



CRITERIOS DE VERIFICACIÓN Y DISEÑO DE PAVIMENTOS

Antoni Blázquez, Arquitecto

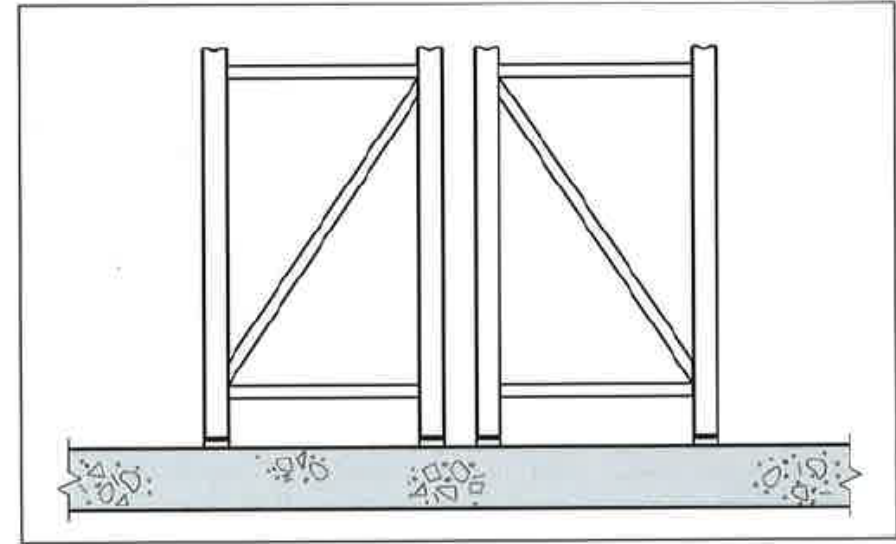
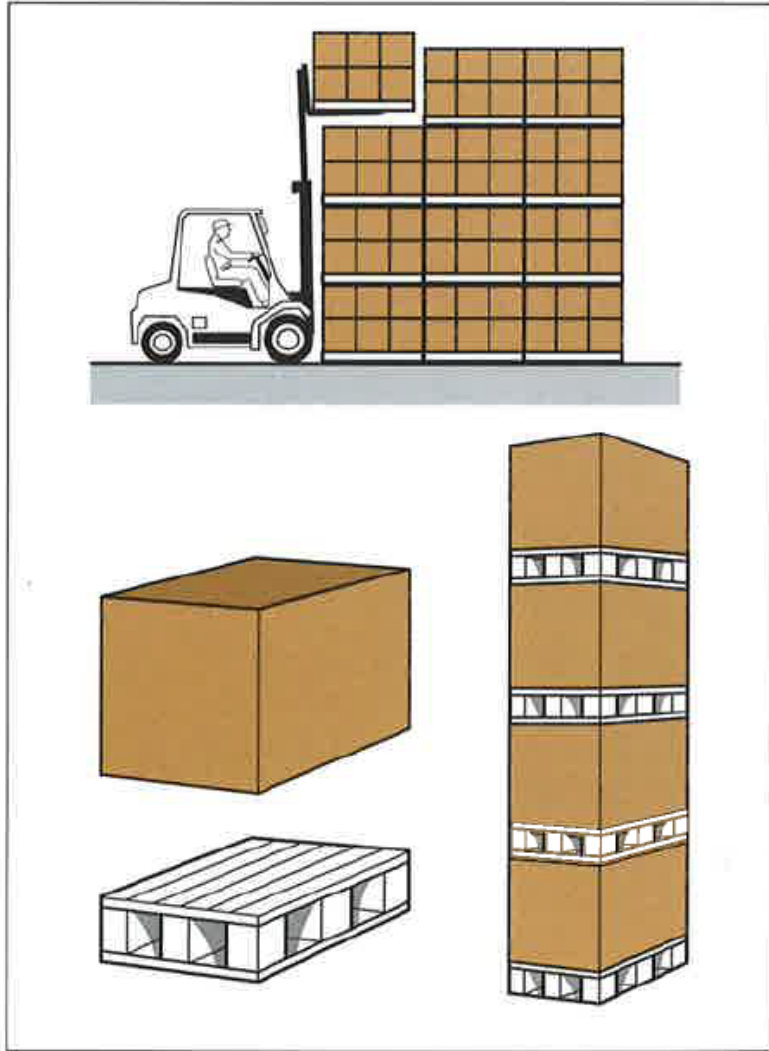


ÍNDICE

- ❑ Cargas
- ❑ Suelo
- ❑ Características de los materiales
- ❑ Análisis estructural
- ❑ Construcción y juntas

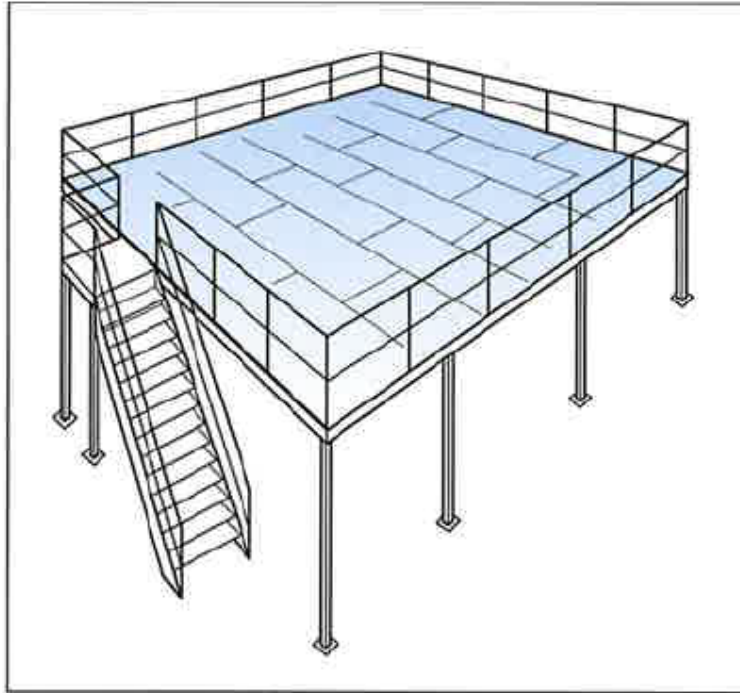
Cargas

- Palés
- Estanterías
- Altillos
- Porta palés
- Carretillas elevadoras
- Camiones



Estanterías de espaldas

Palés



Attilo



Porta palés



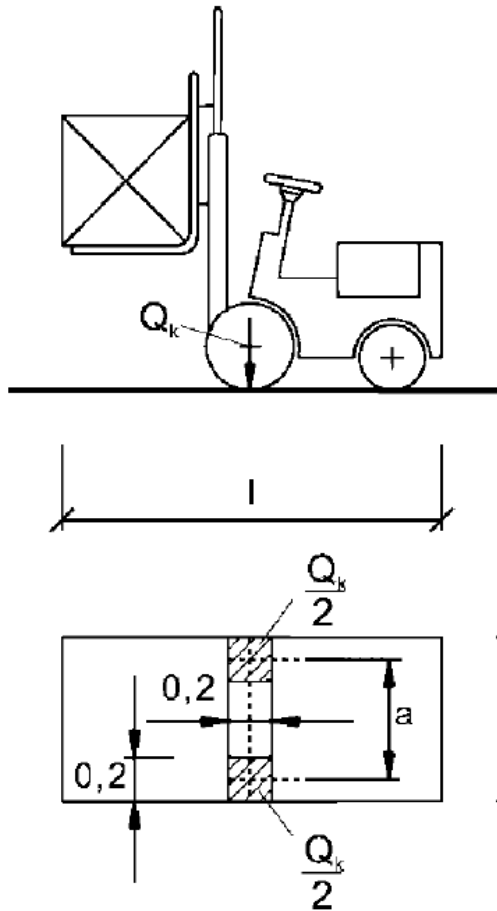
Carretillas elevadoras



Camiones y remolques



Tabla 6.5
Dimensiones de las carretillas elevadoras de acuerdo con las clases FL



Clase de vehículos de horquilla elevadora	Peso neto [kN]	Carga levantada [kN]	Ancho del eje a [m]	Ancho total b [m]	longitud total 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

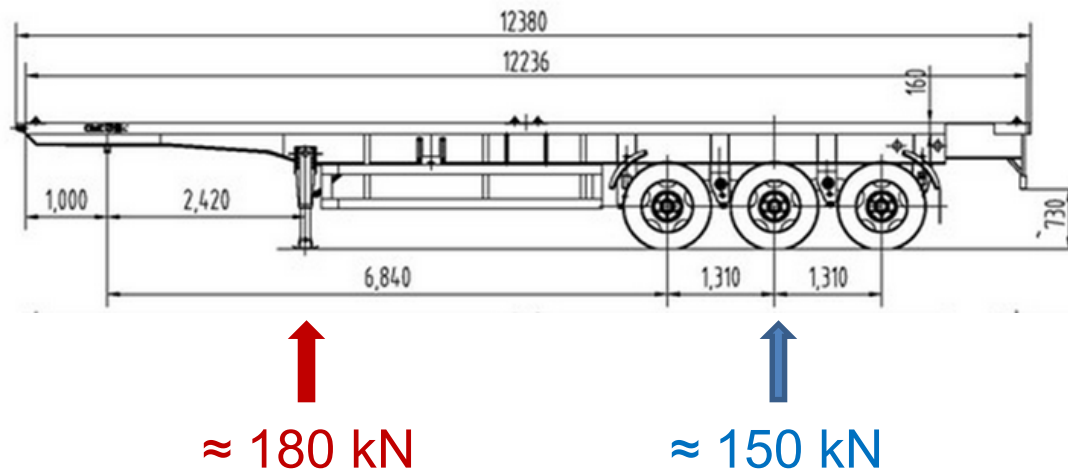
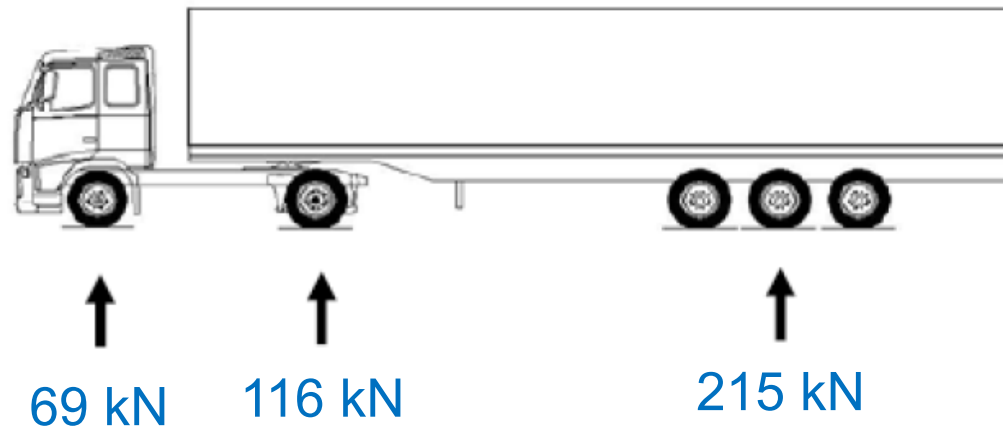
Tabla 6.6
Cargas por eje de las carretillas elevadoras

Clase de vehículos de horquilla elevadora	Carga por eje Q_k [kN]
FL 1	26
FL 2	40
FL 3	63
FL 4	90
FL 5	140
FL 6	170

$$Q_{k,din} = \varphi Q_k$$

$\varphi = 1,4$ ruedas neumáticas (2, 0 ruedas macizas)

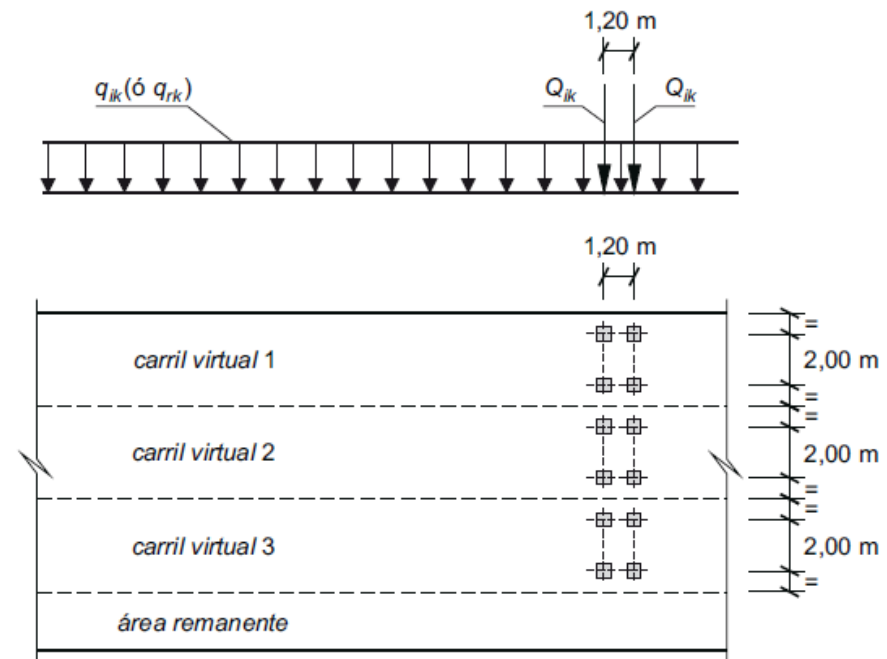
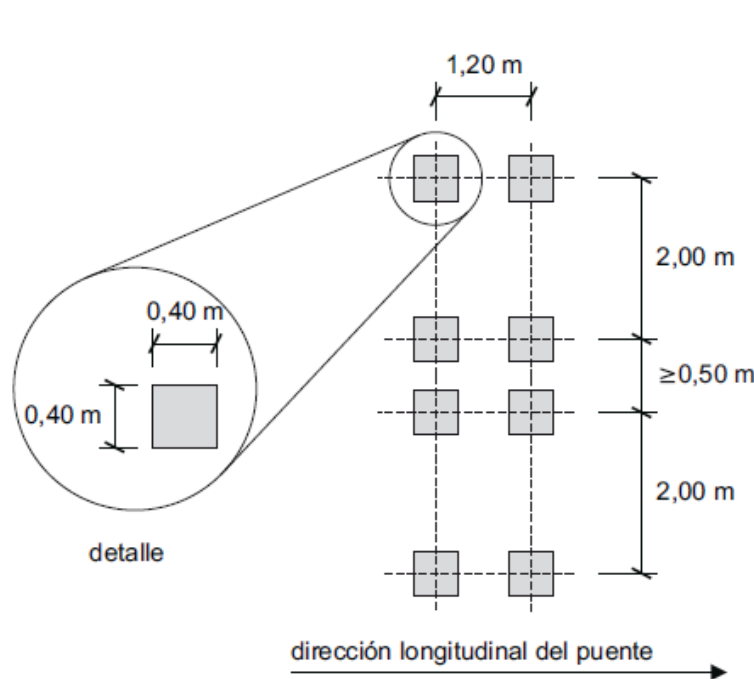
Considerar $0,3Q_k$ en horizontal



IAP-11 Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera (coincide con UNE-EN 1991-2:2004)

Tabla 4.1-b Valor característico de la sobrecarga de uso

Situación	Vehículo pesado $2Q_{ik}$ [kN]	Sobrecarga uniforme q_{ik} (ó q_{rk}) [kN/m ²]
Carril virtual 1	2 · 300	9,0
Carril virtual 2	2 · 200	2,5
Carril virtual 3	2 · 100	2,5
Otros carriles virtuales	0	2,5
Área remanente (q_{rk})	0	2,5



En estas cargas está incluido el factor de amplificación dinámico

Suelo y soporte

- Suelo
- Sub-base
- Base
- Membranas

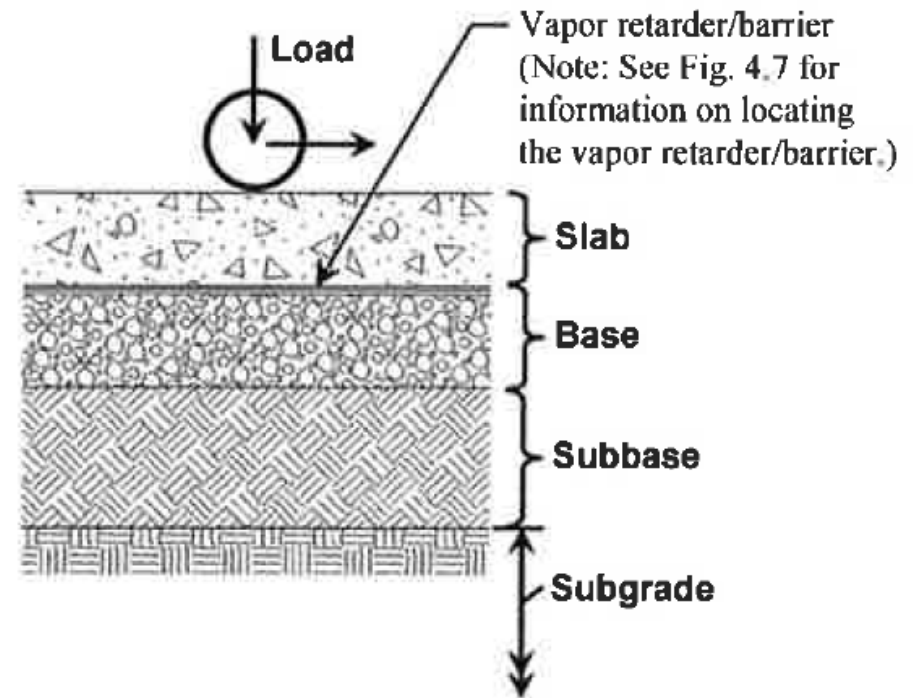


Table 3.1—Subgrade soil types and approximate support values (Portland Cement Association 1984a,b; American Concrete Pavement Association 1982)

Type of soil	Support	k , psi/in.	CBR	R	SSV
Fine-grained soils in which silt and clay-size particles predominate	Low	75 to 120	2.5 to 3.5	10 to 22	2.3 to 3.1
Sands and sand-gravel mixtures with moderate amounts of silt and clay	Medium	130 to 170	4.5 to 7.5	29 to 41	3.5 to 4.9
Sand and sand-gravel mixtures relatively free of plastic fines	High	180 to 220	8.5 to 12	45 to 52	5.3 to 6.1

Notes: CBR = California bearing ratio; R = resistance value; and SSV = soil support value. 1 psi = 0.0069 MPa, and 1 psi/in. = 0.27 MPa/m.

Table 3.2—Modulus of subgrade reaction k^*

Subgrade k value, psi/in.	Sub-base thickness			
	4 in.	6 in.	9 in.	12 in.
	Granular aggregate subbase			
50	65	75	85	110
100	130	140	160	190
200	220	230	270	320
300	320	330	370	430
	Cement-treated subbase			
50	170	230	310	390
100	280	400	520	640
200	470	640	830	—
	Other treated subbase			
50	85	115	170	215
100	175	210	270	325
200	280	315	360	400
300	350	385	420	490

*For subbase applied over different subgrades, psi/in. (Portland Cement Association 1984a,b; Federal Aviation Administration 1978).

Note: 1 in. = 25.4 mm, and 1 psi/in. = 0.27 MPa/m.

Propiedades del soporte

DTU 13.3 Francesa para uso INDUSTRIAL

5.1.2.3 Propriétés du support

Son module de réaction déterminé par essai à la plaque doit être au moins égal à :

- $K_w = 50 \text{ MPa/m}$ pour une plaque de diamètre égal à 75 cm.

NOTES

NOTE 1 Les caractéristiques de la forme ne peuvent pas être à elles seules garantes du bon comportement du support et du dallage.

NOTE 2 Le module de déformation conventionnel E_s en MPa de la couche de sol d'épaisseur en mètres égale au diamètre \varnothing en mètres de la plaque d'essai peut être évalué égal à $0,54 \cdot \varnothing \cdot K_w$.

Lorsque les caractéristiques du sol support imposent la réalisation d'une forme (ex : $K_w < 50 \text{ MPa/m}$), l'épaisseur minimale de cette dernière est de 0,20 m.

PG 3 Española para EXPLANACIONES

- El módulo de deformación vertical en el segundo ciclo de carga del ensayo de carga con placa (E_{v2}) según NLT 357 es como mínimo, según el tipo de material y en función de la zona de obra de que se disponga, el siguiente:
 - En cimiento, núcleo y espaldones, cincuenta megapascales ($E_{v2} \geq 50 \text{ MPa}$) para los suelos seleccionados y treinta megapascales ($E_{v2} \geq 30 \text{ MPa}$) para el resto.
 - En coronación, cien megapascales ($E_{v2} \geq 100 \text{ MPa}$) para los suelos seleccionados y sesenta megapascales ($E_{v2} \geq 60 \text{ MPa}$) para el resto.

En este ensayo de carga sobre placa ejecutado conforme a NLT 357, la relación, K , entre el módulo de deformación obtenido en el segundo ciclo de carga, E_{v2} , y el módulo de deformación obtenido en el primer ciclo de carga, E_{v1} , no puede ser superior a dos con dos ($K \leq 2,2$).



Membranas

- Lámina entre el pavimento y la sub-base.
 - Para reducir la fricción (150 ÷ 300 *micras*)
 - Sobre superficies planas y lisas
 - Disponer sin arrugas y con solapes de al menos 300 mm
 - Deberán impedir la fuga de agua del hormigón hacia la sub-base
- Geotextil entre el suelo y la base
 - Para evitar la mezcla de materiales

Características de los materiales

- Hormigón
- Armaduras
- Fibras
- Resistencia a flexión
- Resistencia a punzonamiento
- Pasadores

Tabla 3.2.4. Características del hormigón

Parámetro	Expresión	Valores en N/mm ²					
Resistencia característica en probeta cilíndrica	f_{ck}	20	25	30	35	40	
Resistencia característica en probeta cúbica de 15 cm de arista	$f_{ck,cub15}$	$f_{ck}/0,9$	22	28	33	39	44
Resistencia media a compresión	f_{cm}	$f_{ck} + 8$	28	33	38	43	48
Resistencia media a tracción	$f_{ct,m}$	$0,3 \sqrt[3]{f_{ck}^2}$	2,21	2,56	2,90	3,21	3,51
Resistencia característica inferior a tracción	$f_{ct,k}$	$0,7 f_{ct,m}$	1,55	1,80	2,03	2,25	2,46
Módulo de deformación longitudinal secante	E_{cm}	$8500 \sqrt[3]{f_{cm}}$	25.811	27.264	28.577	29.779	30.891

Tabla 3.2.3.b. Resistencia media a flexotracción (N/mm²)

Canto (mm)	f_{ck} (N/mm ²)			
	25	30	35	40
200	3,59	4,06	4,49	4,91
250	3,46	4,34	4,33	4,74
300	3,33	3,77	4,17	4,56

Tabla 8.2.3.a de la EHE-08

Clases específicas de exposición relativas a otros procesos de deterioro distintos de la corrosión

CLASE ESPECÍFICA DE EXPOSICIÓN				DESCRIPCIÓN
Clase	Subclase	Designación	Tipo de proceso	
Con heladas	Sin sales fundentes	H	Ataque hielo-deshielo	– Elementos situados en contacto frecuente con agua, o zonas con humedad relativa media ambiental en invierno superior al 75%, y que tengan una probabilidad anual superior al 50% de alcanzar al menos una vez temperaturas por debajo de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
	Con sales fundentes	F	Ataque por sales fundentes	– elementos destinados al tráfico de vehículos o peatones en zonas con más de 5 nevadas anuales o con valor medio de la temperatura mínima en los meses de invierno inferior a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.
Erosión		E	Abrasión cavitación	– Elementos sometidos a desgaste superficial. – Elementos de estructuras hidráulicas en los que la cota piezométrica pueda descender por debajo de la presión de vapor del agua.



Ataque por sales fundentes (designación F)

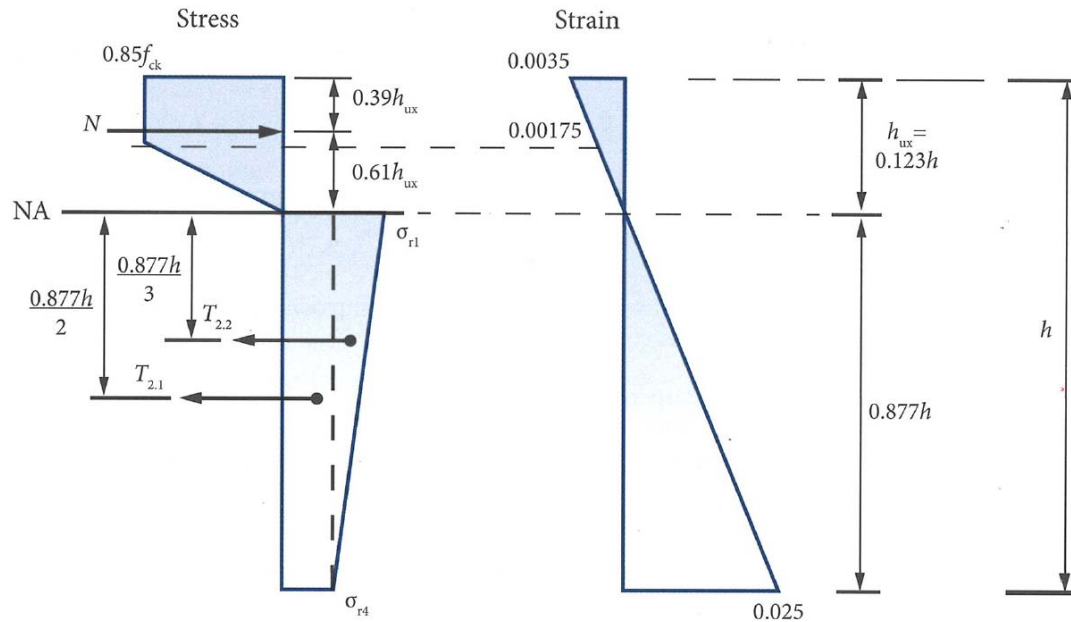


Erosión por rozamiento (designación E)

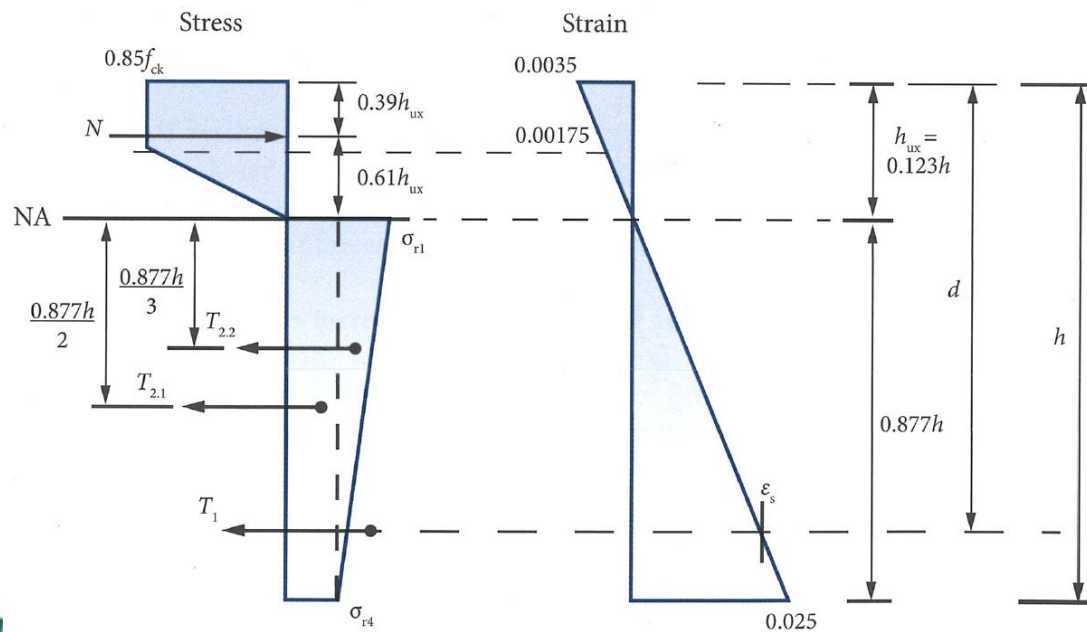


Fibras

- Microfibras
 - Para controlar la fisuración a edades tempranas debidas a retracción plástica y de secado,
 - No proporcionan ductilidad post-fisuración
- Macrofibras (sintéticas y metálicas)
 - Proporcionan ductilidad post-fisuración, por lo que pueden substituir las armaduras de acero
 - Para controlar la fisuración, incrementan el número de fisuras, por lo que reducen su abertura
 - Mejoran la resistencia a la flexión, al punzonamiento, al impacto, a la fatiga y a la corrosión (incluso las metálicas)



Bloque de tensiones,
Hormigón con fibras



Bloque de tensiones,
Hormigón con fibras y
armaduras
 $\rho < 0,15\%$

Resistencia a momento flector

Según TR34 (4ª Edición) y EC-2

- Hormigón en masa

$$M_{Rd} = f_{ctd,fl} \left(\frac{h^2}{6} \right)$$

- Hormigón armado

$$M_{Rd} = \frac{0,95 A_s f_{yk} d}{\gamma_M}$$

- Hormigón con fibras

$$M_{Rd} \approx \frac{h^2}{\gamma_M} (0,11 F_4 + 0,07 F_1)$$

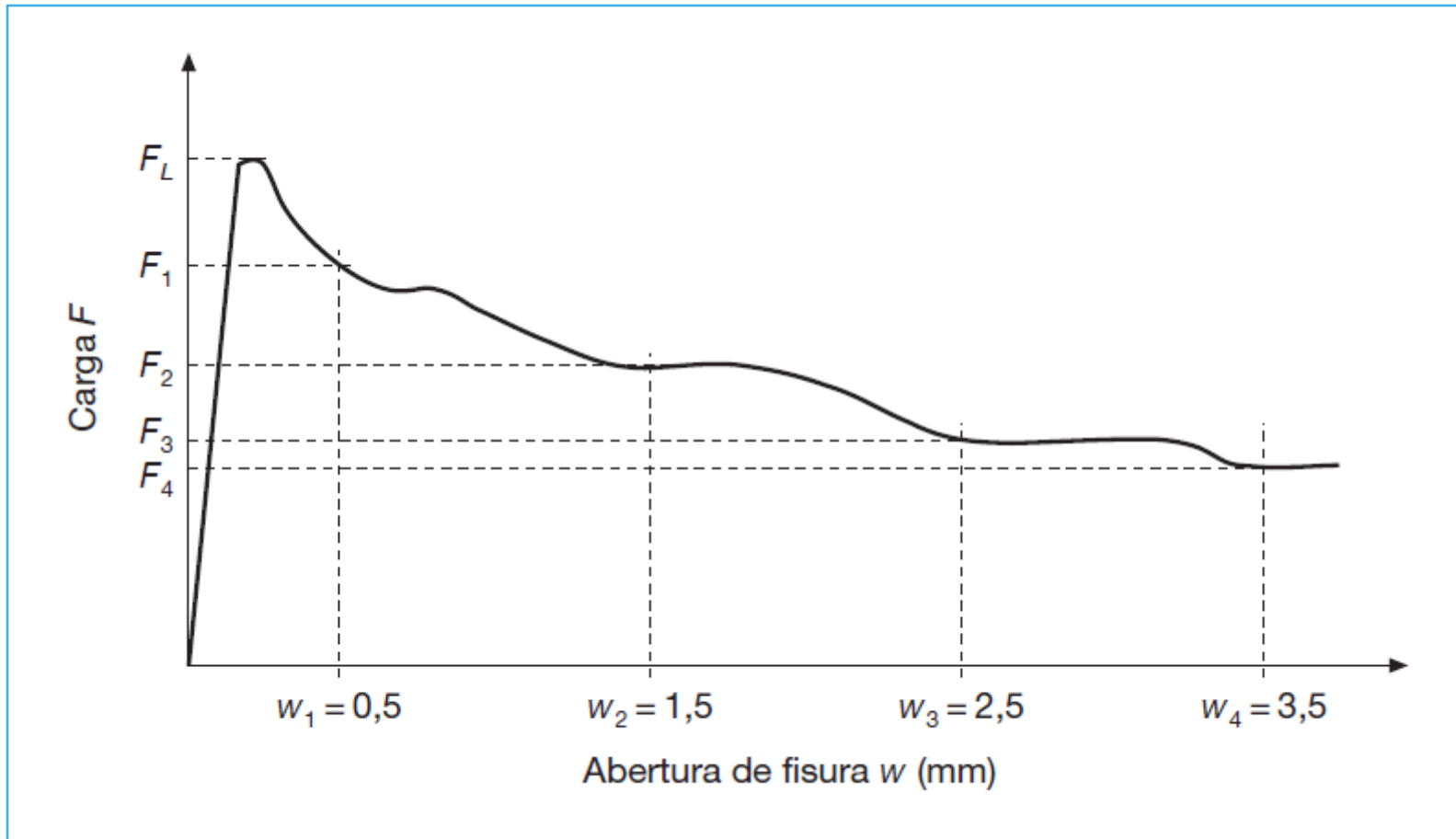


Diagrama tipo: carga / apertura de fisuras (Anejo 14 EHE-08)

Resistencia a punzonamiento

Según TR34 (4ª Edición) y EC-2

- Hormigón en masa

$$v_{Rd,c,min} = 0,035\sqrt{\xi^3 f_{ck}}$$

$$\xi = 1 + \sqrt{200/d}$$

- Hormigón armado

$$v_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} \xi \sqrt[3]{100 \rho_l f_{ck}} \leq 0,035\sqrt{\xi^3 f_{ck}}$$

- Hormigón con fibras

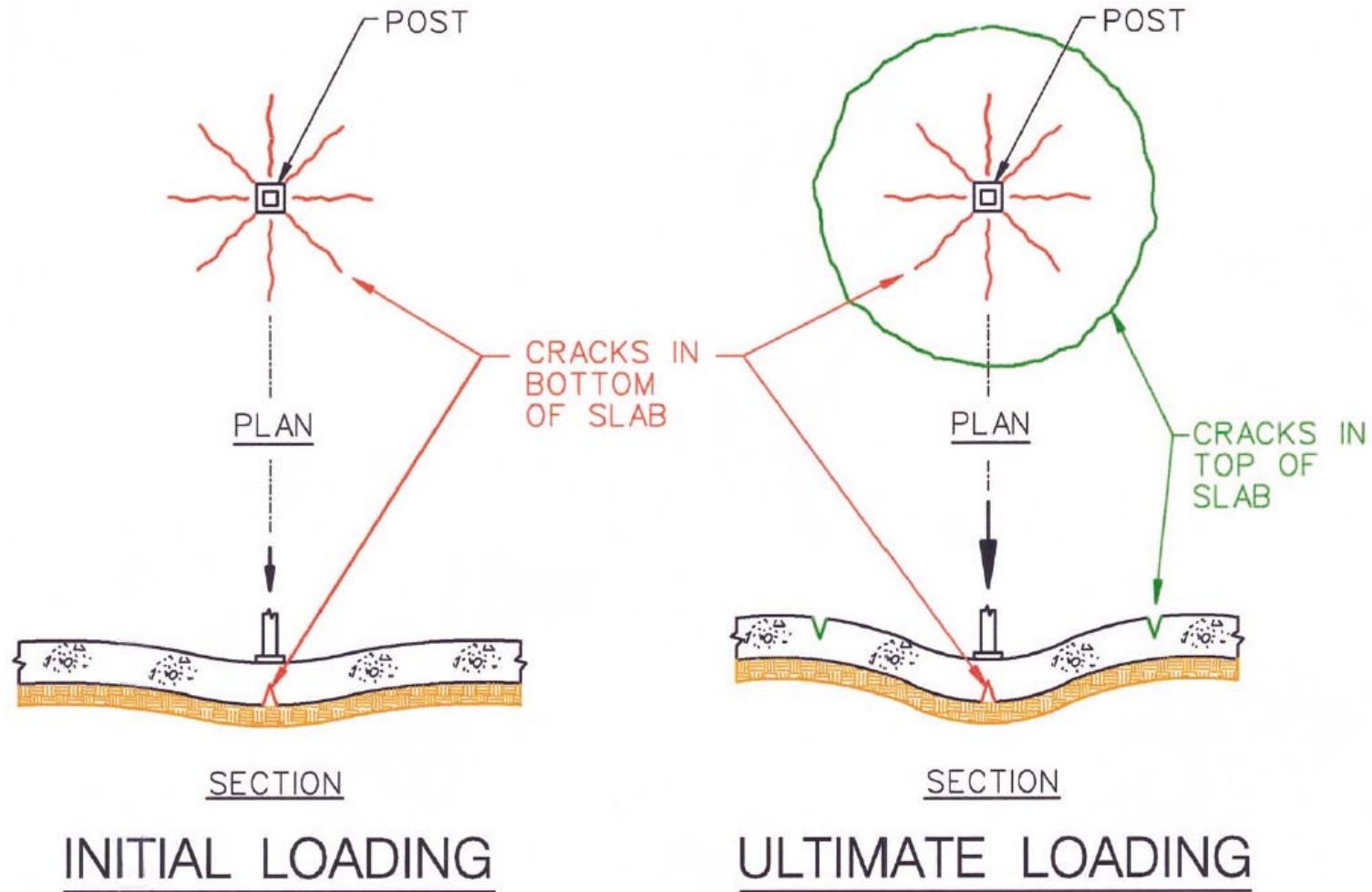
$$P_p = (v_{Rd,c} + v_f) \mu_1 d$$

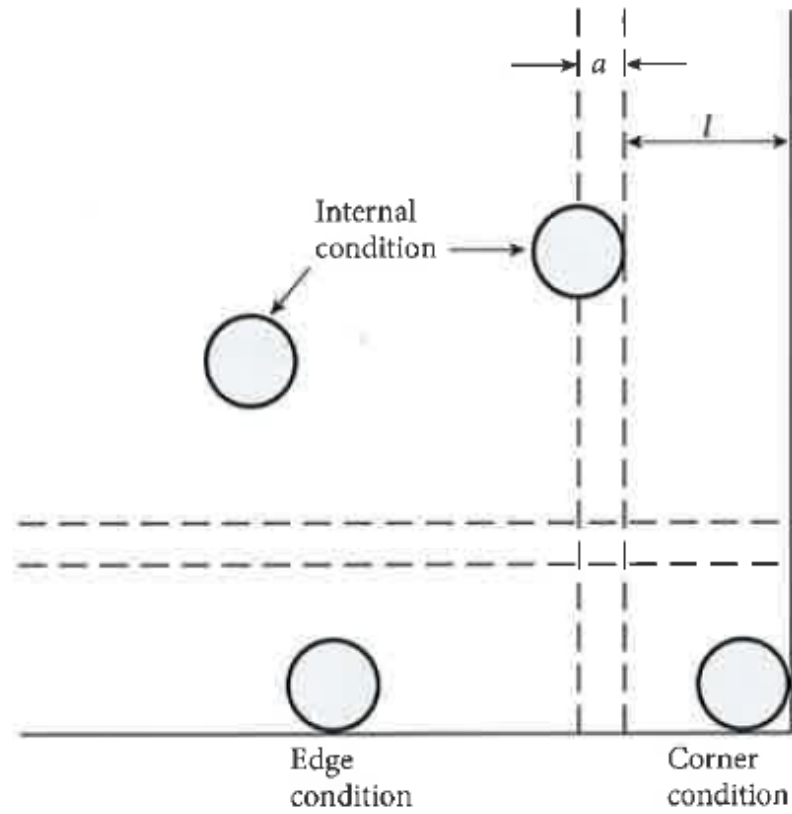
$$v_f \approx 0,015 (F_1 + F_2 + F_3 + F_4)$$

Análisis estructural

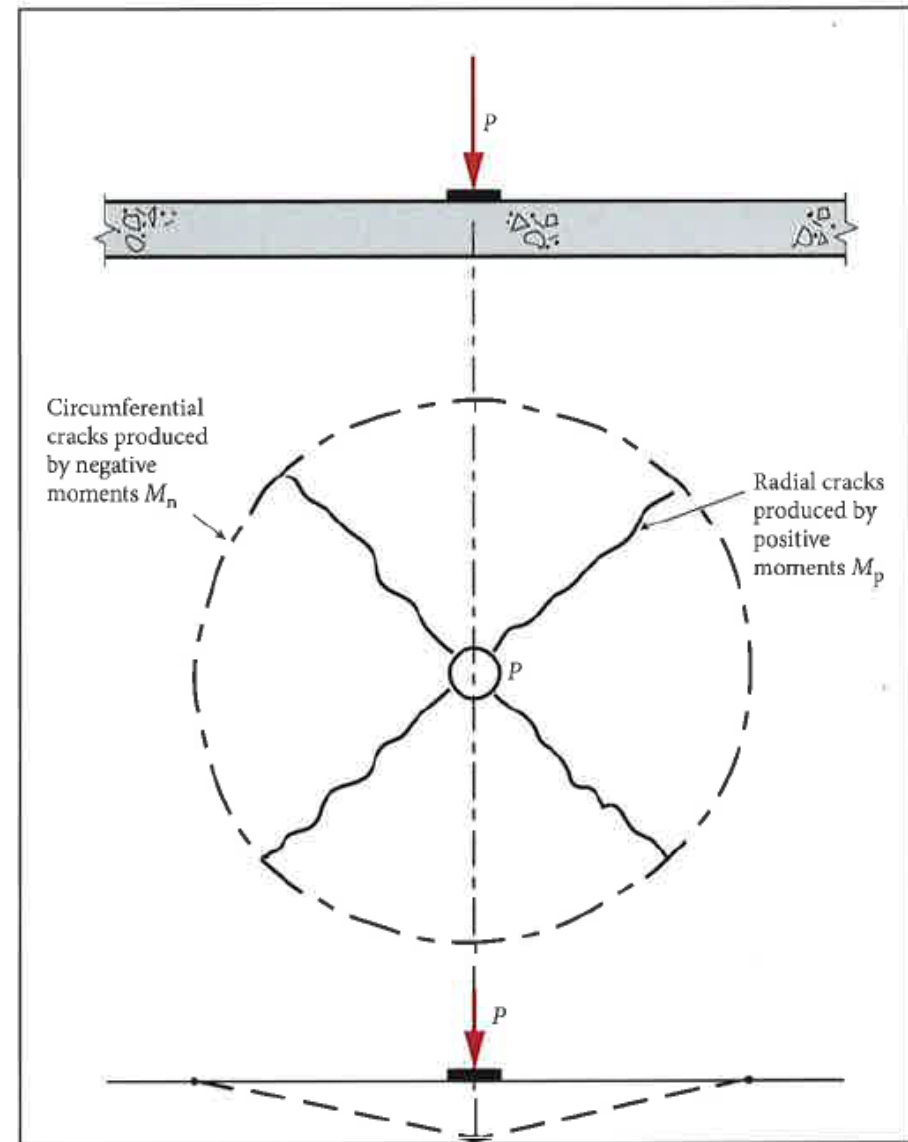
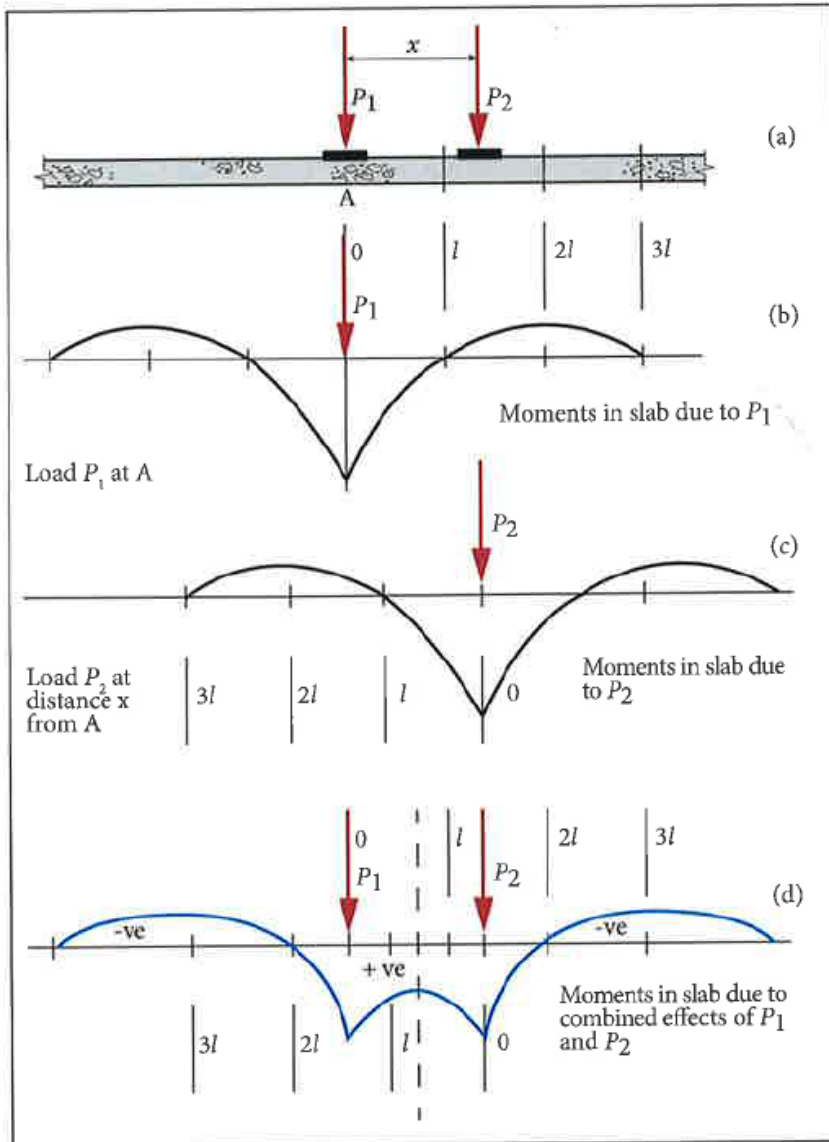
- Método de las líneas de rotura
- Tablas de dimensionamiento
- Método de los elementos finitos

Líneas de rotura





$$l = \sqrt[4]{\frac{E_c h^3}{12 (1 - \nu^2) k}}, \quad (k = \text{Coeficiente de balasto})$$



Cargas aisladas últimas

Según TR34 (4ª Edición)

- Zona interior

$$\text{Para } a/l = 0 \rightarrow P_{u,0} = 2\pi (M_p + M_n)$$

$$\text{Para } a/l \geq 0,2 \rightarrow P_{u,0,2} = 4\pi \frac{(M_p + M_n)}{(1 - a/3l)}$$

- Zona de borde

$$\text{Para } a/l = 0 \rightarrow P_{u,0} = [\pi(M_p + M_n)/2] + 2 M_n$$

$$\text{Para } a/l \geq 0,2 \rightarrow P_{u,0,2} = \frac{\pi(M_p + M_n) + 4 M_n}{1 - 2a/3l}$$

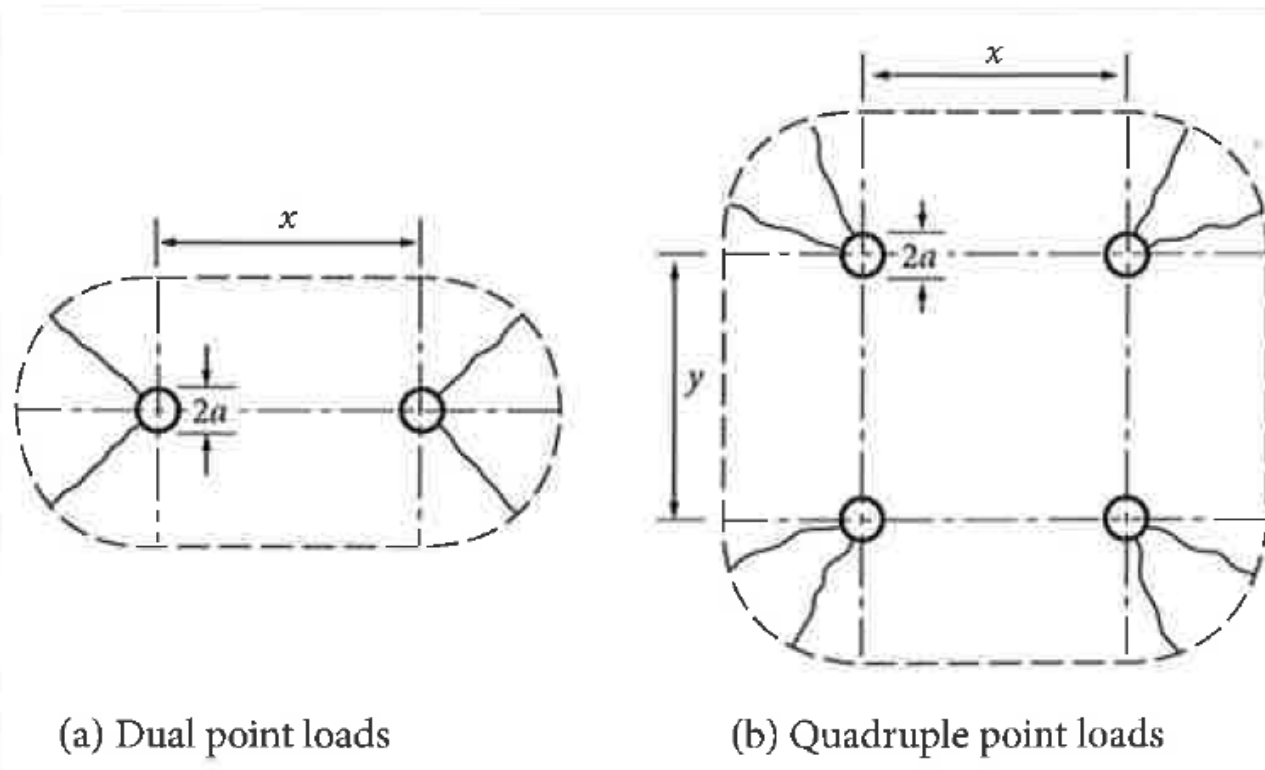
- Zona de esquina

$$\text{Para } a/l = 0 \rightarrow P_{u,0} = 2 M_n$$

$$\text{Para } a/l \geq 0,2 \rightarrow P_{u,0,2} = \frac{4 M_n}{1 - a/l}$$

Cargas múltiples últimas

Según TR34 (4ª Edición)



Tablas de dimensionamiento (Guías americanas)

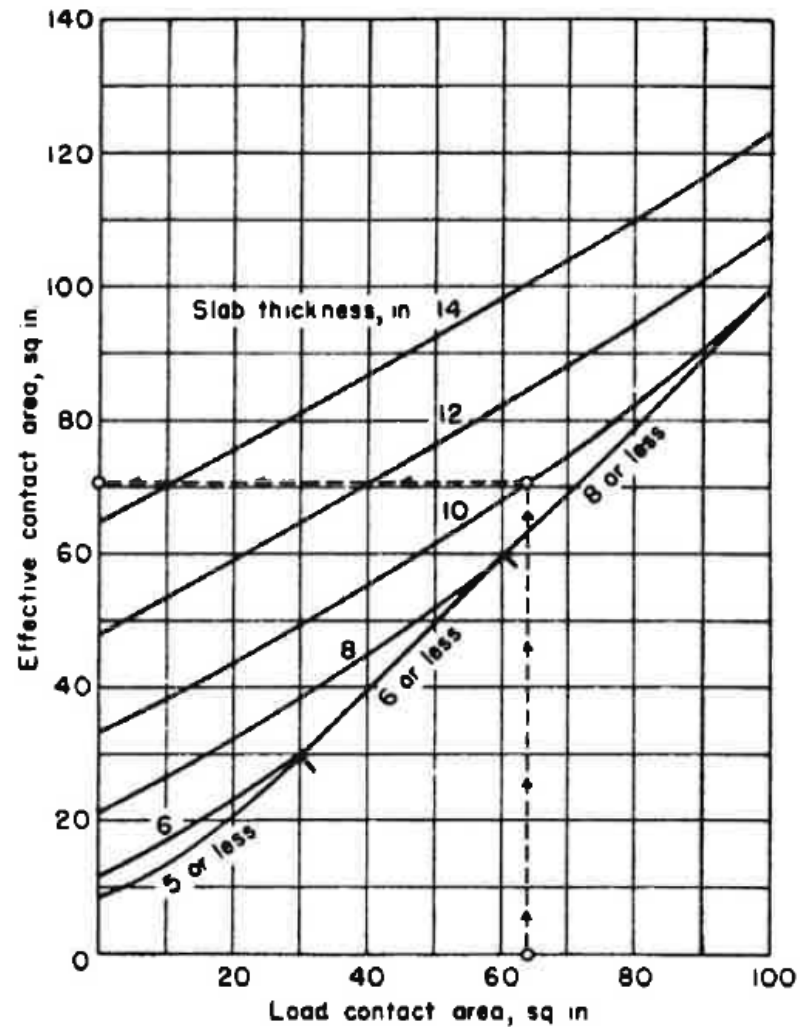


Fig. A1.2—Relationship between load contact area and effective load contact area.

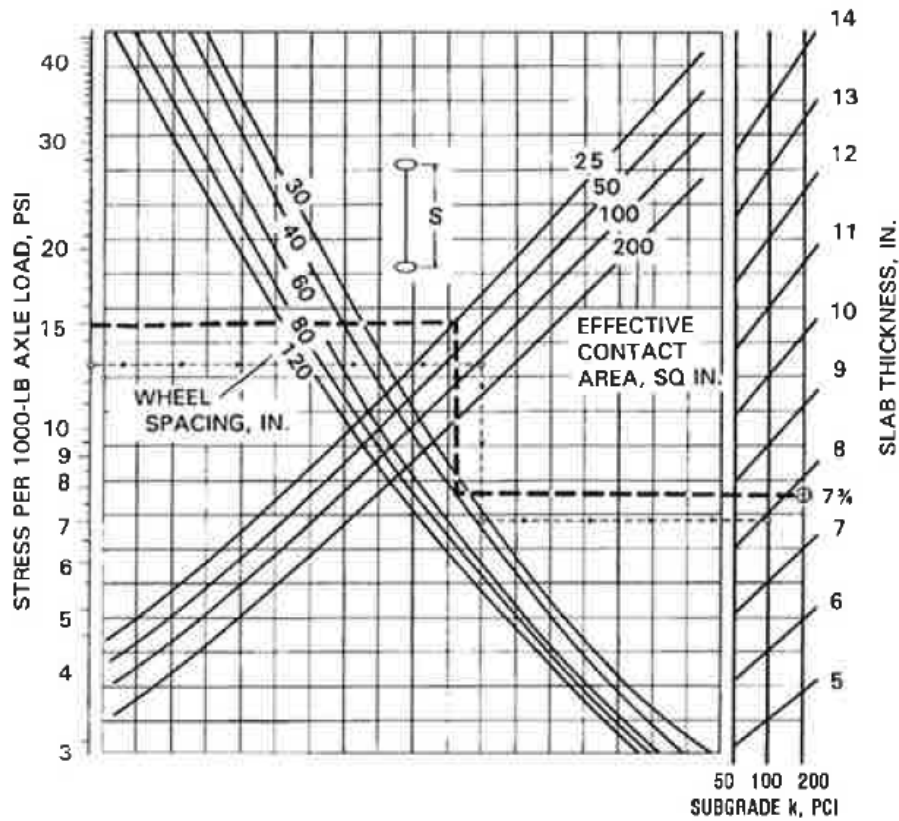


Fig. A1.1—The PCA design chart for axles with single wheels.

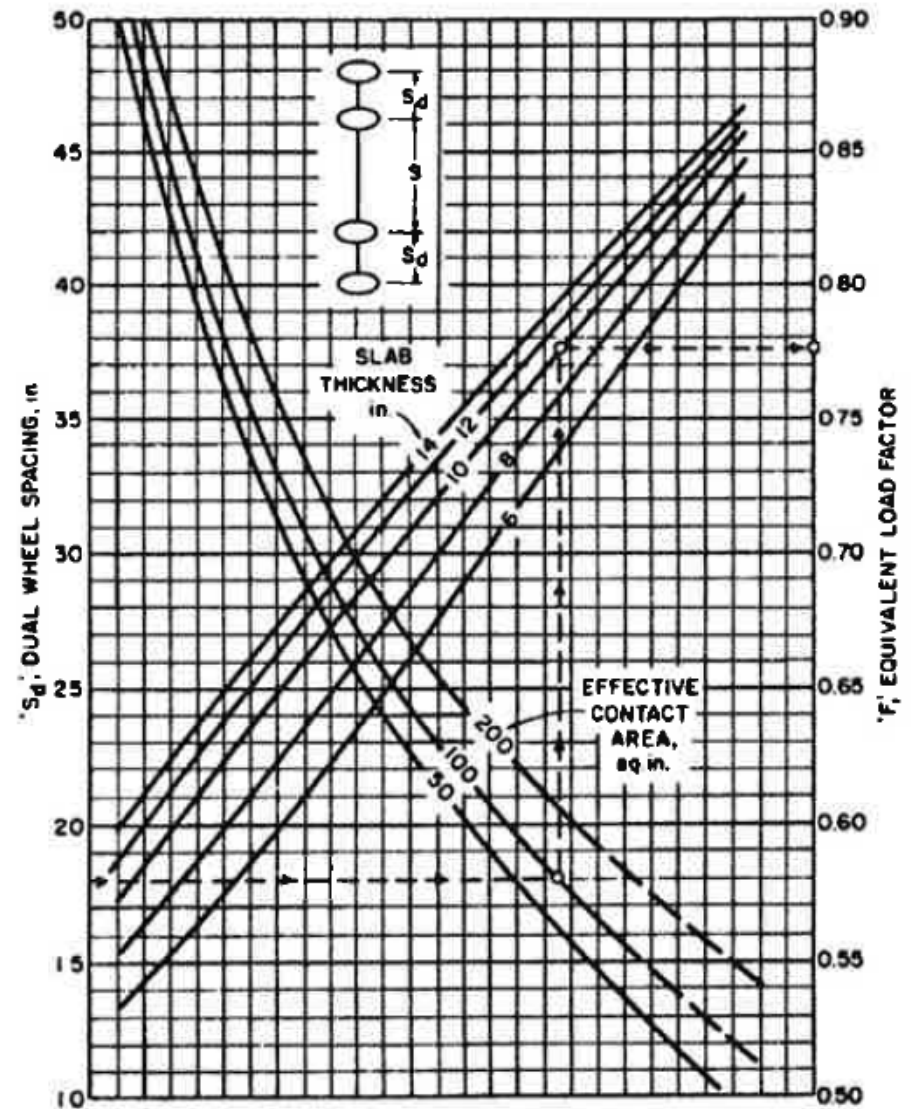
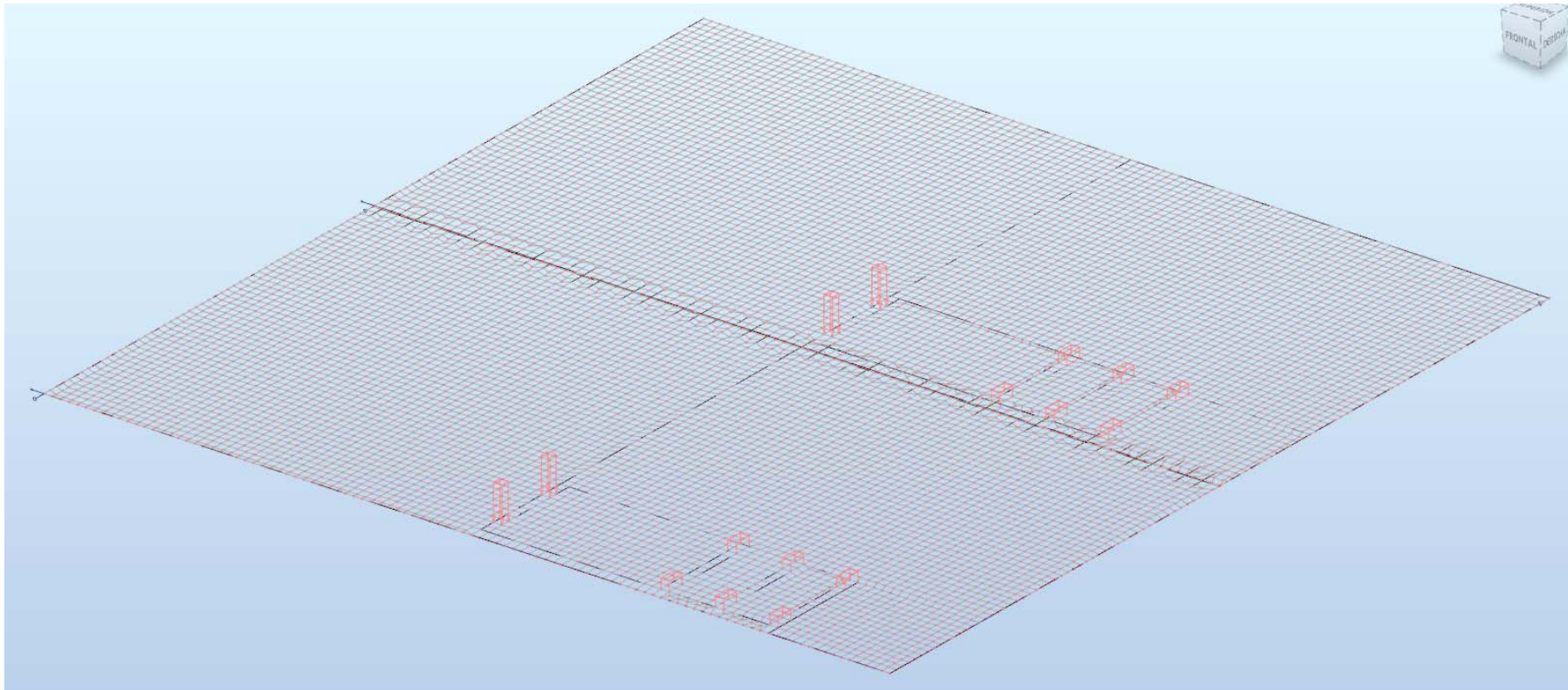
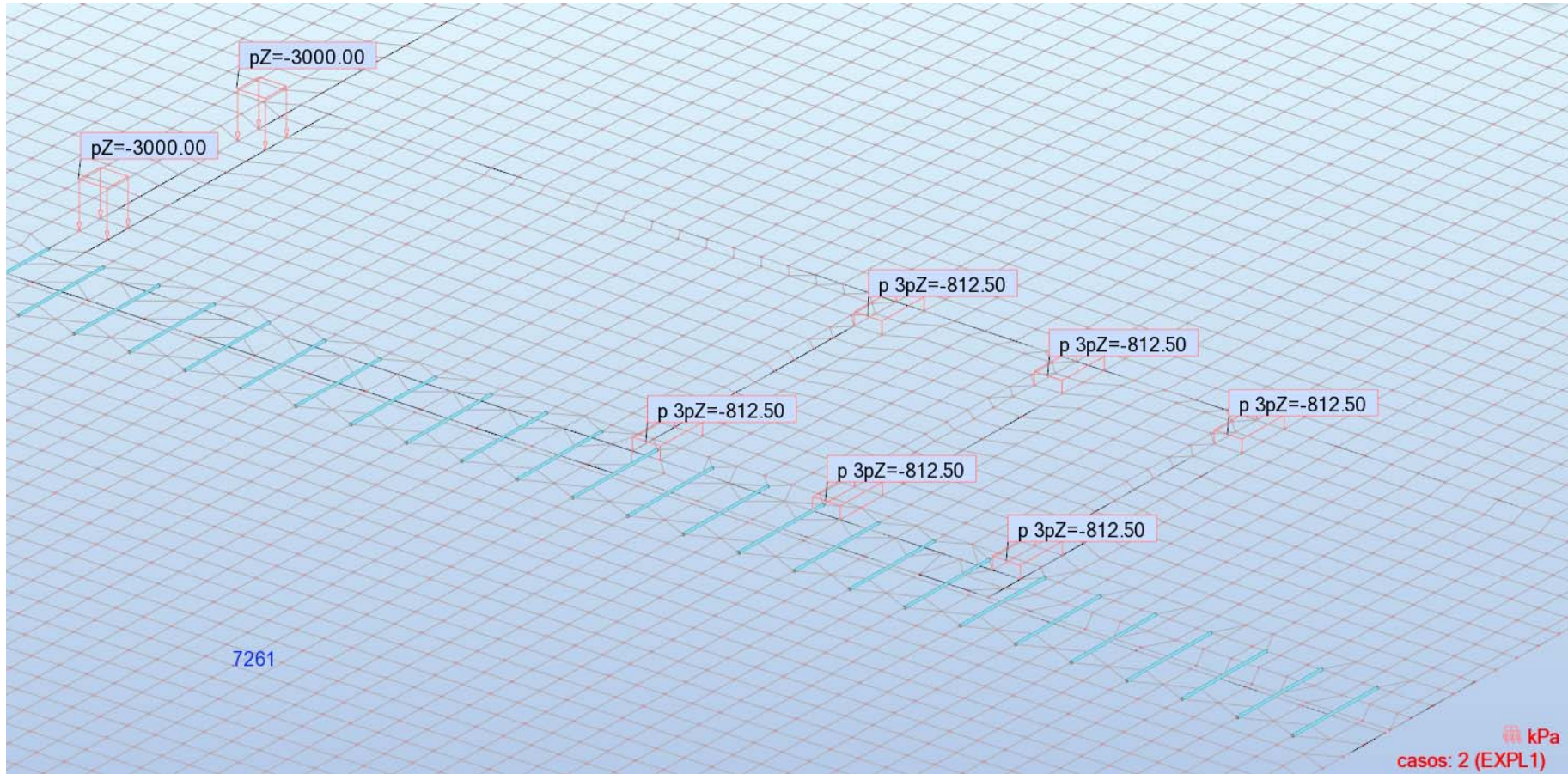


Fig. A1.3—The PCA design chart for axles with dual wheels.

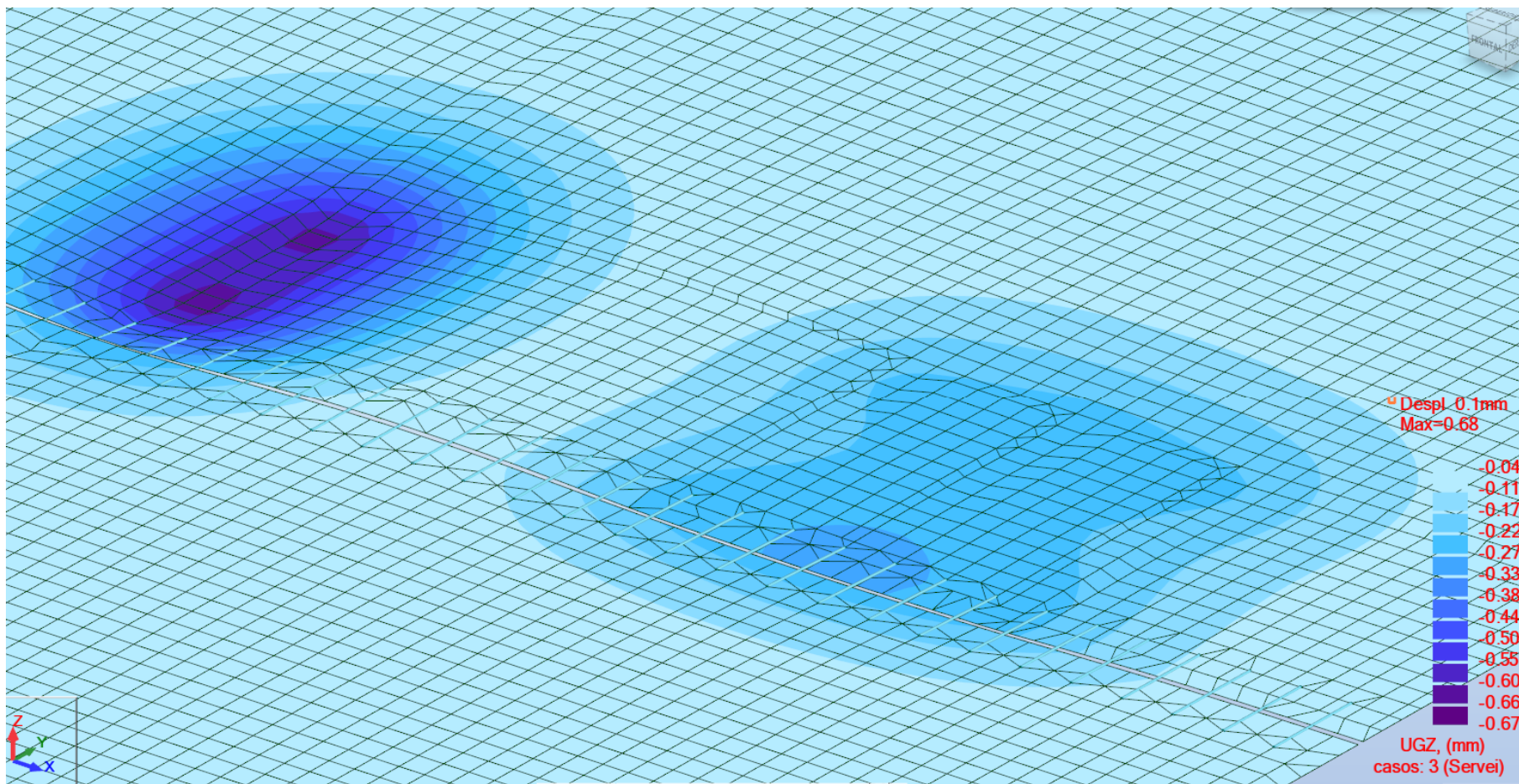
Elementos finitos (coeficiente de balasto)



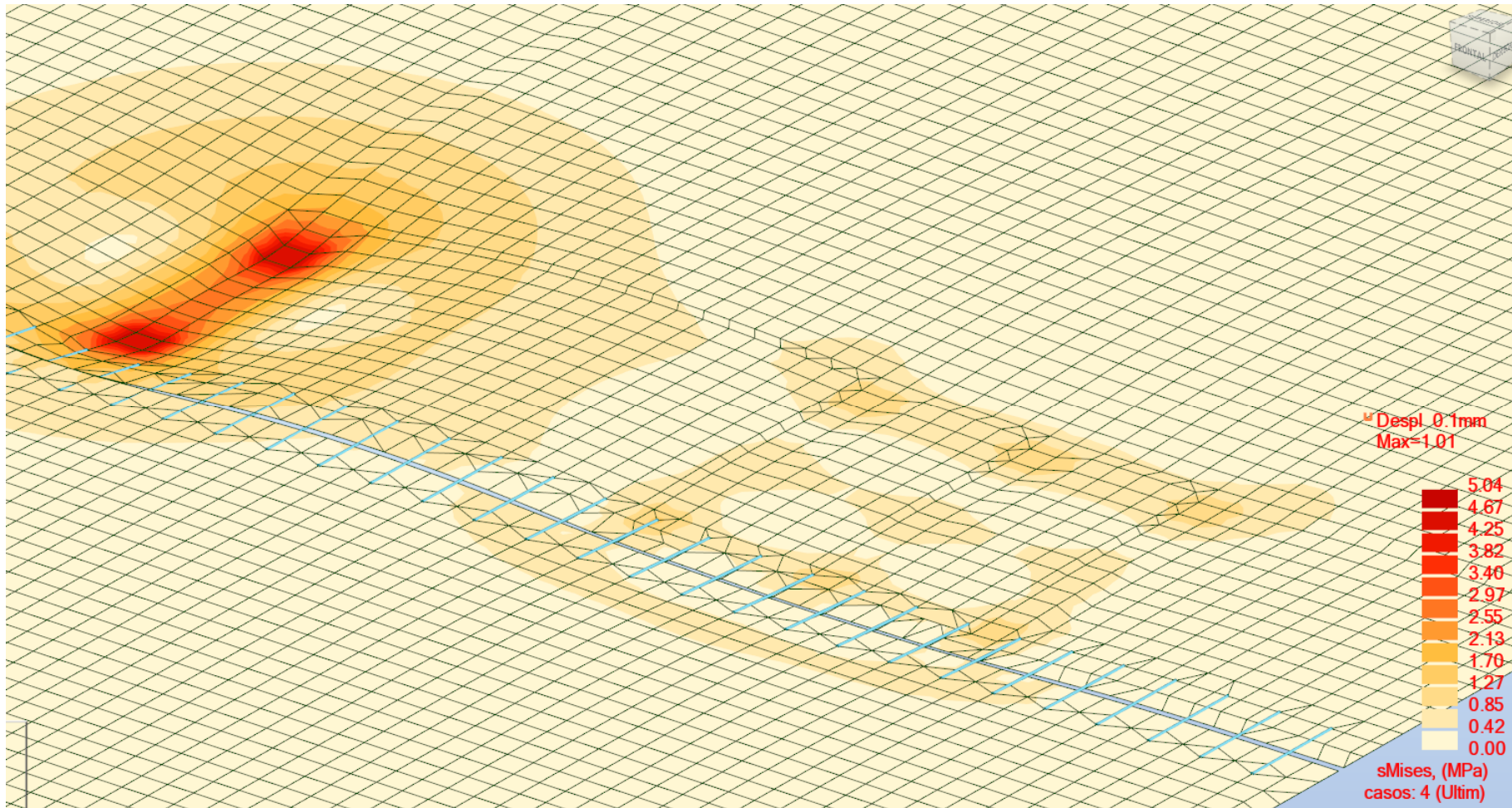
Vista global de dos pastillas de solera



Cargas de las ruedas



Deformaciones en servicio



Tensiones en E.L.U.

Coeficientes de seguridad

Según TR34:

- Materiales
 - Hormigón y hormigón con fibras 1,5
 - Armaduras de acero 1,15
- Cargas
 - Estanterías 1,2
 - Otras 1,5
 - Cargas dinámicas 1,6

Según ACI 360R-10:

- Cargas
 - Estanterías 1,7 a 2,0
 - Uniformes 1,7 a 2,0
 - Lineales 1,7
 - Móviles 1,7 a 2,0
 - De construcción 1,4 a 2,0

Fatiga (ACI 330R-08)

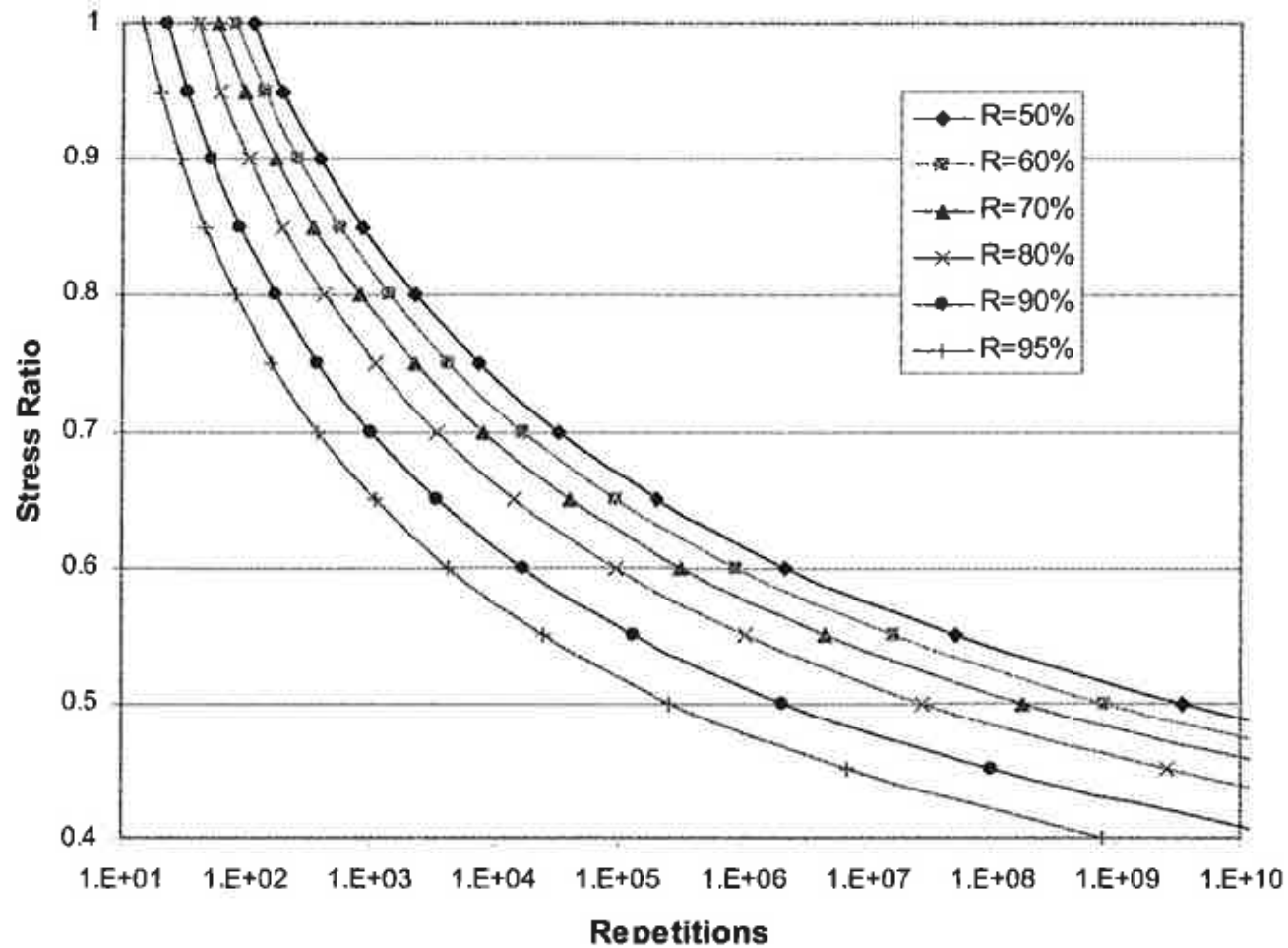


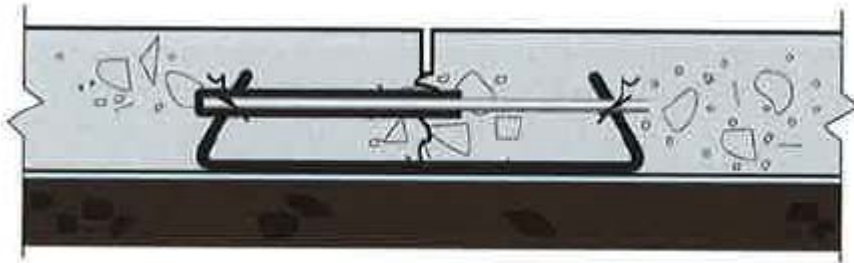
Fig. A.3—Fatigue relationships for varying overall reliability.

Juntas

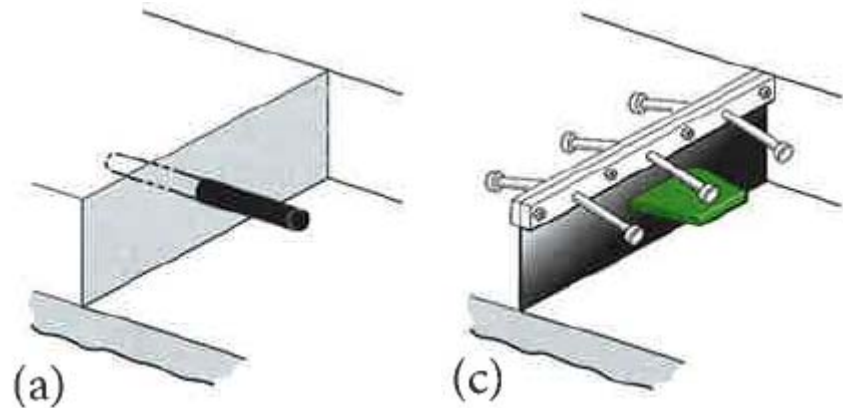
- Juntas sin restricción de movimiento
 - Cortadas
 - Formadas
- Juntas con restricción de movimiento
 - Cortadas
 - Formadas
- Juntas de separación
- Disposición de las juntas

Juntas sin restricción de movimiento

- Para minimizar la restricción a la deformación por retracción y temperatura



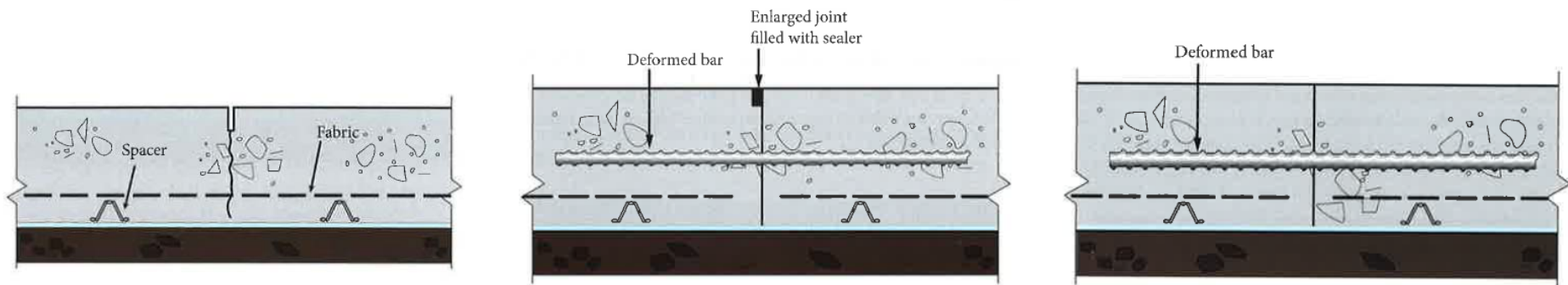
Junta cortada
puede utilizarse con malla y con fibras



Junta formada
a) Pasador de barra, c) pasador de pletina

Juntas con restricción de movimiento

- Deben cortarse tan pronto como el hormigón esté suficientemente endurecido para que los cortes no lo dañen

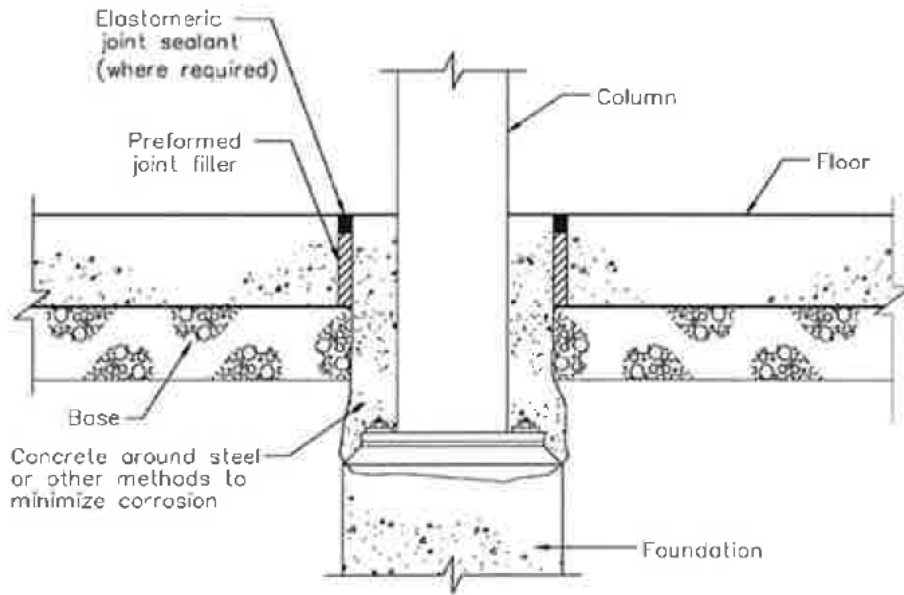


Junta cortada
puede utilizarse con
mallazo y con fibras

Junta cortada
Pasador de barra
adherente

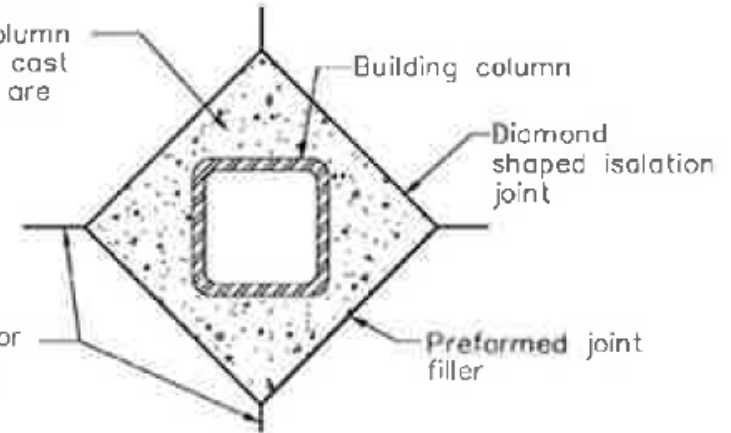
Junta formada
Pasador de barra
adherente

Juntas de separación



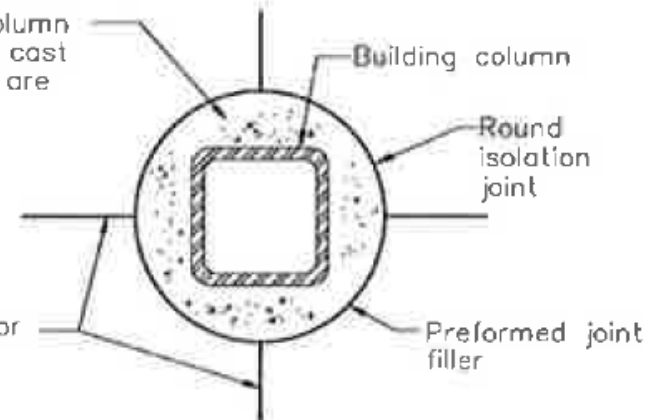
Section at Column Diamond or Round Isolation Joint

Fill around column after floor is cast and columns are carrying full dead load



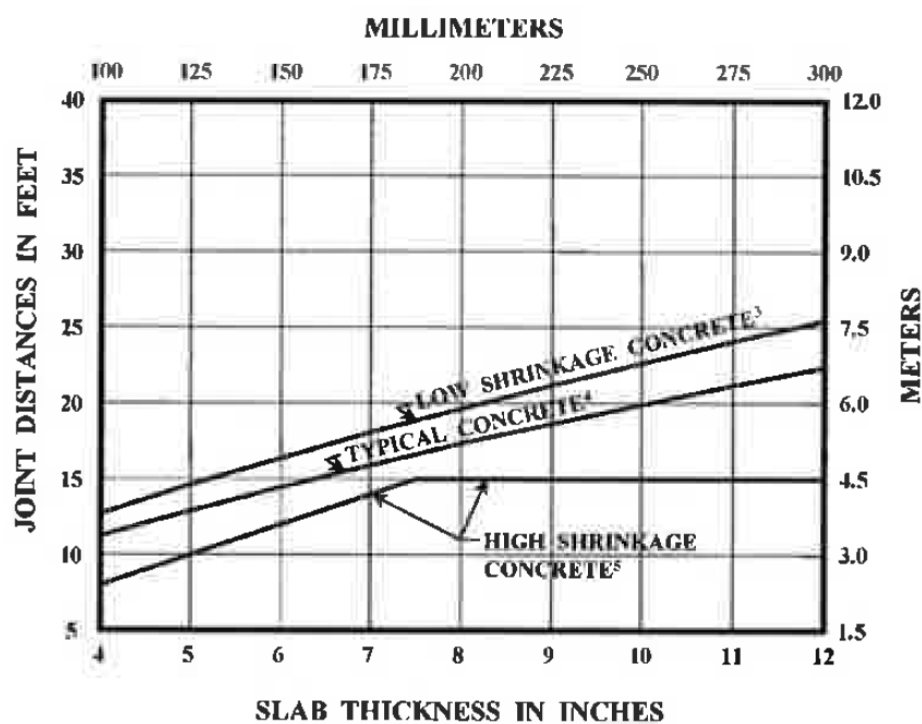
Diamond Isolation Plan

Fill around column after floor is cast and columns are carrying full dead load



Round Isolation Plan

Disposición de las juntas



ACI 360R-10

Table 3.5—Spacing between joints

Pavement thickness, in. (mm)	Maximum spacing, ft (m)
4, 4.5 (100, 113)	10 (3.0)
5, 5.5 (125, 140)	12.5 (3.8)
6 or greater (150 or greater)	15 (4.5)

ACI 330R-08

Hay una regla práctica, que propone:

$$s_j = (21 \text{ a } 24) \cdot D$$

Donde:

s_j = separación entre juntas

D = espesor del pavimento

BIBLIOGRAFÍA

1. “**ACI 330R-08** Guide for the Design and Construction of Concrete Parking Lots”. America Concrete Institute. U.S.A. 2008.
2. “**ACI 360R-10** Guide to Design of Slabs-on-Ground”. American Concrete Institute. U.S.A. 2010.
3. “**Technical Report 34**. Concrete Industrial Ground Floors” A guide to design and construction, Fourth Edition. The Concrete Society. U.K. 2014.
4. UNE **EN 1991-1-1:2003**, “Eurocódigo 1. Acciones en estructuras – Parte 1-1: Acciones generales”. AENOR.
5. UNE **EN 1991-2:2004**, “Eurocódigo 1. Acciones en estructuras - Cargas de tráfico en puentes”. AENOR.
6. UNE **EN 1992-1-1:2010**, “Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón – Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación”. AENOR.
7. “**EHE-08** Instrucción de Hormigón Estructural”. Comisión Permanente del Hormigón. Ministerio de Fomento. 2008.
8. “**IAP-11** Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera”. Ministerio de Fomento. 2011.
9. “**PG-3** Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carretera y puentes”. Ministerio de Fomento. 2011.
10. Norme Française NF P 11-213-1:2005 “**DTU 13.3. Dallages**”. 2009.