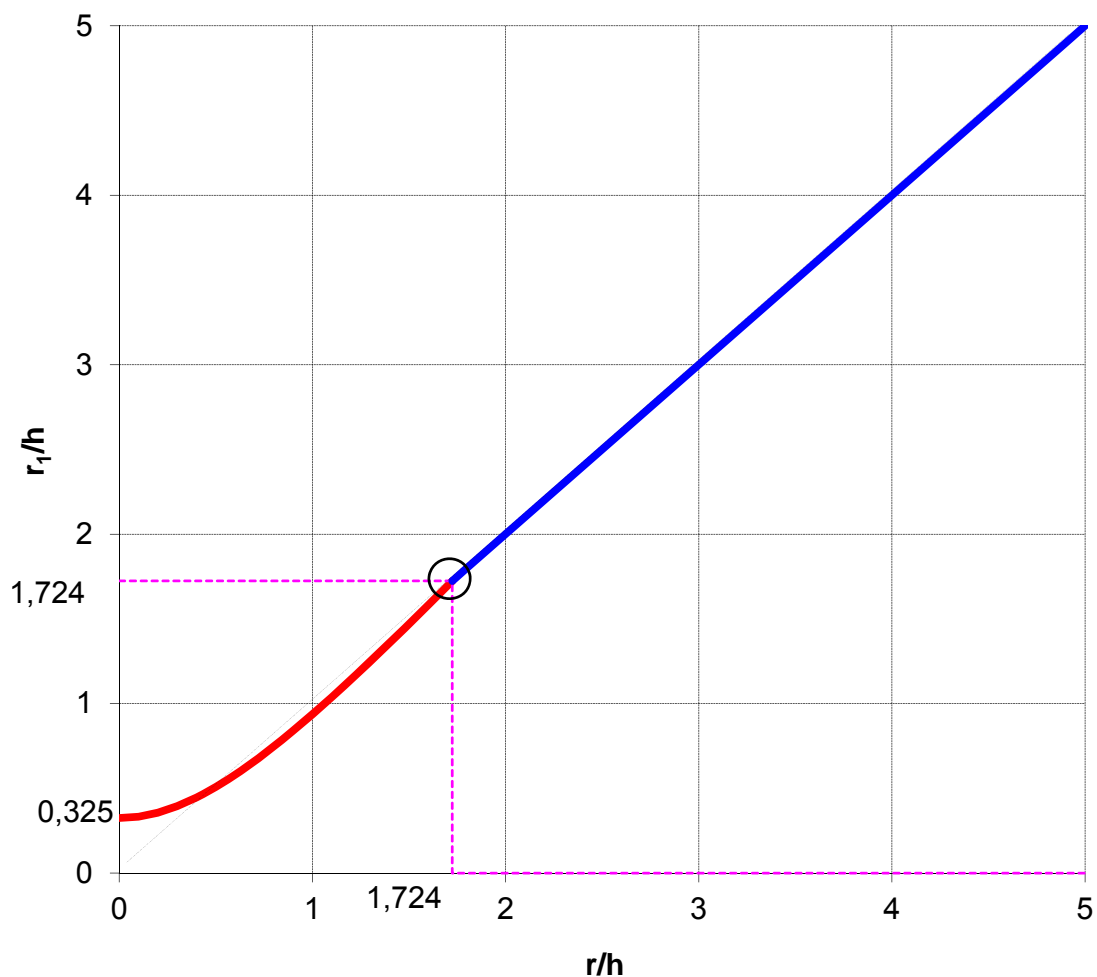
log logaritmo decimal,

ln logaritmo natural o neperiano

SOLERAS. LOSAS**TENSIÓN PARA CARGA INTERIOR σ_i**

$$r_1/h = \begin{cases} \sqrt{1,6 \cdot (r/h)^2 + 1} - 0,675 & r/h < 1,724 \\ r/h & r/h \geq 1,724 \end{cases}$$

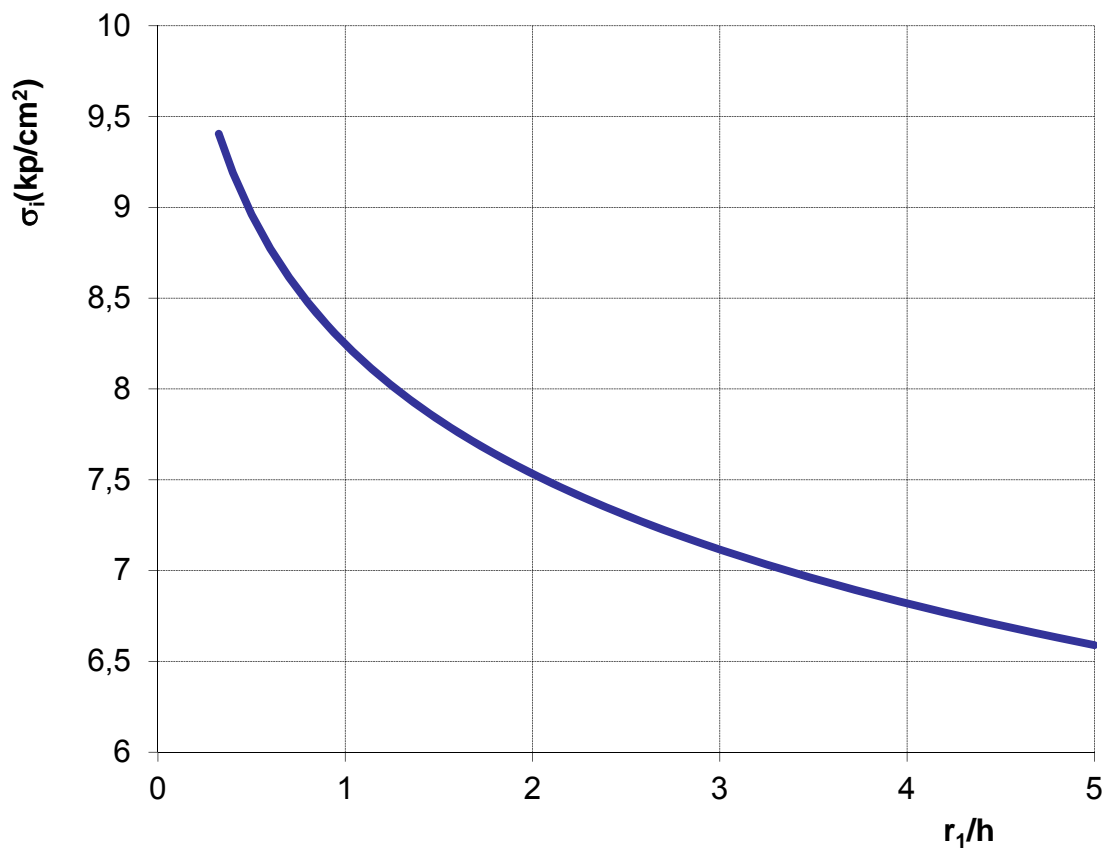
Área efectiva de contacto



SOLERAS. LOSASTENSIÓN CARGA INTERIOR σ_i (r1)

$$\sigma_i = 0,275 \cdot (1 + \nu) \cdot \frac{P}{h^2} \cdot \log \frac{E}{k \cdot \left(\frac{r_1}{h}\right)^4 \cdot h} = \alpha \cdot \frac{P}{h^2} \cdot \beta(h)$$

$$E=300.000 \quad \nu=0,15 \quad P=3000kp \quad k=5 \quad h=20$$

INFLUENCIA DE r_1/h 

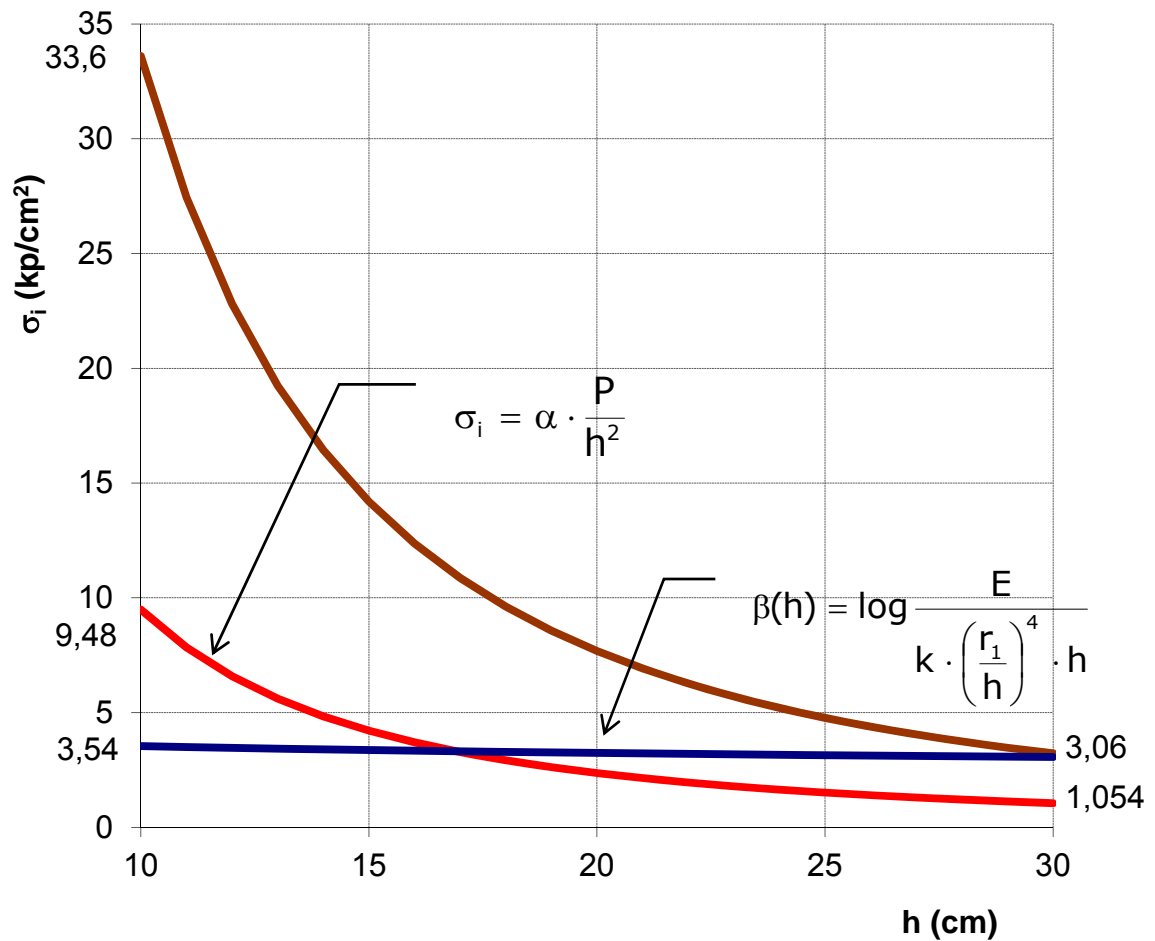
SOLERAS. LOSAS

TENSIÓN CARGA INTERIOR σ_I (h)

$$\sigma_i = 0,275 \cdot (1 + \nu) \cdot \frac{P}{h^2} \cdot \log \frac{E}{k \cdot \left(\frac{r_1}{h}\right)^4 \cdot h} = \alpha \cdot \frac{P}{h^2} \cdot \beta(h)$$

E=300.000 $\nu=0,15$ P=3000kp k=5 $r_1/h=1,724$

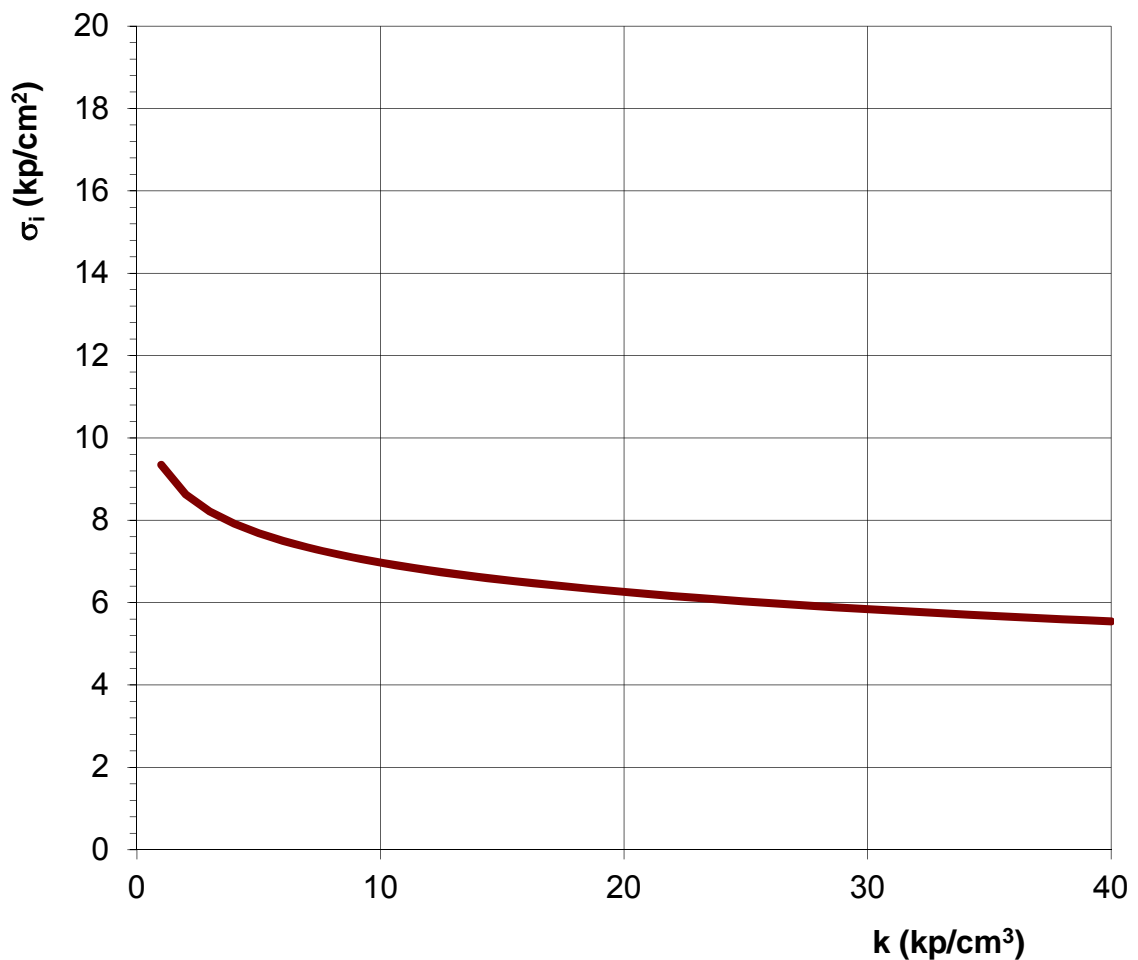
TENSION CARGA INTERIOR P=3000kp



SOLERAS. LOSASTENSIÓN CARGA INTERIOR σ_I

$$\sigma_i = 0,275 \cdot (1 + \nu) \cdot \frac{P}{h^2} \cdot \log \frac{E}{k \cdot \left(\frac{r_1}{h}\right)^4 \cdot h} = \alpha \cdot \frac{P}{h^2} \cdot \beta(h)$$

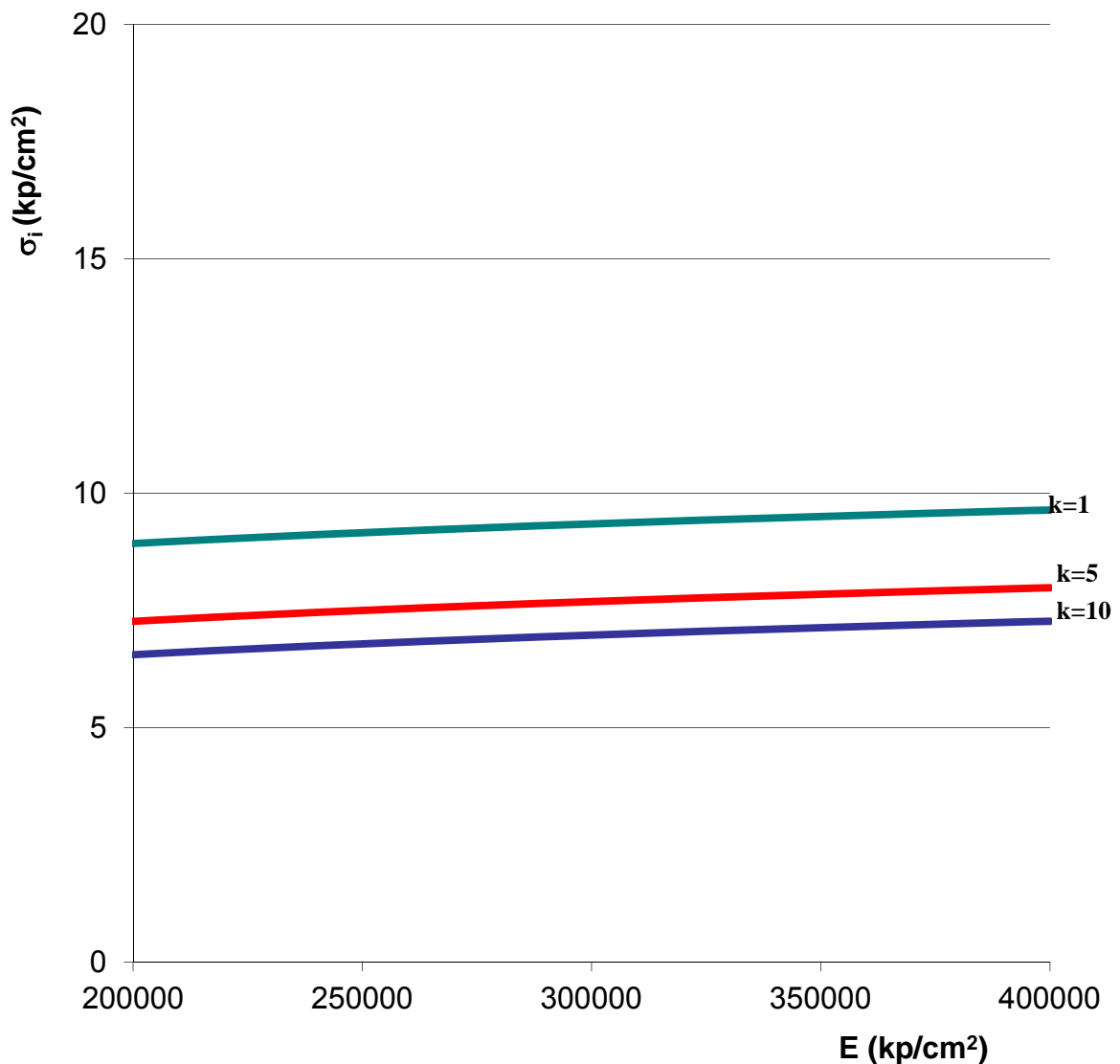
$$E=300.000 \quad \nu=0,15 \quad P=3000\text{kp} \quad r_1/h=1,725 \\ h=20$$

INFLUENCIA k

SOLERAS. LOSASTENSIÓN CARGA INTERIOR σ_I

$$\sigma_i = 0,275 \cdot (1 + \nu) \cdot \frac{P}{h^2} \cdot \log \frac{E}{k \cdot \left(\frac{r_1}{h}\right)^4 \cdot h} = \alpha \cdot \frac{P}{h^2} \cdot \beta(h)$$

$$\nu=0,15 \quad P=3000\text{kp} \quad r_1/h=1,725 \quad h=20 \quad k=1,5,10$$

INFLUENCIA DE E

SOLERAS. LOSAS

Esta expresión ha sido ajustada experimentalmente por **Kelley** quedando como:

$$\sigma_i = 0,275 \cdot (1 + \nu) \cdot \frac{P}{h^2} \left[\log \frac{E \cdot h^3}{k \cdot r_1^4} - 54,54 \cdot \left(\frac{\ell}{C_1} \right)^2 \cdot C_2 \right]$$

C_1 y C_2 son factores de corrección que tienen en cuenta que k no es igual bajo la zona de carga que en el resto de la placa. Se determinan experimentalmente y en la práctica se suelen estimar como: $C_1 = 5 \cdot \ell$ $C_2 = 0,2$ (**Kelley**)

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_i = 0,275 \cdot (1 + \nu) \cdot \frac{P}{h^2} \left[\log \frac{E \cdot h^3}{k \cdot r_1^4} - 0,4362 \right] = \alpha \cdot \frac{P}{h^2} \cdot \beta(h) \\ r_1 = \begin{cases} \sqrt{1,6 \cdot r^2 + h^2} - 0,675 \cdot h & r < 1,724 \cdot h \\ r & r \geq 1,724 \cdot h \end{cases} \end{array} \right.$$

Otra expresión derivada de la de Westergaard propuesta por **Eisenmann** que corrige las discrepancias con las observaciones experimentales coincide con la de Kelley:

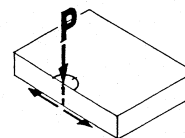
$$\sigma_i = 0,275 \cdot (1 + \nu) \cdot \frac{P}{h^2} \left[\log \frac{E \cdot h^3}{k \cdot r_1^4} - 0,436 \right]$$

en este caso, r_1 el radio de acción de la carga sobre

$$\text{el suelo, vale } r_1 = \begin{cases} r + 0,6 \cdot h \neq 1,25 \cdot h & r < 1,25 \cdot h \\ r & r \geq 1,25 \cdot h \end{cases}$$

SOLERAS. LOSAS

Tensión para carga en el borde σ_b :



Las expresiones deducidas por **Westergaard** (1948) para la carga aplicada en un borde libre a través de un semicírculo de radio r (r_1) valen:

$$\sigma_b = \frac{3 \cdot P}{h^2} \cdot \frac{1 + \nu}{\pi(3 + \nu)} \left[\ln \frac{E \cdot h^3}{100 \cdot k \cdot r^4} + 3,84 - \frac{4\nu}{3} + \frac{(1 + 2\nu) \cdot r}{2l} \right]$$

$$\delta_b = \frac{\sqrt{2 + 1,2 \cdot \nu \cdot P}}{\sqrt{E \cdot h^3 \cdot k}} \left[1 - \frac{(0,323 + 0,17 \cdot \nu) \cdot r}{l} \right]$$

Otras expresiones derivadas de la anterior son:

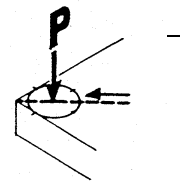
$$\sigma_b = 0,529 \cdot (1 + 0,54 \cdot \nu) \cdot \frac{P}{h^2} \left[\log \frac{E \cdot h^3}{K \cdot r_1^4} - 0,71 \right] \text{ [Tim,75]}$$

$$\sigma_b = 0,519 \cdot (1 + 0,54 \cdot \nu) \cdot \frac{P}{h^2} \left[4 \cdot \log\left(\frac{l}{r_1}\right) + \log\left(\frac{r_1}{1 - \nu^2}\right) - 1,072 \right] (*)$$

$$\sigma_b = 0,519 \cdot (1 + 0,54 \cdot \nu) \cdot \frac{P}{h^2} \left[\log \frac{E \cdot h^3}{K \cdot r_1^4} + \log\left(\frac{r_1}{25,4}\right) \right]$$

$$\sigma_b = 0,529 \cdot (1 + 0,54 \cdot \nu) \cdot \frac{P}{h^2} \left[\log\left(\frac{0,20 \cdot E \cdot h^3}{k \cdot r_1^4}\right) \right] \text{ [Kna,99]}$$

(*) Teller-Sutherland incluyen el combado por temperatura y humedad.

SOLERAS. LOSAS**Tensión para carga en esquina σ_e (1):**

La máxima deflexión δ_e se produce en la esquina y la tensión crítica σ_e es paralela a la bisectriz en la cara superior y según **Westergaard** está a una distancia de la esquina $x = 2,38\sqrt{r \cdot \ell}$ y vale:

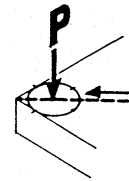
$$\sigma_e = \frac{3 \cdot P}{h^2} \left[1 - \left(\frac{r \cdot \sqrt{2}}{\ell} \right)^{0,6} \right];$$

$$\delta_e = \frac{P}{k \cdot \ell^2} \left[1,1 - 0,88 \frac{r \sqrt{2}}{\ell} \right]$$

Ioannides (1985) aplicando el MEF sugiere las siguientes expresiones:

$$\sigma_e = \frac{3 \cdot P}{h^2} \left[1 - \left(\frac{c}{\ell} \right)^{0,72} \right]; \quad \delta_e = \frac{P}{k \cdot \ell^2} \left[1,205 - 0,69 \frac{c}{\ell} \right]$$

la tensión máxima se da a una distancia de la esquina de $1,80 \cdot c^{0,32} \cdot \ell^{0,59}$, siendo c el lado del cuadrado de carga. La relación entre c y r es $c = 1,772 \cdot r$

SOLERAS. LOSAS**Tensión para carga en esquina σ_e (1):**

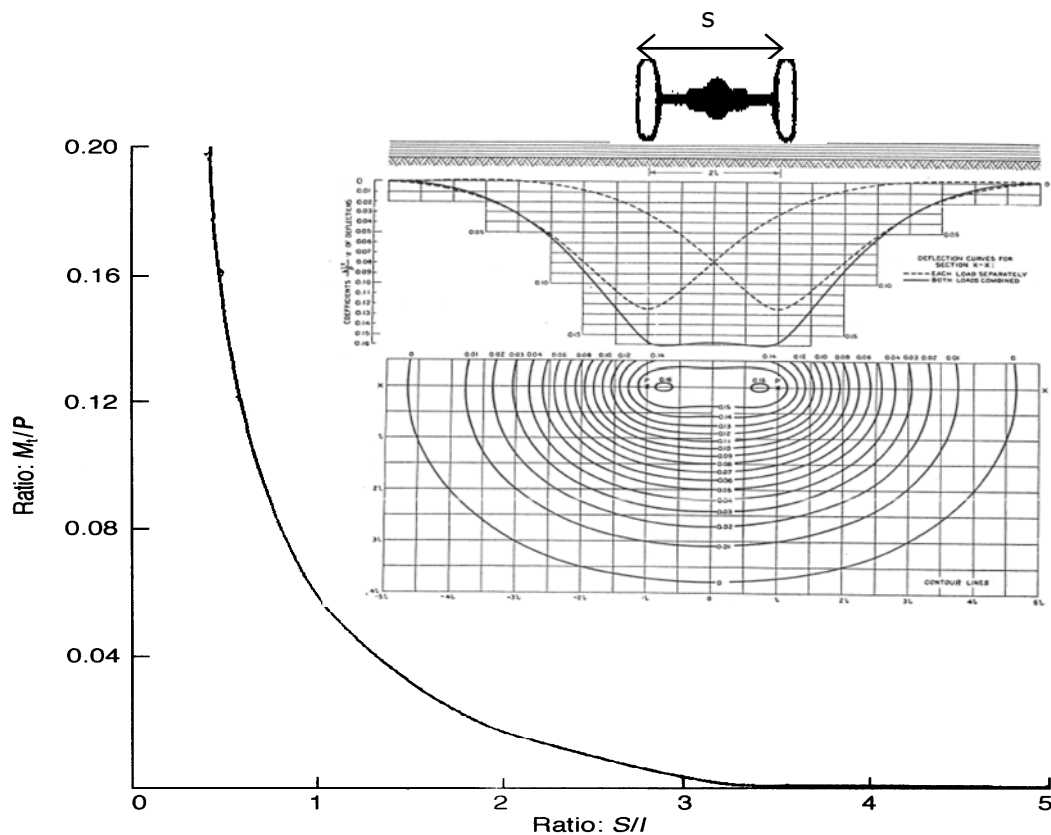
El combado por variación de temperatura o humedad alteran considerablemente las condiciones de sustentación uniforme de la teoría de Westergaard provocando que las tensiones inducidas sean mayores que la predicción teórica:

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

$$\sigma_e = \frac{3 \cdot P}{h^2} \left[1 - \left(\frac{r \cdot \sqrt{2}}{l} \right)^{1,2} \right] \quad \text{KELLEY, TELLER, SUTHERLAND}$$

Todas estas expresiones tienen carácter semiempírico.

EFECTO DE LA RUEDA ADYACENTE



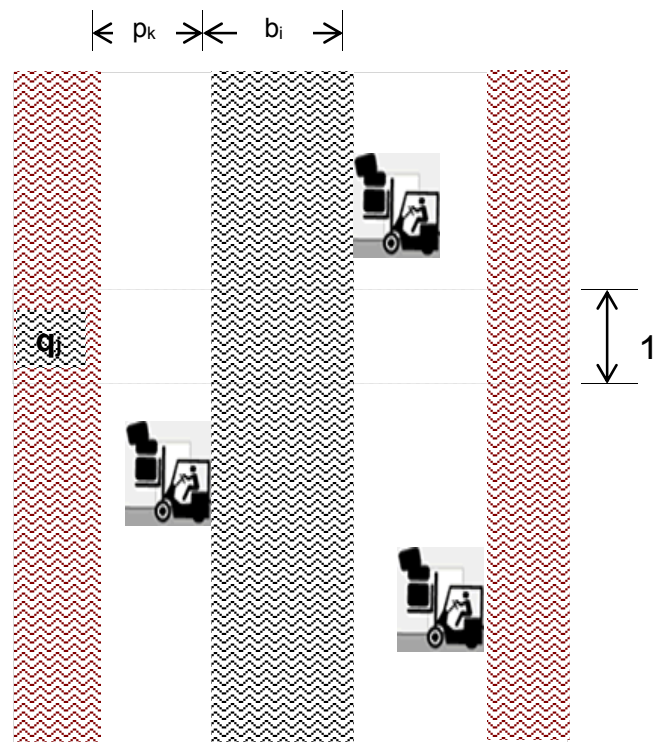
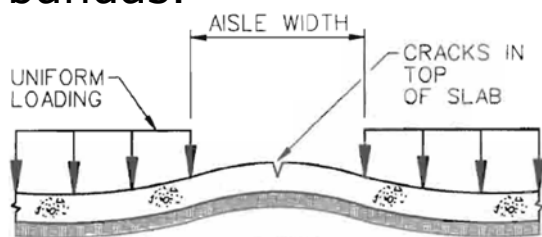
Las tensiones adicionales producidas por la otra rueda extrema de un eje se calculan con la siguiente expresión:

$$\sigma_{\text{add}} = \frac{M_t}{P} \cdot \frac{6}{h^2} \cdot P_2$$

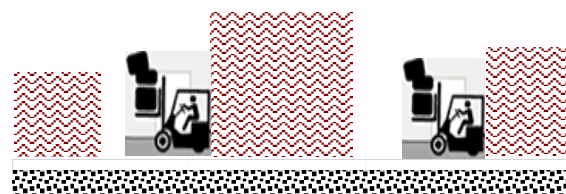
Donde M_t/P se obtiene de la gráfica a partir de la relación s/l , siendo s la separación entre ejes de las ruedas y l el radio de rigidez relativo de la losa; M_t es el momento tangencial, P es la carga mayor y P_2 la menor.

CARGAS UNIFORMES O EN BANDA VIGAS FLOTANTES

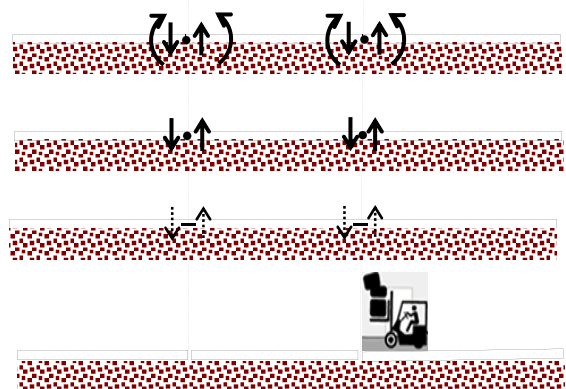
Cuando las cargas de intensidad q_j se disponen en bandas de anchos b_i entre las que se intercalan pasillos de anchura p_k la flexión es cilíndrica e igual para cualquier franja perpendicular a las bandas.



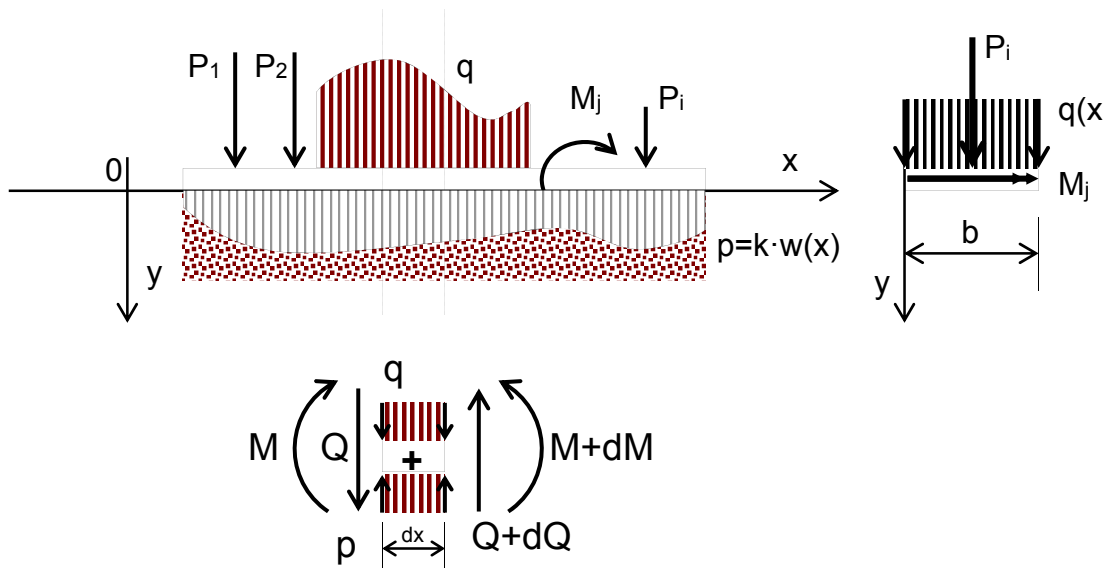
Se adopta como representativa una franja de ancho unitario y se modeliza como una viga flotante.



La viga puede ser continua (sin juntas), con juntas que transfieran el cortante (articulaciones) o con transmisión parcial y losas independientes.



CARGAS UNIFORMES O EN BANDA
VIGAS FLOTANTES. EC. DIFERENCIAL



$$E \cdot I \cdot \frac{d^4 w}{dx^4} + b \cdot k \cdot w = b \cdot q(x)$$

$$E \cdot I \cdot \frac{d^4 w}{dx^4} + b \cdot k \cdot w = b \cdot q(x)$$

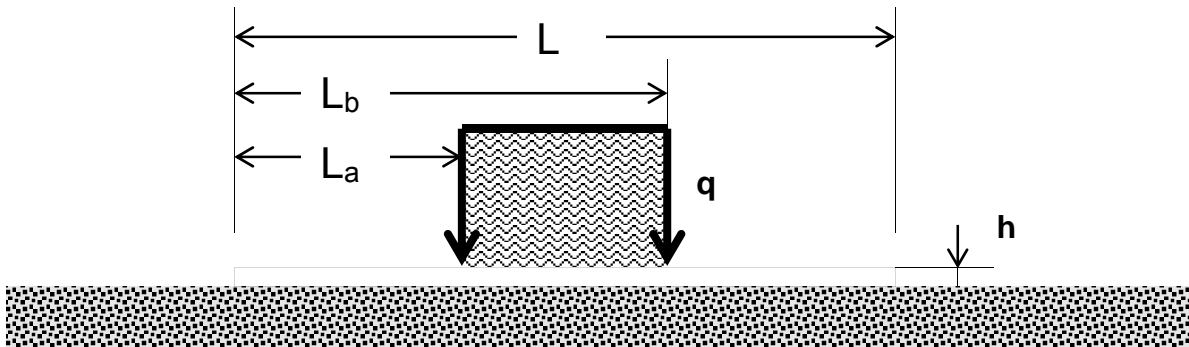
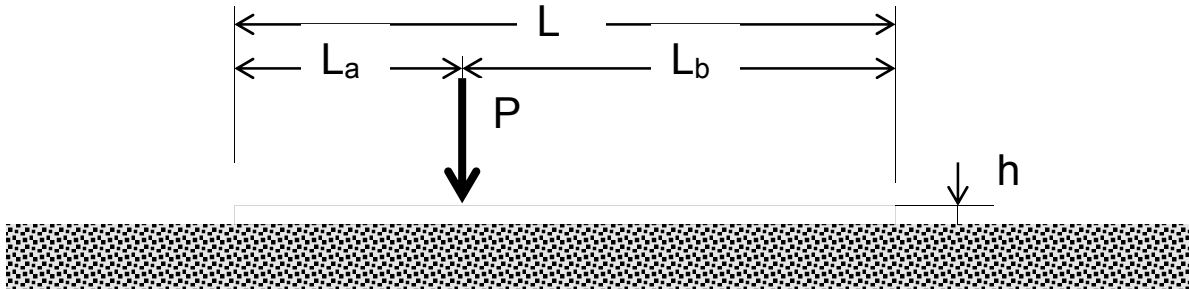
Se define la "longitud elástica" de la viga como:

$$L = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot E \cdot I}{b \cdot k}} = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot E \cdot h^3}{12 \cdot k}} = \sqrt{2} \cdot \sqrt[4]{\frac{E \cdot h^3}{12 \cdot k}} = \sqrt{2} \cdot l = \frac{1}{\lambda};$$

Para diferentes condiciones de carga $q(x)$ y condiciones de contorno existen diferentes métodos para obtener la solución [Jim,80], como los de Timoshenko-Hetenyi, Bleich, Magnel, etc.

CARGAS PUNTUALES

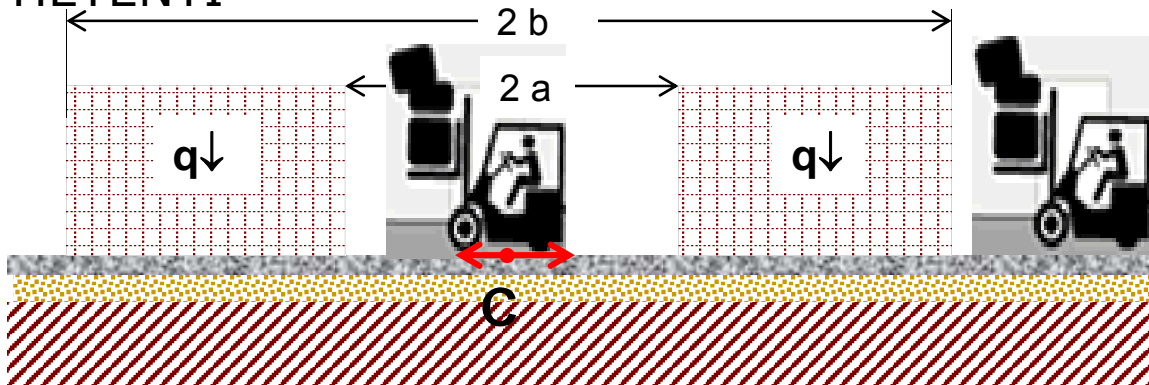
VIGAS FLOTANTES. Jiménez Salas, 80



$$L = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot E \cdot I}{b \cdot k}}; \quad \xi = \frac{x}{L}; \quad l = \frac{L}{L}; \quad a = \frac{L_a}{L}; \quad b = \frac{L_b}{L}$$

CARGAS UNIFORMES O EN BANDA

HETENYI



La configuración más desfavorable en áreas donde existen cargas distribuidas, se da cuando ésta se organiza alternando bandas de carga y pasillos (de ancho $2a$) en los que no hay carga.

Para una franja de ancho unitario y una disposición periódica carga-pasillo el momento crítico (negativo) se produce en el punto C. (Hetényi)

Se puede obtener también un análisis como una viga flotante de ancho unitario con la geometría y configuración real de las cargas.

Para una carga distribuida q , con una longitud de carga igual a $2b$ y una longitud descargada igual a $2a$, el momento será igual a:

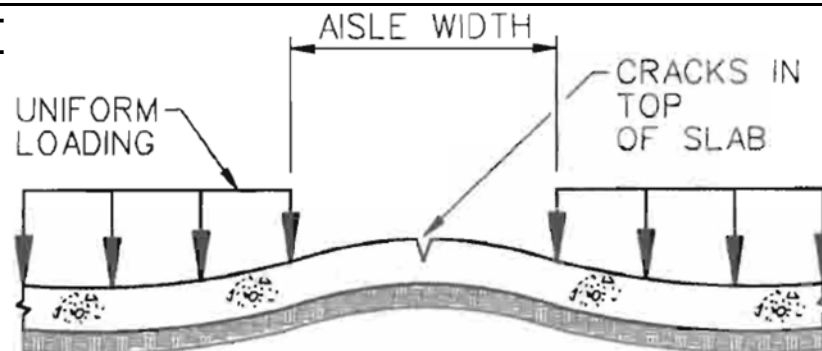
$$M_c = \frac{q}{2 \cdot \lambda^2} \cdot (e^{-\lambda \cdot a} \cdot \text{sen}(\lambda a) - e^{-\lambda b} \cdot \text{sen}(\lambda b)); \quad \lambda = \left(\frac{12 \cdot k}{4 \cdot E \cdot h^3} \right)^{\frac{1}{4}}$$

la longitud elástica vale
$$L = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot E \cdot h^3}{12 \cdot k}} = \frac{1}{\lambda}$$

$$M_c = \frac{q \cdot L^2}{2} \cdot \left(e^{-a/L} \cdot \text{sen}\left(\frac{a}{L}\right) - e^{-b/L} \cdot \text{sen}\left(\frac{b}{L}\right) \right)$$

CARGAS UNIFORMES O EN BANDA

HETENYI



Para configuraciones habituales en las que $b \gg a$ el segundo término es despreciable, de este modo el momento vale aproximadamente:

$$M_c = \frac{q}{2 \cdot \lambda^2} \cdot e^{-\lambda \cdot a} \cdot \text{sen}(\lambda a); \quad \text{done } \lambda = \left(\frac{12 \cdot k}{4 \cdot E \cdot h^3} \right)^{\frac{1}{4}} = \frac{1}{L}$$

Derivando M_c respecto de a e igualando a cero, se tiene la anchura crítica del pasillo "2a" que maximiza el momento negativo que tracciona la cara superior de la losa

$$\frac{dM_c}{da} = 0; \quad \frac{q}{2 \cdot \lambda^2} \cdot (-\lambda \cdot e^{-\lambda a} \cdot \text{sen} \lambda a + \lambda \cdot e^{-\lambda a} \cdot \text{cos} \lambda a) = 0$$

$$\text{tg} \lambda a = 1; \quad \lambda a = \frac{\pi}{4}; \quad a = \frac{\pi}{4 \cdot \lambda}; \quad M_{c_max} = \frac{q}{2 \lambda^2} \cdot e^{-\frac{\pi}{4}} \cdot \text{sen} \frac{\pi}{4}$$

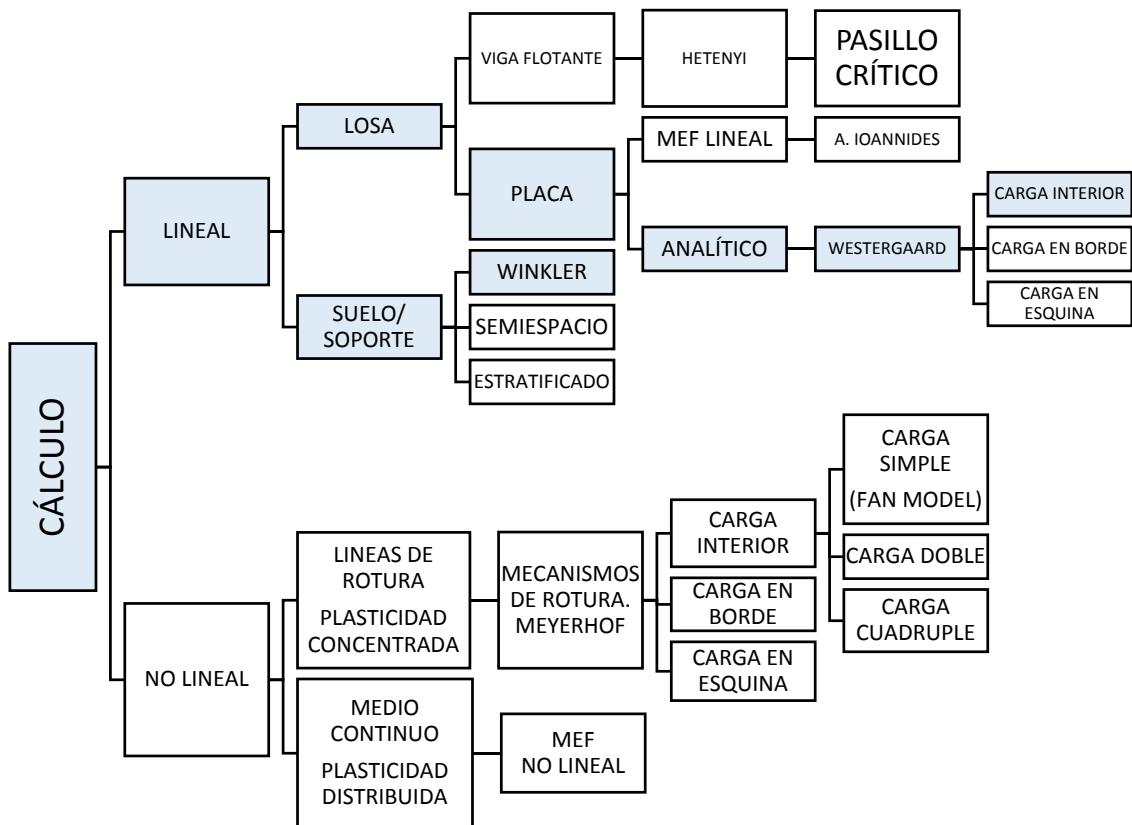
El momento máximo negativo y la tensión de tracción resultante valdrán:

$$M_{c_max} = 0,168 \cdot q \cdot \sqrt{\frac{E \cdot h^3}{3 \cdot k}}; \quad \sigma = \frac{6 \cdot M}{h^2} \approx \frac{2 \cdot q}{h^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot h^3}{12 \cdot k}}$$

El pasillo crítico tiene una anchura de

$$2a = \pi / (2 \cdot \lambda) = \pi \cdot L / 2; \quad L = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot E \cdot h^3}{12 \cdot k}}$$

MÉTODO DE LA PCA



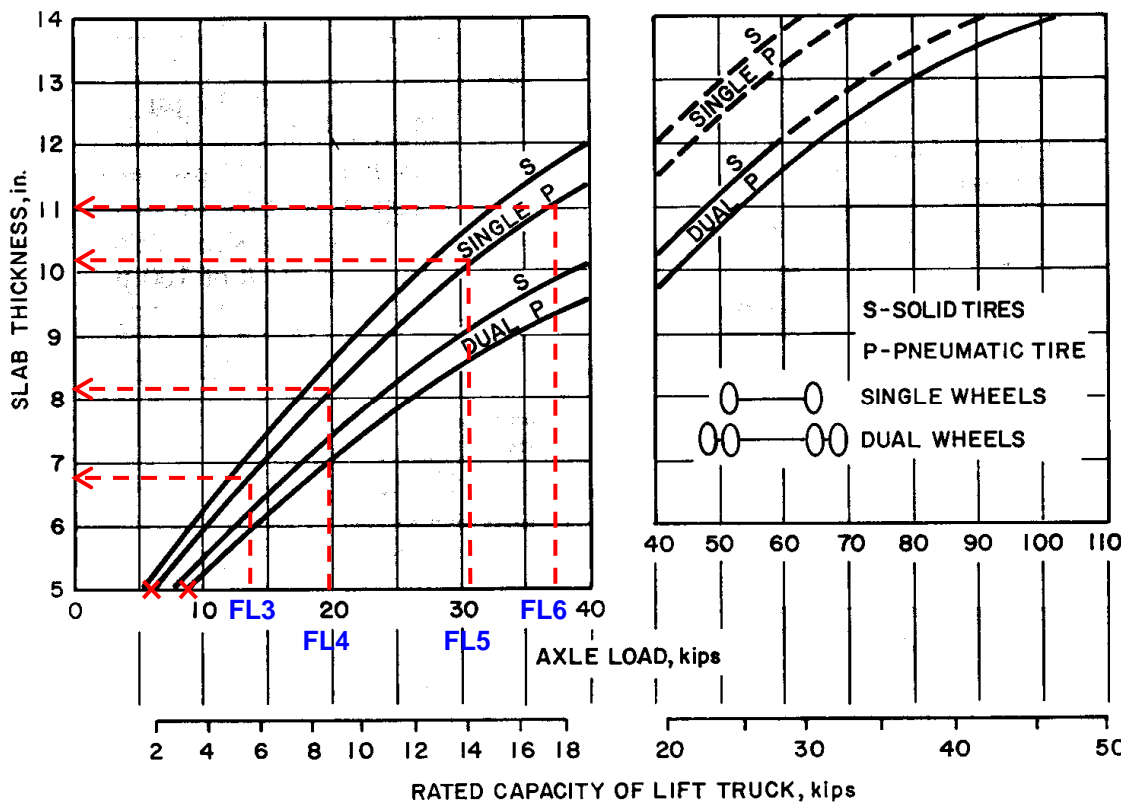
MÉTODO PREDIMENSIONADO DE LA P.C.A.

Packard, R.G. "Slab Thickness Design for Industrial Concrete Floors on Grade", Portland Cement Association (PCA), Skokie, 1996. p

El espesor se determina a partir de los datos conservadores siguientes:

- coeficiente de balasto $k=50\text{pci}=13,58\text{MPa/m}$,
- tensión de cálculo a flexotracción $f_{cd,fl}=250\text{psi}=1,75\text{MPa}$.

S=sólida; P=pneumática; SINGLE=simple; DUAL=doble
 Línea discontinua (-----) → no hay solución



Class of forklifts	Axle load Q_k [kN]
FL 1	26
FL 2	40
FL 3	63
FL 4	90
FL 5	140
FL 6	170

1 kN = 0,22 kips.

MÉTODO DE LA P.C.A.

Packard, R.G. "Slab Thickness Design for Industrial Concrete Floors on Grade", Portland Cement Association (PCA), Skokie, 1996.

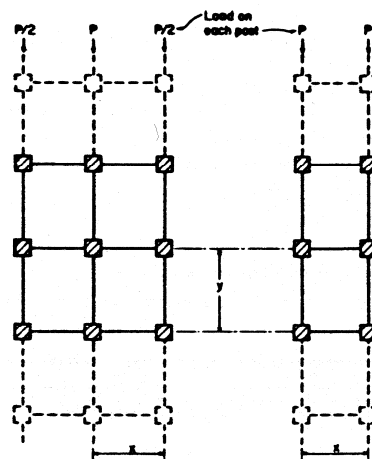
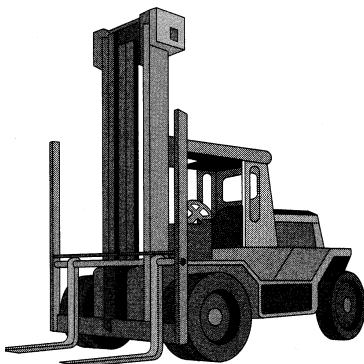
El método de la PCA (Portland Cement Association) se basa en el análisis de Pickett.

Las variables que utiliza son: La resistencia a flexotracción (MOR), la tensión de trabajo, el área de contacto de las ruedas y su separación y el coeficiente de balasto. Asume un coeficiente de Poisson $\nu=0,15$ y un módulo de elasticidad del hormigón $E=4000\text{ksi}=279000\text{kp/cm}^2=27342\text{ Mpa}$.

El método de la PCA es para carga en el interior de la superficie de la losa y no considera ni en los bordes libres ni en las esquinas.

Considera cuatro tipos de cargas.

- Cargas de rueda,
- Cargas concentradas,
- Cargas uniformes,
- Cargas de construcción



MÉTODO DE LA P.C.A.

EL COEFICIENTE DE JUNTA (JF)

El método de la PCA se basa en la determinación la tensión máxima para carga interior en una losa extensa (ilimitada). Esta tensión se produce bajo la carga en la cara inferior de la losa.

En realidad la solera se compone de un conjunto de losas rectangulares enlazadas o no por dispositivos de transmisión de cargas como pasadores, lengüetas, barras de atado que con una determinada eficacia transmiten las cargas entre losas contiguas.

En el caso de no disponerse dispositivo de transmisión o cuando la abertura de las juntas sea mayor de 0,9mm, lo que ocurre cuando la separación entre juntas es grande debe considerarse los efectos de la carga en los bordes libres y en las esquinas.

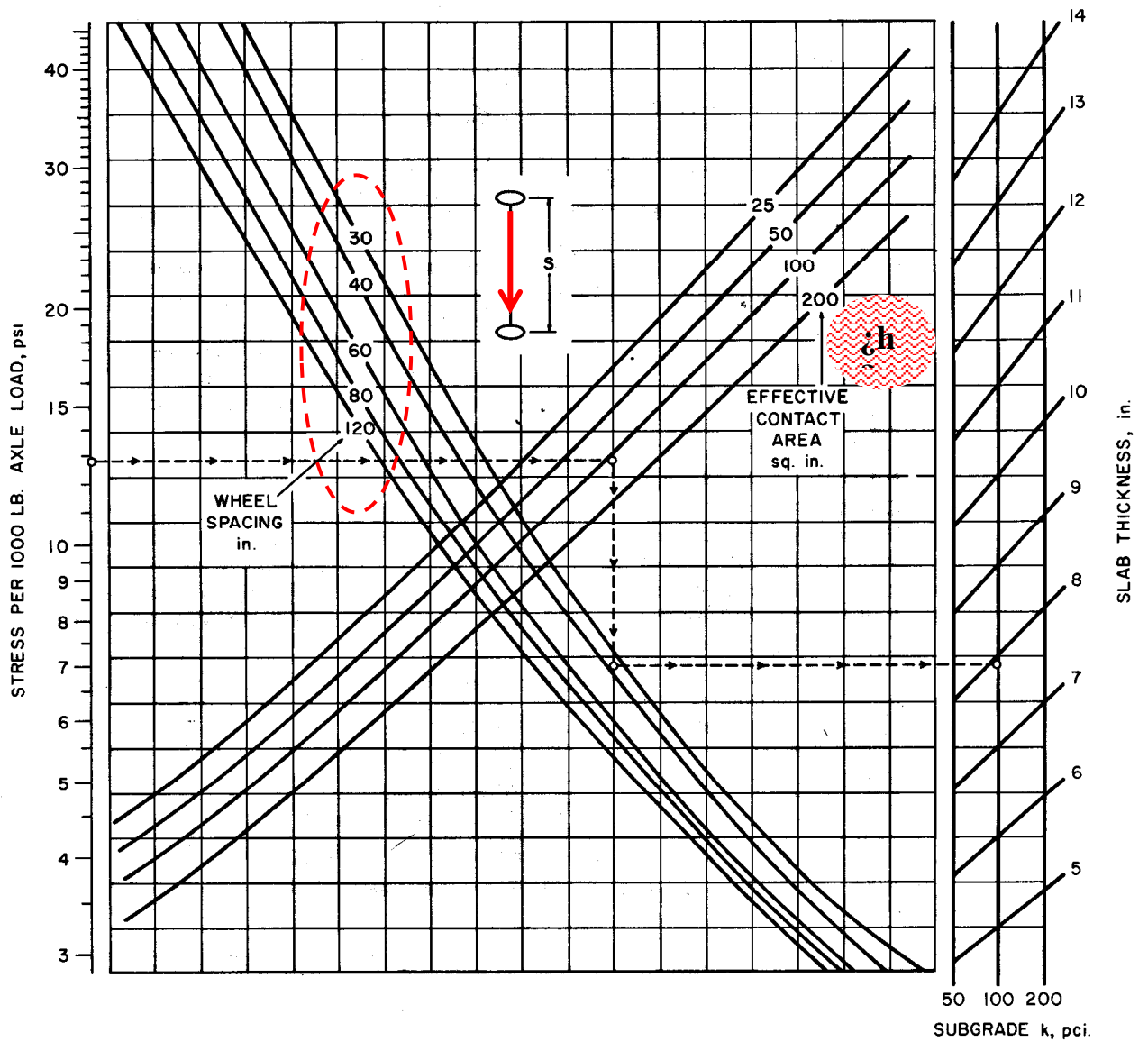
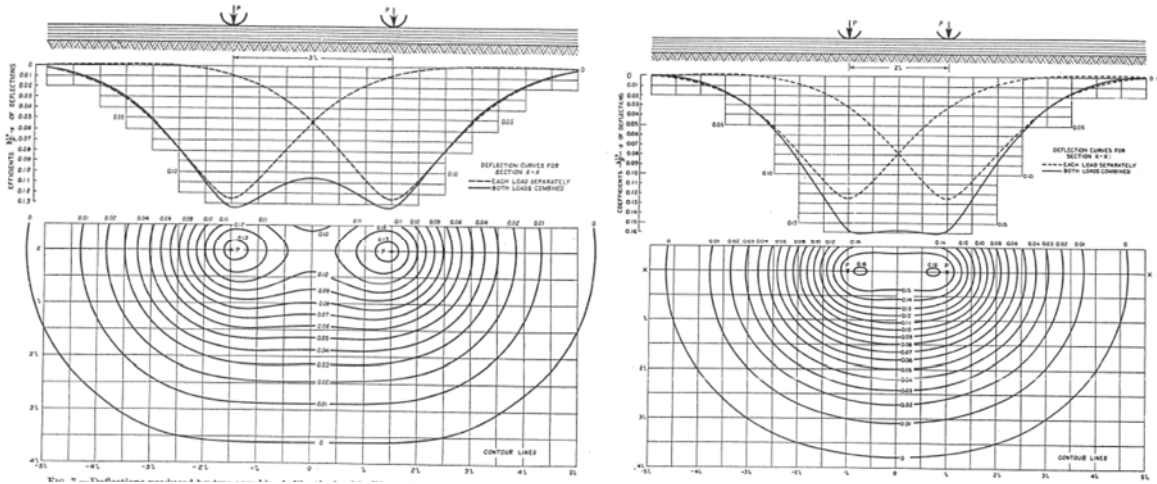
Esto puede hacerse mediante un coeficiente de junta (JF, "joint factor") mayor que la unidad que tiene en cuenta las mayores tensiones que afectan a los bordes libres y a las esquinas cuando no existe colaboración con las losa adyacente.

El coeficiente de junta varía entre 1 y 1,6.

Vale 1 cuando existe transferencia y 1,6 cuando las losas son independientes. ($\sigma_b / \sigma_i = 1,6$)

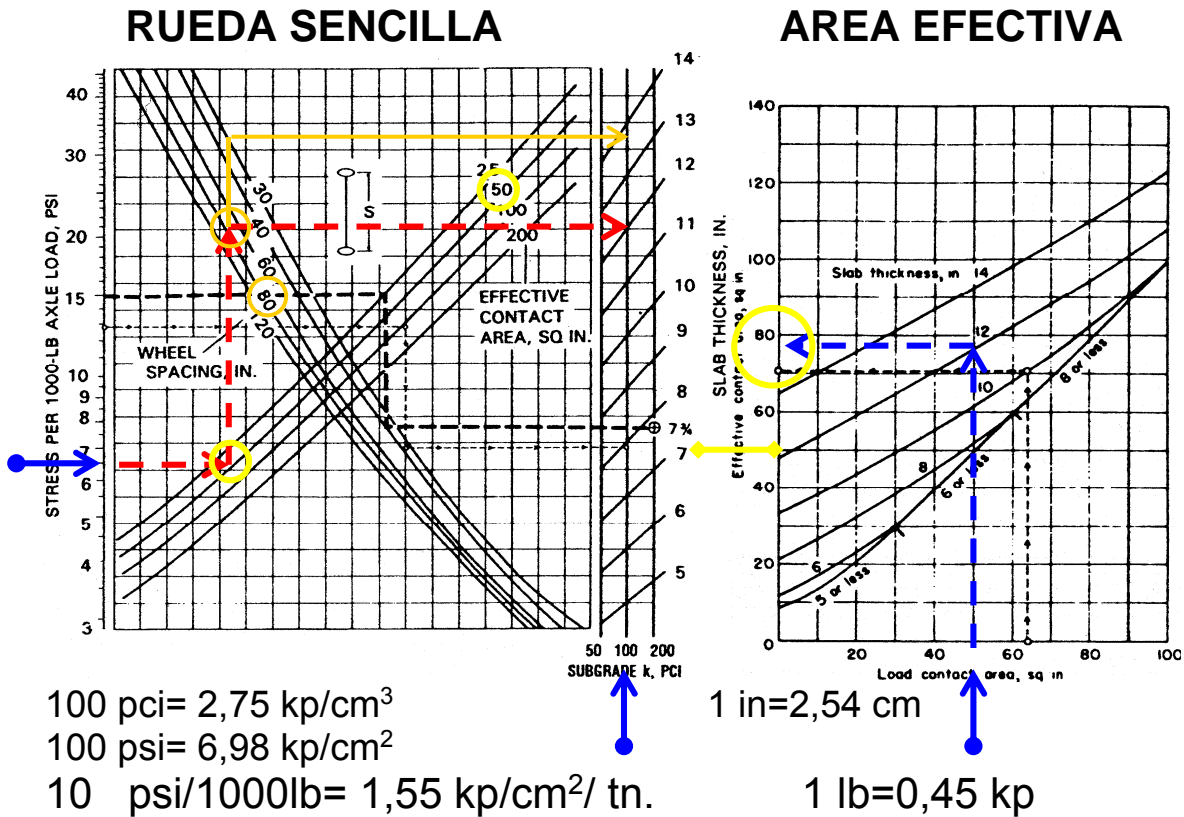
MÉTODO DE LA P.C.A.

CARGAS DE RUEDAS DE VEHÍCULOS



MÉTODO DE LA P.C.A.

CARGAS DE RUEDAS DE VEHÍCULOS



- 1) A partir de la resistencia a compresión se determina la resistencia característica a flexotracción ($f_{ctk,fl} = 9 \sqrt{f_{ck}}$ psi)
- 2) Se determina la resistencia de cálculo $f_{ctd,fl}$ dividiendo por el coeficiente de seguridad (SF=1,7) y por el coeficiente de junta (JF)
- 3) Se determina la tensión de cálculo disponible por cada 1000 lb de la carga del eje (psi/1000 lb)
- 4) Se busca la curva de área efectiva de contacto A_{eff} (r_1) que es el área de contacto $A = P/p(r)$ corregida por el espesor h de la losa (curvas derecha)
- 5) Se determina la influencia de la otra rueda a partir de la separación s entre ruedas
- 6) Se determina el espesor en función de k y h
- 7) Se determina el $A_{eff}(r_1)$ a partir de $A = P/p(r)$ y h
- 8) Ir al paso 4)

MÉTODO DE LA P.C.A.

CARGAS DE RUEDAS DE VEHÍCULOS

Las ruedas pequeñas tienen una presión de hinchado de 85 a 100 psi ($100 \text{ psi} = 7 \text{ kp/cm}^2$), las cubiertas armadas (tubulares) de 90 a 120 psi y las ruedas macizas, blandas o duras, equivalen de 150 a 250 psi ($17,5 \text{ kp/cm}^2$).

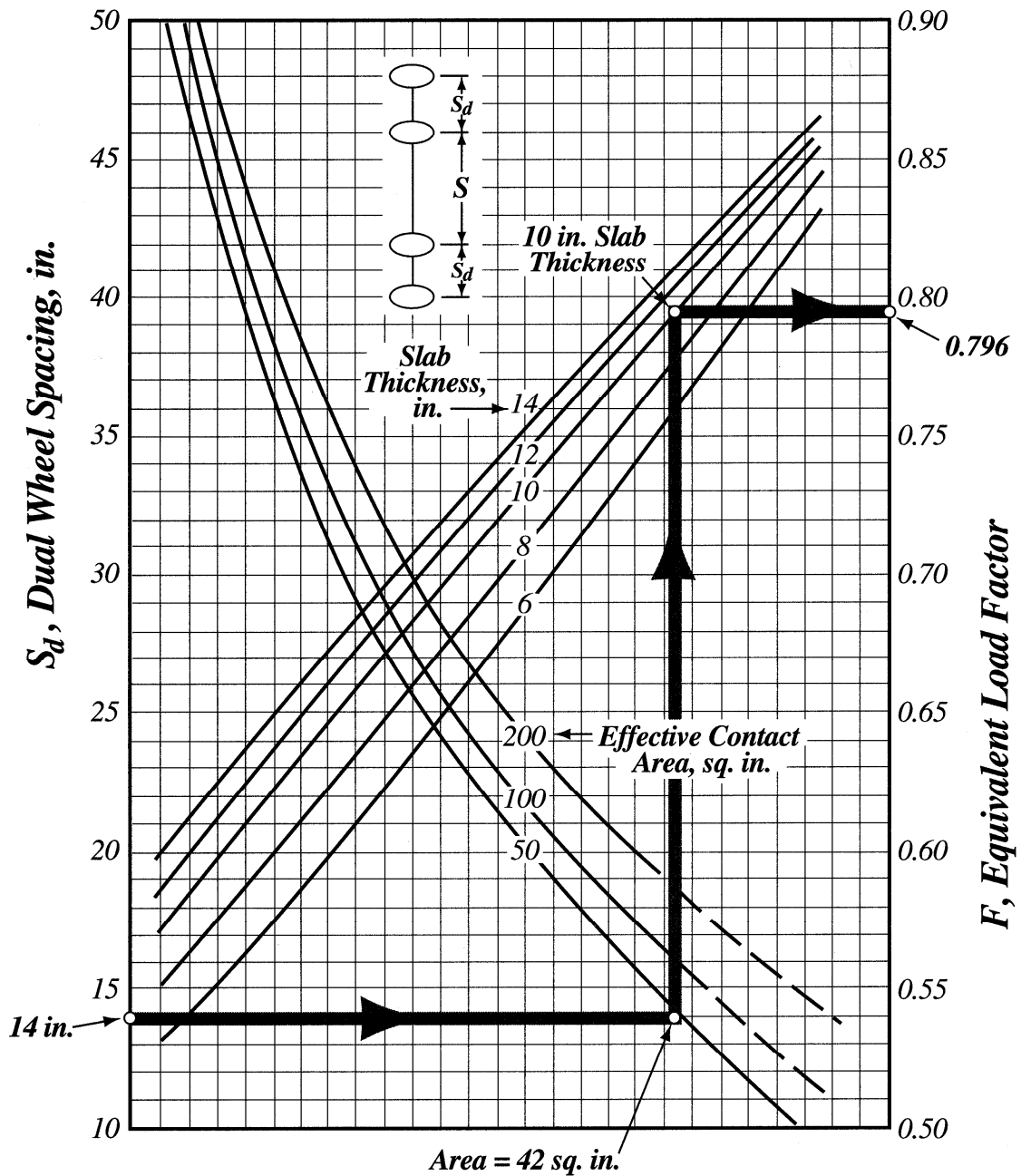
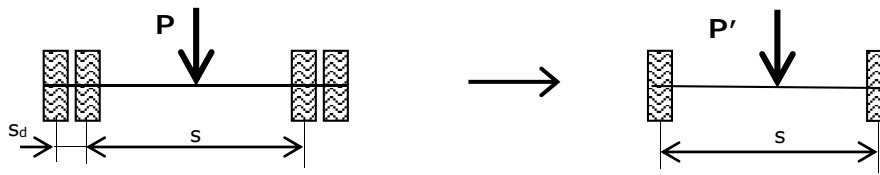
Las ruedas grandes tienen una presión entre 50 y 90 psi

Cualquier dispositivo físico que incremente el área de contacto entre carretilla y losa supone una reducción del espesor h necesario. Las ruedas gemelas, no muy comunes en carretillas de plantas industriales, actúan en ese sentido.

En el caso de **ruedas gemelas**, o bien se determina la rueda simple equivalente, o se determina el factor de carga equivalente a partir de la figura que tiene en cuenta el efecto de la mayor superficie por medio de un factor de reducción de carga y calculando como eje simple.

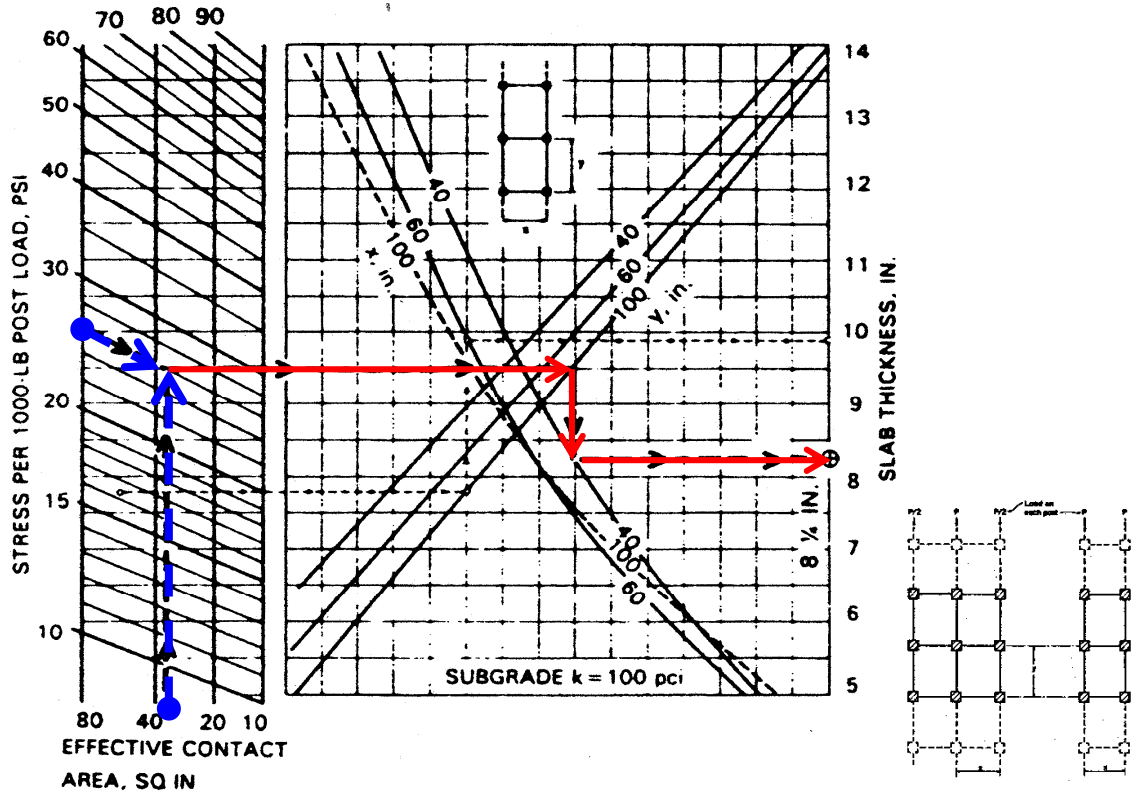
MÉTODO DE LA P.C.A.

CARGAS DE RUEDAS DE VEHÍCULOS



MÉTODO DE LA P.C.A.

CARGAS CONCENTRADAS



- 1) Se elige el ábaco correspondiente al coeficiente de balasto k
- 2) A partir de la resistencia a compresión se determina la resistencia característica a flexotracción ($f_{ctk,fl} = 9 \sqrt{f_{ck}}$ psi)
- 3) Se determina la resistencia de cálculo $f_{ctd,fl}$ dividiendo por el coeficiente de seguridad ($SF=1,7$) y por el coeficiente de junta (JF)
- 4) Se determina la tensión de cálculo disponible por cada 1000 lb de la carga de poste (psi/1000 lb)
- 5) Se busca la intersección con la recta correspondiente al área efectiva de contacto
- 6) Se determina la intersección con las curvas de intereje Y
- 7) Se determina la intersección con las curvas de intereje X
- 8) Se determina en espesor \longrightarrow h.

CARGAS CONCENTRADAS

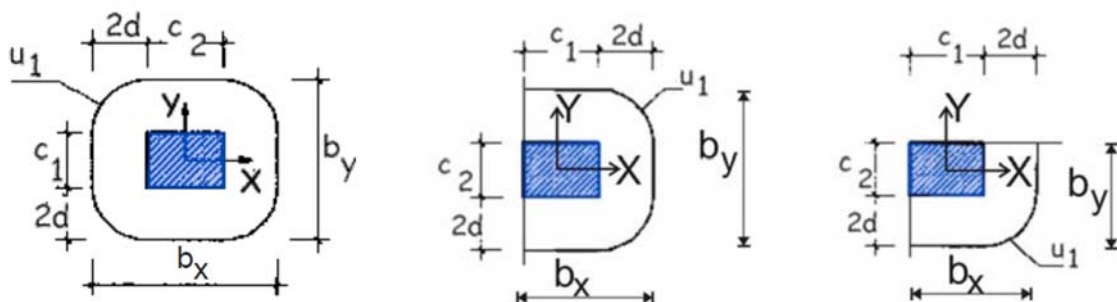
La existencia de cargas concentradas exige la realización de dos comprobaciones adicionales:

- a) Punzonamiento y
- b) Tensiones locales

a) Punzonamiento . EHE-08 46.3

La resistencia frente a los efectos transversales producidos por cargas o reacciones concentradas actuando en losas sin armadura transversal se comprueba utilizando una tensión tangencial nominal en una superficie crítica concéntrica a la zona cargada.

La superficie o área crítica se define a una distancia igual a $2d$ desde el perímetro del área cargada o del soporte, siendo d el canto útil de la losa, calculado como la semisuma de los cantos útiles correspondientes a las armaduras en dos direcciones ortogonales.



El área crítica se calcula como producto del perímetro crítico u_1 por el canto útil d . La determinación del perímetro crítico u_1 se realiza según las figuras para soportes interiores, de borde o de esquina respectivamente.

CARGAS CONCENTRADAS

No será necesaria armadura de punzonamiento si se verifica la siguiente condición $\tau_{sd} \leq \tau_{rd}$, donde:

τ_{sd} Tensión tangencial nominal de cálculo en el perímetro crítico. $\tau_{sd} = F_{sd,ef} / (u_1 \cdot d)$

$F_{sd,ef}$ Esfuerzo efectivo de punzonamiento de cálculo, teniendo en cuenta el efecto del momento transferido entre losa y soporte.

$$F_{sd,ef} = \beta \cdot F_{sd,n}$$

β Coeficiente que tiene en cuenta los efectos de excentricidad de la carga. Cuando no existen momentos transferidos entre losa y soporte toma el valor 1,00.

$F_{sd,n}$ Esfuerzo de punzonamiento de cálculo neto. Se obtendrá como la reacción del soporte, pudiendo descontarse la fuerza ejercida por la presión del terreno menos el peso propio, dentro del perímetro crítico.

$$F_{sd,n} = F_{sd} - \left(\frac{F_{sd}}{x \cdot y} - \gamma_c \cdot h \right) \cdot A_c$$

u_1 Perímetro crítico.

A_c Área encerrada por el perímetro crítico u_1 .

x, y Separación entre soportes de estanterías.

d Canto útil de la losa. (h si no se dispone de armadura)

τ_{rd} Tensión máxima resistente en el perímetro crítico

$$\tau_{rd} = \frac{0,18}{\gamma_c} \xi \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{cv})^{1/3} + 0,1 \cdot \sigma'_{cd} \geq \frac{0,075}{\gamma_c} \xi^{3/2} \cdot f_{cv}^{1/2} + 0,1 \cdot \sigma'_{cd}$$

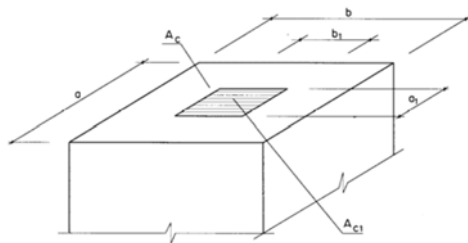
f_{cv} $f_{ck} \leq 60$ MPa

$\xi = 1 + \sqrt{200 / d} \leq 2,0$ d en mm

CARGAS CONCENTRADAS

b) Tensiones locales. EHE-08 61

La fuerza máxima de compresión que puede actuar en Estado Límite Último sobre una superficie restringida, figura 61.1.a, de área A_{c1} , situada concéntrica y homotéticamente sobre otra área A_c , supuesta plana, puede ser calculada por la fórmula:



$$N_d \leq A_{c1} \cdot f_{3cd}; \quad f_{3cd} = \sqrt{\frac{A_c}{A_{c1}}} \cdot f_{cd} \not\geq 3,3 \cdot f_{cd}, \quad h \geq 2a_c/u$$

A_c es el área de confinamiento de N_d .

A_{c1} es el área de la placa de apoyo,

$$N_d = \gamma_f \cdot N_k,$$

Si las dos superficies A_c y A_{c1} no tienen el mismo centro de gravedad, se sustituirá el contorno de A_c por un contorno interior, homotético de A_{c1} y limitando un área $A_{c'}$ que tenga su centro de gravedad en el punto de aplicación del esfuerzo N .

MÉTODO DE LA PCA.**CARGAS CON DISTRIBUCIÓN VARIABLE NO UNIFORME**

La carga máxima w se determinan con un coeficiente de seguridad de 2 (factor de tensión de 0,5) a partir de la siguiente expresión:

$$w = 0,123 \cdot f_{cd,fl} \cdot \sqrt{h \cdot k}$$

h (in.); k (pci); $f_{cd,fl}$ (psi); w (psf)

1psf=47,9Pa=4,84kp/m²; 1in=2,54cm;

1psi=6,9kPa; 100pci=27,15 MPa/m

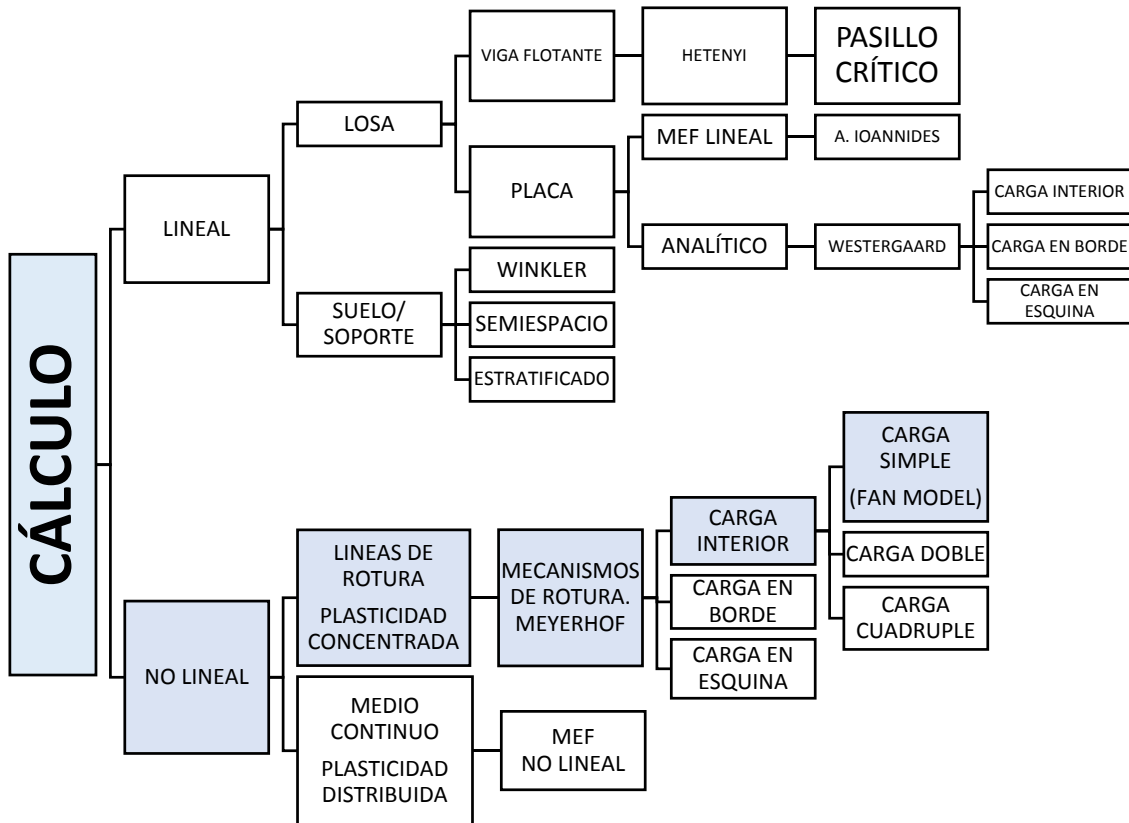
$$w = 10,22 \cdot f_{cd,fl} \cdot \sqrt{h \cdot k}$$

h (m); k (MPa/m); $f_{cd,fl}$ (MPa); w (kPa=kN/m²)

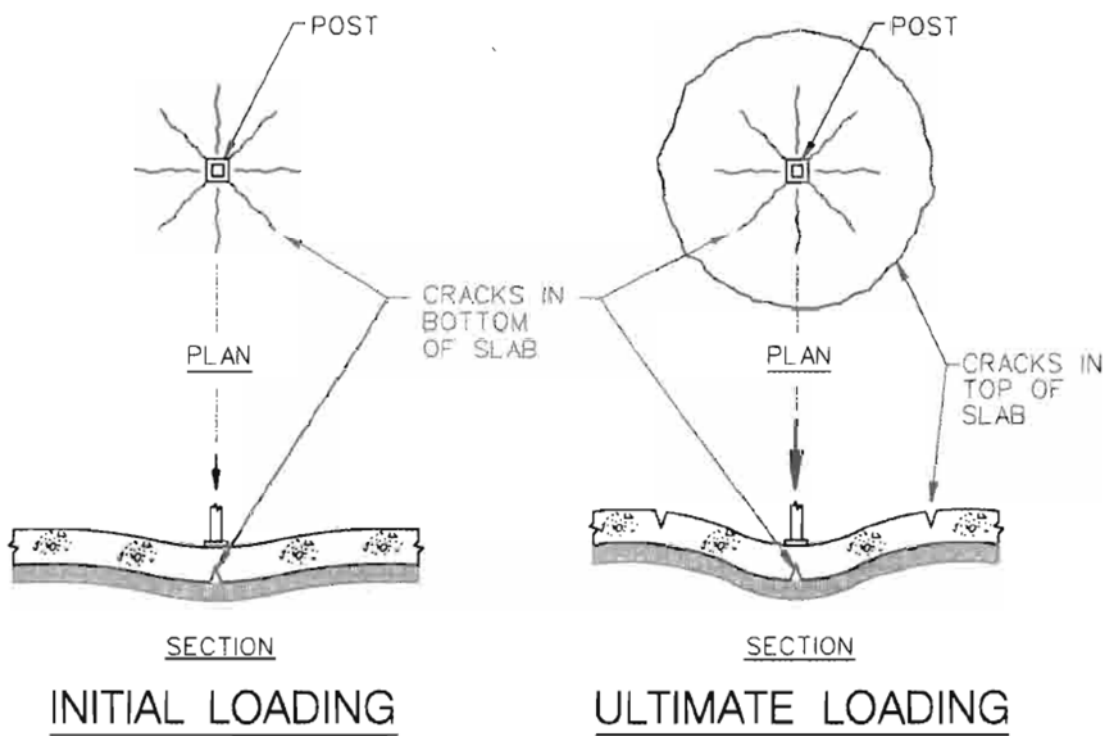
$h=0,20$ m; $k=27,15$ MPa/m; $f_{cd,fl}=3,5/2$ MPa

$$w = 10,22 \cdot \frac{3,5}{2} \cdot \sqrt{0,2 \cdot 27,15} = 41,676 \text{ kPa} = 4167,6 \text{ kp/m}^2$$

3.2. CALCULO NO LINEAL

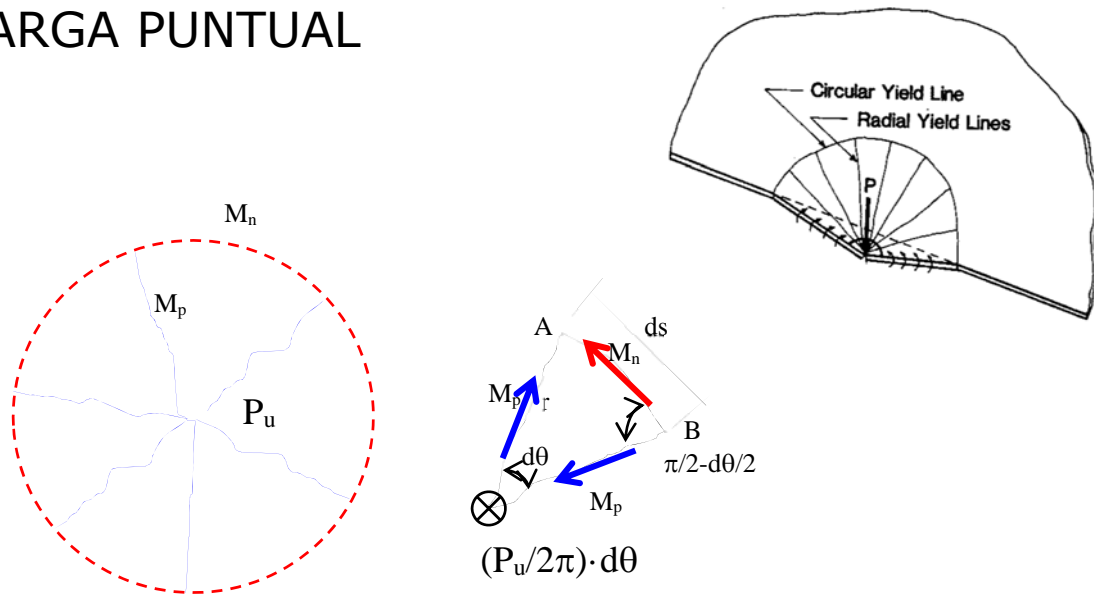


3.2. CALCULO NO LINEAL



METODO DE LAS LÍNEAS DE ROTURA

CARGA PUNTUAL



Planteando el equilibrio de un sector ($r, d\theta$)

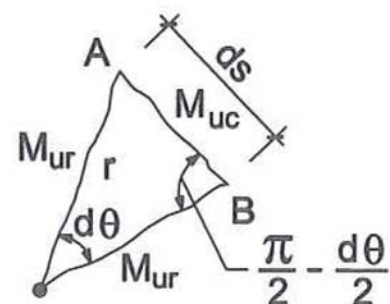
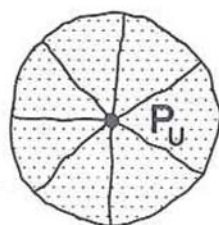
$$M_n \cdot ds + 2 \cdot M_p \cdot r \cdot \cos(\pi / 2 - d\theta / 2) - \left(\frac{P_u}{2\pi} \cdot d\theta\right) \cdot r = 0$$

$$M_n \cdot r \cdot d\theta + 2 \cdot M_p \cdot r \cdot \text{sen}(d\theta / 2) - \left(\frac{P_u}{2\pi} \cdot d\theta\right) \cdot r = 0$$

$$M_n \cdot r \cdot d\theta + 2 \cdot M_p \cdot r \cdot (d\theta / 2) - \left(\frac{P_u}{2\pi} \cdot d\theta\right) \cdot r = 0$$

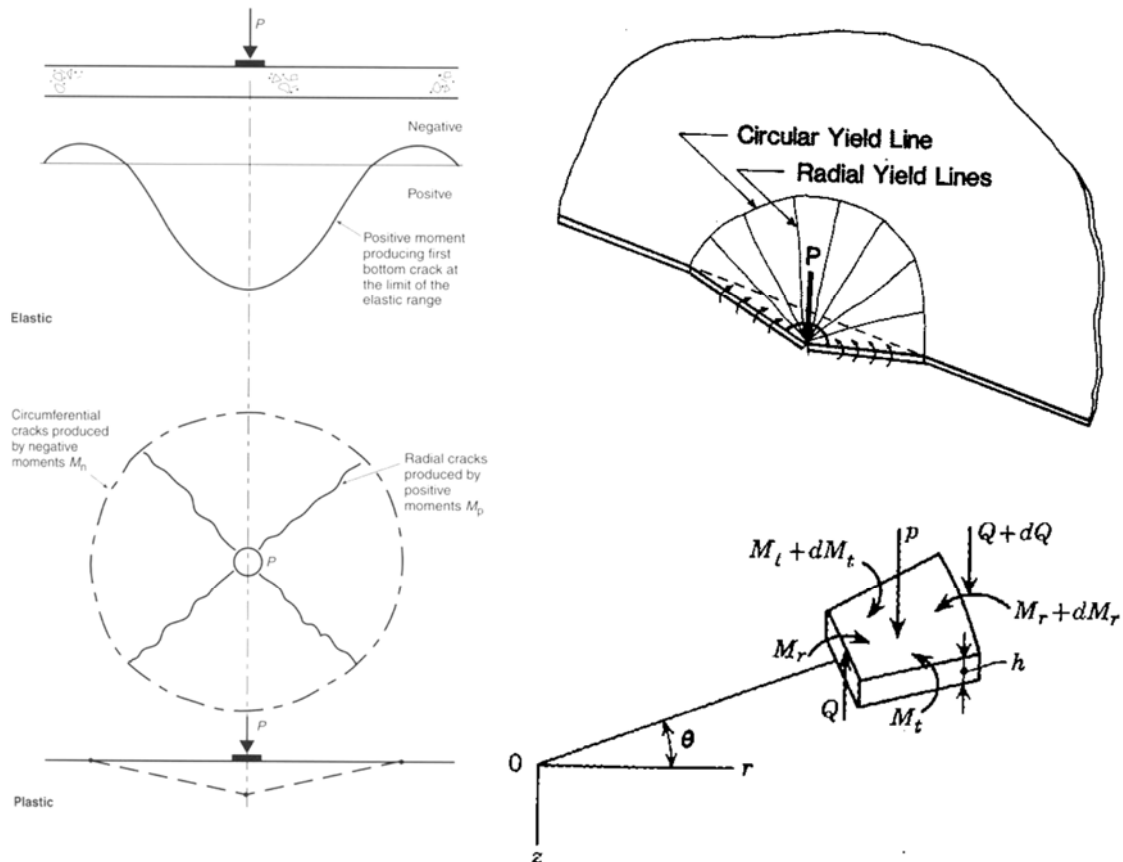
$$M_n + M_p - \left(\frac{P_u}{2\pi}\right) = 0$$

$$P_u = 2\pi \cdot (M_n + M_p)$$



METODO DE LAS LÍNEAS DE ROTURA

CARGA PUNTUAL



TR34- 3ª EDICIÓN.

$$P_u = 2 \cdot \pi \cdot (M_p + M_n);$$

$$P_d \leq P_u$$

$$M_p = \frac{f_{ctk,fl}}{\gamma_c} (R_{e,3}) \frac{h^2}{6}; \quad M_n = \frac{f_{ctk,fl}}{\gamma_c} \frac{h^2}{6}; \quad R_{e,3} \geq 0,3$$

COEFICIENTES PARCIALES DE SEGURIDAD TR34-4ª EDICIÓN

Materials

Concrete	1.5
Concrete with fibre	1.5
Reinforcement (bar or fabric)	1.15

Loads

Defined racking	1.2
Other	1.5
Dynamic loads	1.6

The partial safety factor of 1.6 for dynamic loads allows for the braking and cornering effects as well as the normal allowance for the uncertainty of the magnitude of the load.

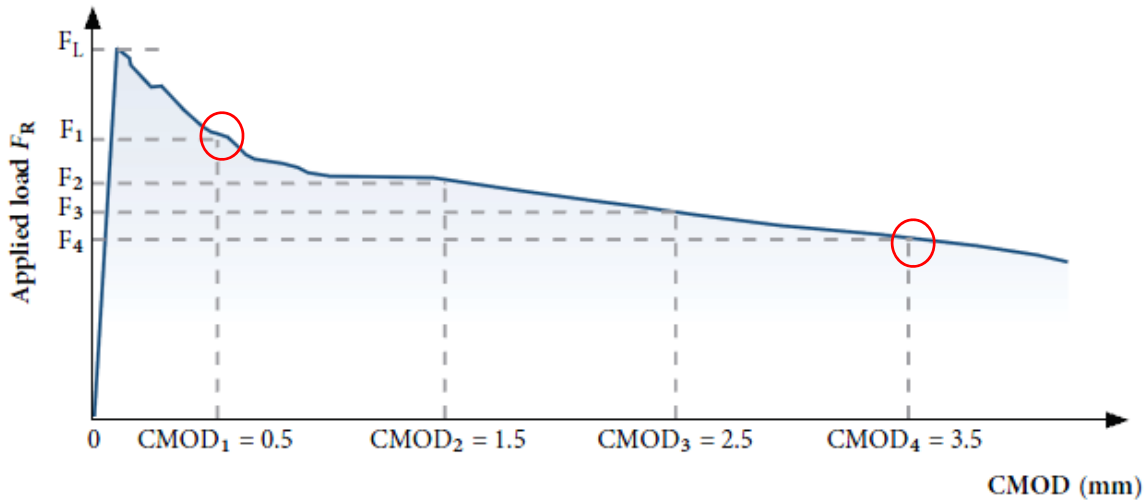
Where very heavy MHE is in use, fatigue effects need to be considered – see Section 7.3.

For UDLs and line loads, a global safety factor of 1.5 is used. As a partial safety factor of 1.5 is applied to the material properties, a partial safety factor of 1 should be applied to the UDL or the line load.

Where a mezzanine is supported by a slab then the partial safety factor for the mezzanine structure dead load should be taken as 1.35 and for any imposed loads on the mezzanine structure taken as 1.5.

METODO DE LAS LÍNEAS DE ROTURA

TR34-4ª EDICIÓN

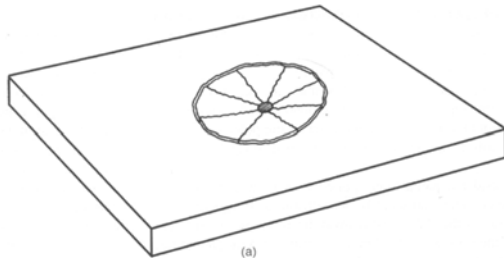


EN 14845 using a standard notched beam test in EN 14651 Test method for metallic fibre concrete. Measuring the flexural tensile strength.

where $f_R = \frac{3 F_R \ell}{2 b h_{sp}^2}$ Equation. (4) $\sigma_{r1} = 0.45 f_{R1}$
 F_R = applied load at stage R $\sigma_{r4} = 0.37 f_{R4}$
 ℓ = the span (500mm) where f_{R1} = the residual flexural strength at CMOD 0.5
 b = the width (150mm) f_{R4} = the residual flexural strength at CMOD 3.5
 h_{sp} = depth of the section to the tip of the notch (125mm).

RILEM document TC 162-TDF (2002)

<p>Hormigón con Fibras</p>	<p>Hormigón con fibras y armadura $A_s < 0,15\%$</p>
$M_u = \frac{h^2}{\gamma_m} (0.29\sigma_{r4} + 0.16\sigma_{r1})$	$M_u = \frac{h^2}{\gamma_m} (0.29\sigma_{r4} + 0.16\sigma_{r1}) + \frac{A_s f_y (d - 0.048h)}{\gamma_s}$
	<p>Hormigón con fibras y armadura $A_s > 0,15\%$</p> $M_u = [0.5(\sigma_{r1} - \sigma_{r4})(h - h_{ux})(0.28h_{ux} + 0.33h)]/\gamma_m + [\sigma_{r4}(h - h_{ux})(0.11h_{ux} + 0.5h)]/\gamma_m + [A_s f_{yk}(d - 0.39h_{ux})]/\gamma_s$ $0.64h_{ux} f_{ck} = (h - h_{ux})[\sigma_{r4} + 0.5(\sigma_{r1} - \sigma_{r4})] + A_s f_{yk}$

CASO DE CARGA SIMPLE**ECUACIONES DE MEYERHOF 1960**

a radio de la carga
 ℓ radio de rigidez
 relativa de losa

CASO DE CARGA INTERIOR

$$a/\ell = 0 \quad P_u = 2\pi \cdot (M_p + M_n)$$

$$a/\ell > 0,2 \quad P_u = 4\pi \cdot (M_p + M_n) / \left[1 - \frac{a}{3 \cdot \ell} \right]$$

CASO DE CARGA EN BORDE

$$a/\ell = 0 \quad P_u = \left[\pi \cdot (M_p + M_n) / 2 \right] + 2 \cdot M_n$$

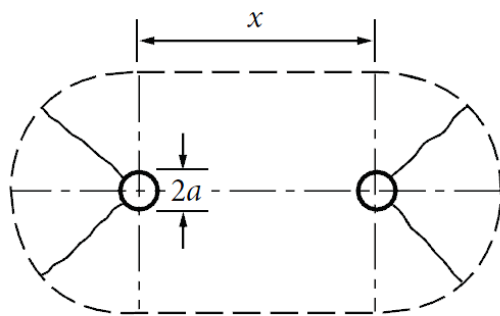
$$a/\ell > 0,2 \quad P_u = \left[\pi \cdot (M_p + M_n) + 4 \cdot M_n \right] / \left[1 - \frac{2 \cdot a}{3 \cdot \ell} \right]$$

CASO DE CARGA EN ESQUINA

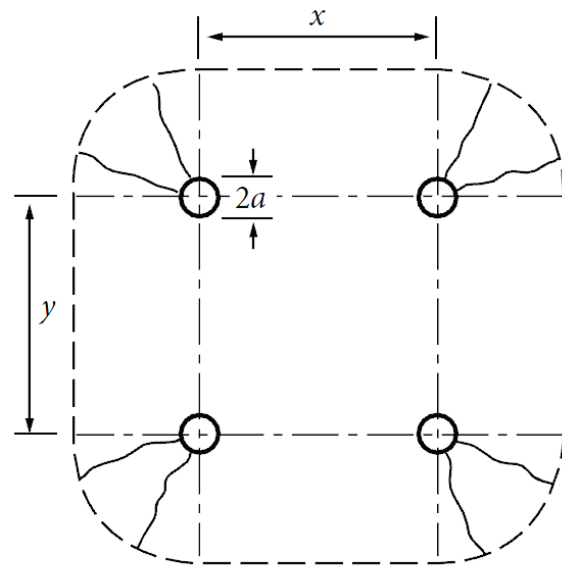
$$a/\ell = 0 \quad P_u = 2 \cdot M_n$$

$$a/\ell > 0,2 \quad P_u = 4 \cdot M_n / \left[1 - \frac{a}{\ell} \right]$$

Para valores de $0 < a/\ell \leq 0,2$ el valor de P_u puede interpolarse.

CASO DE CARGA MULTIPLE**ECUACIONES DE MEYERHOF**

(a) Dual point loads



(b) Quadruple point loads

 P_u es la carga total**CASO DE CARGA DUAL**

Si $x < 2h$ emplear la rueda equivalente

$$a/l = 0 \quad P_u = [2\pi + (1,8 \cdot x/l)] \cdot (M_p + M_n)$$

$$a/l > 0,2 \quad P_u = \left[\frac{4\pi}{1 - (a/3 \cdot l)} + \frac{1,8 \cdot x}{l - a/2} \right] \cdot (M_p + M_n)$$

El valor límite es el de las dos cargas actuando independientemente. Para valores intermedios de a se interpola.

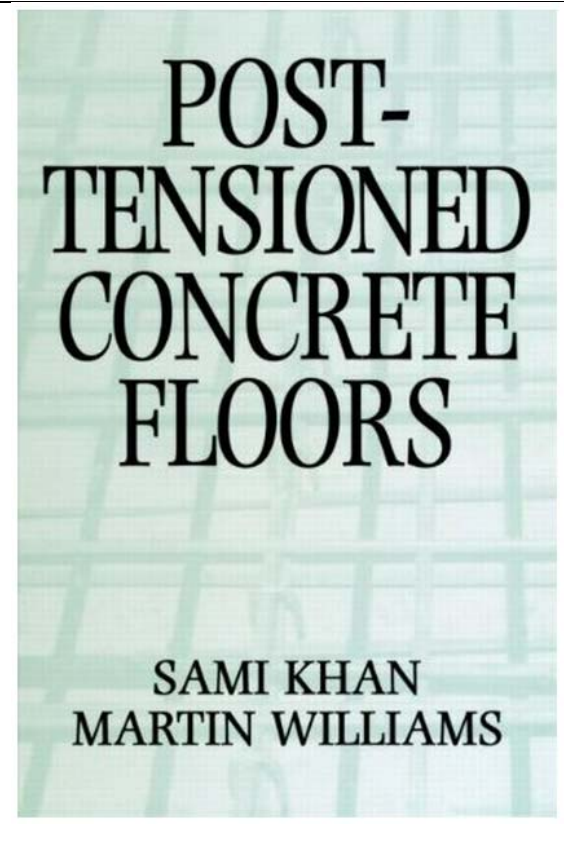
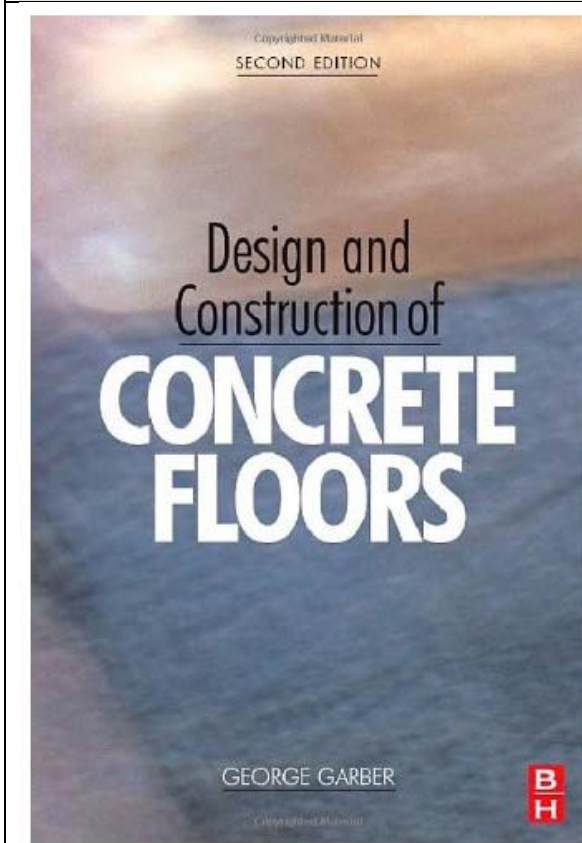
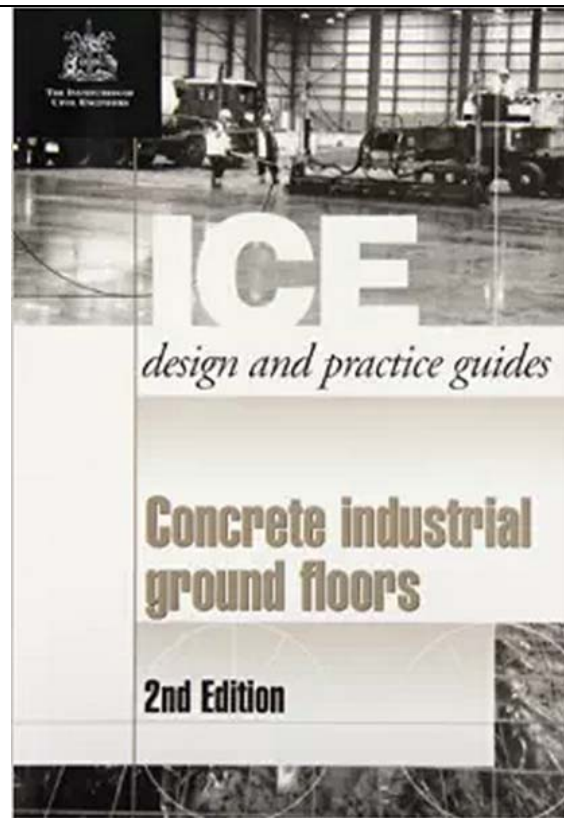
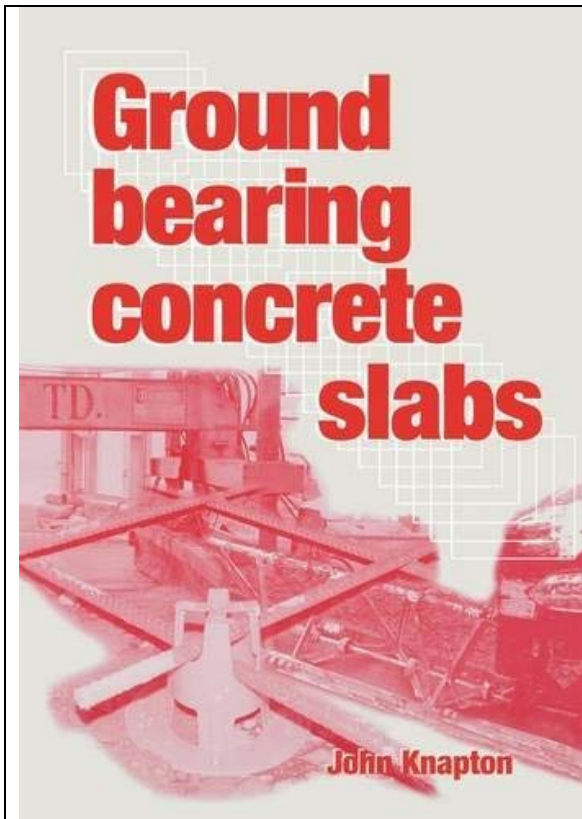
CASO DE CARGA CUÁDRUPLE

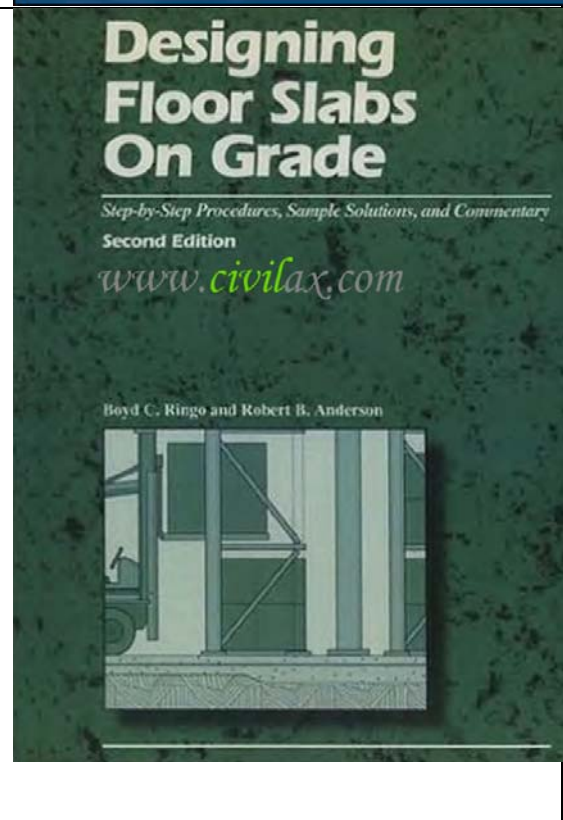
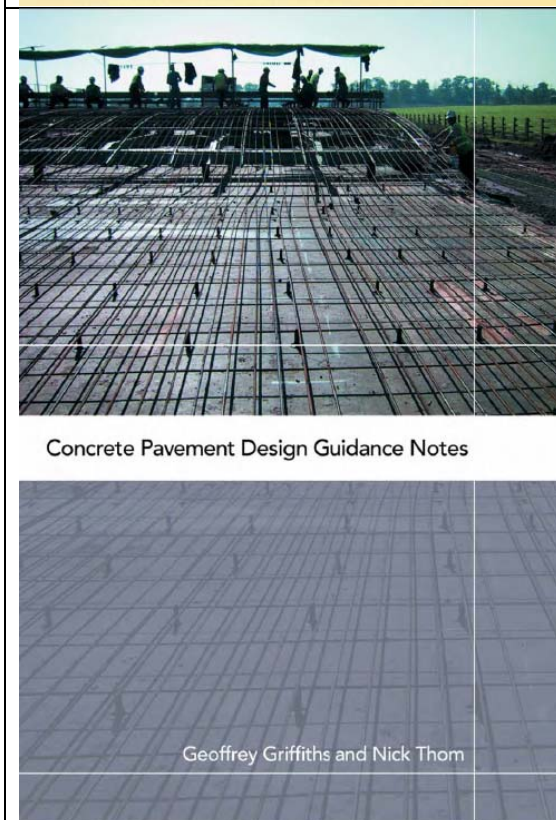
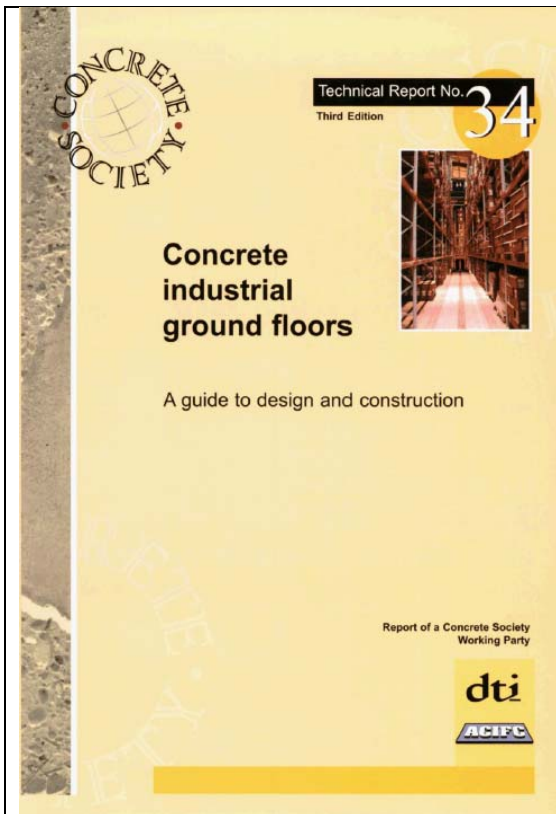
$$a/l = 0 \quad P_u = \left[2\pi + \frac{1,8 \cdot (x + y)}{l} \right] \cdot (M_p + M_n)$$

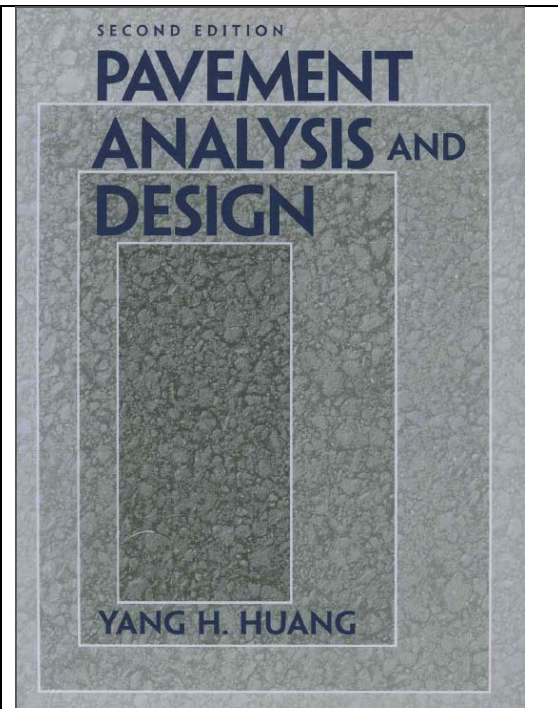
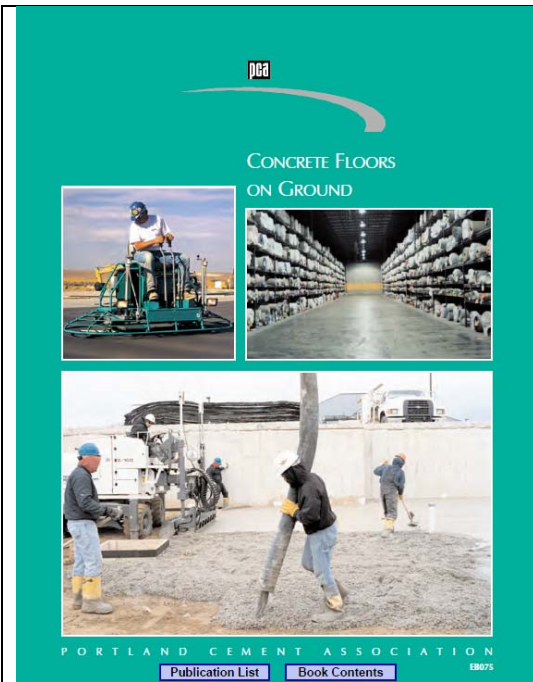
$$a/l > 0,2 \quad P_u = \left[\frac{4\pi}{1 - (a/3 \cdot l)} + \frac{1,8 \cdot (x + y)}{l - a/2} \right] \cdot (M_p + M_n)$$

El valor límite es el de las cuatro cargas actuando independientemente o actuando de dos en dos, el menor de los dos.

4. BIBLIGRAFÍA







EB050.03P
ENGINEERING BULLETIN

Design of Concrete Airport Pavement

By Robert G. Packard

Aircraft	Design Load, Lbs.
Concorde	171,000
DC-9-50, E-3B	168,000
DC-9-55, E-3B-2	150,000
B-767	166,500
B-707	135,000
DC-10	188,000
L-1011	196,000
L-350	200,000
C-54	165,000

PORTLAND CEMENT **DCA** ASSOCIATION

B96

COLLECTION
TECHNIQUE
CIMBÉTON

LES DALLAGES INDUSTRIELS EN BÉTON

Analyse et prescription

LOUIS R MARAIS & BRYAN D PERRIE

CONCRETE INDUSTRIAL FLOORS ON THE GROUND

A  PUBLICATION

ACI 360R-10

Guide to Design of Slabs-on-Ground

Reported by ACI Committee 360



American Concrete Institute®

ACI 330R-08

Guide for the Design and Construction
of Concrete Parking Lots

Reported by ACI Committee 330



American Concrete Institute®

ACI 302.1R-04

Guide for Concrete Floor and Slab Construction

Reported by ACI Committee 302

- Chair: Eldon Topping, Secretary: Dennis Ahai
Members: Robert B. Anderson, Charles M. Ault, Charles M. Ayres, Kenneth L. Bradburn, Carl Busel, Michael G. Callas, Douglas W. Dens, Gregory Dobson, Alphonsus E. Engelman, Robert A. Eppelso, Samuel A. Fize, III, C. Rick Fekler, Edward B. Finkel, Jerome H. Ford, Barry E. Fossman, Terry J. Fricks, Robert J. Gabyan, Patrick J. Harrison, Eugene D. Hill, Jr, Jerry A. Holland, Arthur W. McKinney, Steven N. Metzger, John P. Munday, Joseph F. Neuber, Jr, Russell F. Neudeck, Scott E. Nominally, Mark E. Patton, William S. Pletan, Dennis W. Phillips, John W. Robert, Philip A. Smith, Bruce A. Sappant, R. Gregory Taylor

FOREWORD

The quality of a concrete floor or slab is highly dependent on achieving a hard and durable surface that is flat, relatively free of cracks, and at the proper grade and elevation. Properties of the surface are determined by the mixture proportions and the quality of the concrete and forming operations...

This guide contains recommendations for controlling random cracking and edge curling caused by the concrete's normal volume change. Application of present technology permits only a reduction in cracking and curling not elimination. Even with the best floor design and proper construction...

ACI Committee Reports, Guides, Standard Practices, and Commentaries are intended for guidance in planning, designing, executing, and inspecting construction. This document is intended for the use of individuals who are competent to evaluate the significance and limitations of its content and recommendations and who will accept responsibility for the application of the material it contains.

It is the responsibility of the user of this document to establish health and safety practices appropriate to the specific circumstances involved with its use. ACI does not make any representations with regard to health and safety issues and the use of this document. The user must determine the applicability of all regulatory limitations before applying the document and must comply with all applicable laws, codes, and regulations, including but not limited to, United States Occupational Safety and Health Administration (OSHA) health and safety standards.

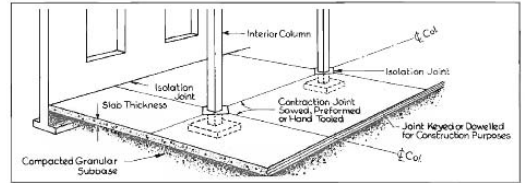
Keywords: admixture, aggregate, concrete, consolidation, contract documents, curing, curing, deflection, durability, forms, fixture, joint, moisture, proportioning, mortar, paste, placing, quality control, slab-on-ground, slabs, slump test, specification

CONTENTS
Chapter 1—Introduction, p. 302.1R-2
1.1—Purpose and scope
1.2—Terminology
1.3—Related work of other committees

ACI 302.1R-04 supersedes ACI 302.1R-06 and became effective March 21, 2004. All rights reserved including rights of reproduction and use in any form or by any means, including the making of any copies, in any medium, or by electronic or mechanical devices, printed, written, or oral, or recording for sound or visual reproduction or for use in any information or retrieval system or device, unless permission in writing is obtained from the copyright proprietors.

302.1R-1

Concrete Slabs on Ground



Learn to Design, Specify, and Build Quality Concrete Floors SCM-25(03)

ACI 325.12R-02

Guide for Design of Jointed Concrete Pavements for Streets and Local Roads

Reported by ACI Committee 325

- Chairman: Jack A. Scott, Secretary: Norbert J. Delatte
Members: David J. Akers, W. Charles Goser, Robert W. Figgitt, Richard O. Albright, John R. Hess, David W. Pittman, William L. Arnt, Mark K. Kaler, Steven A. Fagan, Jamshid M. Aramghasi, Roger L. Larsen*, Raymond S. Rollings, Donald L. Brogan, Gary K. Mason, Karan G. Shary, Peter J. Buck*, William W. Mann, Terry W. Sherman, Arthur F. Carr*, James C. Mikhalson, James M. Shikston, Sr, Lawrence W. Cole*, Paul E. Mueller, Bernard J. Shar, Russell W. Collins, Joe I. Mullerky, Shiraz D. Tavakoli, Mohamed M. Darwish, Thordore L. Naff, Suseel N. Vankar, Al Eary, Emmanuel B. Oweina-Antwi, David P. Whitney, Luis A. Garcia, Dipak T. Parikh, James M. Wilton, Nader Ghafouri, Thomas J. Panko, Jr, Dan G. Zollinger*, Ben Gompers, Ronald L. Peitz

This guide provides a perspective on a balanced combination of pavement thickness, drainage, and subbase or subgrade materials to achieve an acceptable pavement system for streets and local roads. Such concrete pavement systems for low volumes of traffic (typically less than 100 trucks per day, one way) have historically provided satisfactory performance when proper support and drainage conditions exist. Recommendations are presented for designing a concrete pavement system for a low volume of traffic and associated joint patterns based upon limiting the stresses in the concrete on the case of reinforced slabs, maintaining the cracks in a tightly closed condition. Details for designing the distributed reinforcing steel and the load transfer devices are given, if required. The distress design of innovative concrete pavements is based on the principles developed by the Portland Cement Association and others for

analyzing an elastic slab over a dense liquid subgrade, as modified by field observations and extended to include fatigue concepts.

Keywords: dowel, flexural strength, joint, pavement, portland cement, quality control, reinforced concrete, slab-on-grade, slipform, subbase, tie bar, welded wire fabric.

CONTENTS
Chapter 1—General, p. 325.12R-2
1.1—Introduction
1.2—Scope
1.3—Background
1.4—Definitions
Chapter 2—Pavement material requirements, p. 325.12R-5
2.1—Support conditions
2.1.1—Subgrade support
2.1.2—Subbase properties
2.2—Properties of concrete paving mixtures
2.2.1—Strength
2.2.2—Durability
2.2.3—Workability
2.2.4—Economy
2.2.5—Distributed and joint reinforcement

ACI 325.12R-02 became effective January 11, 2002. Copyright © 2002, American Concrete Institute. All rights reserved including rights of reproduction and use in any form or by any means, including the making of any copies, in any medium, or by electronic or mechanical devices, printed, written, or oral, or recording for sound or visual reproduction or for use in any information or retrieval system or device, unless permission in writing is obtained from the copyright proprietors.

325.12R-1

norme française

NF P 11-213-2 Mars 2005

DTU 13.3

Dallages

Conception, calcul et exécution

Partie 2 : cahier des clauses techniques des dallages à usage autre qu'industriel ou assimilés
E : DTU 13.3 - paving - design, calculation and production - part 2 : contract bill of technical clauses for paving for use other than industrial or related uses
D : DTU 13.3 - Plattenbeläge - Konstruktion, Berechnung und Ausführung - Teil 2 : Beschreibung der technischen Klauseln für Plattenbeläge zu nicht industriellen Anwendungen oder gleichgestellte

Statut

Norme française homologuée par décision du Directeur Général d'AFNOR le 20 février 2005 pour prendre effet le 20 mars 2005.

Correspondance

A la date de publication du présent document, il n'existe pas de travaux européens ou internationaux traitant du même sujet.

Analyse

Le présent document définit les règles de conception, de calcul et d'exécution des travaux de dallages en béton à usage autre qu'industriel ou assimilés.

Descripteurs

Thésaurus International Technique : revêtement de sol, dalle de revêtement, bâtiment public, définition, matériau, béton, béton armé, armature, liant, granulat, caractéristique, sol, géotechnique, état de surface, interfaçage, isolation thermique, joint de dilatation, déformation, résistance à la compression, résistance à la traction, calcul, condition d'exécution, mise en oeuvre, compte, tolérance de dimension, planéité, entretien, réparation.

Modifications

Inclut l'Amendement A1 de mai 2007 qui modifie les articles 5.1.2.3, 5.5.2.1, 5.6.6, 6, 6.2 et C.3.

30/10/2008

© 2007 CISTB - Imprimé par :

Page 1 sur 30

