



ANEJO 12º

Aspectos constructivos y de cálculo específicos de forjados unidireccionales con viguetas y losas alveolares prefabricadas

1 Alcance

Este anejo pretende suministrar reglas complementarias acerca de aspectos constructivos y de cálculo de forjados unidireccionales constituidos por elementos prefabricados y hormigón vertido in situ.

2 Definición de los elementos constitutivos de un forjado

- Vigüeta: elemento longitudinal resistente, prefabricado en instalación fija exterior a la obra, diseñado para soportar cargas producidas en forjados de pisos o de cubiertas. Pueden ser armadas o pretensadas.
- Losa alveolar pretensada: elemento superficial plano de hormigón pretensado, prefabricado en instalación fija exterior a la obra, aligerado mediante alveolos longitudinales y diseñado para soportar cargas producidas en forjados. Sus juntas laterales están especialmente diseñadas para que, una vez rellenadas de hormigón, puedan transmitir esfuerzos cortantes a las losas adyacentes.
- Pieza de entrevigado: elemento prefabricado de cerámica, hormigón, poliestireno expandido u otros materiales idóneos, con función aligerante o colaborante, destinado a formar parte, junto con las vigüetas, la losa superior hormigonada en obra y las armaduras de obra, del conjunto resistente de un forjado.
- Losa superior de hormigón: elemento formado por hormigón vertido en obra y armaduras, destinado a repartir las distintas cargas aplicadas sobre el forjado y otras funciones adicionales que le son requeridas (acción diafragma, arriostramiento y atado, resistencia mediante la formación de sección compuesta entre otras).

3 Tipos de forjado

3.1 Forjado de vigüetas

Sistema constructivo constituido por:

- a) vigüetas prefabricadas de hormigón u hormigón y cerámica, armadas o pretensadas,
- b) piezas de entrevigado cuya función puede ser de aligeramiento o también colaborante en la resistencia,
- c) armaduras de obra, longitudinales, transversales y de reparto, colocadas previamente al hormigonado, y

- d) hormigón vertido en obra para relleno de nervios y formación de la losa superior del forjado.

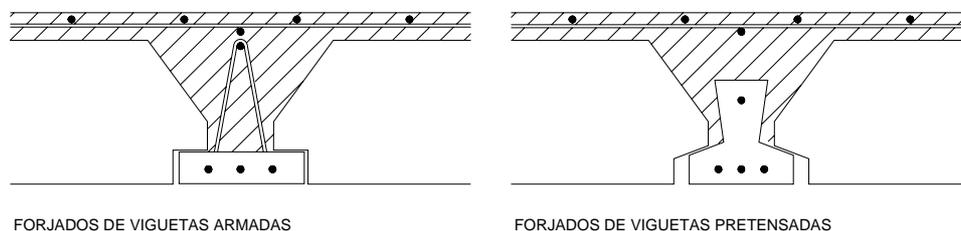


Figura A.12.3.1. Tipos usuales de forjados de viguetas

3.2 Forjado de losas alveolares pretensadas

Sistema constructivo constituido por:

- losas alveolares prefabricadas de hormigón pretensado,
- armadura colocada en obra, en su caso, y
- hormigón vertido en obra para relleno de juntas laterales entre losas y formación de la losa superior, en su caso, de acuerdo el apartado 59.2.1 del articulado..

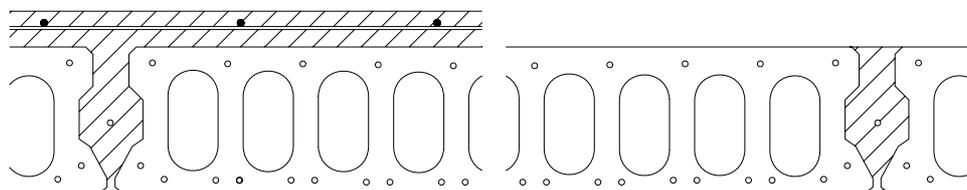


Figura A.12.3.2. Tipos usuales de forjados de losas alveolares pretensadas

4 Método simplificado para la redistribución de esfuerzos en forjados

Las solicitaciones con la redistribución máxima admitida para forjados pueden obtenerse por el método simplificado que se expone a continuación. En la gráfica básica del momento flector máximo de cada tramo, Figura A.12.4.a, se calculan los momentos para la carga total de acuerdo con los siguientes criterios:

- en los tramos extremos se tomará un momento igual al de su apoyo interno (M_1 o M_3);
- en los tramos intermedios se tomará un momento igual al de ambos apoyos (M_2);
- en el apoyo exterior se tomará cero si no hay voladizo y si lo hay, el momento debido a las cargas permanentes del mismo (M_{vcp}).

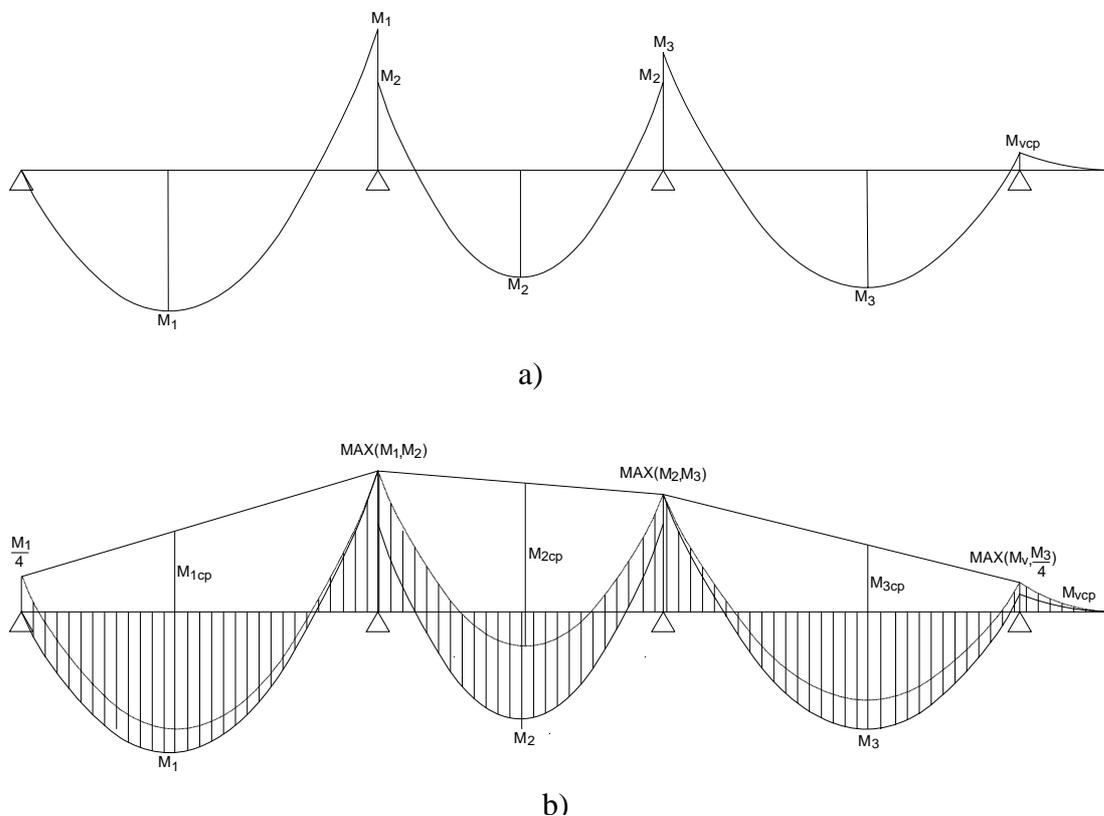


Figura A.12.4.a y b Gráficas básica y envolvente de momentos flectores

Los valores de los momentos M_1 , M_2 y M_3 para cargas uniformemente repartidas obtenidos analíticamente son:

$$M_1 = (1,5 - \sqrt{2}) p_1 l_1^2$$

$$M_2 = \frac{p_2 l_2^2}{16}$$

$$M_3 = \left(1,5 + \frac{M_v}{p_3 l_3^2} - \sqrt{2 + \frac{4M_v}{p_3 l_3^2}} \right) p_3 l_3^2$$

Obtención del momento flector negativo en cada apoyo a partir de la gráfica básica: En los apoyos exteriores, se toma igual a un cuarto del momento positivo del tramo adyacente calculado en la hipótesis de articulación en el extremo o al momento del voladizo debido a la carga total (M_v), si existe y es mayor. En los apoyos interiores se toma el mayor de los momentos positivos de los tramos adyacentes.

La gráfica envolvente de momentos flectores (Figura A.12.4.b) se obtiene superponiendo a la gráfica básica la de los momentos flectores de las cargas permanentes de cada tramo, trazada a partir de los momentos negativos considerados en los correspondientes apoyos.

Como esfuerzos cortantes se toman los correspondientes a los momentos flectores de la Figura A.12.4.b.

El redondeo parabólico del vértice del diagrama de los momentos flectores negativos, en el caso de vigas planas, o cabezas de vigas mixtas de ancho importante,

sólo puede hacerse si se considera simultáneamente el efecto de concentración de esfuerzos en las proximidades del soporte; este hecho es especialmente importante cuando la anchura del soporte es mucho menor que la de la viga.

A efectos de lo anterior, se ha de limitar la anchura eficaz de la viga plana al ancho del soporte más 1,5 veces el canto de la viga por cada lado del soporte.

Los forjados sin sopandas y particularmente las losas alveolares pretensadas, bajo el peso propio del forjado, incluida la losa superior de hormigón vertido en obra, en su caso, deben considerarse como elementos biapoyados. Sólo para el resto de las cargas permanentes y la sobrecarga se considerará la continuidad.

5. Reparto transversal de cargas en forjados unidireccionales y en losas alveolares

5.1 Reparto transversal de cargas lineales y puntuales en forjados de viguetas

En los forjados de viguetas habrá que tener en cuenta las cargas superficiales de peso propio del forjado, solado, revestimiento, tabiquería y sobrecarga de uso y, además, si existen, cargas lineales de muros y particiones pesadas (superiores a un tabicón) y, en su caso, cargas puntuales o localizadas.

En los forjados de cubierta habrá que considerar las cargas superficiales de peso propio del forjado, incluyendo rellenos o tableros con tabiques, solado o cobertura, aislamiento, revestimientos, sobrecarga de nieve o de uso si esta es más desfavorable y, en su caso, la sobrecarga de viento. Además, se considerarán las cargas lineales, puntuales o localizadas si existen.

La tabiquería y los solados pueden considerarse como cargas de carácter permanente y por tanto, en general, no es preciso el estudio de su alternancia tramo a tramo.

El reparto de las cargas puntuales situadas sensiblemente en el centro de la longitud de una vigueta interior, o lineales paralelas a las mismas, en ausencia de cálculos más precisos, puede obtenerse de forma simplificada multiplicando la carga por los coeficientes indicados en la Tabla A.12.5.1:

Tabla A.12.5.1 Coeficientes de reparto transversal de cargas puntuales o lineales

Vigueta	1	2	3	4
Coefficiente	0,30	0,25	0,15	0

En este caso la losa superior hormigonada en obra debe armarse para resistir un momento igual a:

$$0,3 p_d \quad \text{para carga lineal;}$$

$$0,125 P_d \quad \text{para carga puntual;}$$

siendo:

P_d Carga puntual de calculo, en kN;

p_d Carga lineal de calculo, en kN/m, por m de vigueta.

Esta armadura debe extenderse en la dirección de las viguetas hasta una distancia de $L/4$ a partir de la carga puntual y la misma longitud a partir de los extremos de la zona cargada en el caso de carga lineal y en la dirección perpendicular a ellas hasta alcanzar la vigueta 4 de la figura A.12.5.1.

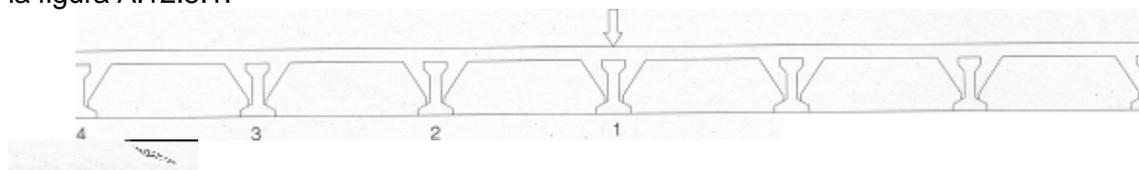


Figura A.12.5.1. Reparto transversal de cargas puntuales o lineales

5.2 Reparto transversal de cargas lineales y puntuales en forjados de losas alveolares pretensadas

5.2.1. Método de cálculo

Se pueden emplear dos métodos de cálculo, con distribución de la carga según la teoría de la elasticidad y sin distribución de carga.

El primer método solo debe emplearse cuando se limitan los desplazamientos laterales de acuerdo con lo estipulado en el apartado 5.2.3 de este Anejo. En caso contrario, el cálculo deberá realizarse según el segundo método.

Las cargas lineales paralelas al vano de los elementos y no mayores de 5 kN/m pueden sustituirse por una carga distribuida uniformemente sobre un ancho igual a un cuarto de la luz de vano a ambos lados de la carga. Si el ancho disponible próximo a la carga es menor que un cuarto de la luz, la carga debería distribuirse sobre un ancho igual al disponible en un lado, mas un cuarto de la luz en el otro lado.

5.2.1.1. Distribución de la carga según la teoría de la elasticidad

Los elementos se consideran como losas isótropas o anisótropas y las juntas longitudinales como rótulas (bisagras).

El porcentaje de la carga sobre el elemento directamente cargado, obtenido del cálculo, debe multiplicarse, en Estado Límite Último, por un coeficiente $\gamma = 1,25$; el porcentaje total de la carga transmitido a través de los elementos adyacentes puede reducirse en la misma cuantía, distribuyéndose entre los distintos elementos en función de sus correspondientes porcentajes de carga.

Como alternativa a la determinación analítica; la distribución transversal de carga puede obtenerse por medio de gráficos basados en la teoría de la elasticidad. En los apartados 5.2.4 y 5.2.5 se suministran gráficos para losas de ancho $b = 1,20$ m.

5.2.1.2. Sin distribución de carga

Cada elemento debe ser proyectado considerando que todas las cargas actúan directamente sobre el, suponiendo cortante nulo en las juntas transversales. En este caso, la distribución de la carga transversal y los momentos torsores asociados pueden ignorarse en Estado Límite Último. Sin embargo, en Estado Límite de Servicio se deben



cumplir los requisitos establecidos en los apartados 6.1 y 6.2 de este Anejo. El ancho efectivo debe limitarse de acuerdo con el apartado 5.2.2 de este Anejo.

5.2.2. Limitación del ancho efectivo

Si el cálculo en Estado Límite Último se basa en el segundo método definido en el apartado 5.2.1.2 (sin distribución de carga), para cargas puntuales, y para cargas lineales con un valor característico mayor que 5 kN/m, el ancho efectivo máximo debe limitarse al ancho de la carga aumentado por:

- a) En el caso de cargas en el interior del forjado, el doble de la distancia que haya entre el centro de la carga y el apoyo, pero nunca más de la mitad del ancho del elemento cargado.
- b) En el caso de cargas sobre bordes longitudinales libres, una vez la distancia entre el centro de la carga y el apoyo, pero no más de la mitad del ancho del elemento cargado.

5.2.3. Limitación de desplazamientos laterales

Si el proyecto se basa en el método definido en el apartado 5.2.1.1 por distribución de la carga según la teoría de la elasticidad, los desplazamientos laterales deben limitarse mediante:

- a) Las partes que rodean la estructura,
- b) La fricción en los apoyos,
- c) La armadura en las juntas transversales, y
- d) Los atados perimetrales.

En situaciones sin riesgo sísmico, de acuerdo con lo establecido en la Norma de Construcción Sismorresistente, solo se puede contar con la fricción en los apoyos, si se prueba que es posible desarrollar la fricción suficiente. Al calcular las fuerzas resistentes de fricción, se debe considerar la forma real de apoyo.

La resistencia requerida debe ser igual, al menos, a los esfuerzos cortantes verticales totales que tienen que transmitirse a través de las juntas longitudinales.

5.2.4 Coeficientes de distribución de carga para cargas en centro y bordes

- a) En las Figuras A.12.5.2.4.a, A.12.5.2.4.b y A.12.5.2.4.c, se incluyen gráficos con los porcentajes de carga para una carga centrada y de borde. Una carga puede considerarse como carga centrada si la distancia desde la misma al borde del área de forjado es $\geq 2,5$ veces el ancho de losa alveolar pretensada (≥ 3 m). Para cargas entre el borde y el centro, los porcentajes de carga se pueden obtener por interpolación lineal.
- b) En las Figuras A.12.5.2.4.b y A.12.5.2.4.c, se incluyen gráficos con los coeficientes de distribución para cargas puntuales en centro de vano ($l/x = 2$). Para cargas próximas al apoyo, $l/x \geq 20$, el porcentaje de carga asignado a la losa directamente cargada debe tomarse igual al 100% y los de las losas no directamente cargadas igual al 0%. Para valores de l/x entre 2 y 20, los porcentajes de carga se pueden obtener por interpolación lineal.



- c) Al determinar los porcentajes de carga, las cargas lineales con una longitud mayor de la mitad de la luz se deben considerar como cargas lineales. Las cargas lineales con una longitud menor que la mitad de la luz se deben considerar cargas lineales si el centro de la carga esta en la mitad del vano y cargas puntuales en el centro de la carga si el centro de la misma no está en la mitad del vano.
- d) En los forjados de losas alveolares pretensadas sin losa superior hormigonada en obra, los porcentajes de la carga, determinados por los gráficos, se deben modificar, en Estado Limite Ultimo, como sigue:
- El porcentaje de la carga sobre el elemento directamente cargado se deberá multiplicar por un coeficiente $\gamma_M = 1,25$;
 - Los porcentajes totales de los elementos no cargados directamente pueden reducirse en la misma cantidad según la relación de sus porcentajes de carga.

Los esfuerzos cortantes en las juntas deben calcularse a partir de los porcentajes de carga y se consideraran distribuidos linealmente. Para cargas puntuales no situadas en la mitad del vano y para cargas lineales que, según el punto c), tienen que considerarse como puntuales, la longitud efectiva de la junta que transmita el esfuerzo cortante se deberá escoger igual al doble de la distancia desde el centro de la carga al apoyo mas próximo (véase Figura A.12.5.2.4.d).

- e) Los esfuerzos cortantes longitudinales en cada junta se pueden obtener a partir de los porcentajes de carga dados en los gráficos. A partir de estos cortantes se pueden obtener los momentos torsores en cada elemento.

Si los desplazamientos laterales se limitan según el punto 5.2.3, los momentos torsores se pueden dividir por un factor 2.

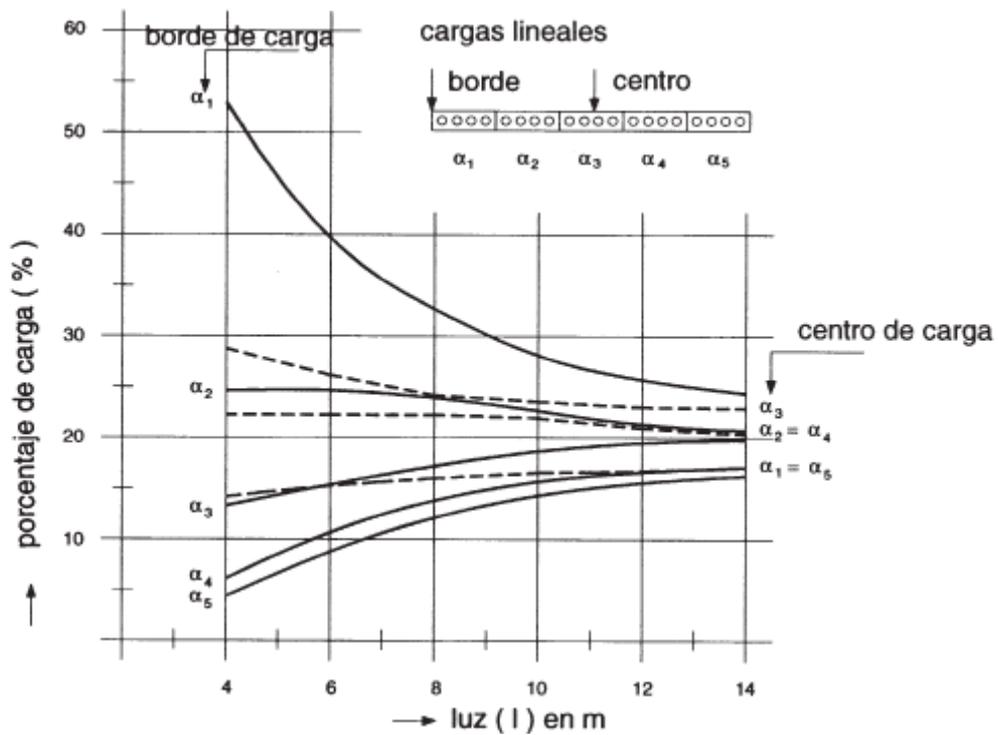


Figura A.12.5.2.4.a. Factores de distribución de carga para cargas lineales ($b=1,20$ m)

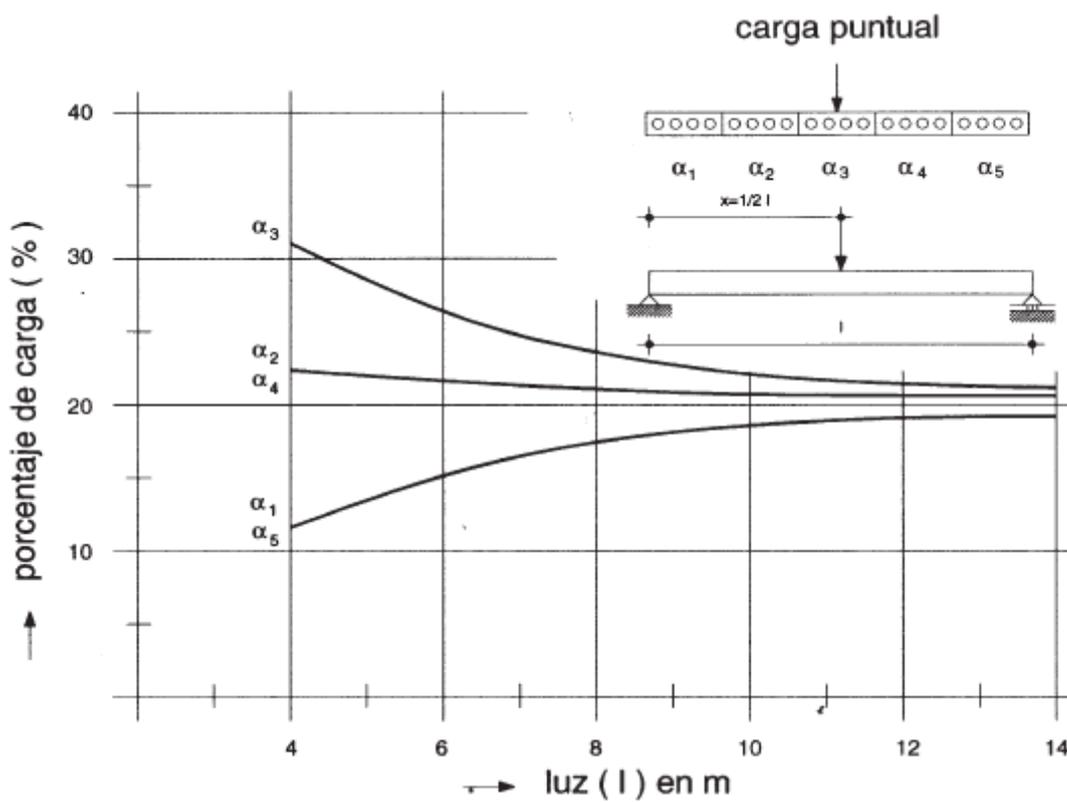


Figura A.12.5.2.4.b Factores de distribución de carga para cargas puntuales centradas en el ancho ($b=1,20$ m)

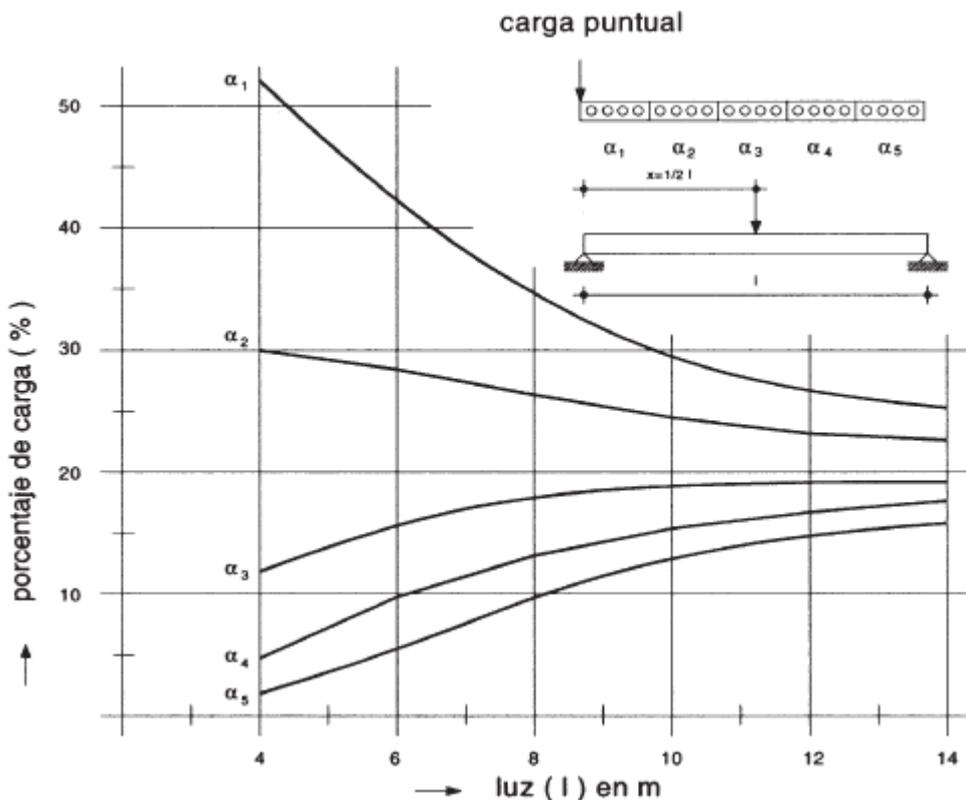


Figura A.12.5.2.4.c. Factores de distribución de carga para cargas puntuales en el borde ($b=1,20\text{ m}$)

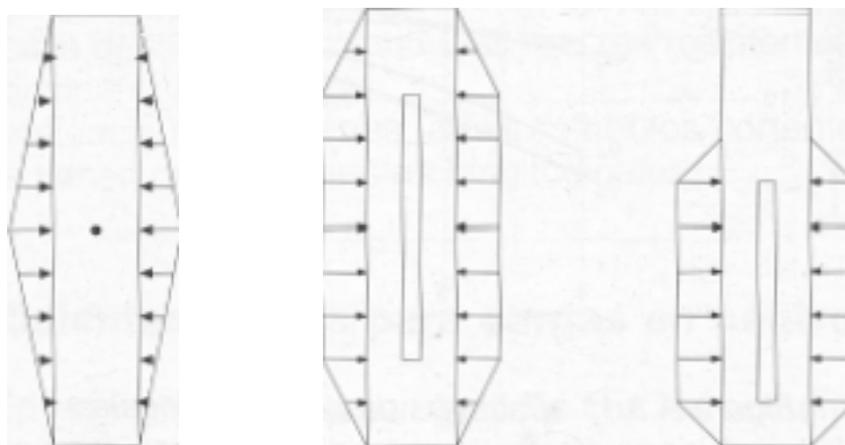


Figura A.12.5.2.4.d. Formas supuestas de las fuerzas cortantes verticales en las juntas

5.2.5. Coeficientes de distribución de carga para tres bordes apoyados

- a) Para cargas lineales y puntuales, las fuerzas de reacción pueden basarse en las figuras A.12.5.2.5.a y A.12.5.2.5.b. Si el número de elementos n es mayor que 5, la fuerza de reacción debe multiplicarse por el factor (véanse Figuras A.12.5.2.5.a y A.12.5.2.5.b):



$$1 - \left(\frac{n-5}{50} \frac{s}{b} \right)$$

siendo s la distancia de la carga desde el apoyo, en mm.

En el caso de cuatro bordes apoyados, la fuerza de reacción del apoyo más próximo a la fuerza debe multiplicarse por el factor:

$$\frac{nb - s}{nb}$$

- b) Si la distancia entre la carga y el apoyo longitudinal es mayor que 4,5 veces el ancho de losa (b), la fuerza de reacción puede tomarse igual a cero.
- c) Al determinar las fuerzas de reacción, las cargas lineales con una longitud mayor que la mitad de la luz se deben considerar como cargas lineales. Las cargas lineales con una longitud menor que la mitad de la luz se consideraran como cargas puntuales si el centro de la carga está en la mitad del vano y como cargas puntuales si el centro de la carga no está en la mitad del vano. La fuerza de reacción de la Figura A.12.5.2.5.a puede multiplicarse por la relación de la longitud de la carga con la longitud del vano.
- d) Para cargas puntuales en la mitad del vano, $\ell/x = 2$ las fuerzas de reacción se pueden obtener de la figura A.12.5.2.b. Para cargas cerca del apoyo, $\ell/x \geq 20$, debe tomarse el valor cero para la fuerza de reacción; para valores de ℓ/x entre 2 y 20 deben calcularse por interpolación lineal. La longitud de la fuerza de reacción debe tomarse igual al doble de la distancia entre el centro de la carga y el apoyo más próximo. La magnitud de la fuerza es el valor de la Figura A.12.5.2.5.b multiplicado por $2x/\ell$.
- e) La distribución transversal causada por la fuerza de reacción debe calcularse según el punto 5.4, considerando la fuerza de reacción como una carga en borde (negativa).

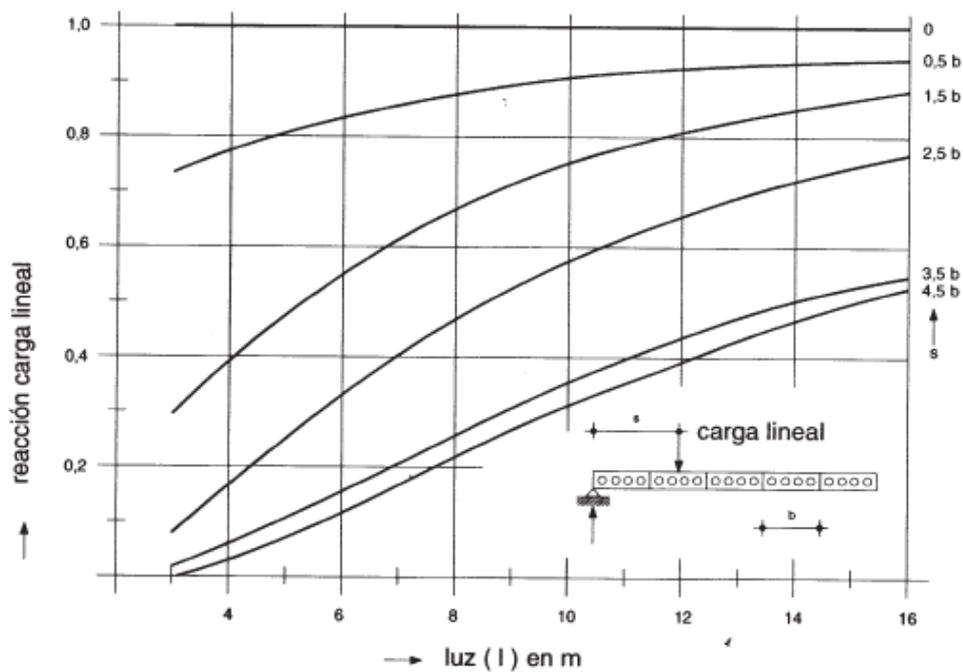


Figura A.12.5.2.5.a. Fuerza de reacción en el apoyo longitudinal debida a una carga lineal ($b=1,20$ m)

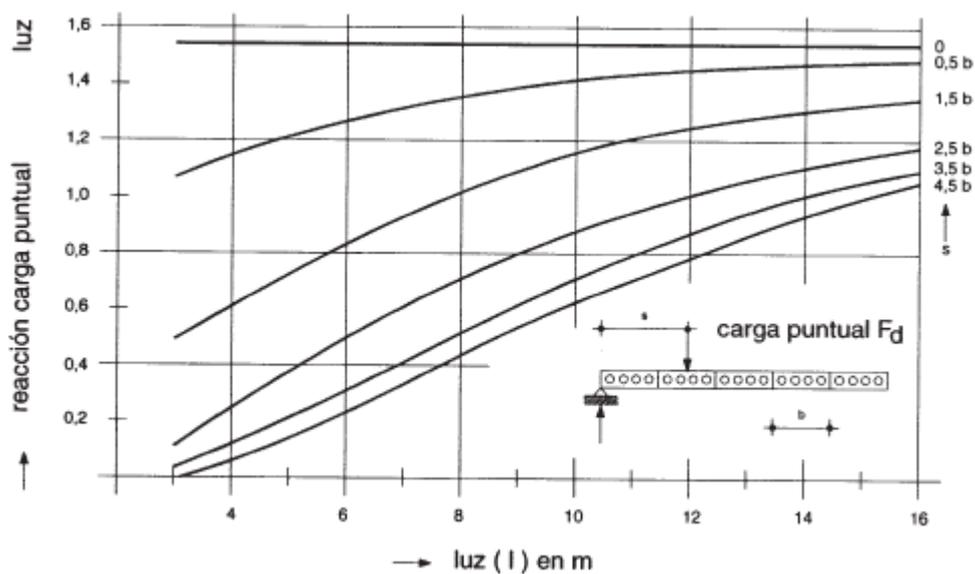


Figura A.12.5.2.5.b. Fuerza de reacción en el apoyo longitudinal debida a una carga puntual en el centro de vano ($b=1,20$ m)

6. Casos especiales de carga y sustentación

6.1 Flexión transversal debida a cargas concentradas en losas alveolares pretensadas

La acción de cargas concentradas provoca momentos flectores transversales en las losas alveolares pretensadas. Dado que estas losas no disponen de armadura transversal, deben limitarse las tensiones de tracción debidas a estos momentos flectores. El valor límite depende de los supuestos básicos de cálculo sobre la distribución de las cargas.

Si los elementos se proyectan sin tener en cuenta el reparto transversal de las cargas, lo que significa que todas las cargas que actúan sobre un elemento serían resistidas exclusivamente por dicho elemento, el valor límite de la tensión de tracción es $f_{ct,k}$ en el Estado Límite de Servicio.

En este caso, en el Estado Límite de Servicio, la capacidad a cargas concentradas q_k , en N/mm, y a carga puntual F_k , en N, se calcula como sigue:

a) para una carga lineal no situada en borde del forjado:

$$q_k = \frac{20 W_{\ell b} f_{ct,k}}{\ell + 2b}$$

b) para una carga lineal situada en borde de forjado:

$$q_k = \frac{10 W_{\ell t} f_{ct,k}}{\ell + 2b}$$

siendo:

ℓ Luz del vano, en mm.

b Ancho de la losa, en mm.

c) para una carga puntual situada en cualquier lugar sobre un área de forjado:

$$F_k = 3 W_{\ell} f_{ct,k}$$

siendo:

W_{ℓ} Menor de los módulos resistentes $W_{\ell b}$ y $W_{\ell t}$, en mm^3/mm .

donde:

$W_{\ell b}$ Módulo resistente inferior mínimo en dirección transversal por unidad de longitud, en mm^3/mm .

$W_{\ell t}$ Módulo resistente superior mínimo en dirección transversal por unidad de longitud, en mm^3/mm .

Si los forjados de losas alveolares pretensadas se calculan considerando el reparto transversal de la carga según la teoría elástica, lo cual significa que una parte de las cargas actuantes sobre un elemento se distribuye a los elementos adyacentes,



el valor límite de la tensión a tracción será f_{ctd} en Estado Límite Último. Las resistencias a cargas concentradas, en este caso en el Estado Límite Último, pueden derivarse de las mismas fórmulas, pero sustituyendo q_k , F_k y $f_{ct,k}$ por q_d , F_d y $f_{ct,d}$, respectivamente.

6.2. Capacidad de carga de losas alveolares pretensadas apoyadas en tres bordes

La acción de cargas repartidas sobre una losa alveolar pretensada con un borde longitudinal apoyado provoca momentos torsores en la misma. La reacción en los apoyos debida a la torsión debe ignorarse en el cálculo en el Estado Límite Último.

Las tensiones tangenciales debidas a estos momentos torsores se deben limitar a $f_{ct,d}$ en el Estado Límite de Servicio.

La capacidad de carga q_k por unidad de superficie, en N/mm, para la carga total menos la carga debida al peso propio de la losa alveolar pretensada, se calculará, en el Estado Límite de Servicio, como:

$$q_k = \frac{f_{ct,k} W_t}{0,06 \ell^2}$$

con
$$W_t = 2t(h - h_f)(b - b_w)$$

siendo:

W_t Módulo torsor de la sección de un elemento según la teoría elástica, en mm^3 ;

t Menor de los valores de h_f y b_w , en mm.

h_f Menor valor del espesor del ala superior o inferior, en mm.

b_w Espesor del alma exterior, en mm.

7. Apoyos

7.1. Apoyos de forjados de viguetas

Apoyos directos son los que se realizan cuando se enlazan los nervios de un forjado a la cadena de atado de un muro o a una viga de canto netamente mayor que el del forjado, mientras que cuando se enlazan a una viga plana, cabeza de viga mixta o brochal se denominan apoyos indirectos. Las figuras A.12.7.1.a a A.12.7.1.i. muestran esquemas usuales de apoyos de forjados de viguetas de ambos tipos.

Las longitudes ℓ_1 y ℓ_2 indicadas en las figuras vienen dadas, en general, por las expresiones:

- a) para viguetas armadas:



$$\ell_1 = \frac{V_d}{A_s f_{yd}} \cdot \ell_b \nless 100 \text{ mm} \quad \ell_2 = \frac{V_d - \frac{M_d}{0,9d}}{A_s f_{yd}} \cdot \ell_b \nless 50 \text{ mm}$$

siendo:

- h_o Espesor mínimo de la losa superior hormigonada en obra sobre las piezas de entrevigado, en mm.
- f_{yd} Resistencia de cálculo del acero, en N/mm².
- V_d Esfuerzo cortante máximo de cálculo correspondiente a una vigueta.
- A_s Área de la armadura de tracción realmente dispuesta.
- M_d Momento flector negativo de cálculo en apoyos continuos.
- d Canto útil del forjado.
- ℓ_b Longitud básica de anclaje de las barras de la armadura de momentos positivos de la vigueta que entra en el apoyo.

b) para viguetas pretensadas

$$\ell_1 = 100 \text{ mm} \quad ; \quad \ell_2 = 60 \text{ mm}$$

En los casos de las figuras A.12.7.1.c), A.12.7.1.f) y A.12.7.1.g) ℓ_1 y ℓ_2 corresponden al caso de viguetas armadas y las longitudes de solape con la armadura de la vigueta en los apoyos extremos, ℓ'_1 y en los apoyos interiores ℓ'_2 serán iguales a:

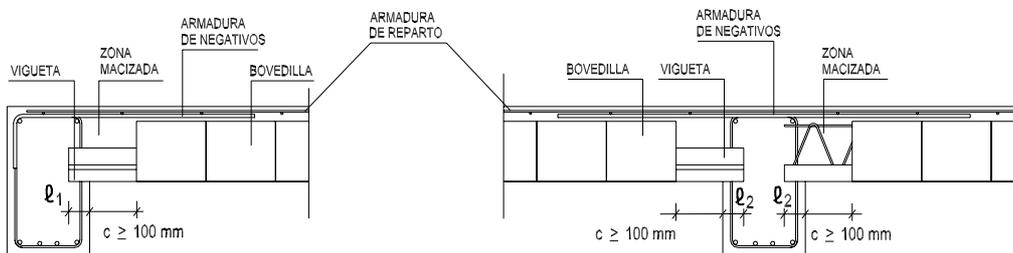
$$\ell'_1 = \frac{V_d}{p T_{rd}} \nless 100 \text{ mm} \quad ; \quad \ell'_2 = \frac{V_d - \frac{M_d}{0,9d}}{p T_{rd}} \nless 60 \text{ mm}$$

siendo:

- p Perímetro de cortante entre vigueta y hormigón en obra.
- T_{rd} Resistencia de cálculo a rasante.

Si por cualquier error o desviación de ejecución las viguetas o las armaduras salientes quedan cortas y no cumplen con lo indicado en los casos anteriores, se aplicarán las soluciones de las figuras A.12.7.1.c), A.12.7.1.f) y A.12.7.1.g), respectivamente.

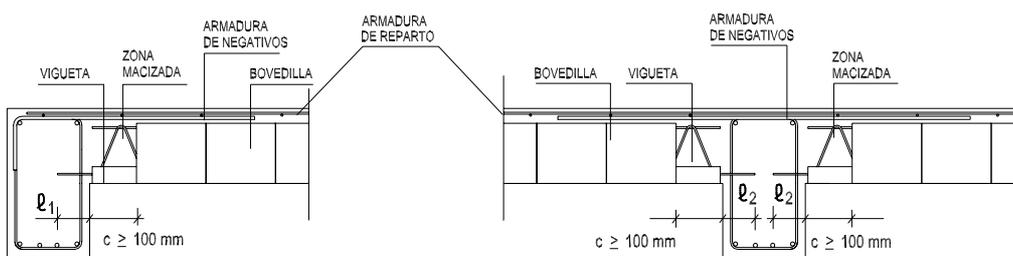
a)



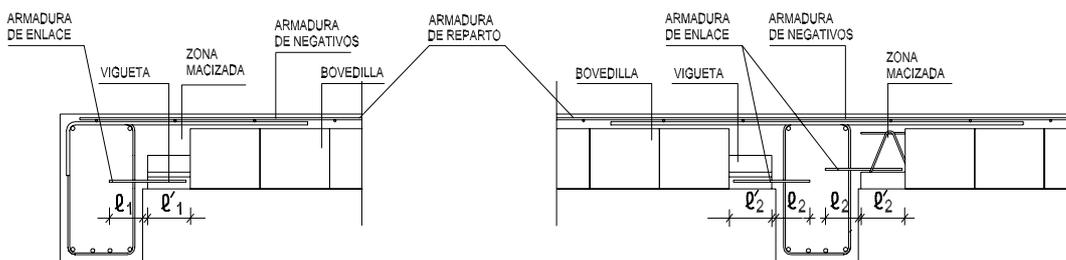
APOYO SENCILLO SOBRE VIGA DE CANTO
ENLACE POR ENTREGA

APOYO DOBLE SOBRE VIGA DE CANTO
ENLACE POR ENTREGA

b)



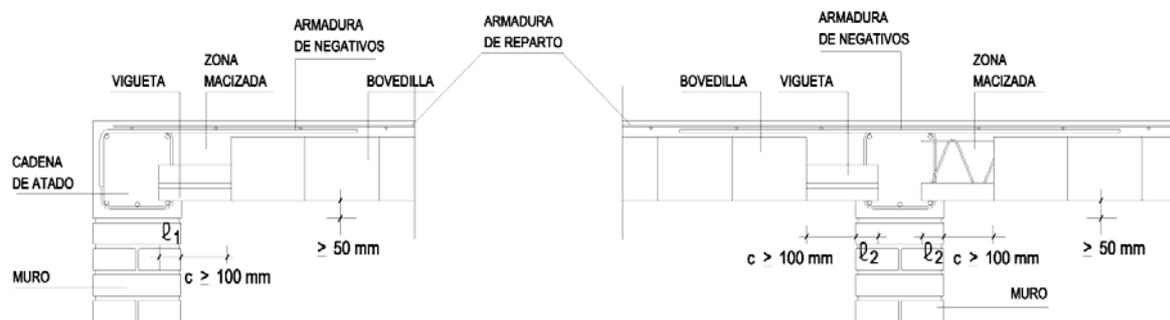
c)



APOYO SENCILLO SOBRE VIGA DE CANTO
ENLACE POR SOLAPO

APOYO DOBLE SOBRE VIGA DE CANTO
ENLACE POR SOLAPO

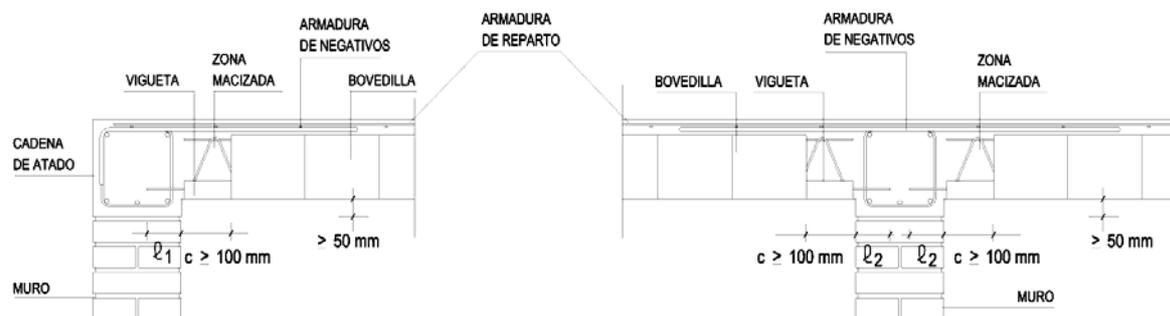
d)



APOYO SENCILLO SOBRE MURO DE CARGA
ENLACE POR ENTREGA

APOYO DOBLE SOBRE MURO DE CARGA
ENLACE POR ENTREGA

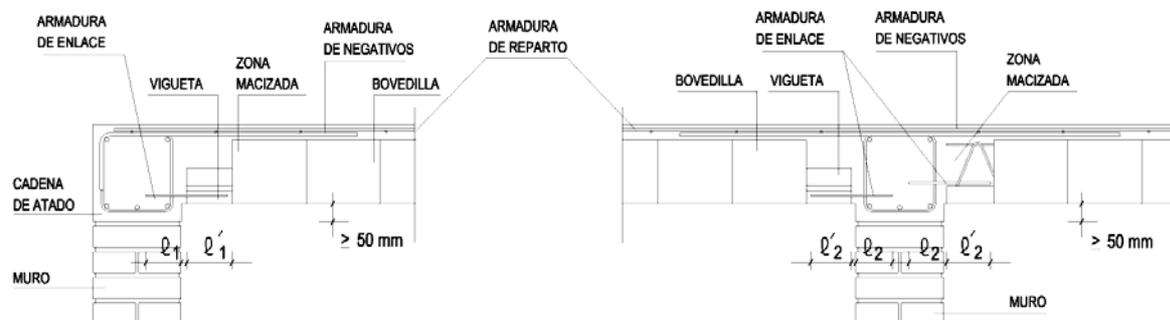
e)



APOYO SENCILLO SOBRE MURO DE CARGA
ENLACE POR INTRODUCCIÓN DE ARMADURA SALIENTE

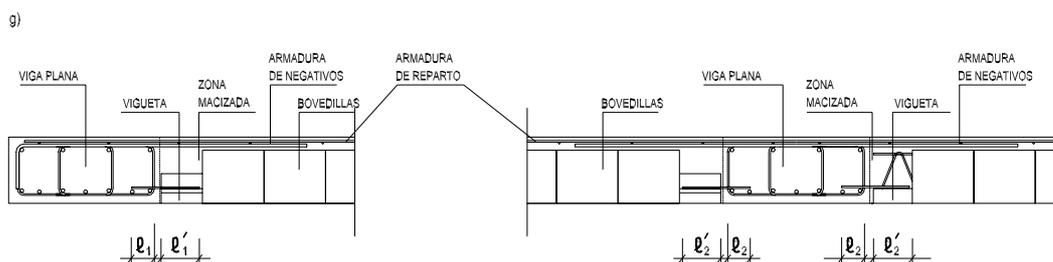
APOYO DOBLE SOBRE MURO DE CARGA
ENLACE POR INTRODUCCIÓN DE ARMADURA SALIENTE

f)



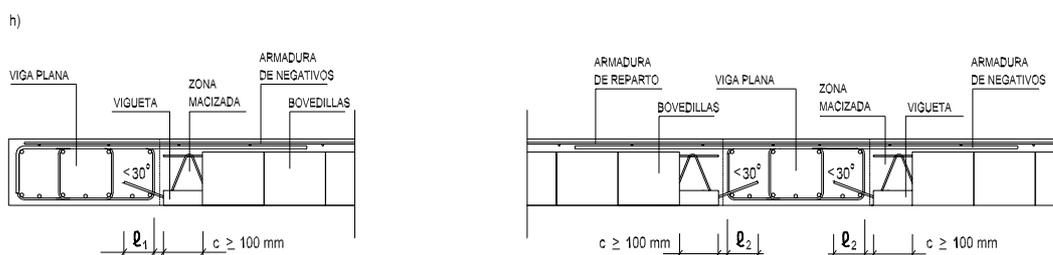
APOYO SENCILLO SOBRE MURO DE CARGA
ENLACE POR SOLAPO

APOYO DOBLE SOBRE MURO DE CARGA
ENLACE POR SOLAPO



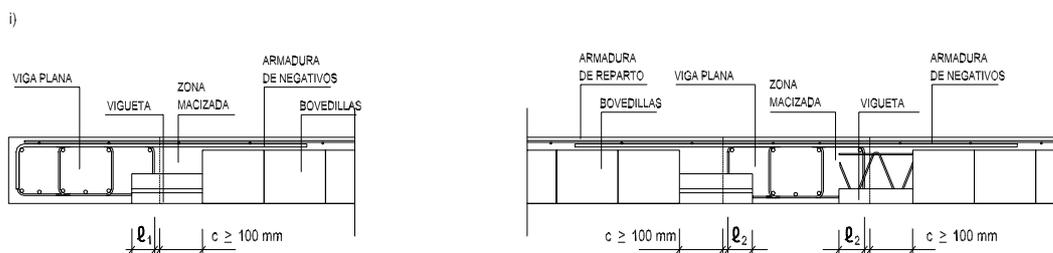
APOYO SENCILLO SOBRE VIGA PLANA
ENLACE POR SOLAPO

APOYO DOBLE SOBRE VIGA PLANA
ENLACE POR SOLAPO



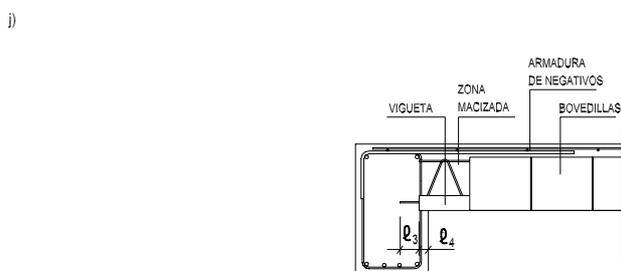
APOYO SENCILLO SOBRE VIGA PLANA
ENLACE POR INTRODUCCIÓN DE ARMADURA SALIENTE

APOYO DOBLE SOBRE VIGA PLANA
ENLACE POR INTRODUCCIÓN DE ARMADURA SALIENTE



APOYO SENCILLO SOBRE VIGA PLANA
ENLACE POR ENTREGA

APOYO DOBLE SOBRE VIGA PLANA
ENLACE POR ENTREGA



$$l_3 + l_4 \geq l_1$$

Figura A.12.7.1. Detalles de apoyo de forjados de viguetas

7.2. Apoyos de placas alveolares pretensadas

7.2.1 Apoyos directos

En caso de apoyo directo, la entrega l_1 mínima nominal, medida desde el borde de la losa alveolar pretensada hasta el borde interior de apoyo real, se fijará de acuerdo con los siguientes criterios:

a) Si se cumplen simultáneamente todas las condiciones siguientes:

- las cargas de cálculo son repartidas y no existen cargas puntuales significativas ni cargas horizontales importantes incluidas las sísmicas,
- la sobrecarga es igual o menor que 4 kN/m^2 ,
- el canto de la losa alveolar es igual o menor que 30 cm, y
- el cortante de cálculo V_d es menor que la mitad del resistido por la losa alveolar pretensada V_{u2} según el Artículo 44.2.3.2

$$V_d \leq V_{u2} / 2$$

La entrega l_1 mínima nominal será de 50 mm, valor sobre el que se admite una tolerancia de -10 mm, de modo que la entrega real en obra no será nunca menor que 40 mm;

b) Si alguna de las anteriores condiciones no se cumple, el valor mínimo de l_1 deberá además determinarse comprobando que en la sección de borde interior del apoyo la armadura inferior activa, considerando un anclaje parabólico de la misma, es capaz de anclar el cortante de cálculo V_d . Si la capacidad de anclaje de la armadura activa no fuera suficiente se podría suplementar esta armadura con armadura pasiva, correctamente anclada, alojada en las juntas longitudinales entre losas adyacentes o en alveolos macizados, y solapada con la armadura activa de la losa.

Cuando el apoyo se realice sobre mortero se considerará que este material, frente a acciones horizontales es rígido y que su coeficiente de rozamiento es similar al del hormigón, así mismo si la geometría del apoyo directo (geometría del forjado en relación con la geometría del elemento que le sustenta) presenta alguna oposición al movimiento horizontal, el mortero no mejora dicha situación y no tiene capacidad de recentrar la carga en el caso de movimiento horizontales sucesivos de dirección contraria, por lo que los desplazamientos pueden acumularse en perjuicio de la entrega mínima l_1 exigida.

La misma condición se debe cumplir para disponer el borde interior del apoyo elastomérico con relación a la mencionada esquina, o paramento, del elemento que soporta el forjado.

7.2.2 Apoyos indirectos

Los apoyos indirectos pueden realizarse con o sin apuntalado de la losa alveolar pretensada. Las figuras A.12.7.2 a) y b) muestran apoyos indirectos sin y con apuntalado.

- sin apuntalado de la losa alveolar pretensada con apoyo en la viga o muro con armadura de conexión (figura A.12.7.2 b). El valor nominal mínimo de l_1 será 40 mm, sobre el que se acepta una tolerancia, incluida la de longitud de la losa alveolar

pretensada, de ± 10 mm de modo que las entregas reales en obra no serán menores que 30 mm.

- con apuntalado de la losa alveolar pretensada. (figura A.12.7.2 a).

ARMADURAS ALOJADAS EN LAS JUNTAS O EN LOS ALVEOLOS, MEDIANTE CORTE LOCAL EN LA LOSA SUPERIOR DE LA PLACA SOBRE EL ALVEOLO

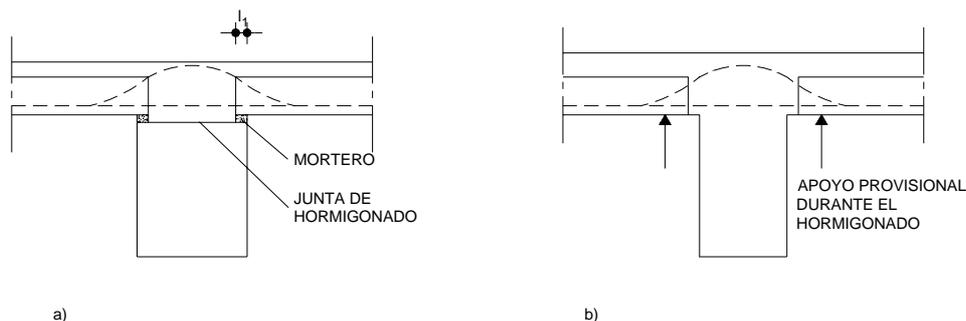


Figura A.12.7.2. a) y b) Apoyos indirectos de losas alveolares: b) sin apuntalado de la losa alveolar pretensada, c) con apuntalado de la losa alveolar pretensada

Los apoyos indirectos necesitan comprobaciones específicas, se deben calcular de acuerdo con los criterios de la presente Instrucción, o con normas específicas de estos productos.

En general, salvo casos particulares y cualquiera que sea el tipo de apoyo, será necesario hormigonar en todo el canto del forjado las juntas en los extremos de las losas con las losas opuestas, jácenas o muros y disponer armadura pasiva, longitudinal respecto a las losas, que cruce la junta y se ancle a ambos lados.

En este caso y para asegurar el correcto hormigonado de las juntas y, si ha lugar, del macizado de alveolos, se deberán disponer elementos de taponado de los alveolos, de plástico o similar, que garanticen que las dimensiones de juntas o macizados responden a las previstas en proyecto.

Las armaduras pueden alojarse en la losa superior hormigonada en obra; o en las juntas longitudinales entre losas, si las dimensiones de junta y armadura permiten el correcto hormigonado de aquella; o en alveolos macizados, tras romper en una cierta longitud el techo de los mismos. Si se escoge esta solución se macizará al menos un alveolo en cada losa alveolar pretensada de ancho igual o menor que 60 cm y dos en las de ancho superior.

8 Conexiones

8.1 Enfrentamiento de nervios

Cuando se tenga en cuenta la continuidad de los forjados, los nervios o viguetas se dispondrán enfrentados, pero puede admitirse una desviación menor que la distancia recta entre testas en apoyos interiores, y hasta 5 cm en apoyo de voladizo (Figura A.12.8.1.a).

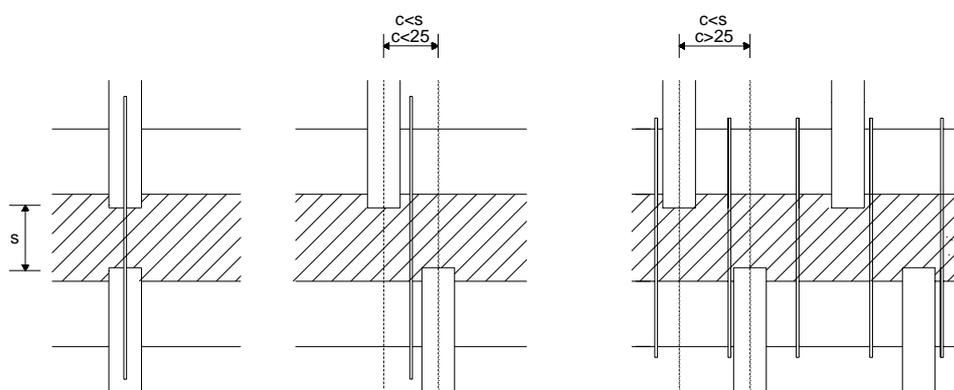


Figura A.12.8.1.a Enfrentamiento de nervios

En los casos en los que un forjado acometa a otro perpendicularmente, su armadura superior se anclará por prolongación recta (Figura A.12.8.1.b). Cuando un voladizo tenga nervios perpendiculares a los del tramo adyacente, su armadura superior se anclará por prolongación recta una longitud no menor que la longitud del voladizo ni a dos veces el intereje. Merece citarse la importancia que tiene, en los casos de forjado en voladizo perpendicular al vano adyacente, el cálculo para determinar la longitud del macizado y las cargas sobre la viga de dirección normal al voladizo, máxime si las cargas que actúan en éste son superiores a las del vano del forjado adyacente.

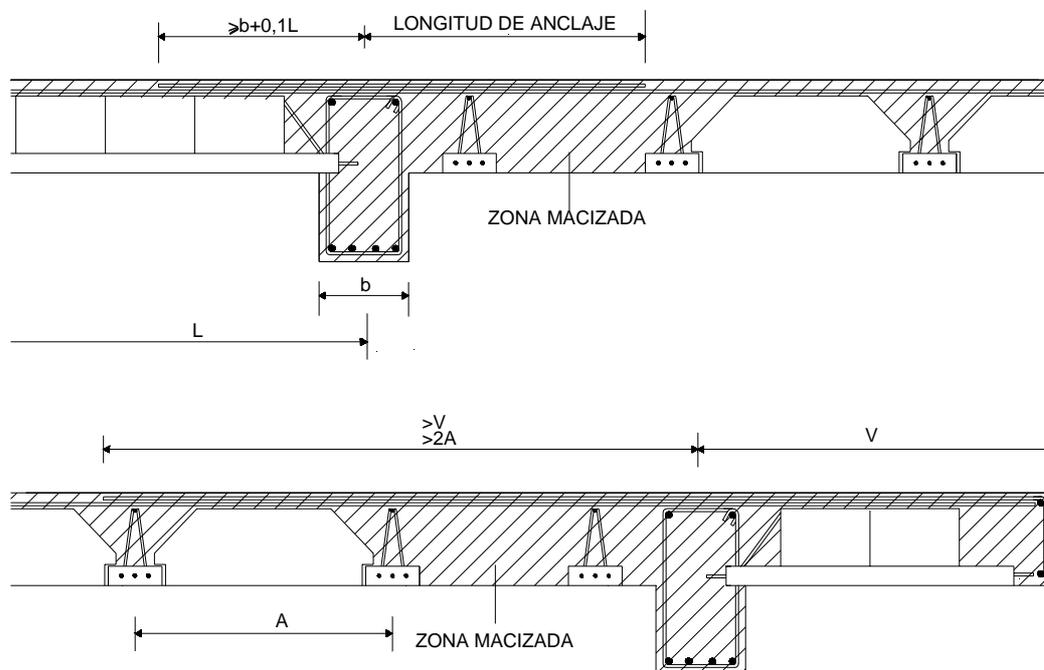


Figura A.12.8.1.b Encuentro entre forjados perpendiculares

En ambos casos, se garantizará la resistencia a compresión de la parte inferior del forjado macizando las partes necesarias o con disposiciones equivalentes (Figura A.12.8.1.b).

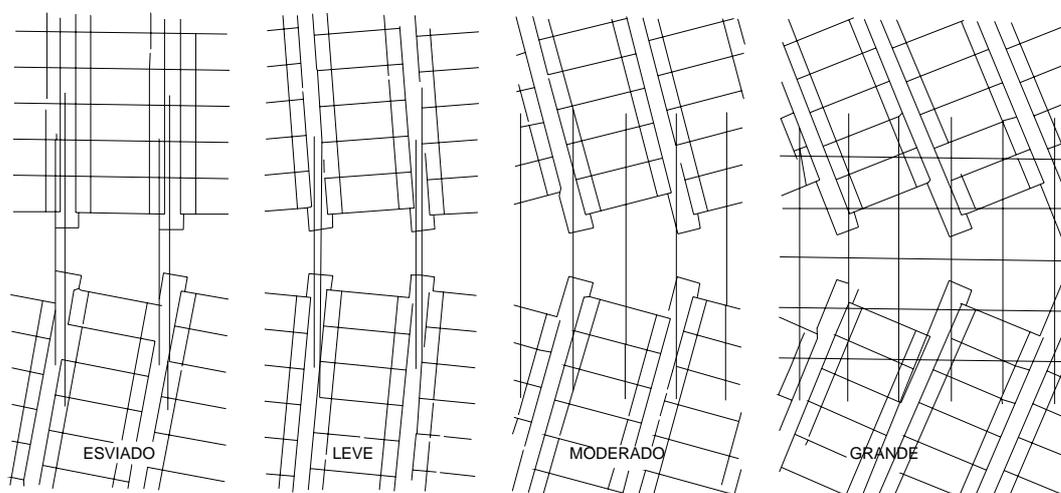


Figura A.12.8.1.c Encuentro oblicuo de viguetas

Si las viguetas acometen oblicuamente al apoyo, para ángulos pequeños, por ejemplo menores de 22° , la armadura calculada (teniendo en cuenta que pierde eficacia con el coseno al cuadrado del ángulo) se puede disponer según la bisectriz de ambas direcciones. Si el ángulo fuese mayor resulta aconsejable disponer una cuadrícula, cuya sección, en cualquiera de las dos direcciones, sea igual a la teóricamente necesaria (Figura A.12.8.1.c).

Toda desviación c origina esfuerzos que se superponen a los de la viga, que pueden ser importantes si se rebasan las limitaciones anteriores. Si la desviación c es menor que 25 cm, la armadura superior puede disponerse sobre cada pareja de viguetas enfrentadas en los apoyos, pero siempre respetando los recubrimientos mínimos prescritos en esta Instrucción. En el caso de que c sea mayor que 25 cm, la armadura se distribuirá sobre la línea de apoyo.

9 Coacciones no deseadas en losas alveolares pretensadas. Armadura mínima en apoyos simples

9.1 Generalidades

En el cálculo de las losas alveolares pretensadas y en el detalle de sus uniones en apoyos deben considerarse las coacciones no deseadas y sus momentos negativos implícitos con el fin de evitar posibles fisuras derivadas de la coacción al giro, que pudieran iniciar un fallo por cortante en las proximidades del apoyo.

Se pueden usar los siguientes métodos para considerar los momentos negativos debidos a coacciones no deseadas:

- Proyectar la unión de tal manera que esos momentos no se produzcan.
- Concebir y calcular la unión de modo que las fisuras que se produzcan no den lugar a situaciones peligrosas.
- Considerar en el cálculo los momentos negativos debidos a las coacciones no deseadas. A continuación se detalla este procedimiento.

9.2 Proyecto mediante cálculo

Se puede adoptar el siguiente procedimiento de cálculo:

- a) En los extremos de los apoyos, que se han supuesto apoyos libres, a menos que por la naturaleza del apoyo no se puedan desarrollar momentos de ajuste, debe considerarse un momento flector negativo en el apoyo igual al menor de los valores siguientes:

$$M_{d,f} = \frac{M_{1d}}{3}$$

$$M_{d,f} = \frac{2}{3} N_{d,sup} a + \Delta M$$

con ΔM igual al mayor valor de:

$$\Delta M = f_{ct,d} W \quad \text{y} \quad \Delta M = f_{yd} A_{std} + \mu_b N_{d,sup} h$$

Si la distancia entre los bordes extremos de las losas alveolares es menor que 50 mm o si la junta no está rellena, entonces ΔM se tomará igual al menor de los valores siguientes:

$$\Delta M = \mu_b N_{d,sup} h \quad \text{y} \quad \Delta M = \mu_o N_{d,inf} h$$

siendo (véase también Figura A.12.9.2):

- M_{1d} Momento de cálculo máximo en el vano, igual a $\gamma_G (M_G - M_{pp}) + \gamma_Q M_Q$ con:
 M_G Momento máximo característico en el vano debido a acciones permanentes.
 M_Q Momento máximo característico en el vano debido a acciones variables.
 M_{pp} Momento máximo característico en el vano debido al propio peso del forjado.
- a Longitud del apoyo como se muestra en la figura.
 A_s Área de la sección transversal de la armadura de conexión.
 d Distancia desde la fibra inferior de la losa hasta la posición de la armadura de conexión.
 h Canto de la losa.
 f_{yd} Resistencia de cálculo del acero.
 $N_{d,sup}$ Valor de cálculo del esfuerzo normal total en la cara superior del forjado.
 $N_{d,inf}$ Valor de cálculo del esfuerzo normal total en la cara inferior del forjado.
 W Módulo resistente de la sección de hormigón vertido en obra entre los extremos de los elementos.
 μ_o Coeficiente de fricción en el lado inferior de la losa.
 μ_b Coeficiente de fricción en el lado superior de la losa.
 μ_o y μ_b tomados como:

0,80 Para hormigón sobre hormigón.

- 0,60 Para hormigón sobre mortero.
- 0,25 Para hormigón sobre caucho o neopreno.
- 0,15 Para hormigón sobre fieltro de fibras.

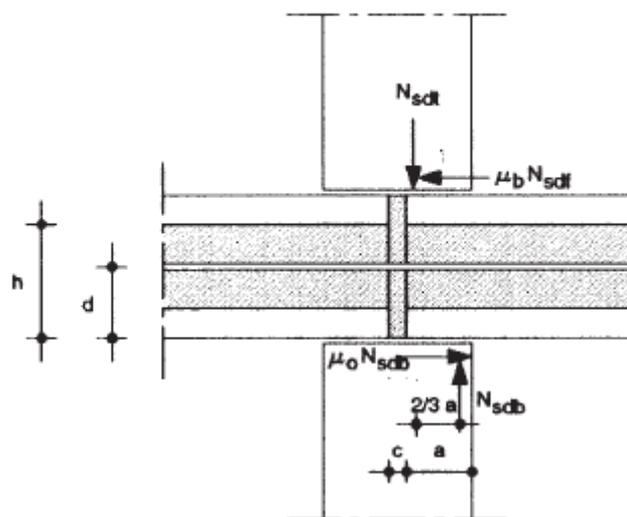


Figura A. 12.9.2 Momentos no deseados por deformación impedida

- b) No es necesario disponer armadura para absorber los momentos debidos a la coacción al giro si se cumple:

$$M_{d,f} \leq 0,5 (1,6 - h) f_{ct,d} W_t$$

siendo:

h Canto de la losa, en m.

W_t Módulo resistente de la losa respecto de la fibra superior.

Si no se cumple la condición anterior, los momentos negativos obtenidos $M_{d,f}$, deben ser resistidos: en la junta entre losas opuestas, por armadura pasiva alojada en la losa superior hormigonada en obra o, si ésta no existe, en la junta longitudinal entre losas adyacentes o en alveolos macizados; en las secciones de losa alveolar pretensada se podrá tener en cuenta el efecto de la fuerza de transferencia de pretensado desarrollada por los alambres o cordones superiores.

Si en la sección situada a medio canto del borde libre de apoyo, el efecto del momento negativo $M_{d,f}$, más el pretensado, desarrollado según se establece en el artículo 44º, provoca tracciones mayores que $f_{ct,d}$ en la fibra superior de la losa alveolar pretensada, además de la comprobación con momentos positivos y armaduras inferiores según dicho artículo se realizará, para dicha sección, otra comprobación adicional, según 44.2.3.2.1.b) con momento negativo y armadura superior.