

PROYECTO ESTRUCTURAL CURSO ANUAL

TEMA 7 – SISTEMAS GRAVITATORIOS

AÑO 2020

Contenido

1. Introducción.....	3
2. Sistemas resistentes de esfuerzos gravitatorios típicos en Edificación.....	4
3. Sistemas gravitatorios típicos	5
3.1. Estructuras de hormigón.....	5
3.1.1. Entrepisos de hormigón resueltos con losas y vigas.....	8
3.1.2. Entrepisos sin Vigas.....	10
3.1.3. Losas nervadas en una y dos direcciones (losas nervadas y losas Wafle)	13
3.2. Entrepiso de hormigón post - tensado	15
3.3. Entrepisos Pre - moldeados	19
3.4. Entrepisos mixtos.....	22
4. Métodos simplificados para determinar descargas y solicitaciones en componentes del sistema resistente.	23
4.1. Método del sobre.....	24
4.2. Método de los Pórticos Virtuales.....	26
5. Referencias.....	29

1. Introducción

En función de las acciones a tener en cuenta el proyecto particular, y de las restricciones geométricas del proyecto, se debe determinar el sistema resistente resistir las acciones verticales a ser seleccionado.

Existen muchas variables a tener en cuenta. Por ejemplo, en los proyectos típicos de edificación se tienen los siguientes ítems:

- Restricciones propias del proyecto
 - En proyectos de arquitectura:
 - La posibilidad de disponer de pilares con tal o cual modulación
 - Restricciones particulares del proyecto de arquitectura.
 - Presencia de interferencias en el espacio entre entresijos de diferente nivel, cómo pueden ser instalaciones de aire acondicionado, sistemas de calefacción, etc.
 - La posibilidad de continuar linealmente con un mismo esquema apoyos desde el nivel de fundación al nivel de azotea o si es necesario realizar maniobras de apeo.
 - Restricciones de servicio debido a las instalaciones (piezas de cerramiento frágiles que no admitan deformaciones dentro de determinados márgenes, por ejemplo.
 - Condiciones de servicio debido al uso de las instalaciones, cómo es el ejemplo de zonas destinadas a actividades sincronizadas (espacios de recreación, gimnasios, lugares dónde se dan eventos deportivos) dónde el control de efectos vibratorios se vuelve determinante.
 - Requisitos de altura máxima a utilizar, en general los arquitectos proyectistas buscan disponer la mayor cantidad de plantas posibles en la altura reglamentaria disponible, por lo cual el paquete de entresijo (losas) y terminaciones debe estar próximo al mínimo normativo.
 - En proyectos industriales:
 - Restricciones funcionales del proyecto (interferencias con equipos, necesidades de circulaciones)
 - Cargas de gran magnitud debida al uso
 - Cargas de mantenimiento de gran magnitud (necesidad de tránsito de grúas de gran porte para tareas de mantenimiento)
 - Condiciones de servicio impuestas por equipos a tener en cuenta
 - Disposiciones particulares del proyecto

Además de lo indicado anteriormente, cómo en todo proyecto de ingeniería, la elección de la solución estructural tiene una estrecha relación tanto con los costos proyectados cómo con los plazos de ejecución, por lo cual se tienen las siguientes variables agregadas:

- Practicidad y plazos de ejecución de tal o cual solución estructural
- Costos asociados a una solución estructural
- Disposición de recursos y equipos (grúas, encofrados, etc.)

Lo comentado hace que una solución pueda ser eficiente y conveniente en un mercado o medio, pero que no sea una buena elección en otros mercados dónde no se tienen los mismos recursos. Se debe tener en cuenta de que en general el proyecto de estructura se debe adecuar a la cultura constructiva del entorno dónde se emplazará el proyecto.

2. Sistemas resistentes de esfuerzos gravitatorios típicos en Edificación.

Los elementos del sistema resistente de esfuerzos verticales son los responsables de transmitir cargas desde donde se encuentren aplicadas los puntos de apoyo, por los cuales van mediante se hacen su camino hasta la descarga en las fundaciones.

La solución clásica que a la que se recurre en la mayoría de los proyectos de edificación está constituida por entresijos compuestos por losas, vigas y pilares de hormigón, los cuales transmiten la carga de uno a otro hasta la cimentación.

Sin embargo, en las distintas situaciones a las que uno se puede enfrentar en un proyecto de edificación, según las condiciones de borde que el proyecto pueda imponer, se pueden dar situaciones en las cuales los pilares no siempre tienen que llegar hasta el nivel de cimentación, motivo por el cual es necesario generar ciertas maniobras para lograr que las descargas lleguen al nivel de fundación. En general estas situaciones se resuelven con vigas de apeo, las cuales sirven de apoyo indirecto a los pilares en cuestión.

Se tienen las siguientes soluciones clásicas para los diferentes materiales

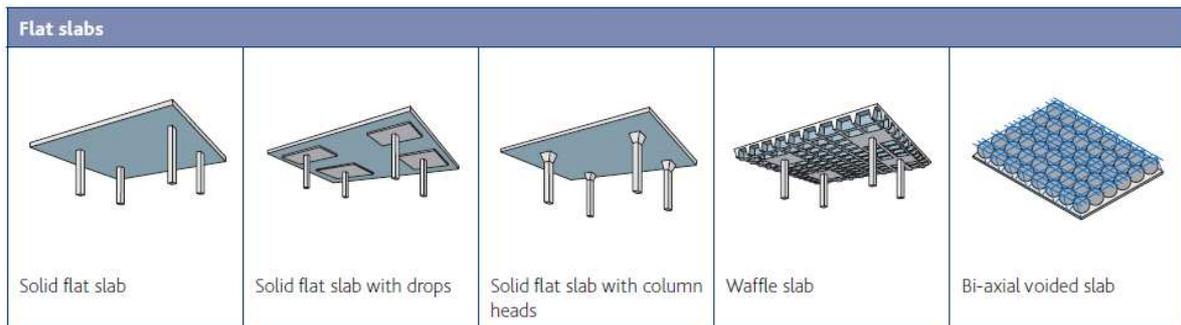
- Estructuras de hormigón armado:
 - Entresijos compuestos por losas trabajando unidireccionalmente o bidireccionalmente apoyadas en vigas
 - Entresijos planos, compuestos losas sin vigas, en cuyo caso las losas apoyan directamente sobre los puntos de apoyo. Pueden disponer de capiteles o ser directamente una pieza de canto único.
 - Entresijos con losas nervadas que descargan sobre vigas principales
 - Entresijos con losas nervadas en dos direcciones. Estas pueden o bien descargar sobre vigas o bien funcionar con losas nervadas con capiteles
 - Losas huecas
- Estructuras de hormigón postensado: En general se utilizan soluciones como las presentadas anteriormente disponiendo o bien de la instalación de cables de pretensado no adherentes o adherentes.
- Estructuras de hormigón pre - moldeado, con hormigón armado o pre - teso:
 - Entresijos con losas huecas (hollow core slabs) que trabajan unidireccionalmente y descargan sobre vigas principales (en sitio o premoldeadas).
 - Prelosas con trélicas que trabajan unidireccionalmente y descargan sobre vigas principales (en sitio o premoldeadas).
 - Entresijos con losas nervadas (“losas π ”) las cuales descargan sobre vigas principales
- Estructuras metálicas o mixtas:
 - Particularmente para el caso de naves industriales se pueden tener cubiertas livianas las cuales puedan disponer de una estructura clásica con vigas metálicas principales, correas de chapa plegada, cubierta con chapa de cerramiento o paneles sándwich
 - Para entresijos se puede disponer de entresijos mixtos compuestos por vigas metálicas principales y secundarias que descargan en pilares metálicos o de hormigón. Se puede disponer de una losa de hormigón que reparta las cargas sobre los elementos resistentes. En la actualidad en nuestro mercado es común el uso de paneles de Steel Deck, los cuales pueden terminar formando parte de un entresijo de acción mixta acero hormigón.

3. Sistemas gravitatorios típicos

3.1. Estructuras de hormigón

En líneas generales es la solución más común para entrepisos en obras de edificación. Se pueden disponer de varios esquemas resistentes, tal como se ilustra en la imagen siguiente y cómo se comentó en el punto “2”.

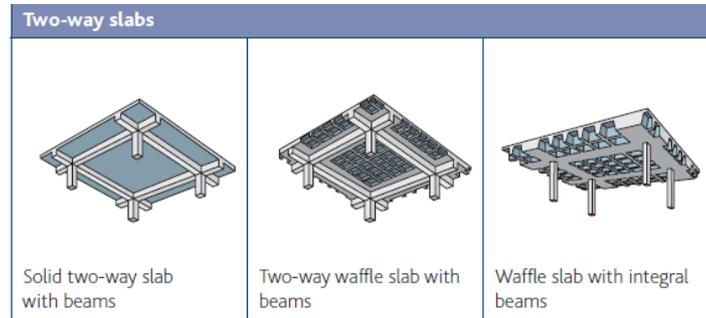
- Entrepisos sin vigas (flat slabs)



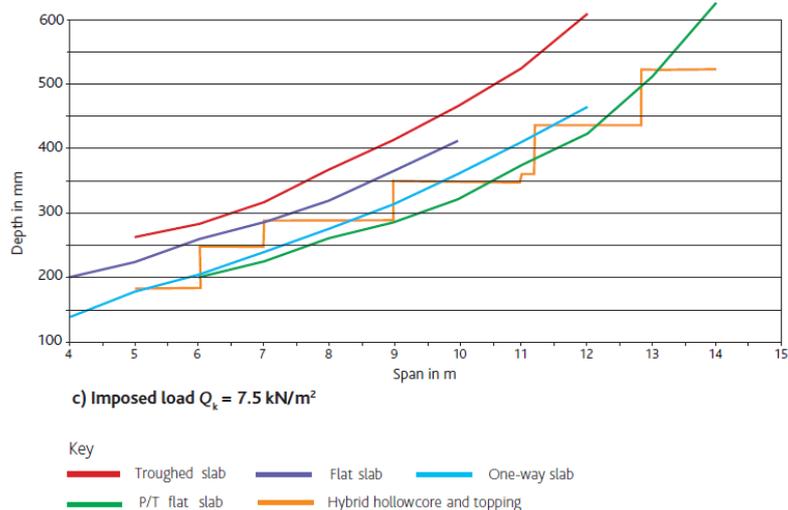
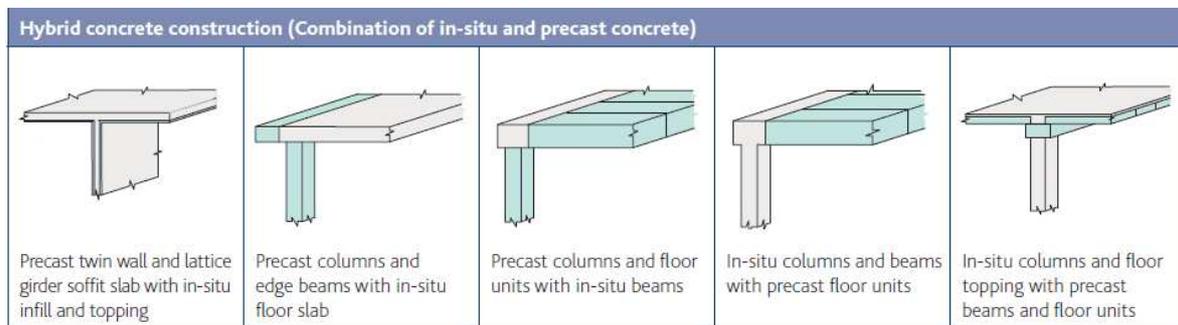
- Entrepisos con vigas de comportamiento unidireccional:



- Entrepisos con vigas con reparto bidireccional de cargas:



- Estructuras premoldeadas o premoldeadas y en sitio:



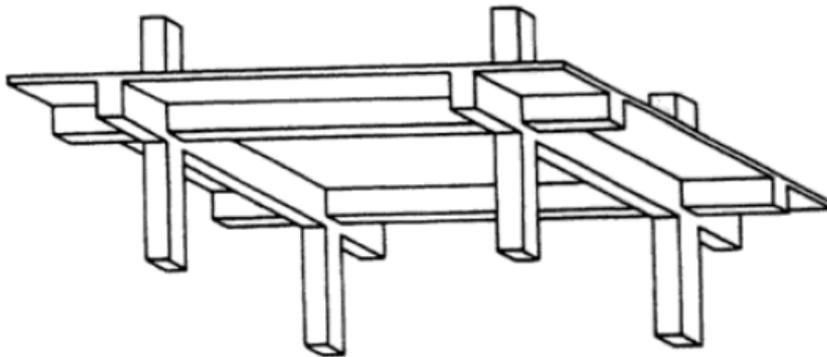
Se resumen a continuación las luces de utilización de las diferentes soluciones para resolver los sistemas gravitatorios, así como también un resumen de las diferentes características de los mismos.

Concrete solutions for floors

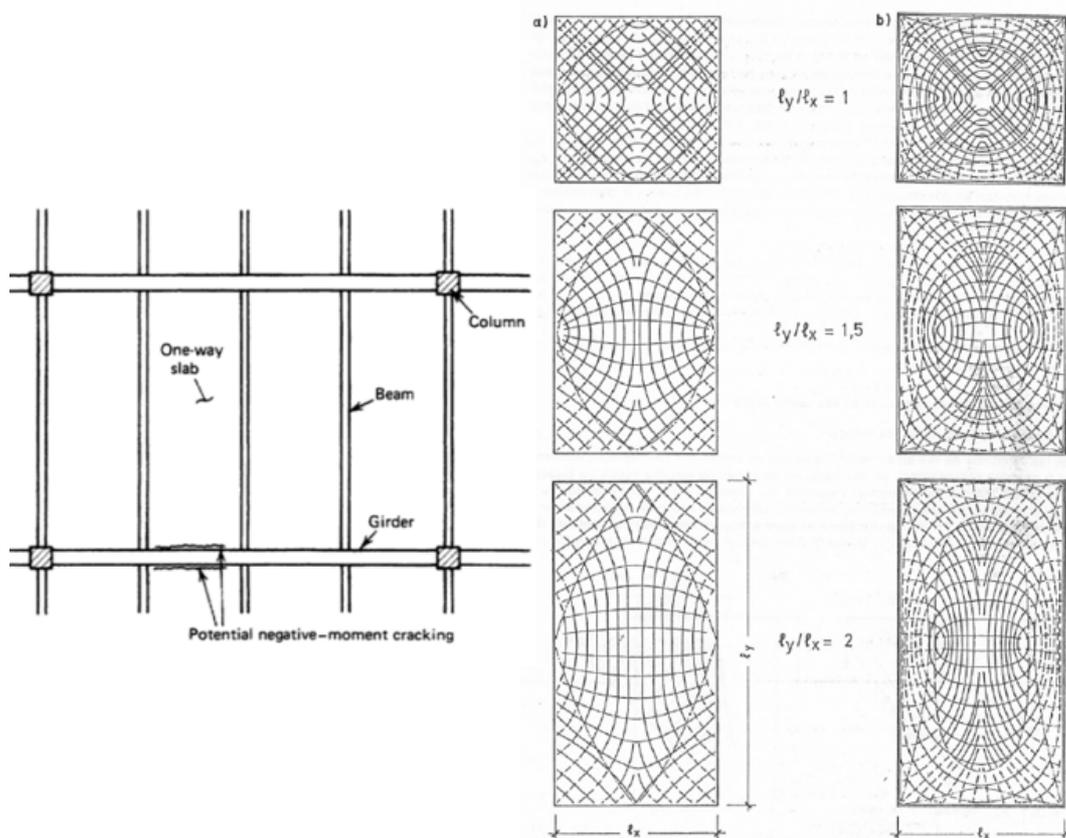
Concrete option	Span range				Speed of construction	Economy	Ease of service distribution	Minimises storey height	Flexibility for partitions	Suitability for holes	Punching shear capacity	Deflection control	Minimises self-weight	Soffit can be exposed	Suitable for open plan space	Diaphragm action of floor	Inherent robustness of frame	Off-site construction	
	Reinforced or prestressed conc.		Post-tensioned concrete																
	Min	Max	Min	Max															
Flat slabs																			
Solid flat slab (Continuity improves economy)	4	10	7	13	✓	✓	✓	✓	✓	○	○	○	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗
Solid flat slab with drops	4	12	7	14	✓	✓	✓	✓	✓	○	✓	✓	✓	○	✓	✓	✓	✓	✗
Solid flat slab with column heads (Forming column head disrupts cycle times and interferes with holes adjacent to columns)	4	10	7	13	✓	✓	✓	✓	✓	○	✓	○	○	✓	✓	✓	✓	✓	✗
Waffle slab	9	12	9	14	○	○	✓	✓	○	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗
Bi-axial voided slab (Can be used with in-situ or with precast soffit slab, which would act as permanent formwork)	4	14	7	16	✓	✓	✓	✓	✓	○	○	○	✓	✓	✓	✓	✓	✓	○
One-way slabs																			
Solid one-way slab with beams	4	12	6	14	✓	○	○	○	○	✓	✗	✓	✓	○	✓	✓	✓	✓	✗
Solid slab with band beams	7	12	7	13	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	○	✓	✓	✓	✓	✗
Ribbed slab with beams	7	11	8	12	○	○	✓	✓	○	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗
Ribbed slab with integral band beams	6	11	8	12	○	✓	✓	✓	○	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗
Tunnel form (One-way slab on walls) ^a	4	10	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗
Composite lattice girder soffit slab ^b	4	8	✗	✗	✓	✓	○	○	✓	✓	✗	✓	○	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Precast hollowcore slab	4	14	✗	✗	✓	✓	○	○	✓	✓	✗	✓	✓	○	✓	○	○	✓	✓
Composite precast slab	4	15	✗	✗	✓	✓	○	○	✓	✓	✗	✓	✓	○	✓	✓	○	✓	✓
Precast double 'T' units	6	19	✗	✗	✓	✓	○	○	○	✓	✗	✓	✓	✓	✓	○	○	✓	✓
Precast crosswall and solid prestressed slab	4	7.5	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓
Two-way slabs																			
Solid two-way slab with beams	5	12	✗	✗	○	○	○	○	✓	✓	✗	✓	✓	○	✓	✓	✓	✓	✗
Two-way waffle slab with beams	9	14	✗	✗	○	○	○	○	✓	✗	✓	✓	✓	○	✓	✓	✓	✓	✗
Waffle slab with integral beams	6	11	✗	✗	○	○	✓	✓	○	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗
Hybrid concrete construction (combination of in-situ and precast concrete)																			
Precast twin wall and lattice girder soffit slab with in-situ infill and topping	4	7.5	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓
Precast columns and edge beams with in-situ floor slab	4	10	6	12	✓	✓	✓	✓	✓	✓	○	✓	○	✓	✓	✓	○	✓	✓
Precast columns and floor units with in-situ beams ^b	4	14	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	○	✓	✓	✓	✓	✓
In-situ columns and beams with precast floor units ^b	4	14	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	○	○	✓	✓	✓	✓
In-situ columns and floor topping with precast beams and floor units	4	7.5	✗	✗	✓	✓	○	○	✓	✓	✗	✓	✓	○	○	✓	✓	✓	✓
Key																			
✓✓ Excellent																			
✓ Good																			
○ Can be used, but may require further consideration																			
✗ Not applicable or not appropriate																			
^a Requires 100 'tunnels' for maximum economy. Special curing methods required to obtain early age concrete strengths																			
^b Temporary props required																			

3.1.1. Entrepisos de hormigón resueltos con losas y vigas

Se trata del esquema clásico de entrepiso, se puede decir que la gran mayoría de entrepisos en nuestro medio se materializa de esta manera. En líneas generales se tienen placas (losas) las cuales en sus perímetros disponen de vigas.



Las vigas son líneas de mayor rigidez, por este motivo, se tiene que la placa se apoya sobre estos elementos según la relación de rigidez entre los mismos. La modulación indicará en función de las luces de cada placa si se trata de un sistema de reparto unidireccional o bidireccional, según la relación de largos de las placas.



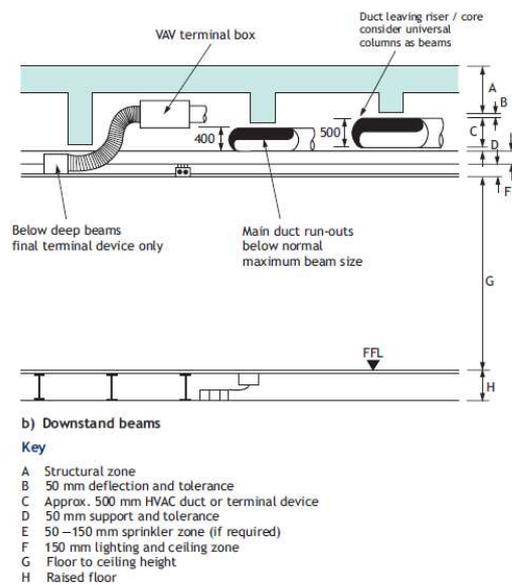
Ventajas:

- Se puede concentrar rigidez en líneas, esto hace más sencillo tener control sobre deformaciones del entrepiso
- Se logran mejores eficiencias en lo que refiere a volumen de estructura comparando por ejemplo con una solución de entrepiso de hormigón armado sin vigas
- Se obtienen losas de menor espesor, por ende, se obtienen entrepisos más livianos

Desventajas:

- La disposición de vigas está supeditada a la posibilidad de poder esconder las piezas en dentro de los cerramientos dispuestos en el proyecto de arquitectura.
- Se debe tener mayor cuidado con posibles interferencias correspondientes a instalaciones.
- Se debe tener especial cuidado con las alturas libres bajo viga
- A efectos constructivos, generar el encofrado para las vigas y losas, con fondos a distinto nivel, insume más tiempo de trabajo.
- Es más costoso que realizar una pieza maciza.

Se ilustra un ejemplo de posibles interferencias:



Se presentan a continuación rangos típicos de relaciones entre largo y canto de las piezas a efectos de pre - dimensionado:

Span-to-depth ratios for beams

Condition	Span-to-depth ratio
Simply supported	15
End-bay	17
Cantilever	6

NOTA: Dichos valores son orientativos, y dependen estrictamente de las cargas que se dispongan sobre las vigas. Esto es, cargas puntuales, cargas de muros, etc.

The span-to-depth ratios in Table 2.14 may be used for spans in the range 4 to 10 m.
 Span-to-depth ratios for one-way spanning slabs

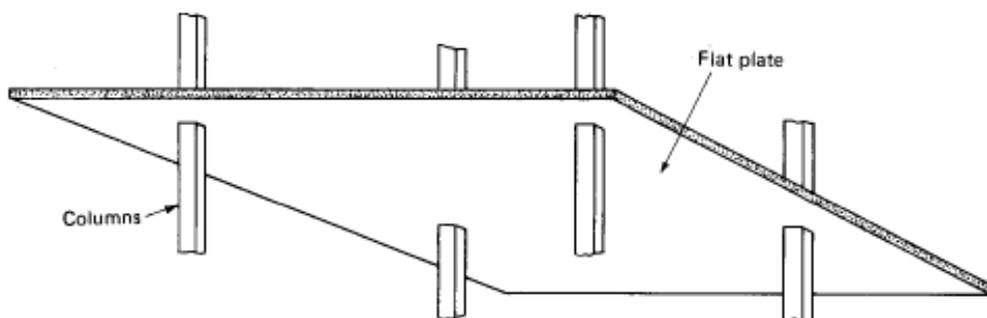
Imposed load, Q_k (kN/m ²)	Single span	Multiple span	Cantilever
2.5	27	32	10
5.0	25	30	9
7.5	24	28	8
10.0	23	27	7

The span-to-depth ratios in Table 2.15 may be used where the longest span is in the range 4 to 12 m.
 Span-to-depth ratios for two-way spanning slabs

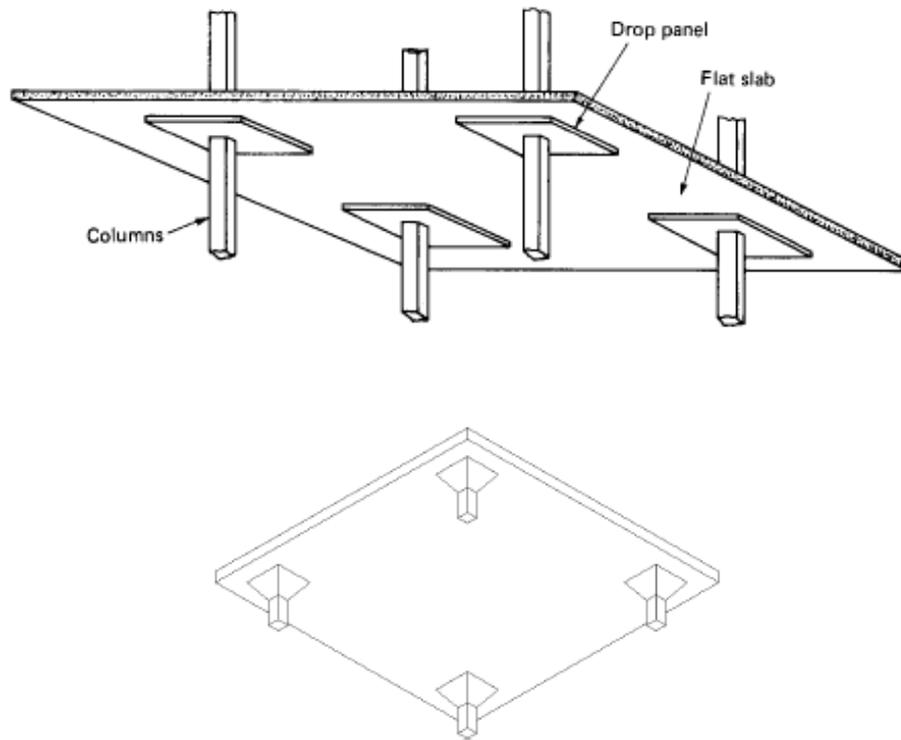
Imposed load, Q_k (kN/m ²)	1:1 panel		2:1 panel (based on shorter span)	
	Single span	Multiple span	Single span	Multiple span
2.5	34	39	30	34
5.0	32	37	28	32
7.5	30	35	26	30
10.0	28	34	25	29

3.1.2. Entrepisos sin Vigas

Se trata de un esquema de funcionamiento estructural que hoy en día ha ganado bastante terreno por su simplicidad constructiva. Consta de losas directamente apoyadas sobre columnas, sin disponer de vigas interiores y apelando al trabajo bidireccional de las losas que conforman el entrepiso.



Visto que la capacidad de transmitir las descargas a los puntos de apoyo en este tipo de sistema estructural es un punto crítico (ELU – Punzonamiento), se puede llegar a necesitar de disponer capiteles en los puntos de apoyo de manera de poder aumentar la capacidad de transmitir solicitaciones cortantes, eso se materialice generando engrosamientos en los puntos de apoyo:



Se tiene entonces piezas con un esquema de trabajo netamente bidireccional, dónde determinar correctamente las solicitaciones a las cuales están sometidas las diferentes secciones es a priori laborioso:

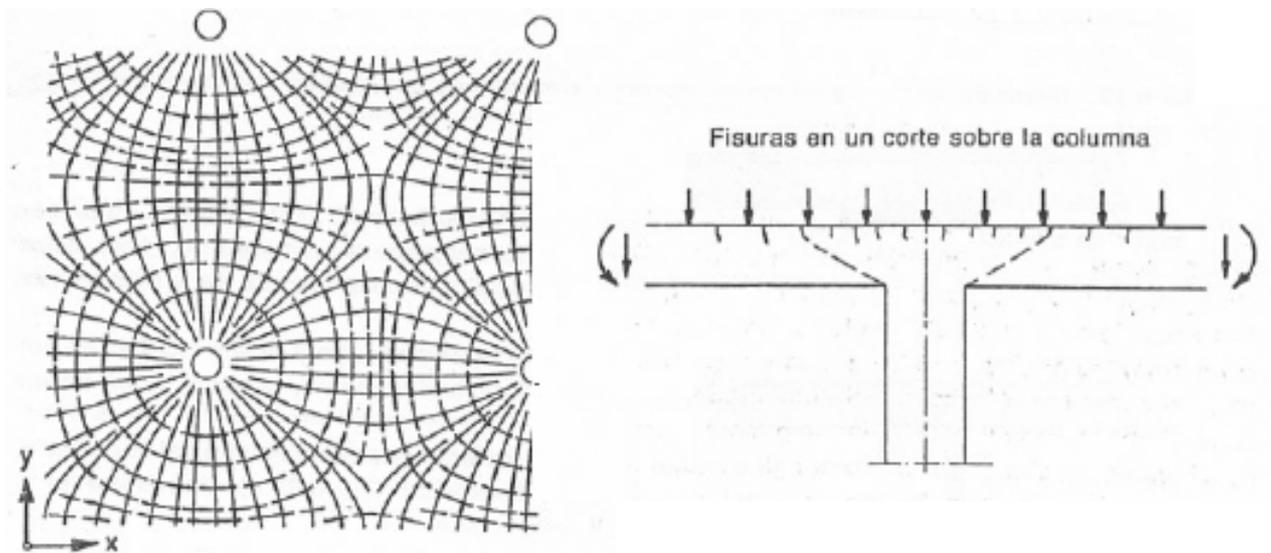
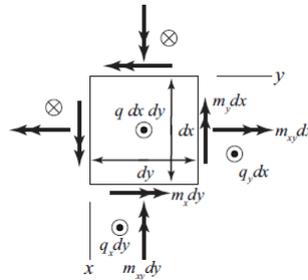


Fig. 8.36. Dirección de los momentos principales de una losa de entrepiso sin vigas para carga uniforme.

En general la propuesta de armado para este tipo de entrepiso es mediante mallas de armadura según dos direcciones ortogonales. Cabe mencionar, como se ve en las imágenes anteriores, que se generan desvíos de las direcciones de los momentos principales respecto a las direcciones de armado que en general se proponen, esto se debe a que se generan aportes importantes por parte de los momentos torsores en las losas (M_{xy}).



Dicho fenómeno se aborda o bien mediante modelos los cuales resignan la capacidad de adsorber torsiones por parte de las losas las losas, o bien por la descomposición vectorial de los momentos principales a partir de propuestas cómo las de Wood & Armer. Dicho tópico se profundizará en el tema “Diseño de losas”, se comenta que algunos softwares de diseño disponibles incluyen dicho análisis de los momentos principales de los elementos de losa.

Ventajas:

- Sistema apropiado en caso de que los costos de los materiales sean menores que el costo de la mano de obra, visto que en caso de disponer de una losa plana, las tareas relativas a encofrado y armado de hierro son mucho más sencillas que en un entrepiso clásico.
- Velocidad de ejecución por su simplicidad
- Simplifica la solución de interferencias (instalaciones de aire acondicionado, ductos o pases en eventuales vigas, etc.)

Desventajas:

- Mayor volumen de estructura (estructura más pesada)
- Estructura flexible, se debe tener especial cuidado con las limitaciones de servicio, especialmente en el caso de existir tabiques o piezas frágiles. Se debe tener un estudio riguroso de las flechas activas de la estructura.
- Mayores espesores de losa, se debe tener especial cuidado con el máximo paquete de entrepiso total del cual se puede disponer.
- En muchos casos se debe disponer de capiteles para poder realizar la transferencia de cargas a las columnas.

Se presentan a continuación relaciones típicas entre luz y espesor de losas en entrepisos sin vigas. En general esta solución se utiliza para luces de entre 4 a 10m, siendo posible que se necesite pasar a una solución con cables de pretensado acercándose a la cota de mayor utilización.

Span-to-depth ratios for flat slabs

Imposed load, Q_k (kN/m ²)	Multiple span
2.5	28
5.0	26
7.5	25
10.0	23

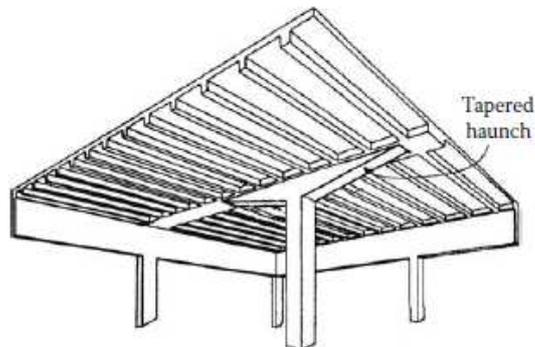
Note
This table assumes a 3 x 3 bay layout. Where there are only 2 bays in one direction the ratio will need to be decreased.

3.1.3. Losas nervadas en una y dos direcciones (losas nervadas y losas Waffle)

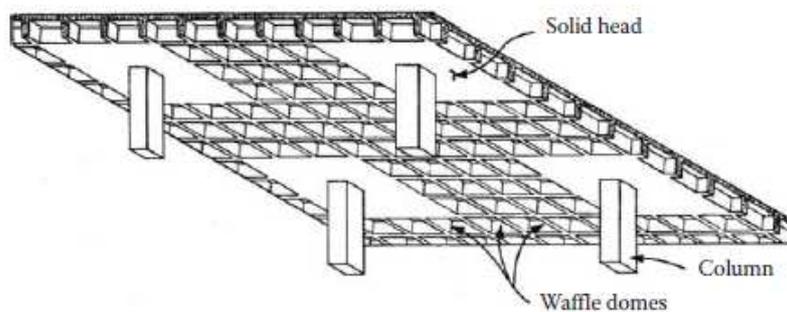
Una de las soluciones utilizadas cuando se tienen modulaciones de pilares con luces importantes y cargas de magnitud son las losas nervadas. Se disponen entonces de nervios en las piezas en una o dos direcciones según sean las restricciones geométricas. En general el dimensionado de estas piezas está gobernado o bien por la capacidad a flexión del entrepiso, o bien por la aptitud al servicio tanto para deformaciones cómo para vibraciones.

Se tienen entonces los siguientes sistemas dentro de esta clasificación:

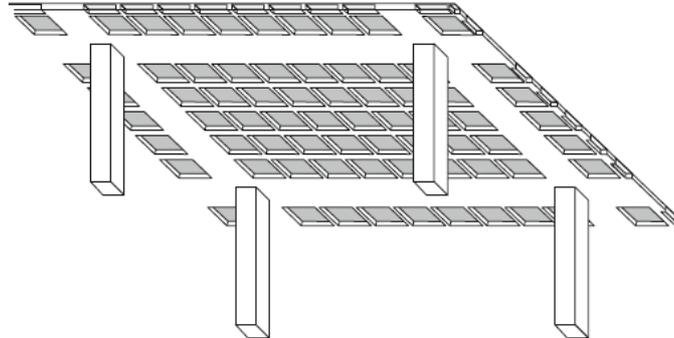
- Losas nervadas en una dirección con apoyos en vigas principales de hormigón armado que descargan en pilares.



- Losas nervadas en dos direcciones que apoyan directamente en pilares de hormigón por medio de zonas macizadas



- Losas nervadas en dos direcciones, sistema bidireccional que descarga en vigas principales en ambas direcciones, las cuales descargan en pilares de hormigón



Ventajas:

- Se busca obtener una solución que pueda resolver grandes luces en planta
- Se obtiene una solución más liviana que en el caso de losas macizas
- Se tienen soluciones más rígidas

Desventajas:

- Solución bastante laboriosa en lo que refiere a encofrado y armado de hierro
- Tiempo de ejecución
- Si bien para el caso de losas nervadas en dos direcciones hay reparto transversal de cargas, se debe tener en cuenta de que estas piezas tienen menor rigidez a torsión que una losa maciza.

Se presentan a continuación reglas típicas de relación entre canto total de entrepiso y luz a salvar, así como también los rangos recomendados de utilización:

- Entrepisos nervados en una dirección:

The span-to-depth ratios in Table 2.18 may be used where the spans are in the range 6 to 12 m. Ribbed slabs should be orientated with the ribs running parallel to the longest edge. The most economic ratio of the spans is 4:3.

Table 2.18
 Span-to-depth ratios for ribbed slabs

Imposed load, Q_k (kN/m ²)	Supported by beams ^a			Ribs integral with band beam <11 m
	Single span <12 m	Multiple span		
		<10 m	10 – 12 m	
2.5	24	29	27	25
5.0	21	27	24	23
7.5	19	25	21	21
10.0	17	23	17	18

Key
^a Refer to Section 2.10.1 to determine depth of beams.

- Entrepisos nervados en dos direcciones (losas Waffle)

The span-to-depth ratios in Table 2.19 may be used where the spans are in the range 6 to 12 m.
span-to-depth ratios for waffle slabs

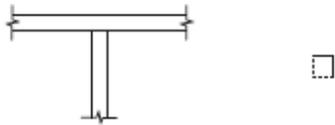
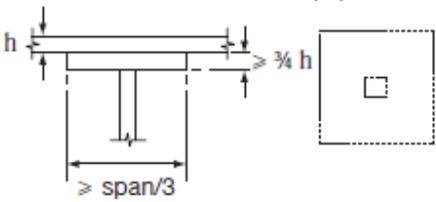
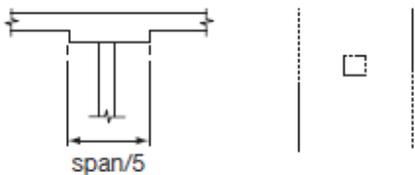
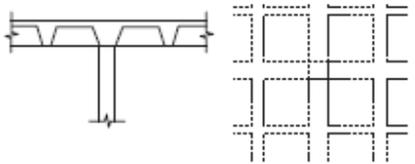
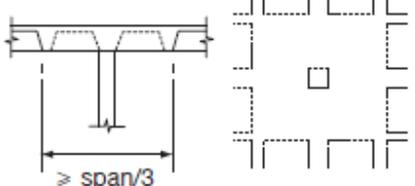
Imposed load, Q_k (kN/m ²)	1:1 panel	1.5:1 panel (depth based on shorter span)
	Multiple span	Multiple span
2.5	23	17
5.0	21	16
7.5	19	15
10.0	18	14

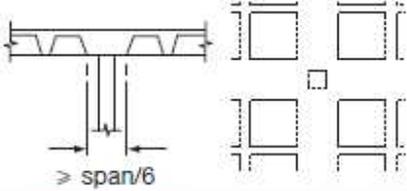
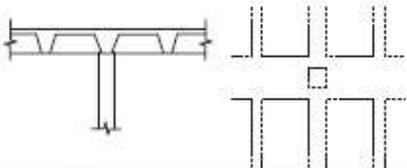
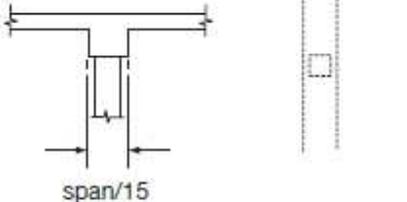
3.2. Entrepiso de hormigón post - tensado

Cuando se pasa a luces importantes, dónde las condiciones de deformabilidad pasan a jugar un papel importante en entresijos de luces importantes, es común el uso de cables de postensado adherente o no adherente en el sistema estructural.

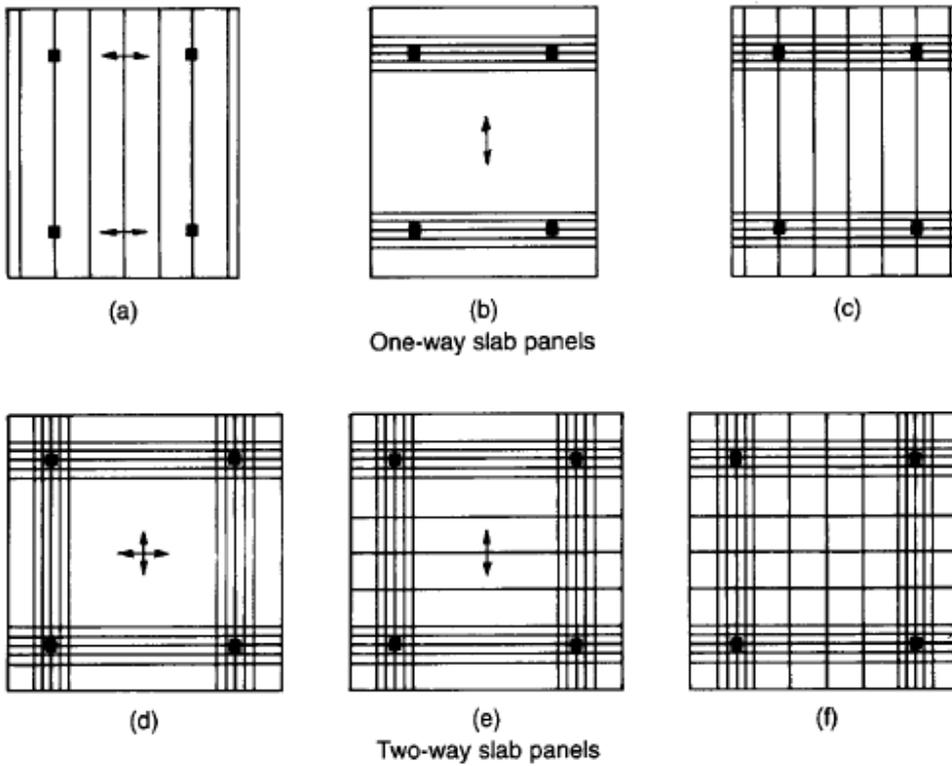
De esta manera se tienen soluciones como las que se trataron en el punto anterior como losas sin vigas o losas nervadas en dos direcciones a las cuales se les agrega además cables de post - tensado. Cabe destacar que, si bien se obtienen mejores prestaciones en lo que refiere a deformaciones, pudiendo proyectar piezas más esbeltas, el hecho de poder reducir el volumen de hormigón a utilizar puede hacer llegar a hacer trascendente la verificación de fenómenos del tipo vibratorios.

Se resumen a continuación las tipologías más comunes con relaciones recomendadas de luz libre contra canto total del entrepiso (referencia: "Manual for the Design of Concrete Building Structures to Eurocode 2")

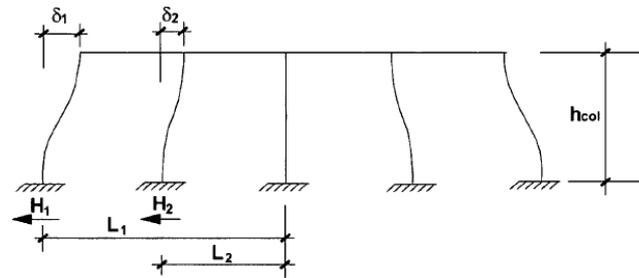
Section type	Total imposed load (kN/m)	Span/depth ratios $6m \leq L \leq 13m$ (kN/m)		Additional requirements for vibration
1 Solid flat slab 	2.5 5.0 10.0	40 36 30		A
2 Solid flat slab with drop panel 	2.5 5.0 10.0	44 40 36		A
3 Banded flat slab 	2.5 5.0 10.0	Slab 45 40 35	Beam 25 22 18	A
4 Coffered flat slab 	2.5 5.0 10.0	25 23 20		B
5 Coffered flat slab with solid panels 	2.5 5.0 10.0	28 26 23		B

Section type	Total imposed load (kN/m)	Span/depth ratios $6m \leq L \leq 13m$ (kN/m)		Additional requirements for vibration
6 Coffered slab with band beam ^d 	2.5 5.0 10.0	28 26 23		B
7 Ribbed slab ^e 	2.5 5.0 10.0	30 27 24		B
8 One-way slab with narrow beam 	2.5 5.0 10.0	Slab 42 38 34	Beam 18 16 13	A
Notes a Vibration. The following additional check should be made for normal office conditions if no further vibration checks are carried out: A either the floor has at least four panels and is at least 250mm thick or the floor has at least eight panels and is at least 200mm thick. B either the floor has at least four panels and is at least 400mm thick or the floor has at least eight panels and is at least 300mm thick. b All panels assumed to be square. c Span/depth ratios not affected by column head. d It may be possible that prestressed tendons will not be required in the banded sections and that untensioned reinforcement will suffice in the ribs, or vice versa. e The values of span/depth ratio can vary according to the width of the beam.				

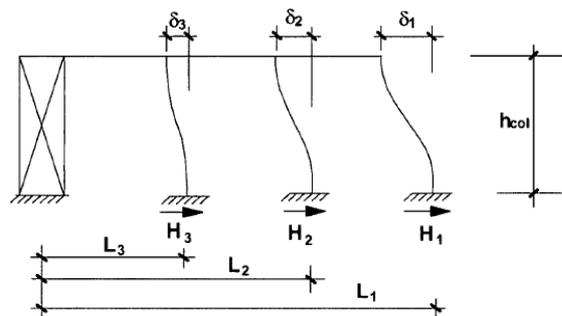
En lo que refiere a los trazados de cables en por ejemplo Entrepisos sin viga, en general se intenta buscar una distribución de cables que siga el esquema más rígido. De esta forma, existen varias disposiciones usualmente utilizadas, las cuales en todos los casos concentran armadura activa en las líneas de pilares, generando fajas de rigidez:

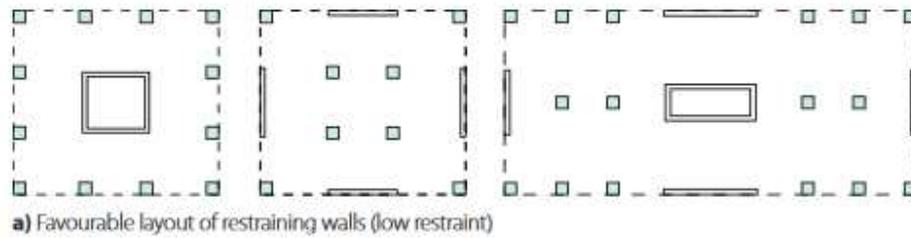


Se debe tener en cuenta que en general al momento de post - tensar la estructura ya existen algunos vínculos con otros elementos estructurales. De esta manera, se debe tener especial cuidado con las deformaciones impuestas debido a los acortamientos producidos por las cargas de pretensado:

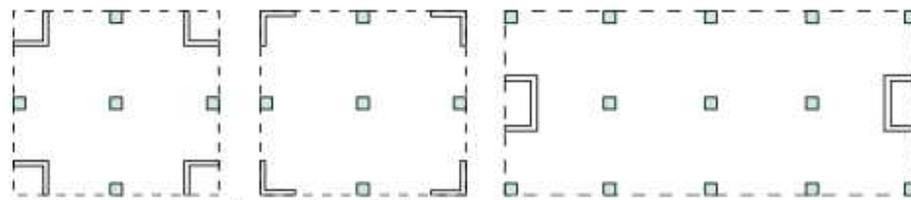


a) Symmetrical floor supported on columns





a) Favourable layout of restraining walls (low restraint)



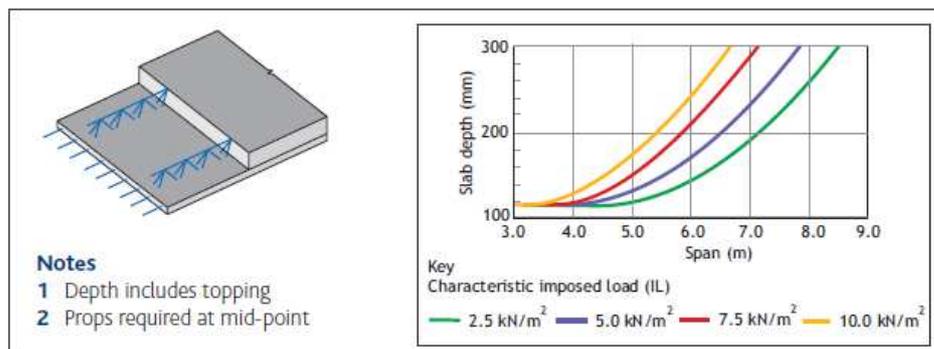
b) Unfavourable layout of restraining walls (high restraint)

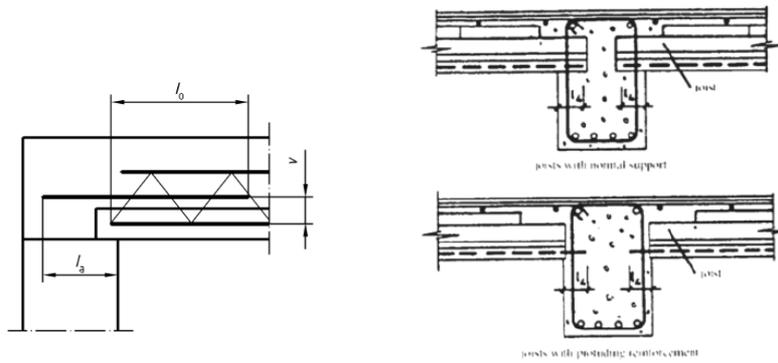
3.3. Entrepisos Pre - moldeados

Una alternativa posible para la conformación de sistemas gravitatorios es el proyecto de estructuras premoldeadas, o bien de soluciones que dispongan de elementos construidos en sitio y elementos prefabricados.

Dentro de las soluciones usuales se tiene.

- Losas trelladas: Consta de módulos de losetas prefabricadas las cuales se les agrega un reticulado para soportar las cargas de etapa de obra. Se conforma un panel unidireccional en conjunto con el hormigón vertido en sitio.





- Losas huecas (hollow core slab) con cables adherentes: Se realizan uniones en sitio entre las losas mediante el grouting de las mismas. Se realiza un hormigonado de una carpeta de compresión la cual vincula todas las piezas.

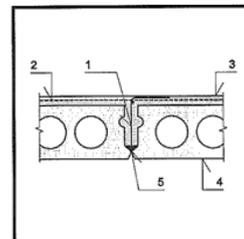
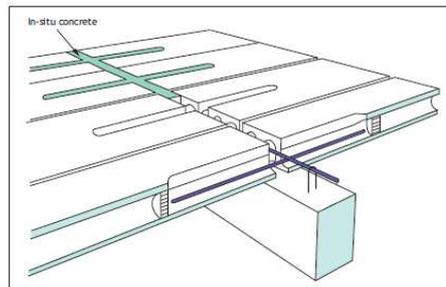
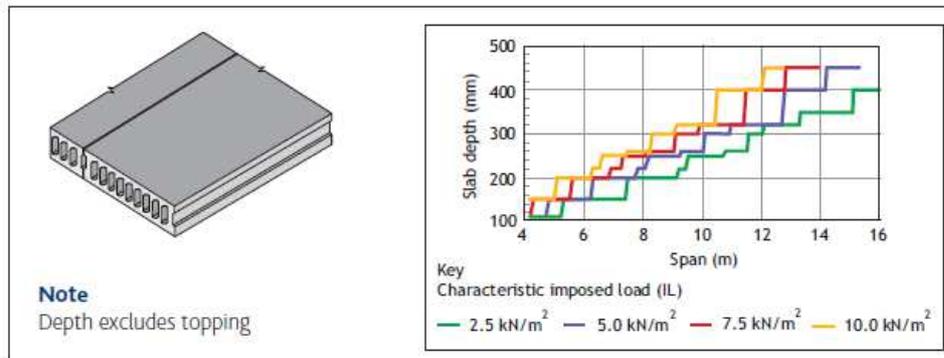
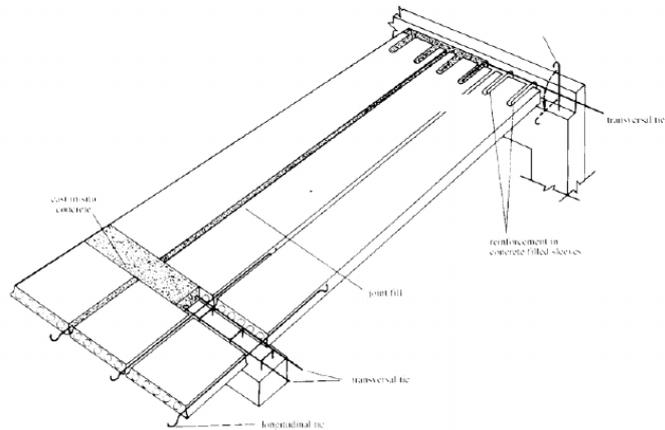
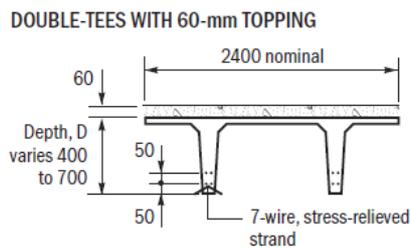
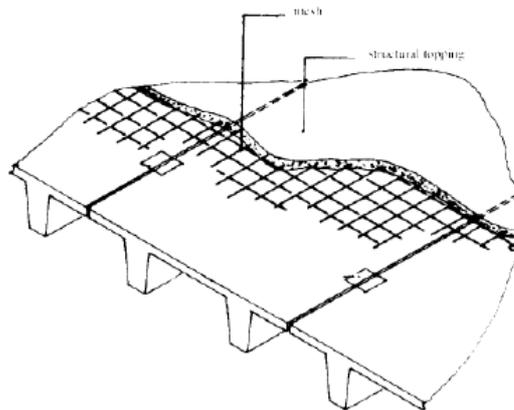


Figure 5.2 Hollow Core Slab to Slab Joint Detail

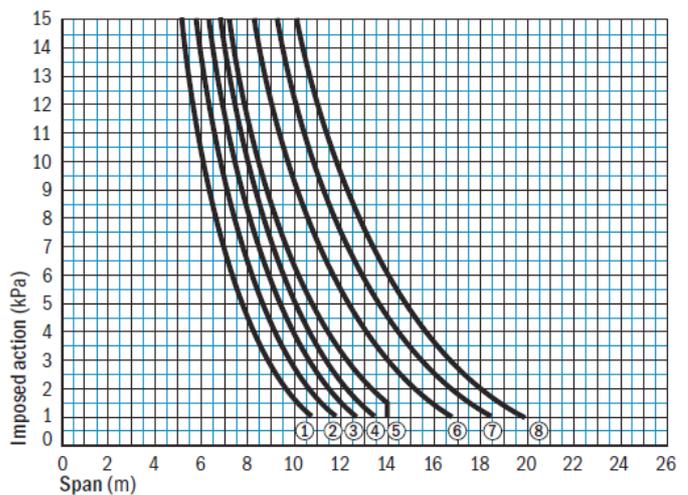


- Paneles nervados (paneles π): En general se trata de paneles nervados con cables de pretensado. Usualmente se ejecuta una carpeta de hormigón en sitio que vincula todas las piezas y funciona como carpeta de compresión de la pieza pre-fabricada.



Key to Curves in Live Load Capacity Chart

CURVE	'D'	STRANDS	CURVE	'D'	STRANDS
①	400	4 x 12.7 dia	⑤	400	10 x 12.7 dia
②	500	4 x 12.7 dia	⑥	500	10 x 12.7 dia
③	600	4 x 12.7 dia	⑦	600	10 x 12.7 dia
④	700	4 x 12.7 dia	⑧	700	10 x 12.7 dia



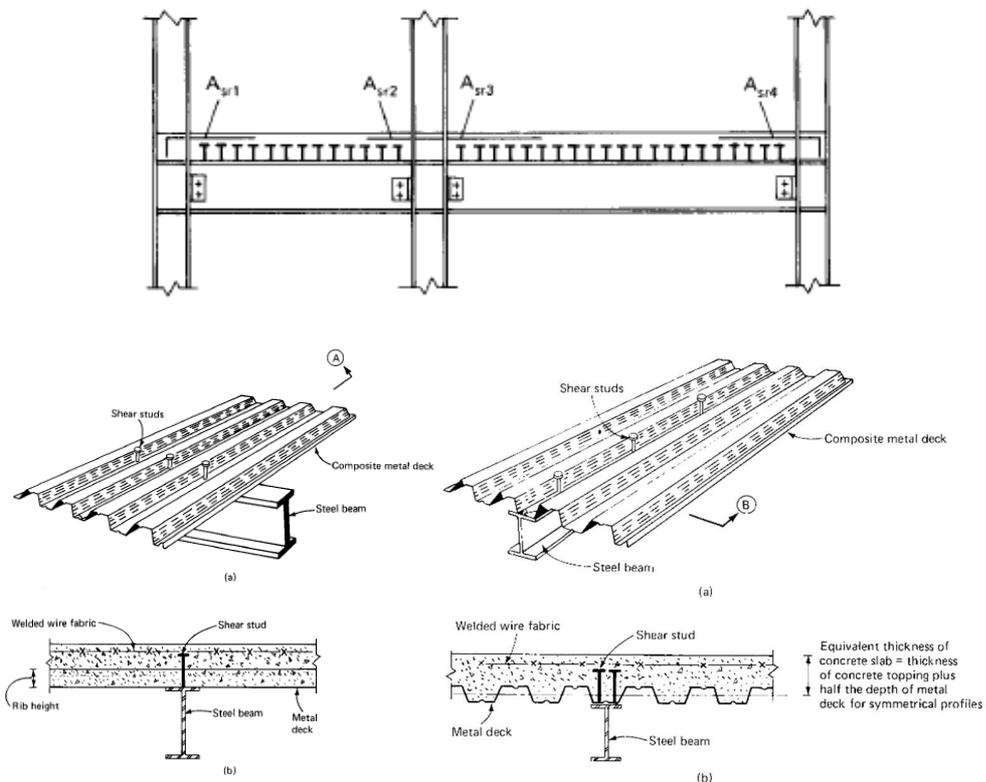
3.4. Entrepisos mixtos

Hoy en día debido a los costos de importación de las estructuras metálicas se ha vuelto competitivo el uso de soluciones de entrepisos mixtos. En la actualidad se ha utilizado principalmente para showrooms, estacionamientos o centros comerciales de grandes dimensiones.

Dada una modulación de pilares a partir del proyecto de arquitectura, se determinan vigas principales y vigas secundarias. A partir de esto, se utilizan paneles de Steel Deck sobre los cuales se vierte hormigón en sitio. Se disponen conectores en la estructura metálica de manera de generar una acción mixta entre las piezas metálicas y el hormigón vertido en sitio. Hay determinadas relaciones de modulación de pilares las cuales, en caso de poder ser utilizadas, uniformizan los cantos de las vigas principales y secundarias, optimizando el canto de la sección del entrepiso.

En lo que refiere a los vínculos estructurales, en general se consideran nudos articulados entre vigas secundarias y primarias, pudiendo disponer de nudos rígidos o articulares en las uniones entre vigas principales y pilares. En general es de especial interés tener uniones lo más sencillas posibles de manera de economizar y simplificar las tareas de montaje.

Existen varios tipos de conectores a colocar mediante soldadura en las vigas metálicas, los más comunes son los conectores tipo Nelson.



Referente a esta tipología de entrepisos, se debe tener especial cuidado con la verificación del estado límite de vibraciones. Visto se obtienen resultados con entrepisos esbeltos de poca masa, dicho fenómeno puede ser determinante en el dimensionado de la geometría del entrepiso.

4. Métodos simplificados para determinar descargas y solicitaciones en componentes del sistema resistente.

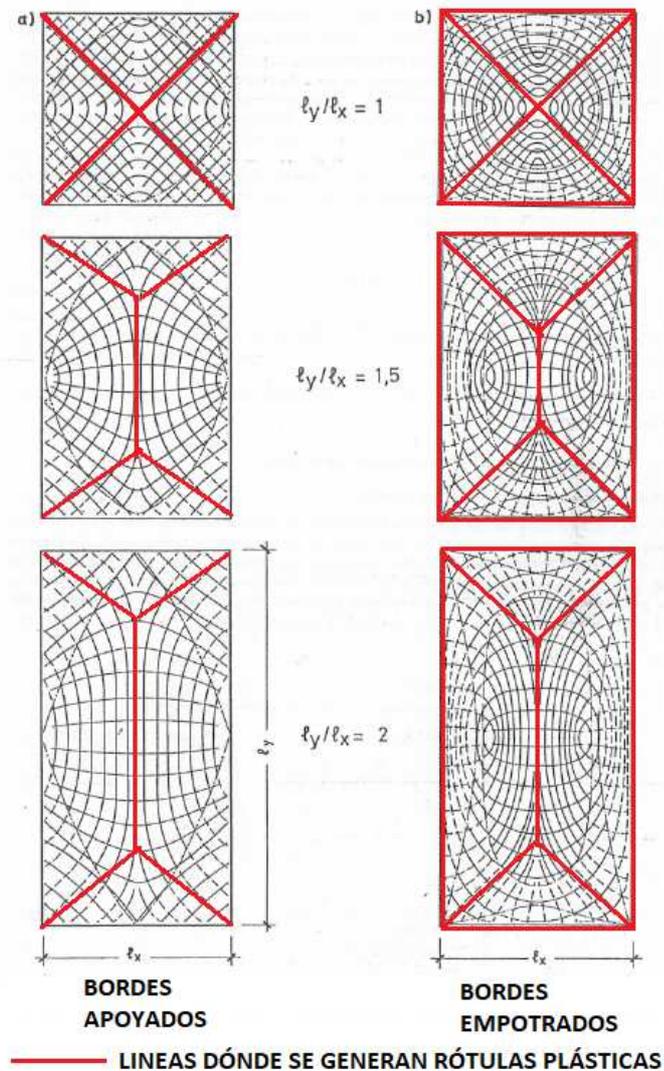
En función del planteo de sistema resistente que se utilice para resolver el proyecto, se dispone o bien de sistemas unidireccionales o bien de sistemas bidireccionales.

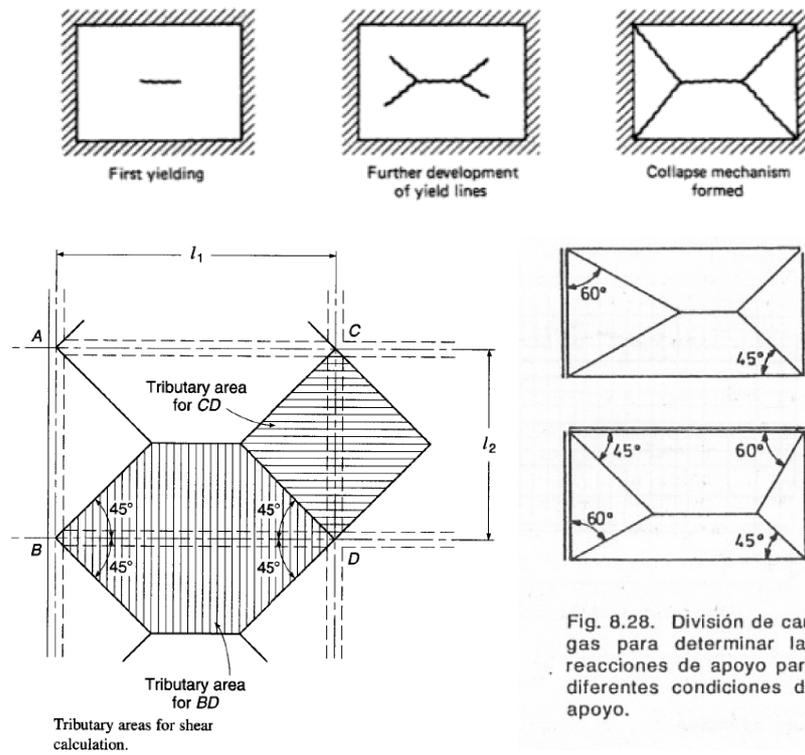
En el caso de los primeros, se tiene que un elemento descarga en el otro hasta llegar en los puntos de apoyo, lo cual hace bastante sencillo determinar a efectos de pre - dimensionado las solicitaciones de las piezas y las descargas de las partes del sistema que se encuentren en estudio. En el caso de los elementos bidireccionales, esto no es tan claro, y se debe apelar a ciertas partidas para determinar en forma inicial que acciones debería estar sometido una u otra parte del sistema resistente.

4.1. Método del sobre

Para el caso de entrepisos de hormigón armado, en los cuales se pueden encontrar vigas de hormigón, el esquema clásico de reparto de cargas en líneas de apoyo es el método del sobre.

El planteo básicamente es hacer un reparto de las cargas que están en las losas mediante el método de las líneas de rotura. Se buscan las líneas de momentos principales por dónde la losa comenzaría a plastificar su armadura, y por dónde se alcanzaría el momento de plastificación (cumpliendo ciertas hipótesis de armado sería el momento último de la pieza). Resolviendo el mecanismo final de colapso es posible determinar cada área tributaria para cada línea de apoyo. Cómo se comentó anteriormente, la geometría de colapso viene dado por los momentos principales que experimenta la losa ante cargas dadas, por dicho motivo se generan “sobres” con una geometría que depende de la relación de luces de los paneles y sus condiciones de apoyo, las cuales usualmente modifican los ángulos de reparto de los sobres.





Estos criterios pueden extenderse a cualquier geometría de panel, se presentan a continuación varios ejemplos de caminos de descarga para entresijos de hormigón:

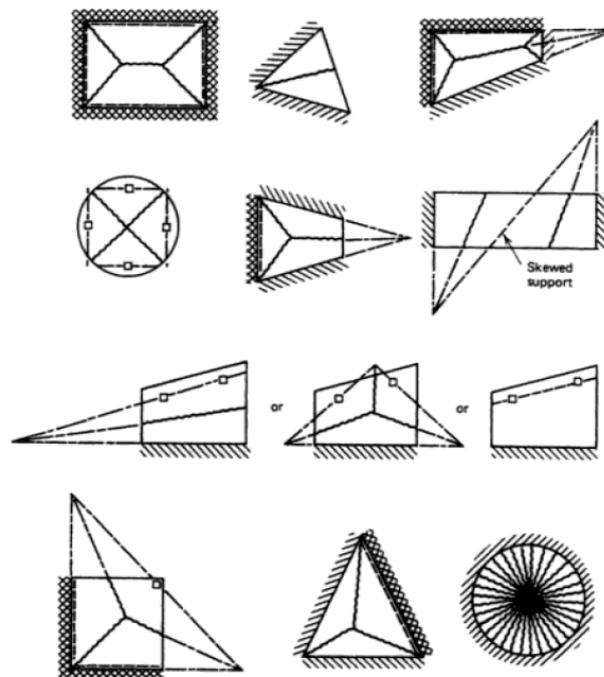


Figure 7.5 Examples of yield line patterns for uniformly loaded slabs.

De esta manera, dada una geometría de una estructura propuesta, a partir de un planteo de descargas de las diferentes placas a partir del método del sobre, se puede estimar en forma inicial las descargas de los pilares de la planta de la estructura.

4.2. Método de los Pórticos Virtuales

El método que se presenta a continuación es un método clásico para el dimensionado de entrepisos sin vigas con o sin capiteles. El procedimiento en cuestión está incorporado como anexo en EN 1992, también es presentado en otras normas como ACI 318

Dicho método consta básicamente en tratar las líneas de apoyo como líneas de mayor rigidez, generándose líneas de “Pórticos Virtuales” según las direcciones por las cuales se plantean las líneas de pilares. Dicha hipótesis se justifica mediante los mecanismos de colapso posible (líneas de rotura).

Tiene como desventaja el hecho de necesitar disponer una distribución de apoyos regular y razonablemente escuadrada para poder utilizar su aplicación directa tal como las normas lo plantean.

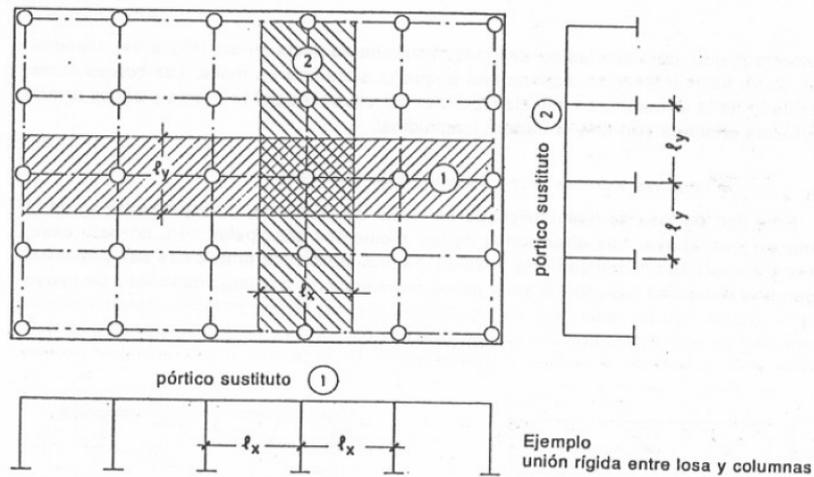
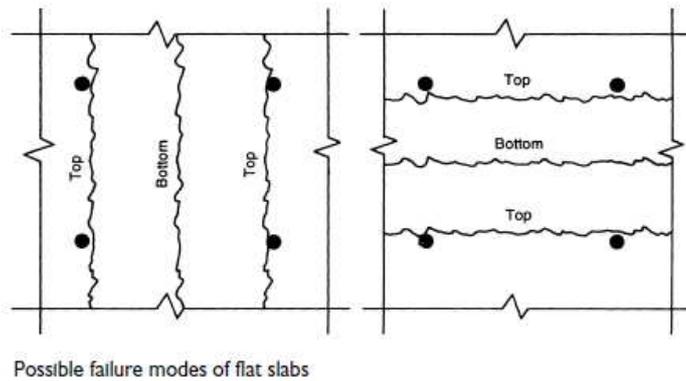
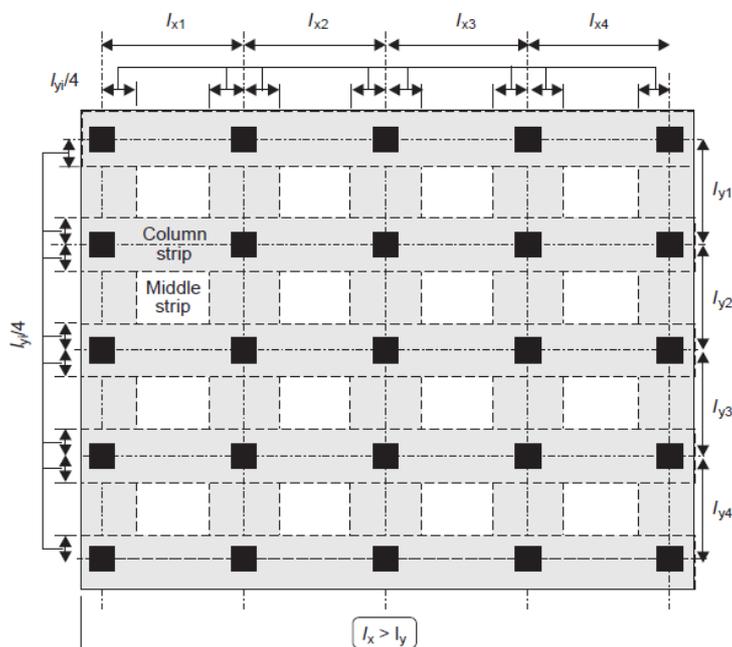
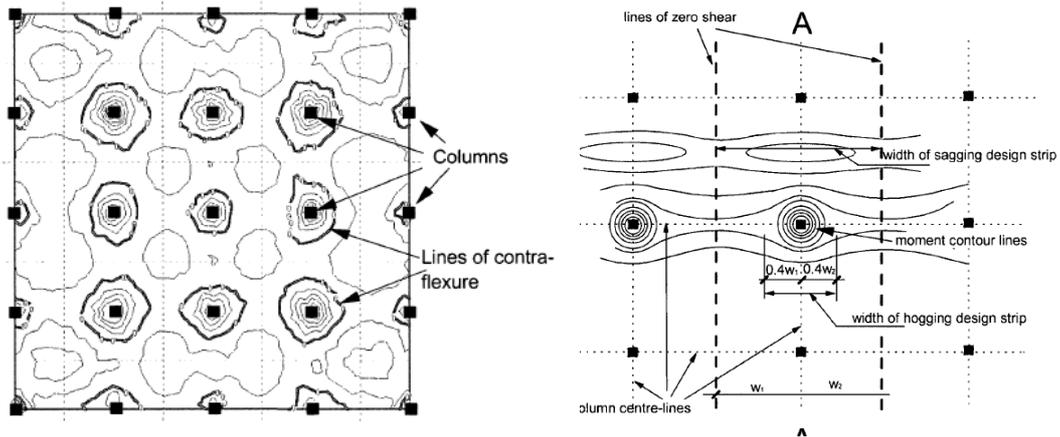
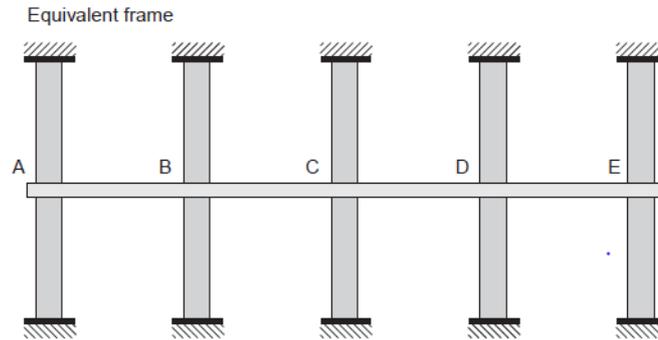


Fig. 8.37. Cálculo aproximado de entrepisos sin vigas mediante pórticos sustitutos ($0,75 \leq l_x/l_y \leq 1,33$).

El método propone dividir longitudinalmente y transversalmente el entrepiso en pórticos los cuales deben ser dimensionado para soportar la carga de las placas interiores a estos. De esta manera se determinan las solicitaciones de los entramados y se reparten convenientemente dentro de la faja interior (middle strip) y de la faja sobre las columnas (Column strip). Tanto el ACI 138 con EN 1992-1-1 dan recomendaciones para efectuar esto. Particularmente para los momentos negativos, EN 1992-1-1 da disposiciones claras de concentrar armaduras cerca de los puntos de apoyo. Esto se justifica mediante la distribución de momentos principales en elementos de este tipo:





NOTE When drops of width $> (l/3)$ are used the column strips may be taken to be the width of drops. The width of middle strips should then be adjusted accordingly.

Table I.1 – Simplified apportionment of bending moment for a flat slab

	Negative moments	Positive moments
Column Strip	60 - 80%	50 - 70%
Middle Strip	40 - 20%	50 - 30%
Note: Total negative and positive moments to be resisted by the column and middle strips together should always add up to 100%.		

Se puede llegar a considerar además el posible aportamiento con los pilares, pudiendo, en algunos casos disponer de este tipo de estructuras para resistir esfuerzos laterales. Lo anterior está supeditado a la deformabilidad de la estructura. Dicho análisis alienta algunas estrategias de modelado que se verán más adelante.

5. Referencias

- Proyecto y Cálculo de Estructuras de Hormigón. Tomos I y II, Calavera, J. (2008).
- Concrete Buildings Scheme Design Manual, O Brooker, The Concrete Centre
- Manual for the design to Concrete Building Structures to Eurocode 2, ICE, The Concrete Centre
- Structural Analysis and Design of Tall Buildings, Bungale S Taranath
- Technical Report 43 - Post - tensioned Concrete Floor Design Handbook - Second Edition, Concrete Society
- Reinforced Concrete Slabs, Second edition - Robert Park and William L. Gamble
- Planning and design Handbook on Precast Building Structures - CEB/FIB