

# **ENTREPISOS PLANOS DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL**

(Notas de Clase para la carrera de Ingeniero Agrimensor)

Victorio Hernández Balat

## **1.- ALCANCE**

Estas notas están referidas a entresijos planos entendiendo por tales a las estructuras que reciben en forma primaria las cargas de uso de los locales. Se trata de estructuras cuya superficie superior será transitable y horizontal (o de muy suave inclinación). Se incluyen las estructuras destinadas a azoteas reservando el uso del término “cubiertas” para aquellas estructuras de cerramiento con apreciable inclinación o de superficie curva o quebrada destinadas exclusivamente a aislar un espacio del exterior y que son transitadas sólo en forma excepcional. Las cubiertas están fuera del alcance de este trabajo.

Estas notas están limitadas a entresijos planos sometidos fundamentalmente a cargas uniformemente repartidas (incluidas cargas de cocheras).

No se analizarán aquí los entresijos parcial o totalmente construidos en madera dado que su uso está limitado a construcciones en las que la aislación acústica y/o la resistencia al fuego no sean parámetros condicionantes lo que los hace no aptos para la construcción de edificios (aunque pueden ser muy buenas soluciones para viviendas unifamiliares, etc.). Asimismo, los entresijos con vigas de madera natural tienen limitada su luz por la disponibilidad de escuadrías. Esta limitación podría solucionarse mediante el uso de vigas realizadas con madera laminada y encolada pero quedan pendientes los condicionamientos mencionados anteriormente.

Tampoco se analizarán los entresijos constituidos íntegramente por elementos metálicos aunque sí los conformados mediante vigas metálicas y losas de hormigón. Aquí la limitación es acústica y térmica. Las superficies de tránsito enteramente metálicas son utilizadas casi exclusivamente en edificaciones industriales.

## **2.- GENERALIDADES**

Las demandas estructurales y las soluciones a dichas demandas están siempre asociadas a los requerimientos arquitectónicos dentro de los que se encuentran las restricciones de altura, las ubicaciones posibles de vigas y columnas, la presencia de aberturas para circulaciones y conducciones verticales, la instalación de conducciones horizontales (p.e. aire acondicionado), tiempos de resistencia al fuego y las sobrecargas accidentales. Aunque frecuentemente menos tenidos en cuenta, están también los aspectos relacionados con el mantenimiento y la durabilidad.

La ubicación geográfica impondrá las acciones de viento, nieve, temperatura y sismo a considerar y los valores de mercado darán los costos de materiales y mano de obra que, junto con el plazo disponible para la ejecución de la obra, terminarán de definir las pautas generales de proyecto.

### 3.- TIPOLOGÍAS BÁSICAS EN HORMIGÓN ESTRUCTURAL “IN SITU”

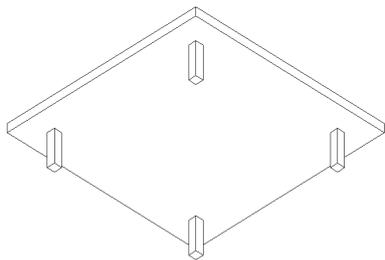


Figura 3.1

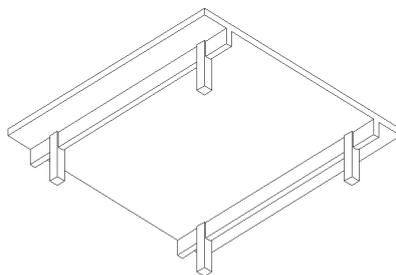


Figura 3.2

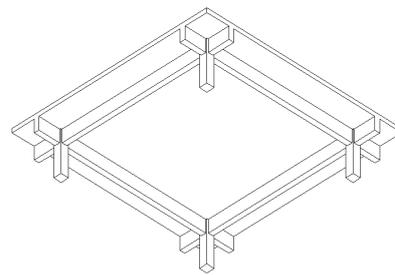


Figura 3.3

Podríamos pensar que los entrepisos típicos de hormigón estructural “in situ” están compuestos por combinaciones de tres arreglos estructurales básicos:

- Entrepisos sin vigas (Figura 3.1)
- Losas armadas en una dirección (Figura 3.2)
- Losas armadas en dos direcciones (Figura 3.3)

Describiremos brevemente estos tres arreglos básicos antes de profundizar sobre otros temas.

#### a) ENTREPISOS SIN VIGAS

Se trata de losas apoyadas directamente sobre columnas (Figura 3.8) (two-way flat plates) o bien apoyadas en columnas mediante la interposición de ábacos (Figura 3.9) y/o capiteles (Figura 3.10) (two-way flat slabs).

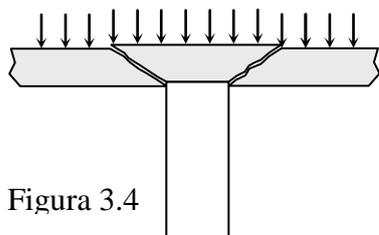


Figura 3.4

En la Figura 3.4 se muestra, en corte, una rotura típica por punzonamiento. Estas roturas son características de las losas apoyadas directamente sobre columnas. En las Figuras 3.5, 3.6 y 3.7 se muestran vistas en planta de este tipo de roturas correspondientes a columnas internas, de borde o de esquina. Las columnas de borde y de esquina dan lugar a perímetros de rotura abiertos que resultan menos resistentes

que los perímetros cerrados.

Los esfuerzos de punzonamiento pueden ser resistidos por el hormigón de la losa actuando solo o bien en colaboración con algún tipo de armadura específica (barras dobladas, estribos, perfiles, studrails).

Para aumentar la resistencia del conjunto al punzonamiento suele recurrirse a alguno o a algunos de los siguientes recursos: incrementar el espesor de la losa, incrementar las dimensiones de la columna o bien al uso de ábacos y capiteles (ver más adelante).

Se denomina ábaco a un paralelepípedo de hormigón interpuesto entre la columna y la losa de modo de aumentar su resistencia al punzonamiento (roturas locales que pueden producirse en las inmediaciones de las columnas) sin necesidad de disponer armadura especial,

aumentar el diámetro de la columna o el espesor de la losa. Asimismo se logra un aumento en la altura útil de flexión concentrado en la zona de máximas sollicitaciones.

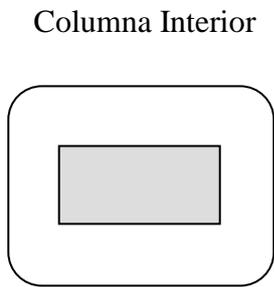


Figura 3.5

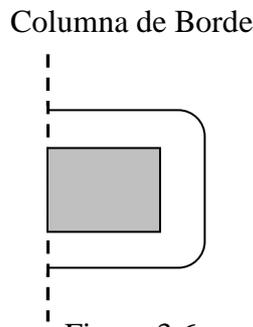


Figura 3.6

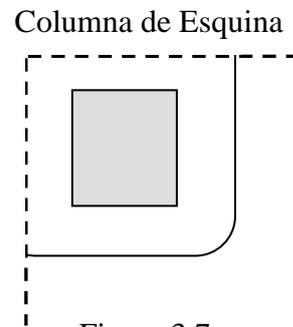


Figura 3.7

Se denomina capitel a una expansión gradual de la sección de la columna cuyo principal objetivo es aumentar la resistencia al punzonamiento sin necesidad de agregar armadura especial, aumentar el diámetro de la columna o el espesor de la losa.

En la práctica es más común el uso de ábacos que el de capiteles dado que el encofrado y las armaduras de estos últimos son bastante costosos.

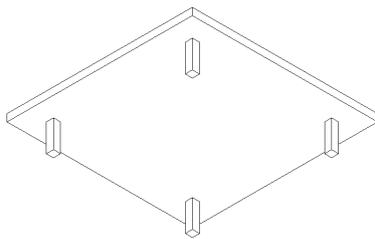


Figura 3.8

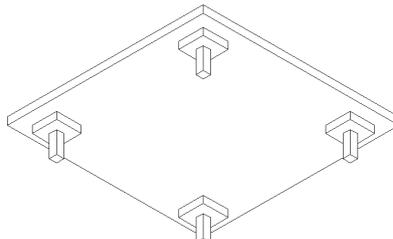


Figura 3.9

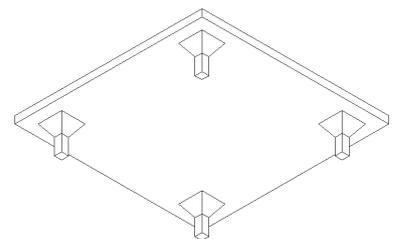


Figura 3.10

La mayor eficiencia estructural se logra cuando las columnas se encuentran ocupando los vértices de una trama cuadrada pero aún así son frecuentes las tramas rectangulares.

Aún manteniendo la denominación de entrepisos sin vigas, se suele utilizar vigas en el perímetro externo o rodeando aberturas importantes para mejorar el comportamiento frente al punzonamiento.

**b) LOSAS ARMADAS EN UNA DIRECCIÓN**

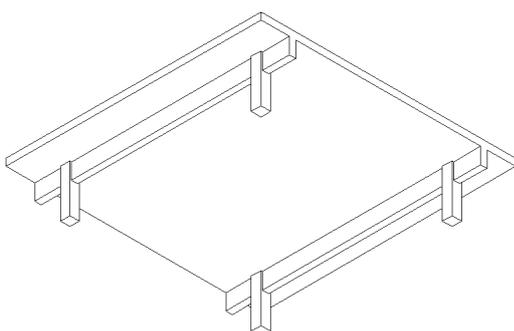


Figura 3.11

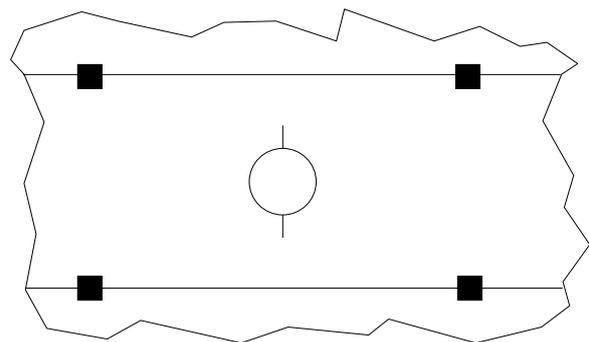


Figura 3.12

Se denomina así a las losas que, por sus condiciones de apoyo, tienden a tomar una deformada cilíndrica bajo la acción de las cargas. En el caso de condiciones de apoyo ideales (digamos una losa de un tramo con dos lados opuestos apoyados y los otros dos libres) existirán flexiones solamente en una dirección, la que presenta curvatura. Por ese motivo estas losas se indican con un círculo del cual parten dos brazos que indican la dirección de la flexión.

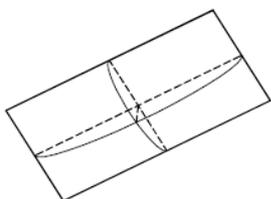


Figura 3.13

Por extensión suele llamarse así a losas que, aunque apoyadas en tres o cuatro lados, son suficientemente alargadas como para que los momentos en la dirección mayor puedan considerarse despreciables (según los reglamentos con relaciones de lado mayor/lado menor entre 1.5 y 2). En estas condiciones la deformada deja de ser cilíndrica pero las curvaturas en una y otra dirección son muy diferentes resultando los momentos según la dirección mayor muy pequeños (Figura 3.1.13) y por lo tanto pasibles de ser resistidos por una armadura reglamentaria denominada “de repartición”.

El trabajo estructural es básicamente unidireccional por lo que no se aprovecha íntegramente la capacidad resistente del hormigón.

Las vigas suelen disponerse según la dirección de mayor luz y son las responsables de la transferencia del 100% de la carga a las columnas. Por estas razones pueden resultar de dimensiones importantes.

### c) LOSAS ARMADAS EN DOS DIRECCIONES

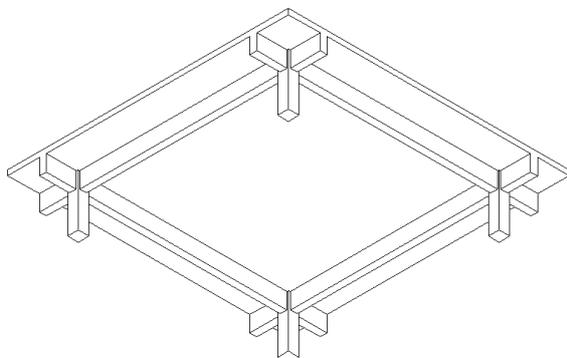


Figura 3.14

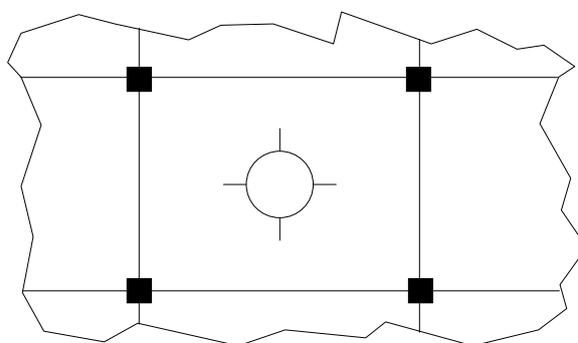


Figura 3.15

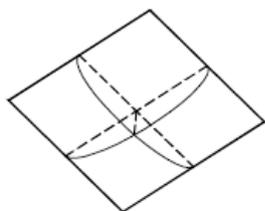


Figura 3.16

Los sistemas de losas armadas en dos direcciones, o losas cruzadas (Figuras 3.14 y 3.15), están compuestos por placas que, por sus condiciones de apoyo, tienden a deformarse de modo que las curvaturas máximas de tramo según las direcciones paralelas a los lados son del mismo orden (Figura 3.16). En consecuencia los momentos flectores también resultarán del mismo orden. Este funcionamiento bidireccional se indica en los planos mediante un círculo del que parten cuatro brazos paralelos a los lados.

El trabajo estructural incluye flexiones según dos direcciones y torsiones por lo que resultan más eficientes que las losas armadas en una dirección. Su funcionamiento es tanto más eficiente cuanto más se acerquen a la planta cuadrada.

#### d) ARMADURAS

Los comentarios que siguen están referidos a una distribución estructural sencilla indicada en la Figura 3.17. Este tipo de esquemas reciben el nombre de “planos de distribución de estructura”. La documentación final de obra debe incluir los denominados “planos de replanteo” en donde se acotan fillos significativos y fondos de losas y vigas como así también niveles de fundación. En los casos de fundaciones indirectas (pilotes, pilotines y pozos) se acota también el centro de las mismas.

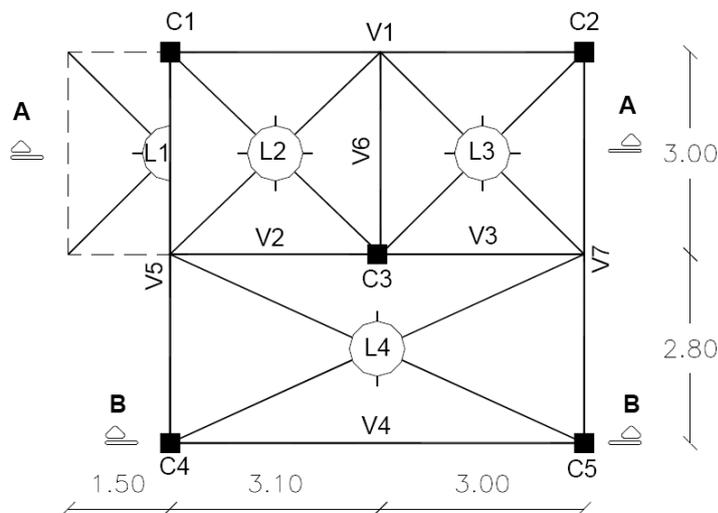


Figura 3.17

Nomenclatura:

- Las losas se indican con circunferencias o círculos. En su interior se indica el número de la losa ubicado luego de la letra “L” y, en oportunidades, también se indica su espesor. Las losas en voladizo (p.e. L1) se indican con media circunferencia ubicada sobre el empotramiento. Los lados libres (sin apoyo sobre vigas) suelen indicarse en línea punteada. El número de brazos que se prolongan por fuera de las circunferencias indican el funcionamiento estructural de las losas: un brazo indica voladizo, dos brazos corresponden a una losa en una dirección y cuatro brazos corresponden a losas en dos direcciones.
- Las vigas se indican con la letra “V” seguida del número de orden de la viga. Es frecuente indicar también su escuadría (ancho x altura total). Cuando se trata de vigas invertidas (se encuentran por encima de la losa) se utiliza la nomenclatura “VI” seguida del número de orden.
- Las columnas se indican con la letra “C” seguida del número de orden de la columna. Es frecuente indicar también su escuadría (lado en sentido “x” x lado en sentido “y”).

Las numeraciones de los elementos permiten saber en qué nivel se ubican:

- 1 en adelante: Planta Baja
- 101 en adelante: Primer Piso
- 201 en adelante: Segundo Piso .....

Si las plantas son muy grandes y el número de elementos puede superar el centenar puede sumarse mil para pasar de una planta a la otra.

En la Figura 3.18 se muestra, con la escala vertical forzada, el corte A-A indicado en la Figura 3.17. Los círculos con números en su interior representan a las diferentes posiciones de armaduras. Las armaduras destinadas a resistir momentos positivos se ubican inferiormente mientras que las armaduras destinadas a cubrir momentos negativos se ubican superiormente. Las armaduras para momentos negativos están compuestas por parte de la armadura inferior que ha sido doblada más armaduras adicionales denominadas caballetes (p.e. posición 9). Las armaduras de cálculo en losas se expresan en centímetros cuadrados por metro lineal (p.e. 2.3 cm<sup>2</sup>/m) mientras que en los planos se expresan indicando su diámetro y la separación entre ejes de barras paralelas (p.e. db 8 c/18 cm). Los diámetros de las armaduras se expresan en milímetros mientras que las separaciones, usualmente se indican en centímetros. Dependiendo de los reglamentos de referencia los diámetros de las armaduras se indican con “db” o con “ $\phi$ ”.

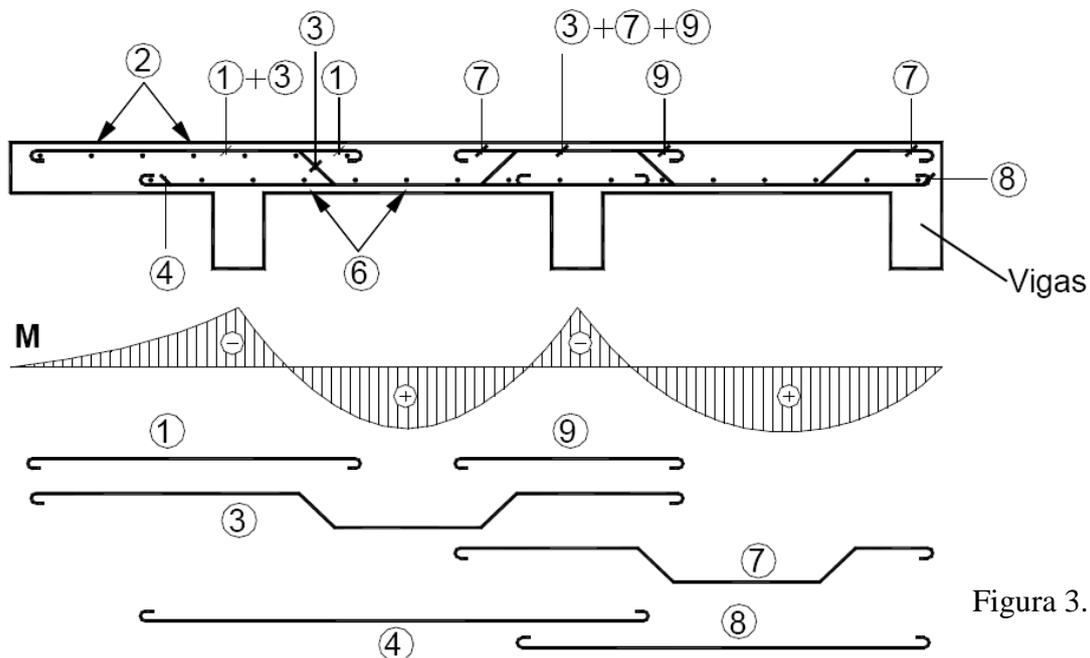


Figura 3.18

En la Figura 3.19 se muestra el corte B-B indicado en la Figura 3.17. El corte corresponde a la viga V4. Se aprecian allí las siguientes armaduras:

- Posición 1: Armadura inferior recta
- Posición 2: Armadura inferior doblada
- Posición 3: Armadura superior utilizada para el armado (perchas)
- Posición 4: Armadura de corte constituida por estribos cerrados

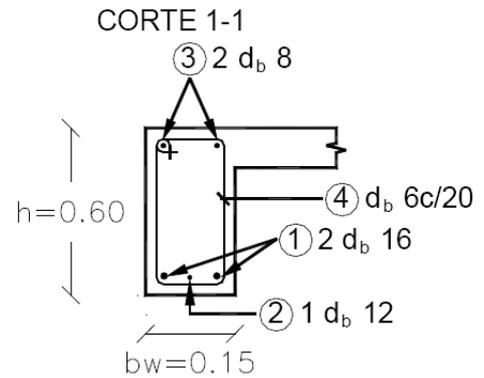
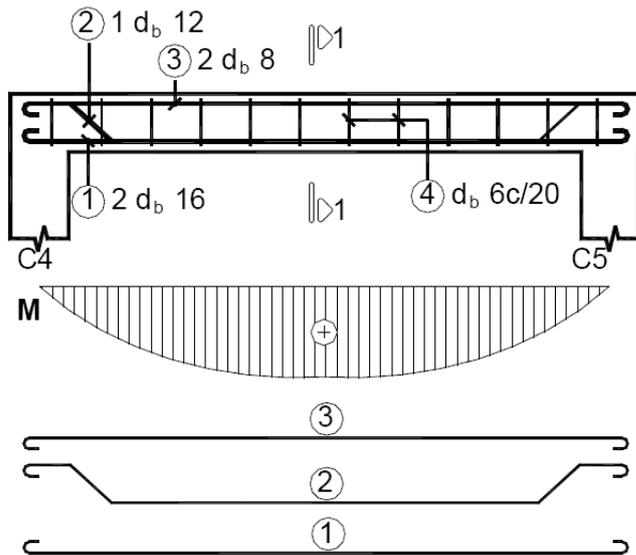


Figura 3.19

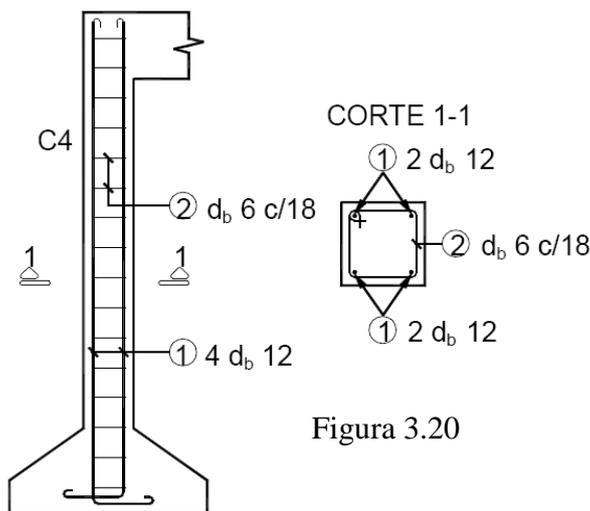


Figura 3.20

En la Figura 3.20 se muestran dos cortes correspondientes a la columna C4. Las armaduras principales de la columna son las longitudinales, indicadas con el número 1. Las armaduras secundarias están constituidas por estribos cerrados y llevan el número 2.

Las armaduras de las columnas se introducen dentro de las fundaciones. Muchas veces al hormigonar las fundaciones se dejan en ellas no las armaduras longitudinales definitivas de la columna sino barras más cortas,

denominadas chicotes, que luego se empalmarán con las armaduras longitudinales. Esto se hace por comodidad constructiva. Los chicotes suelen ser del mismo diámetro que las armaduras finales.

#### 4.- COMENTARIOS

- 1.- Los entrepisos sin vigas son estructuras poco eficientes. Aún así se los utiliza cuando por diferentes motivos se requiere una altura mínima de estructura. Si bien las losas de los entrepisos sin vigas resultan de mayor espesor que las losas de los entrepisos con vigas, la altura total del entrepiso resulta menor dado que la misma se mide hasta la parte más baja del entrepiso sea esta un fondo de losa o un fondo de viga.
- 2.- Los entrepisos con vigas son las soluciones más frecuentes para edificios de viviendas unifamiliares y para la mayoría de los edificios en altura.

- 3.- En general las vigas se ubican por debajo de las losas. En oportunidades, por razones arquitectónicas, las vigas pueden disponerse por encima de las losas. En esos casos se habla de “vigas invertidas”.
- 4.- Desde el punto de vista del replanteo, tanto las vigas como las losas requieren la definición de su cota inferior.
- 5.- Algunos arquitectos solicitan el uso de las denominadas “vigas cinta” (figura 4.3). La particularidad de estas vigas consiste en que su ancho es mayor que su altura.
- 6.- Cuando sobre una losa armada en una dirección actúa una carga lineal paralela al lado menor (por ejemplo una pared), los reglamentos permiten tomar esa carga mediante un aumento localizado de la armadura de flexión denominado “refuerzo”.

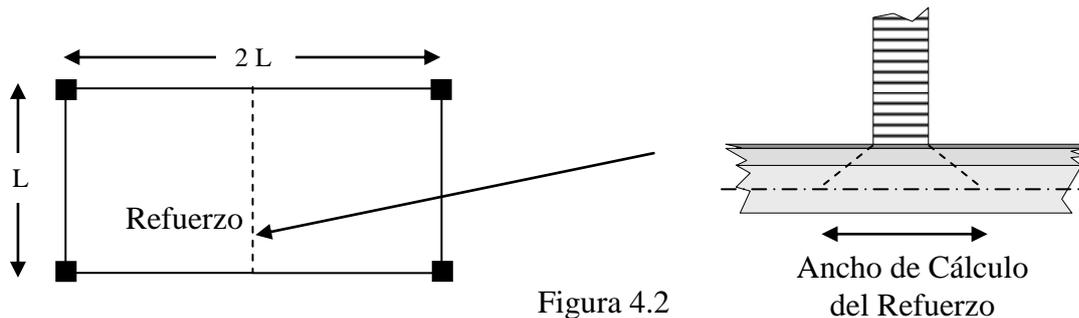


Figura 4.2

## 5.- RECURSOS PARA EXTENDER EL RANGO DE LUCES DE UTILIZACIÓN DE ENTREPISOS DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL

### a) GENERALIDADES

En general las alturas necesarias de los diferentes elementos de un entrepiso vienen dadas por condiciones de rigidez (flechas admisibles máximas, vibraciones, condiciones de apoyo relativo). Las alturas se traducen en pesos y los pesos en solicitaciones y deformaciones lo que hace que cada sistema de entrepiso tenga un rango de luces económico de utilización. Para extender este rango se suele recurrir al uso de estructuras alivianadas y/o al uso del pretensado.

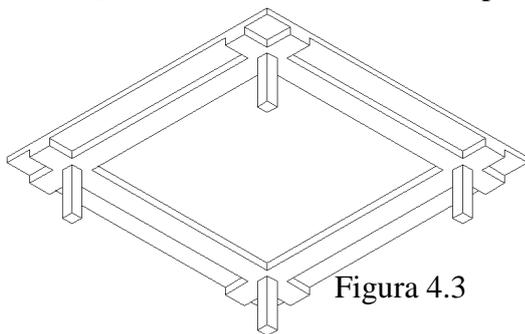


Figura 4.3

### b) ALIVIANAMIENTO

En el cálculo de armaduras de estructuras de hormigón armado flexadas se supone que la resistencia a tracción del hormigón es nula y, a los efectos de la determinación de las armaduras, ésta resulta una hipótesis válida. Generalizando este concepto se ha recurrido a la eliminación de una parte significativa del hormigón en las zonas traccionadas de modo disminuir el peso propio. Si bien este recurso resulta totalmente válido, debe recordarse que el hormigón traccionado ubicado entre fisuras sí tiene una importante influencia en el control de las deformaciones dado que disminuye la deformabilidad del acero por lo que es posible que una estructura alivianada requiera algo más de altura que una estructura maciza de igual tipología y luz (no se puede

generalizar porque la disminución del peso también provoca una disminución en las deformaciones).

Tanto los entrepisos sin vigas como las losas armadas en dos direcciones resisten las cargas mediante mecanismos internos de flexión y torsión, resultando esta última un aporte no despreciable. Los aligeramientos terminan definiendo nervios con muy baja rigidez propia a la torsión. Como veremos al hablar de emparillados, salvo que se adopten disposiciones de nervios muy particulares este aporte llega a perderse casi totalmente.

En la Figura 5.1 se muestra la trayectoria de momentos principales de en un entrepiso sin vigas con trama de columnas cuadrada. Si los nervios de una estructura aligerada pudieran orientarse según las trayectorias de los momentos principales se obtendría una estructura que funcionaría en forma muy parecida a la estructura maciza pero sin necesidad de resistir torsiones. Este hecho fue aprovechado por el arquitecto Pier Luigi Nervi quien proyectó y construyó la estructura para un edificio industrial cuya planta puede verse en la Figura 5.2 y cuyo aspecto corresponde al de la fotografía de Figura 5.3.

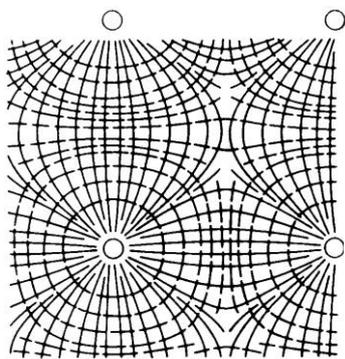


Figura 5.1

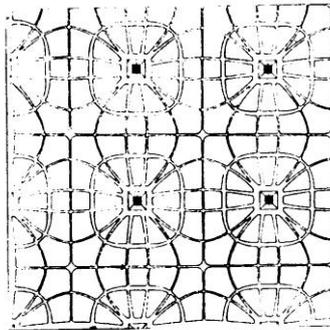


Figura 5.2



Figura 5.3

Indudablemente este tipo de geometrías resulta muy atractivo visualmente pero su costo de ejecución hace que prácticamente no se utilice en nuestros días.

En la actualidad la distribución más generalizada de aligeramientos es la que se ve en las Figuras 5.4 a 5.6.

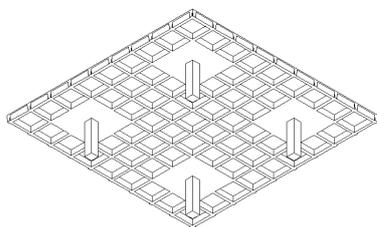


Figura 5.4

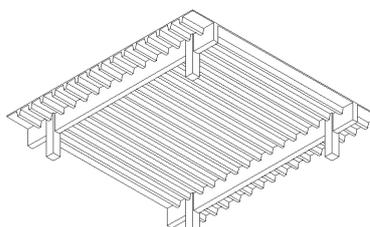


Figura 5.5

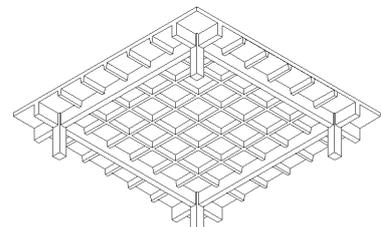


Figura 5.6

En la Figura 5.4 se aprecia que el aligeramiento no alcanza las zonas próximas a las columnas. En estos sectores la estructura es maciza. Esto se debe a que es necesario contar con espesor de hormigón para resistir el punzonamiento y además porque las sollicitaciones de flexión producen momentos negativos que originan compresiones en la cara inferior las que, con frecuencia, no pueden ser tomadas por la sección de hormigón de los nervios.

En sistemas de nervios paralelos como el que se muestra en la figura 5.5 también puede ser necesario macizar las zonas próximas a las vigas para tomar los esfuerzos de corte y los momentos negativos. Con el mismo propósito podría recurrirse a aumentar localmente el ancho de los nervios pero esto es más complicado desde el punto de vista de los encofrados y de la distribución de armaduras. Dependiendo de la magnitud de las cargas y de la separación entre nervios puede ser necesario disponer uno o más nervios transversales intermedios. Estos nervios colaboran también repartiendo entre varios nervios longitudinales las acciones que pudieran originar eventuales cargas concentradas. Las separaciones máximas de nervios, espesores mínimos de losas y cantidad mínima de nervios transversales están fijados por los reglamentos.

En casos como el de la Figura 5.6 el sector macizado se extiende a todo el perímetro de la losa (no hay casetones en contacto con las vigas) aunque en el dibujo no esté indicado.

La utilización de sistemas de nervios rectos ortogonales para el aligeramiento de entrepisos sin vigas y de losas cruzadas es muy común.

El hecho de recurrir a estructuras con nervios puede requerir el uso de estribos aunque estos no resultaran necesarios en la estructura maciza. Esto se debe a la menor sección disponible para resistir los esfuerzos de corte. En general esto se produce para luces relativamente importantes.

Los aligeramientos pueden realizarse eliminando la zona de hormigón y dejando en su lugar un hueco (encofrado mediante casetones recuperables) o bien reemplazándola por encofrados perdidos más livianos constituidos por elementos cerámicos (p.e. ladrillos huecos) o materiales sintéticos (p.e. bloques de poliestireno expandido). El uso de elementos muy livianos suele requerir la necesidad de fijarlos al encofrado para evitar su flotación durante el hormigonado.

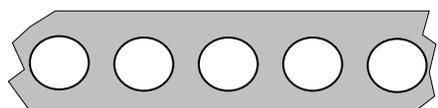


Figura 5.7

El aligeramiento también puede materializarse generando vacíos en el interior de la estructura de modo de que no resulten visibles (figura 5.7). Para lograrlo se recurre al uso de tubos y de bloques de acuerdo a que se trate de estructuras que funcionen en una o en dos direcciones. Estos elementos deben ser fijados para que mantengan su posición y para evitar su flotación. Sólo pueden aligerarse de esta forma elementos de espesores importantes pues deben respetarse espesores mínimos para la cara superior y para la inferior. Asimismo la geometría general debe permitir un adecuado hormigonado. El uso más frecuente de este tipo de soluciones se encuentra en las estructuras premoldeadas pues los vacíos pueden generarse directamente por extrusión del hormigón fresco y en las estructuras para puentes (p.e. puentes losa aligerados). En caso de requerirse armadura de alma (estribos) la presencia de huecos internos complica su disposición. El uso de elementos de aligeramiento internos (dependiendo obviamente de sus dimensiones y distribución) resiente mucho menos el funcionamiento torsional por lo que las solicitaciones podrán parecerse mucho a las de los elementos macizos.

## c) PRETENSADO

### c.1.) Generalidades

Uno de los méritos más interesantes del pretensado es el de controlar y aún anular la fisuración por flexión obteniéndose de esta forma elementos más rígidos. Lo anterior significa que para obtener la misma rigidez que un determinado elemento de hormigón no pretensado podremos, al pretensar, utilizar elementos de menor altura y por lo tanto de menor peso propio. Rigidez y peso propio son los responsables de limitar el rango de luces económico para cada sistema estructural por lo que aumentando la rigidez y/o disminuyendo el peso propio se podrá extender el rango de luces económico de cualquiera de los sistemas estructurales que hemos estado analizando.

El aligeramiento, el pretensado o la suma de ambos pueden utilizarse aún para rangos en los que las estructuras macizas todavía son competitivas dado que la disminución en el peso propio puede resultar interesante en estructuras de varios pisos para no tener que recurrir a secciones de columnas muy grandes y también para solicitar menos a las fundaciones. Asimismo bajar el peso propio resulta interesante en el campo de la prefabricación pues para el mismo equipamiento permite transportar y montar elementos de mayor tamaño.

Al solo efecto de aclarar terminologías recordaremos aquí que existen básicamente dos tipos de pretensado: el pretensado en el cual los cables se ponen en tensión antes del hormigonado de las piezas y el postesado en el que los cables se ponen en tensión una vez que el hormigón a

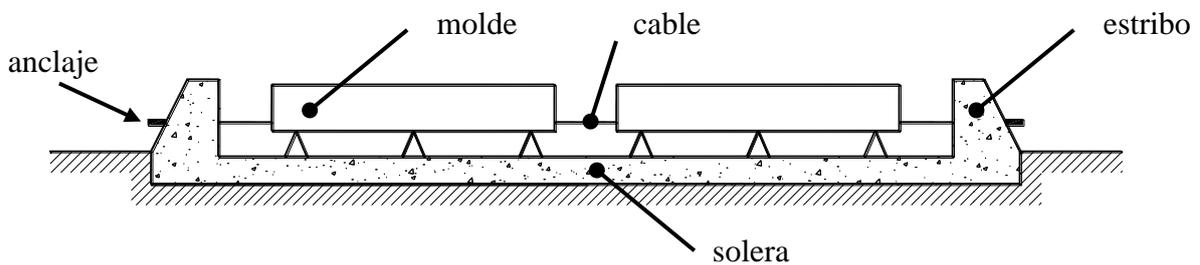


Figura 5.7.a

endurecido. En el primer caso se requiere de un banco de tesado (Figura 5.7.a) en el que, luego de tesados, los cables se anclan temporalmente hasta que el hormigón adquiere suficiente resistencia como para transferirle la carga al liberar los anclajes situados en los extremos de los cables. En el segundo caso los cables dispuestos dentro de vainas son tesados una vez que el hormigón adquirió resistencia suficiente mediante el uso de gatos de pretensado que reaccionan contra el hormigón endurecido (Figura 5.7.b).

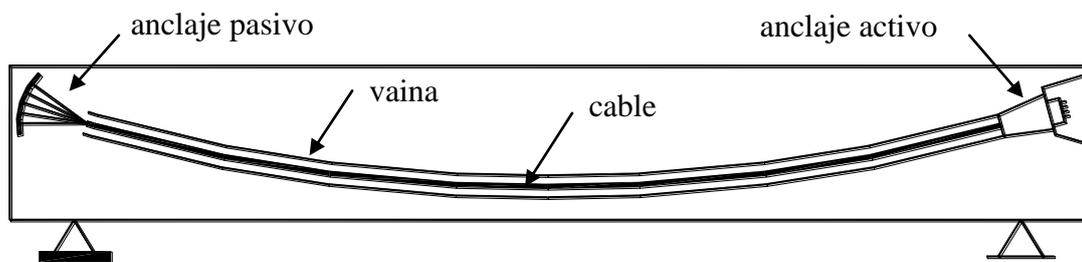


Figura 5.7.b

Hablaremos en lo que sigue del pretensado postesado dado que el uso de elementos pretensados cae en el rango de las estructuras prefabricadas las que serán tratadas en un punto posterior.

Si bien casi cualquier elemento puede ser pretensado, en edificios el uso más difundido de esta tecnología se ha dado en los entrepisos sin vigas. Esto se debe a que la tarea de ubicar los cables resulta particularmente sencilla por la escasa interferencia con los encofrados y las armaduras pasivas. En estas condiciones la disposición de los cables y el postesado se transforman en tareas casi industrializadas con la consiguiente disminución de costos.

En estos casos se recurre al uso de cables dispuestos dentro de vainas. Según esas vainas sean inyectadas con lechada de cemento luego del tesado o bien se trate de cables engrasados en fábrica que no van a ser inyectados posteriormente se hablará de postesado con o sin adherencia.

### c.2) Distribución en Planta de los Cables en Entrepisos Sin Vigas Pretensados

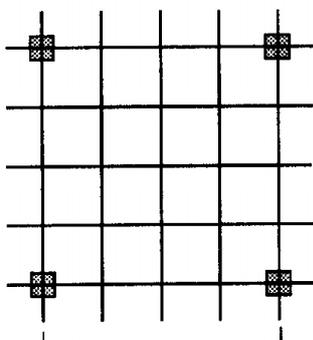


Figura 5.13

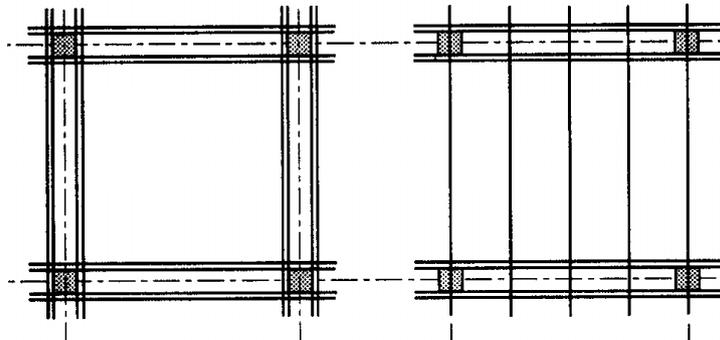


Figura 5.14

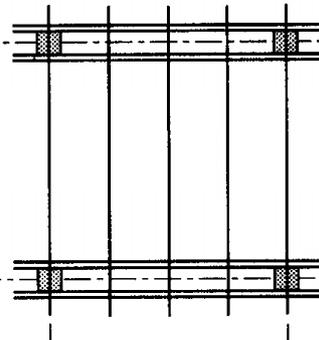


Figura 5.15

La disposición en planta de los cables de pretensado en un entrepiso sin vigas puede adoptar cualquiera de las configuraciones que se muestran en las Figuras 5.13 a 5.15. La disposición de la Figura 5.13 es la menos frecuente. La de la 5.14, que concentra todos los cables sobre las fajas de columna, requiere de una cantidad importante de armadura pasiva (armaduras convencionales no pretensadas) en la zona no cubierta por los cables. La de la 5.15 es de las más utilizadas, en ella se concentran los cables en una dirección sobre las fajas de columnas y los cables normales se distribuyen en forma uniforme. Las consideraciones sobre el funcionamiento de cada distribución exceden el alcance de estas notas.

## 6.- EMPARRILLADOS

### a) GENERALIDADES

Denominaremos emparrillados a las estructuras formadas por dos o más familias de nervios de alma llena o calada (reticulados) interconectados en sus puntos de cruce de modo garantizar en dichos puntos la igualdad de desplazamientos de todos los nervios concurrentes. En el caso de estructuras para entrepisos, los emparrillados rematan superiormente en una superficie

destinada a recibir las cargas de utilización. Como veremos enseguida, esta superficie puede tener funciones estructurales que van mucho allá de crear una superficie transitable entre nervios.

En forma arbitraria, en el caso de estructuras de hormigón estructural dejaremos de hablar de estructuras aligeradas (p.e. losas casetonadas) para hablar de emparrillados cuando los nervios presenten armaduras de alma (corte y torsión).

Si bien gran parte de lo que se dirá en los párrafos siguientes es de validez general, estas notas están orientadas principalmente a estructuras de hormigón armado “in situ”. Mientras no se aclare lo contrario los razonamientos que siguen estarán referidos a cargas uniformemente distribuidas sobre el entrepiso.

## b) TRAMAS O MALLAS

Los nervios de los emparrillados pueden presentar diferentes disposiciones de acuerdo fundamentalmente a la forma de la planta a cubrir y a las condiciones de apoyo.

A efectos de contar con un panorama de tramas, en la Figura 6.1 se muestran algunas de las disposiciones más usuales.

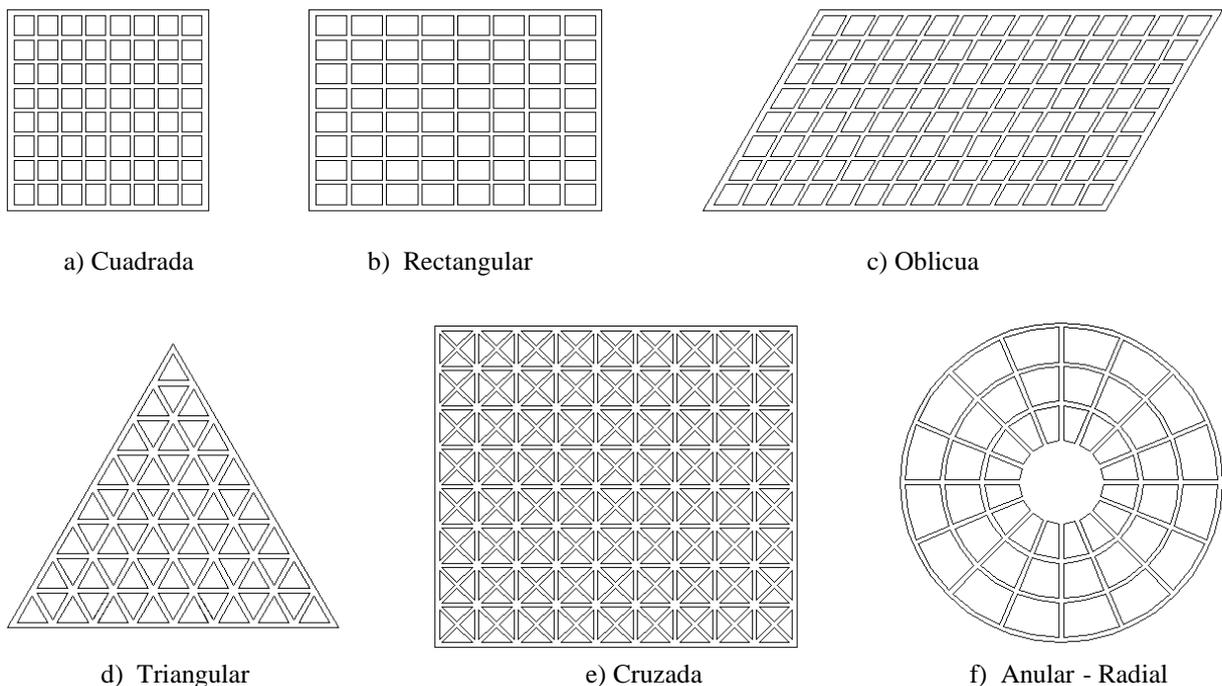


Figura 6.1

Cualquiera sea el material de los nervios (hormigón o acero de alma llena o calada), la superficie de tránsito suele estar constituida por una losa de hormigón armado (“in situ” o parcialmente premoldeada).

## 7.- ENTREPISOS COMPUESTOS

### a) GENERALIDADES

Si bien hasta aquí estas notas han estado referidas fundamentalmente a estructuras ejecutadas “in situ”, haremos una breve referencia a otras modalidades constructivas conocidas como “entrepisos compuestos” y caracterizadas por la utilización de elementos prefabricados.

Los tamaños y pesos máximos de los elementos pretensados a movilizar estarán condicionados por el utilaje disponible y por el espacio en el que se desarrollará la obra. También estarán asociados al plazo de ejecución de la obra, al costo relativo entre mano de obra y equipos para el montaje y a las luces a cubrir.

A diferencia de las estructuras de hormigón construidas íntegramente “in situ”, la mayoría de los entrepisos compuestos deben ser verificados tanto para el estado final (estructura compuesta) como para estados intermedios de construcción para los cuales suelen requerirse apuntalamientos temporarios y, en algunos casos, encofrados.

### b) CLASIFICACIÓN

Adoptaremos aquí el criterio de clasificación utilizado por la FIB en su guía “Composite Floor Structures” de mayo de 1998 donde se discrimina entre:

- Losas Compuestas
- Vigas de Hormigón Compuestas
- Vigas de Acero Compuestas
- Sistemas Compuestos por Vigas y Bloques

Analizaremos brevemente cada una de estas categorías.

### c) LOSAS COMPUESTAS

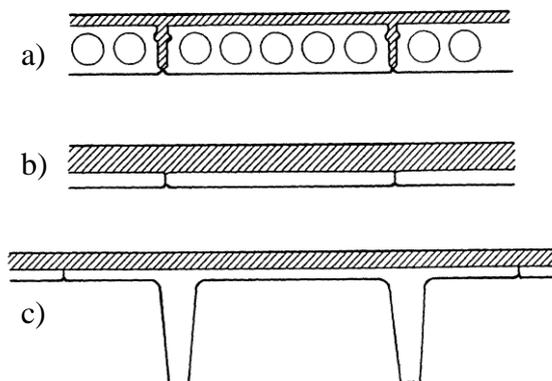


Figura 7.1

Las losas compuestas consisten en losas prefabricadas a las que, una vez montadas, se les adiciona una capa superior de hormigón colado “in situ”. Se debe asegurar el funcionamiento monolítico de ambos hormigones a través de la adherencia que se desarrollará en la interfase o, de ser necesario, mediante el uso de conectores metálicos.

Como se aprecia en la Figura 7.1.a) a c), estas losas pueden presentarse básicamente tres aspectos: Losas huecas, Placas y Unidades Pi <sup>1</sup>( $\pi$ ).

<sup>1</sup> En inglés se las conoce como “double-T units” o “double Tee beams” pero la traducción literal al castellano podría llevar a confusión pues esas denominaciones harían pensar en perfiles doble T simétricos.



Figura 7.2

La observación de las secciones transversales anteriores permite comprender que estos sistemas trabajan fundamentalmente en una dirección. Si sobre un elemento del sistema actuara una carga concentrada o lineal paralela a la luz de flexión, la capacidad de distribución transversal hacia elementos adyacentes será muy limitada aunque no nula.

### c.1.) Losas Huecas o Alveolares o Aligeradas (Hollow core slabs)

Las losas huecas se fabrican mediante extrusión o mediante encofrados deslizantes utilizando en ambos casos hormigón con muy bajo asentamiento.

En la mayoría de los casos la cara superior posee naturalmente suficiente rugosidad como para asegurar la adherencia requerida sin necesidad de recurrir al uso de conectores.

En la actualidad casi la totalidad de estas losas (se las suele denominar losetas por su reducido ancho) se ejecutan en hormigón pretensado con anchos que van desde los 0.30 a los 2.40 metros y con espesores entre 0.10 y 0.42 metros. En estructuras compuestas pueden salvar vanos de hasta 18 metros.

En nuestro país se fabrican losetas pretensadas en anchos de 0.30, 0.60 y 1.20 metros con espesores que van de 0.10 a 0.30 metros y con luces máximas de hasta 16 metros. Los largos comerciales varían de 0.10 en 0.10 metros.

Es típico que los fabricantes entreguen tablas para la selección de sus productos de acuerdo a las luces y sobrecargas a utilizar.

Las losas comerciales están proyectadas para trabajar hasta un determinado nivel de cargas como estructuras simples, es decir sin capa de compresión. Su rigidez y resistencia pueden mejorarse transformándolas en estructuras compuestas mediante el agregado de una capa superior de hormigón "in situ".

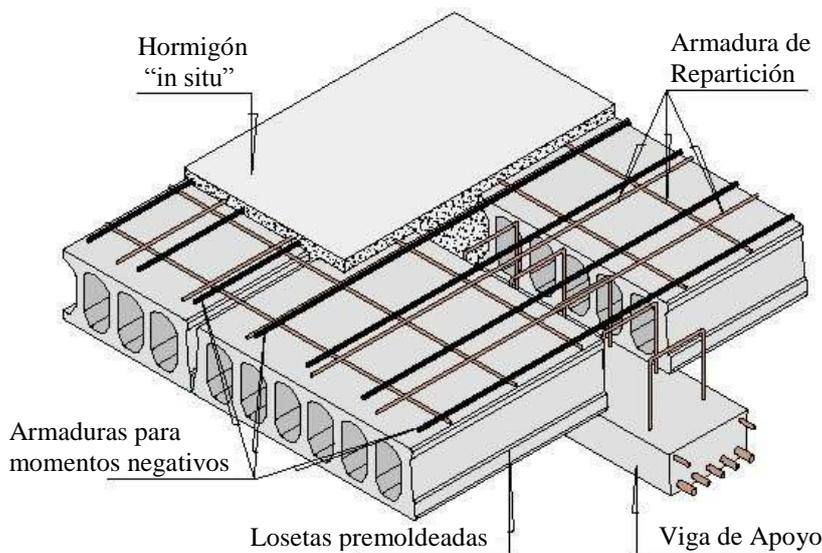


Figura 7.3

Siempre debe recordarse que estos elementos (como otros que veremos enseguida) están preparados para resistir momentos positivos por lo que, si se desea hacerlos trabajar en voladizo o darles continuidad con elementos adyacentes, debe ejecutarse una capa de hormigón superior e incluir armadura en ese espesor de modo de asegurar la resistencia frente a momentos negativos (Figura 7.3). Asimismo, en las zonas de apoyos, debe asegurarse que el hormigón “in situ” penetre en los alvéolos de las losas de modo de crear el mecanismo de funcionamiento conjunto con la viga.



Figura 7.4

Como acabamos de comentar, las losetas (sobre todo las pretensadas) tienen una cara superior y una cara inferior por lo que se las debe acopiar respetando la posición de estas caras. En caso contrario pueden producirse daños o, más frecuentemente si el tiempo de acopio ha sido suficientemente largo, deformaciones por creep muy difíciles de revertir.

El peso de las losetas hace que sea prácticamente imposible pensar en un montaje sin medios mecánicos auxiliares<sup>2</sup> (Figura 7.4).

### c.2) Placas (Solid planks)

Las placas se utilizan como encofrados perdidos para la ejecución de losas hormigonadas “in situ”. Sus anchos varían entre 0.60 y 2.40 metros y sus longitudes entre 1.50 y 8.00 metros. Sus espesores van de 0.04 a 0.10 metros y nunca superan el 50% de la altura total del elemento compuesto. Pueden ejecutarse tanto en hormigón armado como pretensado. Si las placas tienen la longitud total del vano a salvar pueden contener parte o la totalidad de la armadura final en una de las direcciones de la losa compuesta. La otra armadura deberá ser dispuesta siempre “in situ”.

El límite mínimo de participación estructural de una placa sería actuar como encofrado perdido formando parte del recubrimiento.

Si la losa compuesta requiriera armadura de corte, podrían incorporarse reticulados parcialmente embebidos en las placas de modo de no tener que disponer armadura de corte “in situ”.

Si la placa contuviera gran parte o la totalidad de la armadura de la losa compuesta, las tensiones de adherencia necesarias podrían superar a las disponibles en una junta entre hormigón endurecido y hormigón fresco por lo que se requeriría la presencia de armaduras que actúen como pasadores. En general estas armaduras resultan de pequeño diámetro y se utilizan además como puntos de toma del utilaje para el movimiento en obra de las placas.

Por su pequeño espesor estas placas requieren en muchos casos el uso de apuntalamientos temporarios.

---

<sup>2</sup> A título de ejemplo, una loseta de 0.30 metros de ancho y 0.095 m de espesor pesa 44 kg por metro lineal.

### c.3) Unidades Pi (Double-T units)



Figura 7.5

Las unidades Pi ( $\pi$ ) pueden presentar anchos de hasta 2.4 y aún 3.0 metros y alturas entre 0.3 y 1.2 metros<sup>3</sup>. Las losas pueden presentar espesores entre 0.04 y 0.07 metros. Pretensadas pueden alcanzar luces de hasta 25 metros.

Como en el caso de las losas aligeradas estas estructuras pueden llevar capa de hormigón “in situ” o no. En este último caso no se tratará de una estructura compuesta.

Para cualquiera de las estructuras vistas hasta ahora se recomienda que las capas de hormigón “in situ” no tengan un espesor menor a 0.04 metros, que el tamaño máximo del agregado grueso no supere un tercio del espesor de la capa y que, de ser transitable, el hormigón tenga una adecuada resistencia al desgaste. Las capas de hormigón “in situ” pueden ir armadas o no. Cuando se prevean acciones dinámicas estas armaduras son obligatorias.

Las capas de hormigón “in situ” pueden utilizarse para disponer armaduras sobre los apoyos de modo de dar continuidad a los diferentes elementos premoldeados y armaduras transversales que mejoren el comportamiento frente a cargas concentradas.

### c) VIGAS DE HORMIGÓN COMPUESTAS

Estas estructuras constan de una viga de hormigón ejecutada en una primera etapa (puede ser prefabricada u hormigonada “in situ” con anterioridad a la ejecución de la losa) y losas de hormigón ejecutadas en una segunda etapa (las losas pueden ser hormigonadas “in situ” o prefabricadas).

En estos casos se deja armadura de conexión entre las vigas y las losas a construir. Estas armaduras suelen denominarse conectores y se dimensionan de modo de asegurar el funcionamiento solidario de la estructura compuesta. Cada tipo de losa prefabricada requiere de detalles constructivos particulares en su encuentro con las vigas. Asimismo, de acuerdo al tipo de losa utilizado, podrán variar los anchos colaborantes a utilizar en el cálculo de las vigas.

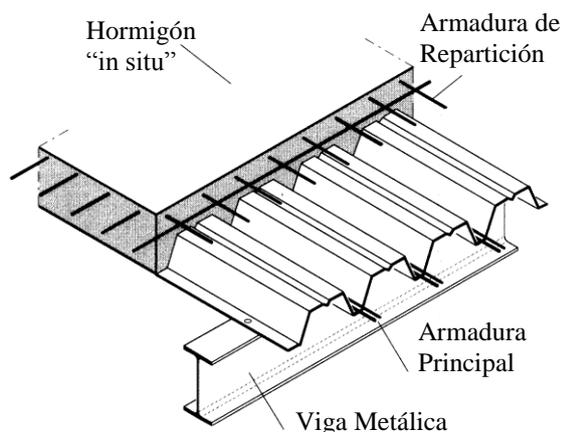


Figura 7.6

### d) VIGAS DE ACERO COMPUESTAS

Tradicionalmente se ha denominado como “estructuras mixtas” a las ejecutadas combinando el uso de elementos metálicos con elementos de hormigón. En particular nos referiremos a la combinación de vigas de acero con losas de

<sup>3</sup> Es difícil decir si estamos frente a una losa en una dirección aligerada o bien frente a una viga.

hormigón.

La Figura 7.6 muestra una estructura mixta constituida por una viga metálica y una losa mixta. Las losas mixtas<sup>4</sup> se ejecutan utilizando encofrados metálicos perdidos que actúan parcial o totalmente como armadura definitiva de la losa. Estos encofrados suelen ser de chapa plegada y, según los casos, pueden requerir la presencia de conectores no solamente en la viga sino también en la chapa.



Figura 7.7

especialmente para construir losas mixtas tienen algún tipo de indentación para asegurar el trabajo conjunto aún para solicitaciones elevadas (Figura 7.7). Por pedido estas chapas pueden venir de fábrica con la cara expuesta pintada.

Las estructuras mixtas se proyectan de modo que la viga de acero tome las tracciones y el hormigón de las losas las compresiones. En general estas estructuras se proporcionan de modo de que el eje neutro caiga dentro de la zona de hormigón.

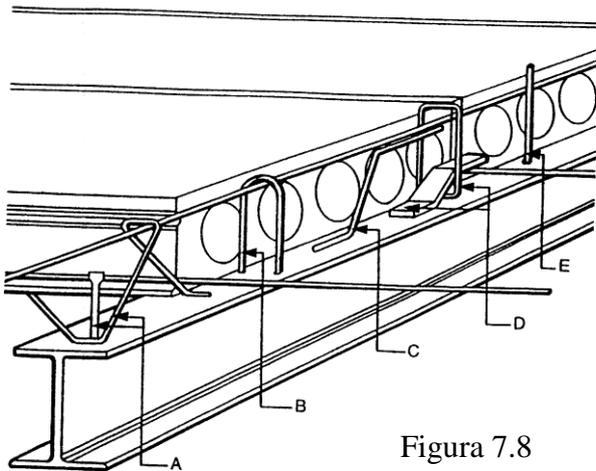


Figura 7.8

El funcionamiento conjunto se logra mediante conectores metálicos que se sueldan en la cara superior de la viga. En la Figura 7.8 se muestran diferentes tipos de conectores (A a E) en una estructura mixta en la que la losa se materializa a partir de losetas huecas pretensadas.

Para vigas isostáticas la geometría más adecuada para la viga metálica sería asimétrica, concentrando la mayor cantidad de acero en la zona inferior.

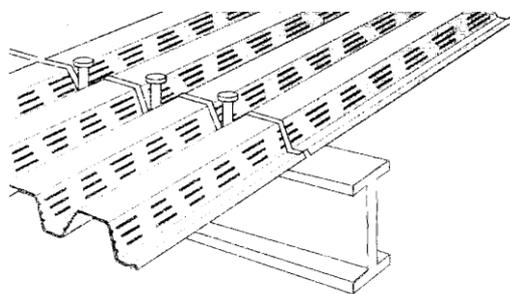


Figura 7.10

Cabe acotar que al hablar de viga metálicas se está haciendo referencia tanto a perfiles laminados como armados, de chapa doblada y aún de reticulados metálicos.

Para que la colaboración del hormigón pueda desarrollarse totalmente los conectores deben ser adecuadamente proyectados y ejecutados. Los conectores más frecuentemente utilizados en la práctica son los pernos con cabeza (headed studs).

<sup>4</sup> En nuestro medio se han ejecutado algunas losas utilizando esta tecnología y se conocen con el nombre de marcas comerciales: Steel Deck y Losacero.

Estos pernos (Figura 7.10) pueden soldarse en taller o en obra. En el mercado se comercializan equipos de soldadura portátiles específicos de muy alta eficiencia para su uso en obra. Estos equipos permiten instalar los pernos atravesando las chapas por lo que el procedimiento es muy rápido y cómodo dado que no requiere el corte de las chapas al pasar por sobre las vigas.

La resistencia al corte de la sección compuesta se asigna enteramente al alma de la viga metálica.

## e) SISTEMAS COMPUESTOS POR VIGAS Y BLOQUES

Los sistemas compuestos por vigas y bloques representan el escalón inferior en lo que hace a pesos a mover en obra y el escalón superior en cuanto a elementos individuales a movilizar por metro cuadrado de entrepiso terminado. Esto significa que estamos en el mayor costo de mano de obra.

Para entrepisos convencionales de viviendas los elementos más pesados de estos sistemas (las viguetas) pueden ser manipulados por dos personas por lo que no se requieren utilajes especiales y se puede trabajar en espacios reducidos. Se trata de sistemas ideales para cubrir pequeñas superficies o para obras con baja disponibilidad de equipamiento.

Las vigas de estos elementos suelen ser de pequeño porte y en nuestro país se conocen con el nombre de viguetas (Figura 7.11). Hoy se construyen casi exclusivamente en hormigón pretensado.

En la Figura 7.12 se aprecia una perspectiva de una configuración típica donde se ven las viguetas, los bloques (en este caso cerámicos) y una malla de armadura de pequeño diámetro destinada al armado de la capa de hormigón "in situ". El espesor de esta capa no debería ser menor que 0.04 metros y es, junto con la altura de los bloques, uno de los elementos de proyecto utilizados para modificar la altura total de la estructura compuesta y, por consiguiente, también su peso propio y su resistencia.

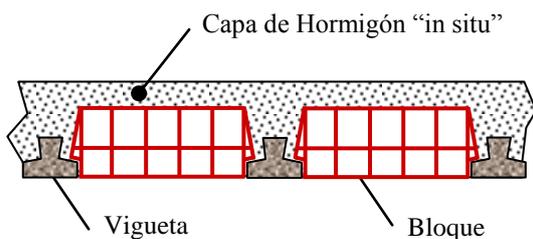


Figura 7.11

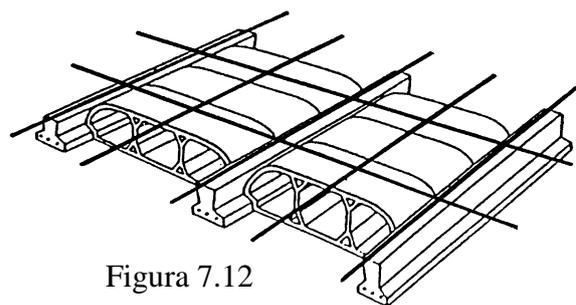


Figura 7.12

En la Figura 7.13 se muestran tres tipos de viguetas. El caso a) corresponde a una sección típica de viguetas de hormigón armado convencional (no se comercializan en nuestro país para el uso en entrepisos). El caso b) corresponde a lo que se conoce con el nombre de semiviguetas y el c) representa una típica viga pretensada (son las más usadas en nuestro país).

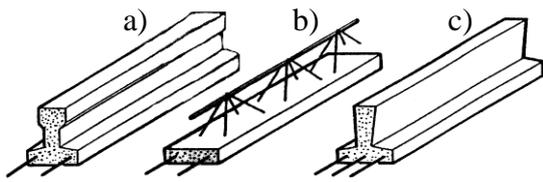


Figura 7.13

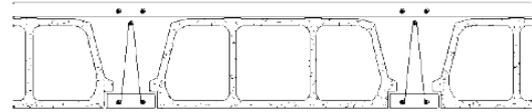


Figura 7.14

En la Figura 7.14 se ha esquematizado el corte de un entrepiso construido con semiviguetas. Estos elementos son más livianos de manipular y más económicos que las viguetas pretensadas pero requieren un apuntalamiento más denso y el entrepiso resultante presenta menor rigidez para iguales alturas totales.

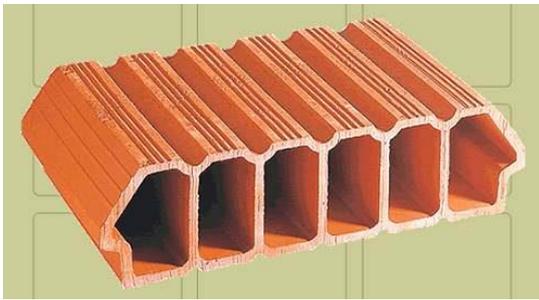


Figura 7.15

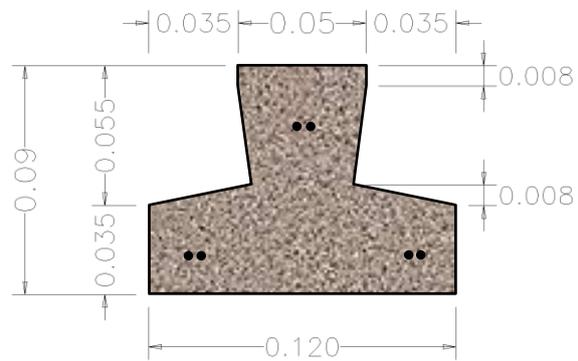


Figura 7.16

Si bien pueden solicitarse longitudes a medida, las viguetas se encuentran en el mercado en largos tipificados (varían de 0.10 en 0.10 metros entre 1.10 y 7.20 metros) y los fabricantes suelen proveer tablas indicando las sobrecargas admisibles de acuerdo a las luces y geometría del entrepiso (separación y tipo de viguetas, geometría de los bloques y altura de la capa de hormigón “in situ”).

Los bloques pueden ser de mortero de cemento y granza (se los conoce como bloques de hormigón), cerámicos o de materiales sintéticos (p.e. poliestireno expandido) y se comercializan en diferentes alturas de modo de poder lograr diferentes espesores estructurales aún para una misma geometría de vigueta. En nuestro país (Figura 7.15) las alturas más frecuentes son 9, 11, 13 y 16 (ó 17) centímetros y las dimensiones de los bloques (42 centímetros de ancho y 25 centímetros de largo), hacen que, para las dimensiones ordinarias de viguetas (Figura 7.16), la separación entre ejes de viguetas sea de 50 centímetros y que se requieran 8 bloques por metro cuadrado de entrepiso.



Figura 7.17

Cuando se desea aumentar la resistencia de un entrepiso o bien cuando existe una carga lineal paralela a la luz de flexión del entrepiso (por ejemplo una pared) puede recurrirse al uso de dos o más viguetas puestas una junto a la otra (Figura

7.17). En estos casos, y para las dimensiones de elementos que se comercializan en nuestro medio la separación entre ejes de pares de viguetas es de 62 centímetros y se necesitan 6.45 bloques por metro cuadrado de entrepiso.

De todas formas, si bien se fabrican viguetas de algo más de 7 metros, es difícil lograr sobrecargas de uso interesantes para luces mayores a los 5 metros.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- 1.- Calavera , J, “Proyecto y Cálculo de Hormigón Armado para Edificios, Tomos I y II”, INTEMAC, 1984
- 2.- Leonhardt, Fritz, “Estructuras de Hormigón Armado – Tomo 3 – Bases para el armado de estructuras de hormigón armado”, Editorial El Ateneo, 1985.
- 3.- Timoshenko S. et al, “Teoría de Placas y Láminas”, Editorial Urmo, 1975
- 4.- Trabajo Práctico #1 – Hormigón Armado I. CEILP