

ausencia de



VIGAS
vigas

ENTREPISOS SIN VIGAS: INTRODUCCIÓN

La arquitectura contemporánea se caracteriza por el diseño de espacios amplios, flexibles, diáfanos, que permiten adaptarse a diferentes usos o distintas envolventes sin que la estructura sea una limitación. Para este tipo de arquitectura, las losas que apoyan directamente sobre columnas (sin vigas a la vista) constituye la tipología estructural por excelencia. Prescindir de vigas que definan el espacio es una de las premisas más requeridas por los diseñadores.

Estas estructuras son conocidas también como entrepisos planos o directamente losas sin vigas. Generalmente se emplean para resolver grandes superficies planas: oficinas, estacionamientos, áreas comerciales y en los últimos tiempos comienza a replicarse en viviendas. Según como se resuelva la losa (maciza o alivianada) y como se resuelvan los apoyos (con o sin capitel), pueden cubrir sin mayores inconvenientes luces de hasta 12 metros.

A fin de conseguir mayores luces o menores espesores, se pueden incorporar procesos de postesado.

Tipos de entrepisos

ENTREPISOS DE HORMIGÓN ARMADO

TRADICIONAL

Constituido por losas y vigas. Losas macizas, alivianadas vistas (encofrados removibles) o con elementos internos (encofrados perdidos).

ENTREPISO SIN VIGAS

Constituido por losas que apoyan en columnas. Losas macizas, alivianadas vistas (encofrados removibles) o con elementos internos (encofrados perdidos).

ENTREPISO POSTESADO

Constituido por losas macizas o alivianadas que incorporan en su armadura, una serie de cables de acero que serán tensados una vez hormigonada la losa.

ENTREPISO PRE-TENSADOS

Constituidos por elementos prefabricados (losas huecas o alveolares, paneles pl, entre otros)

ENTREPISOS MIXTOS

Combinan acero y hormigón.

Los antecedentes de este tipo de losas se remontan a inicios del siglo XX en Rusia y EEUU. Durante esos años los métodos de cálculos manuales imponían estructuras muy regulares con una distribución uniforme de columnas en planta, diseñadas con capitales como elemento de transición para disminuir las tensiones en el encuentro con las columnas.

Gracias a la creación y difusión de diferentes *softwares* de cálculo que resuelven en un instante la gran cantidad de ecuaciones con múltiples incógnitas que este tipo de estructura plantea, el sistema de losas planas consiguió una rápida y amplia difusión en el medio. Como consecuencia de esto los proyectistas podemos hoy, incorporar en los trabajos formas irregulares, evaluar huecos, ponderar alternativas de apoyos, usar o no capiteles, entre otras alternativas.

En líneas generales, en la actualidad, los entrepisos sin vigas se analizan y resuelven numéricamente por el método de elementos finitos. Este consiste en modelar con un programa la estructura con la geometría, vínculos y cargas derivadas del proyecto y particionarla en una cantidad finita de elementos utilizando una malla muy pequeña (mientras más pequeña la malla, más preciso es

el resultado). El programa determina los esfuerzos, los desplazamientos y hasta la armadura requerida en cada punto de la malla.

Comparados con los entrepisos tradicionales (constituidos por losas y vigas), el sistema de losas planas genera mecanismos estructurales más flexibles ya que está conformado por losas de bajo espesor y poca rigidez. Por esto, al utilizarlos es fundamental controlar las deformaciones (instantáneas y sobre todo las a largo plazo) y garantizar la estabilidad del conjunto a partir de mecanismos alternativos a los pórticos.



Esquema de losas apoyadas en columnas sin vigas (superior: sistema sin ábacos; inferior: con ábacos)

“Un diseñador tiene que aspirar generalmente a lograr la solución óptima en el sentido de obtener el máximo beneficio con el mínimo empleo de material, dentro de los límites de resistencia, rigidez y estabilidad. El resultado será la eficiencia, combinada idealmente con la elegancia y la economía.”, “Tony Hunt’s structures notebook”. Hunt, Anthony. (Hunt, 2003 : 3).

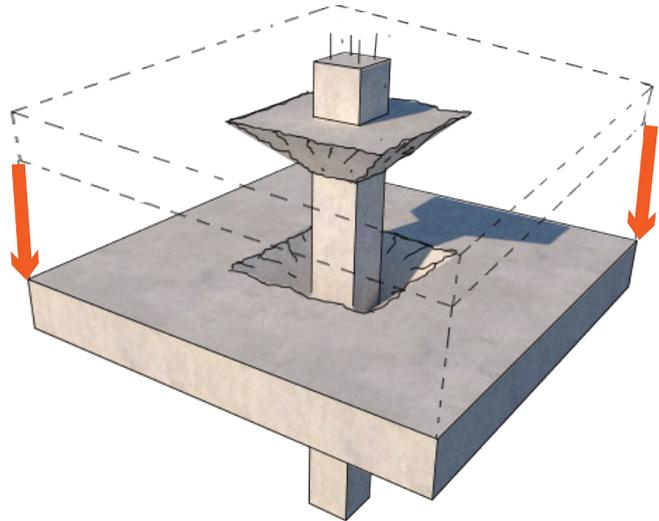
En las últimas décadas, el uso de losas planas sin capiteles se ha vuelto más común debido a la eficiencia y rapidez en su construcción. En contraste con la simpleza constructiva las tensiones de corte en el encuentro con las columnas aumenta complejizando los detalles de armado. Justamente, el tema a resolver proyectualmente en esta tipología estructural es el encuentro entre losa y columna. La falta de altura en el apoyo, puede producir fallas por punzonado. El punzonado es una falla que se produce por la concentración del esfuerzo de corte en el encuentro de la losa con la columna que tiende a perforar la losa (falla frágil o sin aviso). Para evitarlo, conceptualmente, se debe incrementar la capacidad resistente al corte de las losas. Algunas de las estrategias pueden ser:



Imagen de falla por punzonado obtenida de la web

- Aumentar unos centímetros la altura de toda la losa;
- Aumentar la altura de la losa solo en los apoyos, generando en las columnas capiteles o ábacos (estos últimos son más frecuentes en la práctica);
- Mejorar la calidad del hormigón;
- Aumentar la sección de las columnas de apoyo;
- Usar armadura a corte en el encuentro de la losa con la columna, estratégicamente orientada (barras dobladas, estribos,

perfiles de acero, pernos de corte sobre rieles, etc.).



Esquema de falla por punzonado en losas apoyadas en columnas

ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN EL SISTEMA DE ENTREPISOS SIN VIGA

Las variables básicas a considerar cuando diseñamos esta tipología estructural son:

1. Tipo de losa
2. Tipo de apoyo
3. Tipo de refuerzo

1. Tipo de losa

Los planos horizontales o entresijos se resuelven tanto con losas macizas como con alivianadas. Dentro de estas últimas encontramos diferentes formas de aligerar:

- Casetones vistos / losa casetonada: dan una importante impronta espacial. Requieren una planta modulada y un muy buen vibrado del hormigón en el momento de la ejecución. Comúnmente se usan moldes reutilizables de plásticos o de fibra de vidrio.

- Casetones perdidos / losa aligerada: Para reemplazar parte del volumen de hormigón y optimizar los tiempos en el armado y desencofrado de las losas, habitualmente se utilizan bloques de poliestireno expandido, también hay ejemplos con botellas descartables, cajones de madera, etc.



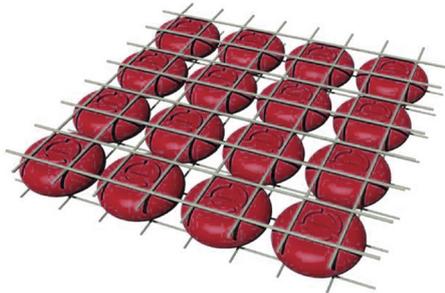
Losa alivianada con botellas

<http://tallerf.com.ar/construccion-de-losas-alivianadas-con-botellas/>



El sistema de losas alivianadas con esferas o discos plásticos entra en esta categoría. Comercialmente, en nuestro medio, son conocidos con el nombre de su marca comercial: Prenova o Bubbledeck. Estructuralmente se calculan como una losa maciza y sus ventajas se encuentran no solo en la disminución de peso, sino también en la velocidad constructiva y la posibilidad de lograr cielorraso y piso de

hormigón terminados. Las esferas o discos quedan contenidos entre dos mallas de acero, que pueden hormigonarse in situ o incorporar la capa inferior prefabricada (sistema pre losas) en función del tipo de apuntalamiento proyectado.



Sistema Prenova. Catálogo Prenova



Sistema Bubledeck. Catálogo Bubledeck

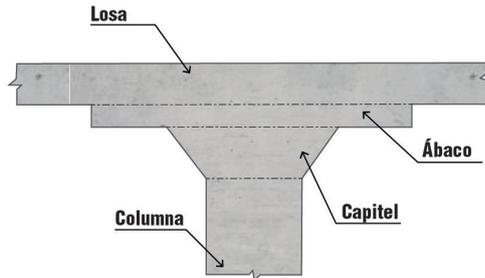
Comparando las alternativas de los diferentes sistemas podemos sintetizar el siguiente cuadro:

	LOSA MACIZA	LOSA ALIVIANADAS	
		LOSA ALIGERADA	LOSA CASETONADA
			
CONSUMO MATERIAL	Mayor consumo de hormigón. Mayor peso.	Optimización del consumo de material. Menor peso.	
EJECUCIÓN EN OBRA	Sencilla.	Compleja.	Presenta mayor complejidad por el armado de los nervios.
PASES O HUECOS	Mucha flexibilidad para plantear pases proyectados o imprevistos.	Se deben prever y resolver los pases en el proyecto.	
DEFORMACIONES	Mayor inercia. Buen comportamiento frente a deformaciones.	Menor inercia respecto de una losa maciza de igual altura. Aceptable comportamiento a las deformaciones.	
LUCES	Entre 5 y 8 metros de luz máxima. Es buena alternativa postesar la losa si se requiere aumentar las luces.	Se puede llegar hasta 12 metros de luz libre. Postesar losas alivianadas es más complejo en su ejecución (debido a la colocación de las vainas y anclajes)	

Cuadro comparativo de losas

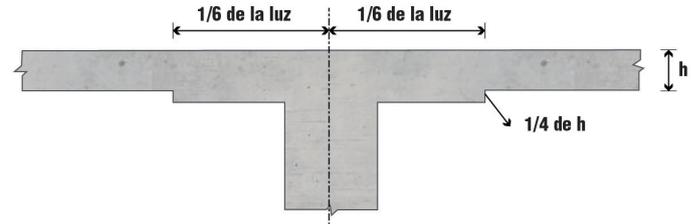
2. Tipo de apoyo:

Los apoyos pueden ser simples o reforzados con ábacos o capiteles. Las carga y el peso de la losa son resistidos por las columnas produciendo grandes tensiones de corte en la losa. Estas tensiones pueden aliviarse aumentando gradualmente el espesor de la placa según aumentan los esfuerzos de corte. Según la forma que tomen estos engrosamientos se denominan ábacos o capiteles. Conceptualmente estas transiciones permiten reducir el espesor de toda la losa y paralelamente disminuir la cantidad de armadura de corte en el encuentro losa-columna.



Esquema de ábaco y capitel

EL CAPITEL se caracteriza por ser un ensanchamiento superior de la columna, de forma troncocónica o tronco trapezoidal, en la zona de unión con la losa y solo se utiliza estructuralmente cuando hay un efecto de punzonado muy elevado.



Esquema de medidas reglamentarias del ábaco

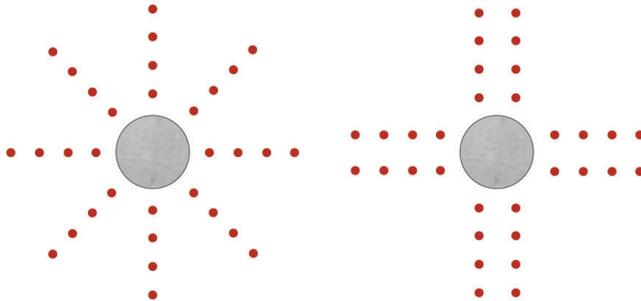
EL ÁBACO, según el reglamento CIRSOC 201, se define como *“aquella parte estructural de una losa plana, que presenta un mayor espesor en el área que rodea a una columna, capitel de columna, o ménsula corta, con el fin de reducir la intensidad de las tensiones”*.¹ Constructivamente para formar el ábaco es necesario macizar el sector de la losa de manera concéntrica a la columna, a una distancia igual o mayor a $1/6$ de la luz en cada dirección de la retícula entre columnas.

El ábaco deberá tener un sobre-espesor como mínimo de $1/4$ de la altura de la losa.

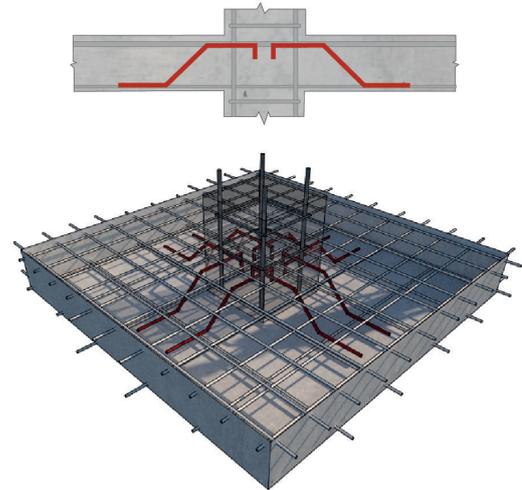
¹ Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón. CIRSOC 201 -2005. Capítulo 13.3.7

3. Tipo de refuerzo:

Para resolver el problema de punzonado, la opción predilecta es incorporar armadura al encuentro losa-columna, ya que, al no incrementar el volumen de hormigón, el peso del edificio no aumenta significativamente. Con esto se refuerzan específicamente las áreas con gran concentración de tensiones de corte manteniendo constante el espesor de la losa. Los refuerzos pueden ubicarse de manera radial o en cruz.



Esquema en planta de disposición de refuerzos a corte



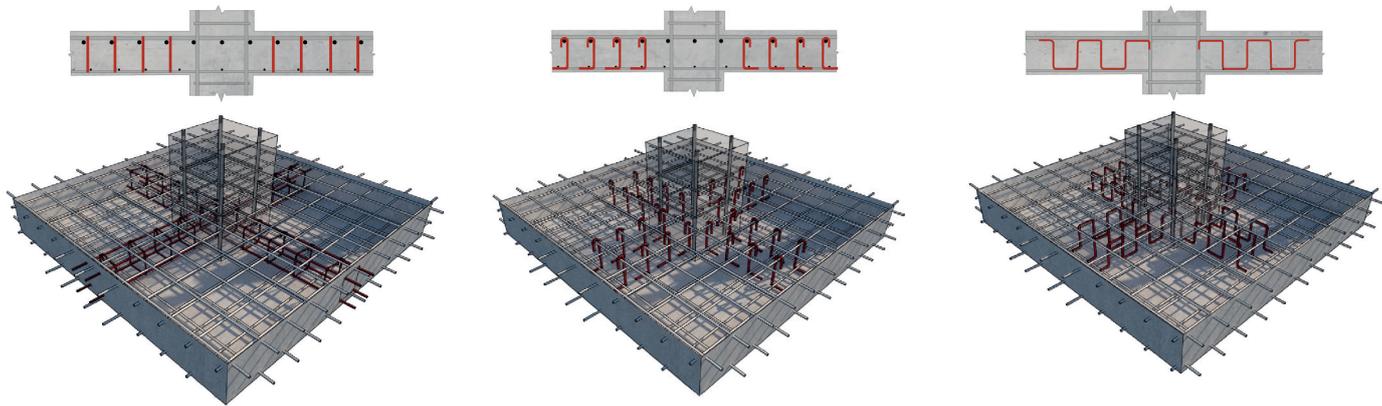
Esquema en corte y 3D de disposición de barras dobladas

Algunas de los recursos más frecuentes para reforzar los apoyos son:

a) **BARRAS DOBLADAS:** Se ubican en diferentes direcciones y son muy efectivas para transmitir los esfuerzos cortantes.

El uso de barras dobladas como refuerzo, en muchos casos, presenta interferencias significativas con el resto de las armaduras. Requiere consideraciones adicionales en el diseño de los detalles para asegurar un adecuado anclaje.

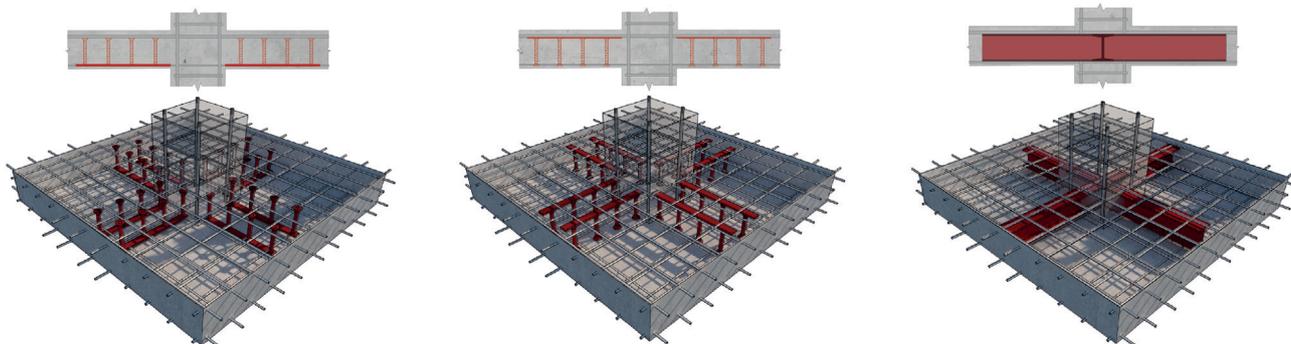
b) **ESTRIBOS:** Pueden ser estribos cerrados, abiertos de una rama, refuerzo continuo en forma de U como peines y también estribos inclinados.



Esquema en corte y 3D de disposición de estribos cerrados, abiertos y en forma de U como peines

c) **PERNOS DE CORTE SOBRE RIELES (STUDS RAILS):** Son conexiones de acero colocadas entre la losa y la columna. Tienen buen anclaje mecánico y al ser industrializados garantizan muy buena calidad.

d) **PERFILES DE ACERO:** Son refuerzos de alto costo, normalmente utilizados cuando existe la necesidad de dejar grandes huecos en el área cercana a la columna.



Esquema en corte y 3D de disposición de pernos de corte sobre rieles y perfiles de refuerzo

¿POR QUÉ USAR LOSAS SIN VIGAS?

Conocer las características de esta tipología estructural permite incorporarla desde el inicio del proyecto arquitectónico aprovechando sus ventajas y apuntalando con recursos de diseño las llamadas desventajas (aplicar este sistema como “solución” es complicado).

Entre las **ventajas** se puede mencionar:

- Posibilita plantas libres aumentando la flexibilidad en el uso de los espacios, por la libertad en la disposición de las columnas. Permite cambios o alternancia de usos;
- Permite una reducción del paquete estructural, debido a la ausencia de vigas. Disminuye la altura y reduce el peso propio del edificio. Genera una mayor altura útil o altura libre en cada nivel;
- Incorpora agilidad en la construcción: permite

ausencia de cielorraso, contrapiso, carpeta y hasta piso, puliendo el hormigón. Menor tiempo de ejecución de la estructura;

- Permite industrializar el proceso constructivo con el uso de encofrados planos reutilizables de fácil montaje y desmontaje (menos riesgos de accidentes laborales). No necesita incorporar cortes y armado de cajones para vigas;
- Proporciona buen aislante ignifugo y acústico, como toda losa de hormigón;
- Facilita y agiliza el planteo de instalaciones: conductos y cañerías suspendidas, piso técnico;
- Genera ambientes con menor volumen para acondicionar o aclimatar;
- Simplifica la documentación técnica: muy fácil interpretación de planos.

Como **desventajas**,

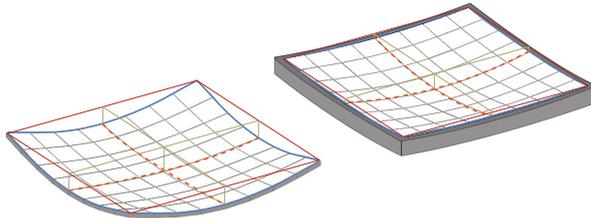
- Requiere utilizar una mayor cuantía de acero;
- Al ser un sistema muy flexible requiere una cuidadosa verificación de las deformaciones a largo plazo o por fluencia lenta por la incompatibilidad de las mismas con los cerramientos y tabiquería interna del edificio;
- Presenta importantes limitaciones al momento de ubicar huecos y pases en la losa. Para evitar inconvenientes deben localizarse las perforaciones en zonas centrales de los tramos y evitar el área cercana a las columnas;
- Los entresijos sin vigas, no materializan un sistema resistente ante acciones horizontales, por lo que debe plantearse una estructura que garantice la estabilidad de la obra, como pórticos perimetrales o tabiques entre otros;

- Eventualmente se necesita disponer ábacos o capiteles para mejorar el comportamiento frente al punzonado.

Son numerosas y muy tentadoras las ventajas desde el punto de vista proyectual. Sin embargo, es una opción poco frecuente en zonas de moderada o elevada sismicidad, donde se debe contrarrestar la excesiva flexibilidad de sus losas con la generación de mecanismos que rigidicen el sistema resistente a fuerzas horizontales, aumentando los costos y tiempos de edificación.

COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL.

Frente a la acción de las cargas verticales, en una losa apoyada solo en 4 columnas, todos los puntos menos sus apoyos descienden. Incluidos los bordes que también se curvan.

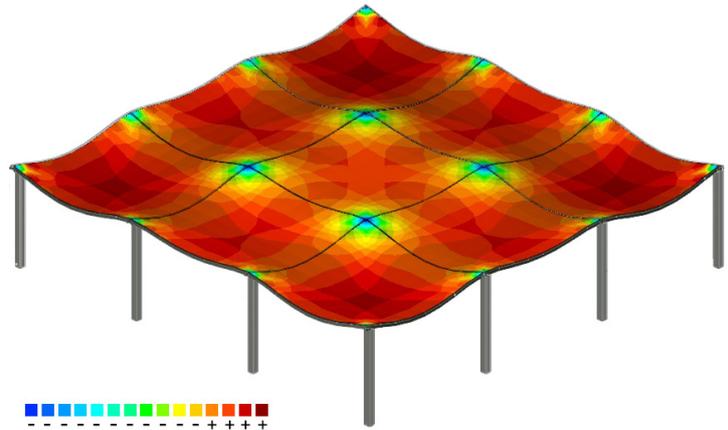


Esquema de comparación de deformaciones en losas cuadradas armadas en dos direcciones (izquierda, losa sin viga de borde apoyada en cuatro puntos; derecha, losa con viga de borde apoyada en cuatro puntos)

Es sencillo detectar que, para iguales dimensiones de planta y sollicitación de carga, los descensos que se producen en las losas que apoyan solo sobre columnas son mayores a los que se producen en una losa que posee vigas de borde. En este punto es de especial consideración la interrelación entre la losa y sus apoyos: la deformación de la lámina se ve impedida por la rigidez de la columna que no le permite girar libremente y genera momentos flectores que, por practicidad en el análisis, se suponen actuando en 2 direcciones.

El análisis de estos momentos flectores nos indica que:

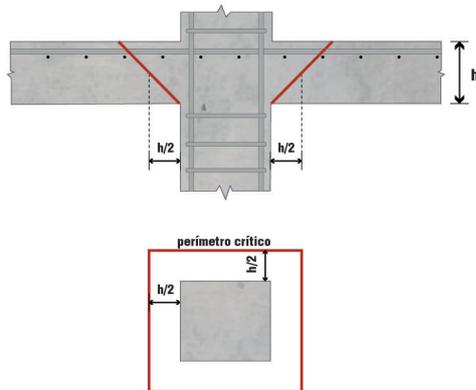
- La zona central, en la cara inferior, resulta traccionada en las dos direcciones
- En la proximidad a los apoyos, se generan tracciones en la cara superior en las dos direcciones
- La rigidez de los apoyos incide en la deformación de los encuentros entre losas apareciendo tracciones en su cara superior.



Esquema típico del diagrama de momento flector en un sistema de losas sin vigas

La definición del espesor de la losa es el punto más importante en esta tipología estructural, tanto para comprobar las deformaciones, como para definir la interacción con el apoyo. En este punto se debe verificar el estado límite último de punzonado, que surge del estudio de la rotura que se produce cuando la columna atraviesa la losa.

Del análisis de esta figura troncopiramidal o troncocónica, se define una superficie resistente de tensiones o simplificada un perímetro crítico que se establece a una distancia del borde de la columna igual a la mitad de la altura de la losa ($h/2$). Comparando los valores máximos de corte que resiste esta sección con los solicitados, podremos evaluar, de manera ágil y sencilla, las alternativas de diseño para el apoyo.



Ubicación de la sección crítica para verificar el punzonado

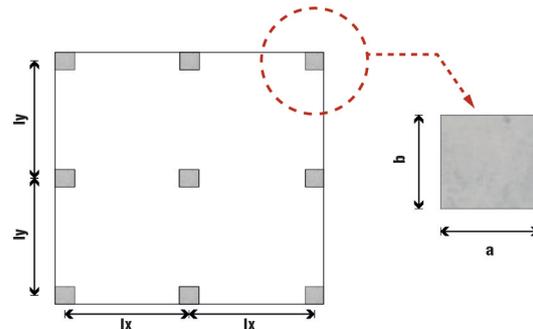
Pero en el proceso de diseño no solo ponderaremos, como proyectistas, la altura de la losa y el tipo de apoyo, sino también algunos requisitos que la normativa exige para este tipo de losas, como por ejemplo:

- Limitaciones mínimas del material a utilizar:
 - Hormigón, H-30;
 - Acero, ADN-420.
- Limitaciones referentes a la luz entre apoyos de losas: La proporción de las dimensiones en planta debe ser tal que la luz en una dirección no debe ser mayor a 2 veces la luz en la otra dirección ni menos a la mitad de la misma

$$\frac{1}{2} \times Lx \leq Ly \leq 2 \times Lx$$

análogamente

$$\frac{1}{2} \times Ly \leq Lx \leq 2 \times Ly$$



Esquema de denominación de las dimensiones de losa y columna en la sección de la columna

- Limitaciones referentes a las dimensiones de las columnas (donde a y b, son los lados de la columna en las direcciones x e y, respectivamente):

$$\frac{1}{2} \times a \leq b \leq 2 \times a$$

$$\frac{1}{2} \times b \leq a \leq 2 \times b$$

$$\frac{Lx}{20} \leq a \leq \frac{Lx}{5}$$

$$\frac{Ly}{20} \leq b \leq \frac{Ly}{5}$$

- Determinación de altura mínima de losas

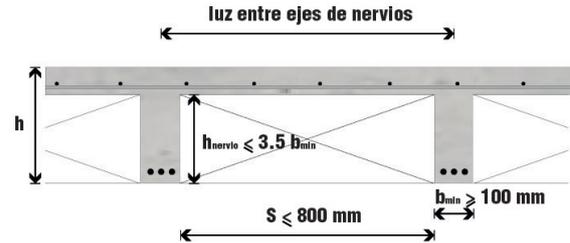
$$h \geq \frac{Luz \max}{30} \geq 12cm \text{ (sin ábaco)}$$

$$h \geq \frac{Luz \max}{33} \geq 10cm \text{ (con ábaco)}$$

$$h \geq \frac{Luz \max}{30} \geq 16cm \text{ (sin capitel)}$$

$$h \geq \frac{Luz \max}{32} \geq 15cm \text{ (con capitel)}$$

- Recomendaciones en la configuración de losa nervurada



Detalle de losa nervurada con recomendaciones de configuración

CRITERIOS DE DISEÑO PARA IMPLEMENTAR ENTREPISOS SIN VIGA

Como en toda obra de arquitectura, es fundamental el diseño de la estructura en conjunto con el diseño arquitectónico desde las primeras ideas del proyecto. Específicamente al trabajar con este sistema, es importante tener en cuenta los siguientes puntos:

1. Estabilidad: los entresijos sin vigas no permiten configurar sistemas resistentes a acciones horizontales (debido a la ausencia de vigas), por lo cual es fundamental buscar estrategias que garanticen la estabilidad del conjunto. Algunos mecanismos alternativos podrían ser:

- Proyectar sistemas resistentes perimetrales conformados por pórticos o tabiques que garanticen la estabilidad del conjunto frente a fuerzas horizontales sin interferir con las ventajas constructivas propias del sistema de losas sin vigas;
- Diseñar una serie de tabiques interiores, resistentes a esfuerzos de flexión y corte, distribuidos en por lo menos dos de los ejes principales de la obra, que no sean concurrentes.

2. Deformación: Al ser las losas, planos muy de-

formables, la modulación de las columnas es importante. Un diseño eficiente puede disminuir el espesor de las losas (menos peso) y minimizar deformaciones. En este punto es recomendable aplicar los criterios de diseño para estructuras continuas. Algunas recomendaciones para disminuir las deformaciones:

- Utilizar tramos de mayor luz interiores y menor luz exteriores;
- Recurrir a voladizos en los tramos externos;
- Aumentar la rigidez de la losa en los apoyos;
- Utilizar vigas de borde.