

# **BLOQUE TEMÁTICO 2**

## **UNIDAD TEMÁTICA 8**

### **LECCION 29**

# **FORJADO RETICULAR: DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN.**

**1.- INTRODUCCION.**

**2.- FORMA DE TRABAJO.**

**2.1.- FLEXION.**

**2.2.- TORSION.**

**3.- TIPOS DE FORJADO RETICULAR.**

**4.- DEFINICIÓN DE ELEMENTOS DE UN FORJADO RETICULAR.**

## 1. DEFINICIÓN.

Un forjado reticular es una placa continua de hormigón armado, sometida a flexión en dos direcciones ortogonales. Esta placa puede ser maciza o aligerada y descansa directamente sobre soportes de hormigón armado, generalmente sin necesidad de vigas entre soportes.

En edificación son más frecuentes las placas sin vigas ni capiteles para conseguir forjados planos, en edificios industriales, de aparcamientos y naves si aparecen capiteles y resaltos. Este tipo de forjado es rentable para luces comprendidas entre 5 y 8m.

En este tipo de forjados, alrededor de los pilares, se prescinde de los bloques de aligeramiento y la placa pasa a ser maciza desapareciendo las nervaduras como tales.

Los parámetros básicos que definen las características del forjado reticular son:

- Canto total de la placa. ( $H = h + 3$ ).
- Altura del casetón de aligeramiento o bloques aligerantes. ( $h$ ).
- Separación entre ejes de nervios. ( $e \approx 80$  cm)
- Espesor básico de los nervios, aunque en los forjados reticulares recuperables tienen un alma de espesor variable troncopiramidal.
- Espesor de la capa de compresión. ( $c \approx 3$  cm).

Los forjados reticulares tienen una mejor distribución de esfuerzos que el forjado unidireccional, y para una misma carga se necesita menor canto, por eso se utilizan cuando se necesitan luces grandes (salas en las que se necesite mucha diafanidad, garajes, etc), en las que con un forjado unidireccional nos tendríamos que ir a cantos de vigas elevados.

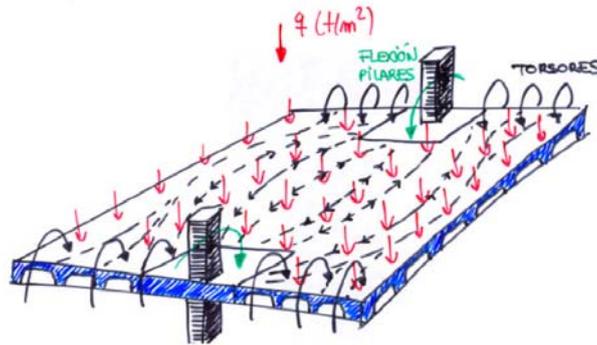
En el caso de forjados reticulares no es posible la utilización de viguetas prefabricadas por las dificultades constructivas de los encuentros ortogonales de las mismas.

Los forjados reticulares no son más que un caso particular extraído del mundo de las placas del que forman parte, siendo la losa maciza el caso más general de esta familia. Por tanto la manera de abordar su proyecto, cálculo y construcción coincide, con sus lógicos matices y singularidades.

## 2. FORMA DE TRABAJO

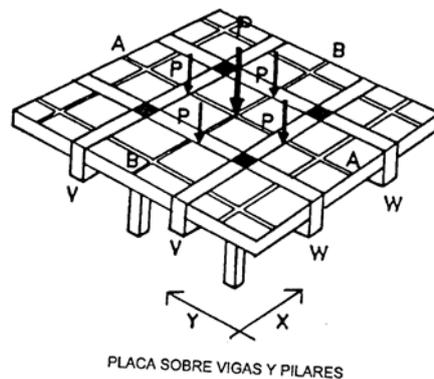
### 2.1. FLEXIÓN

- Si tomamos una placa rectangular apoyada en su contorno, sometida a **una carga uniforme, y la dividimos en franjas**, vemos que **se curvan en dos direcciones principales**, debido a los momentos existentes y por tanto, **debe armarse en ambas direcciones** para resistirlos.

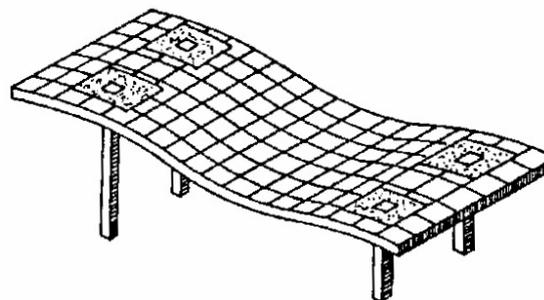


- En los forjados reticulares apoyados sobre pilares, a diferencia de la placa rectangular apoyada en su contorno, **las flexiones mayores se producen en el sentido de la luz mayor**, y es característica esencial de los mismos que **la carga total debe ser resistida íntegramente por los nervios en las dos direcciones establecidas**.

- La carga P se transmite a través de las A y B a las vigas V y W. El mecanismo anterior se produce de forma semejante en forjado reticular, imaginando que las vigas V y W están compuestas por los nervios en una y otra dirección.



- Siempre que en una placa pueda producirse una deformación y rotura en una dirección, deberá calcularse con la totalidad de la carga en dicha dirección.

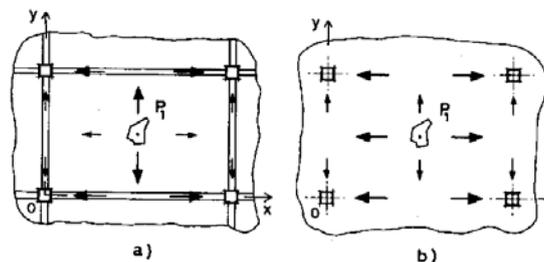


DEFORMACIÓN GEOMÉTRICA DE UN FORJADO RETICULAR  
CON FLEXIONES EN UNA SOLA DIRECCIÓN

- En las alineaciones de los ejes de los pilares, existe una franja que soporta mayor carga, es como si existiesen unas “vigas teóricas” uniendo los ejes de los pilares, formando pórticos necesarios para el apoyo del forjado reticular.

- **Una característica importante** que debe destacarse en los forjados reticulares es **su alto grado de hiperestatismo**. La diferencia con los forjados o placas con vigas (FIG a) es que éstas, las flexiones de la placa se originan en la dirección de la luz más corta y las menores, en la de la más larga, repartiéndose las cargas entre ambas series de vigas para ir a parar a los pilares. Cualquier carga, tal como P1, es transmitida por la placa, parte en el sentido OX a las vigas cortas y parte en el sentido OY a las vigas largas. En cambio, en los forjados reticulares, como ya hemos dicho, las flexiones mayores se producen en el sentido de la luz mayor.

- Por estos motivos, **la solución constructiva ideal sería disponer de nervios de mayor canto o de distancias de nervios menores en la dirección de la luz mayor quedando así un tipo de casetón rectangular**. También se debería aumentar el canto de los nervios al ir aproximándose a los ábacos constituyendo secciones variables.



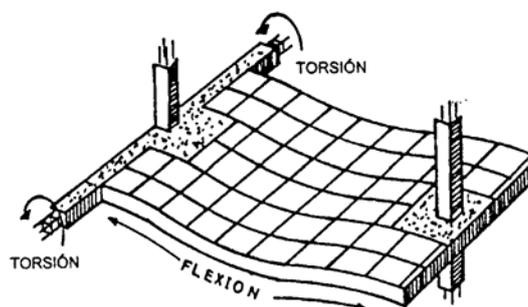
## 2.2. TORSIÓN.

- La torsión existente en los extremos de los forjados reticulares debe tenerse presente, pese a que parte de los calculistas prescinden de ella.

- **La torsión solo la tendremos presente en los zunchos de borde entre pilares, ya que se produce un desequilibrio de este momento torsor. La manera de evitarlo sería retranqueando los pilares de borde hacia el interior quedando así una parte de voladizo que crea un momento torsor en sentido contrario que lo contrarresta.**

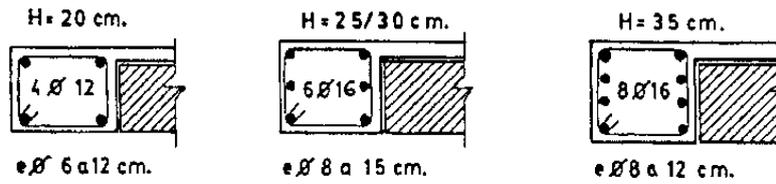
- **Cuando éstos no están situados entre pilares podemos prescindir de la torsión al encontrarse la placa volada y trabajando cómodamente.**

- Los zunchos de borde bien dimensionados a flexión y preparados para resistir torsiones, empotran mejor el forjado en los pilares, reduciendo sus deformaciones elásticas.



- **A los zunchos de borde (vigas perimetrales) debe colocársele la armadura a flexión que le corresponda como nervio de la banda de soportes, más la necesaria para resistir las cargas de cerramiento que incidan directamente sobre los mismos.**

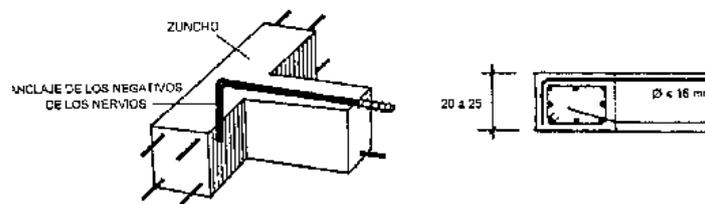
- **Al margen de la armadura anterior es necesario añadir una armadura lateral, para torsión** que según el criterio de la NTE-EHR, en función del canto de la placa, es del siguiente modo:



ARMADURA DE TORSIÓN EN LOS ZUNCHOS SEGÚN NTE-EHR

- Estas armaduras laterales para la torsión no es imprescindible que lleguen de extremo a extremo de los zunchos.

- Los zunchos de borde planos son incapaces de anclar armaduras por encima del diámetro 16 (longitudes de anclaje insuficientes).

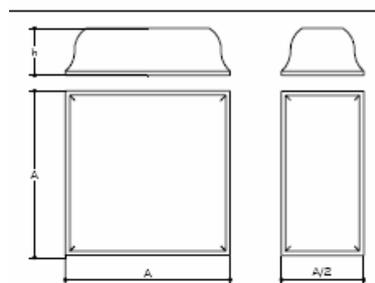
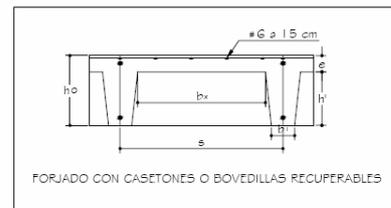
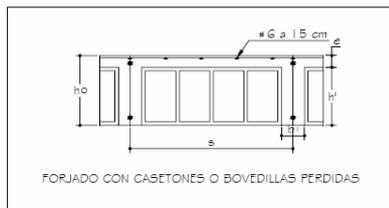


ANCLAJE DE LA ARMADURA DE LOS NERVIOS

### 3. TIPOS DE FORJADO RETICULAR

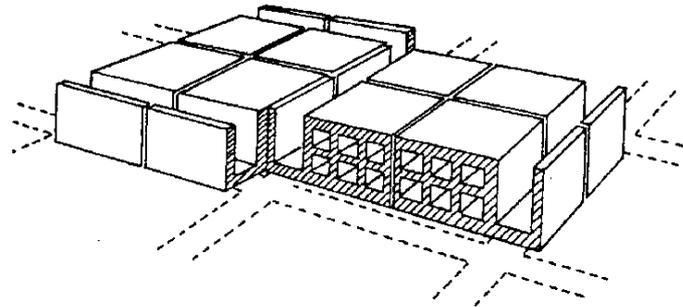
- Prescindiendo de las casas comerciales suministradoras de los elementos necesarios para construir los forjados reticulares, que pueden inducir a pensar una gran variedad de los mismos, en realidad, **sólo existen dos tipos que pueden diferenciarse de forma clara:**

- Forjado reticular **con bloque aligerante perdido.**
- Forjado reticular **con bloque aligerante recuperable.**
- 



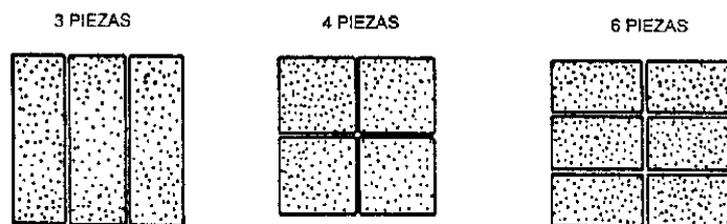
BOVEDILLAS RECUPERABLES (PVC)

- La diferencia básica notable que existe entre las diversas patentes de los forjados reticulares, reside exclusivamente en el tipo de bloque aligerante que emplean y en muy poco más.
- Prácticamente no se utiliza la construcción de forjados reticulares con bloques aligerantes cerámicos, debido a las dificultades de fabricación y costo.



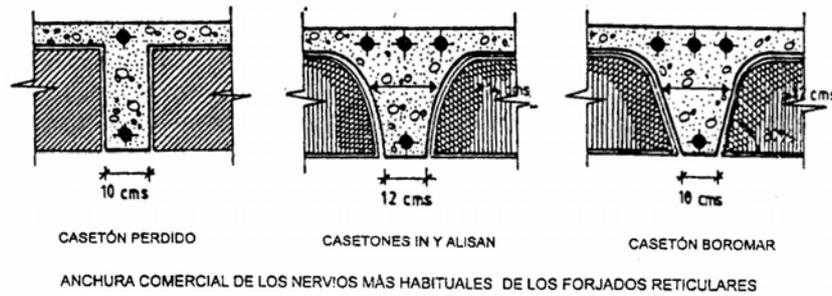
FORJADO RETICULAR CON BLOQUES ALIGERANTES CERÁMICOS

- El forjado reticular más construido es aquel que posee un entreje en los nervios de 80 cm y un espesor de los mismos de 10 cm, lo cual exige una cuadrícula de aligeramiento de 70x70 cm formada por bloques diversos.
- El aligeramiento de 70x70 suele realizarse con bloques perdidos de hormigón en número de tres, cuatro, y seis piezas. La mayoría de las estructuras se están resolviendo empleando **bloques aligerantes** (4 ó 6 piezas) **fabricados con hormigón clásico de árido fino. También puede realizarse con bloques de poliestireno expandido, con lo cual se consigue reducir el peso y aumentar el aislamiento.**
- Estos forjados con aligeramiento perdido suelen emplearse en la construcción de viviendas, mientras que los que utilizan casetones recuperables, se suelen utilizar en garajes, locales industriales, etc.

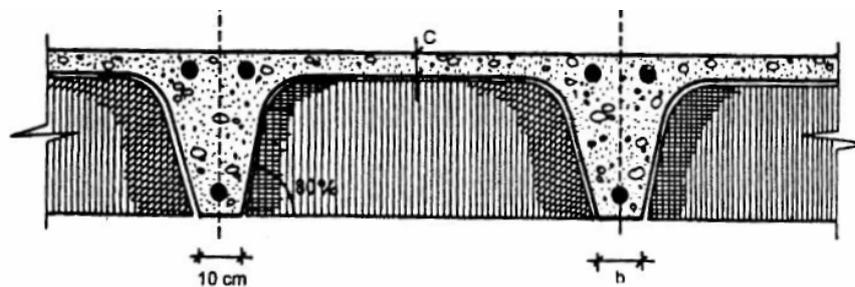


CASETONES ALIGERANTES HABITUALES FORMADOS CON  
DIVERSOS TIPOS DE BLOQUES DE HORMIGÓN

- Normalmente a igual de cargas a soportar, resultan más económicos los forjados de cubetas o casetones recuperables que los de bloque perdido.
- La segunda tipología de forjados reticulares es la derivada de emplear casetones recuperables de plástico.
- **El forjado se ejecuta disponiendo unas cubetas de plástico que se retiran una vez fraguado y endurecido el hormigón, resultando unas oquedades muy vistosas y agradables visualmente.** Los nervios que se originan en los forjados reticulares con moldes recuperables son de mayor sección que los bloques perdidos de hormigón y su forma estructural es netamente superior.



- La necesidad de facilitar el desmolde, obliga a emplear piezas abovedadas que permitan ser retiradas con sencillez, además de proporcionar indirectamente secciones estructurales armónicas y muy resistentes.
- El replanteo del forjado reticular de cubetas o casetones, hay que tener en cuenta que en el mercado hay disponibles solamente casetones enteros y medios casetones.



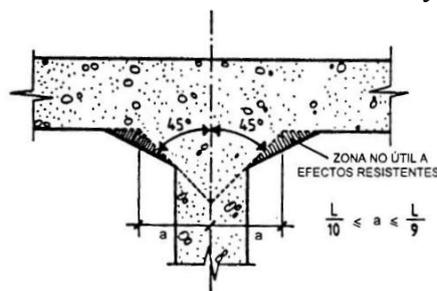
#### 4. DEFINICIÓN DE ELEMENTOS DE UN FORJADO RETICULAR.

**CAPITEL:** Es un ensanchamiento de la cabeza de un soporte en su unión con la placa.

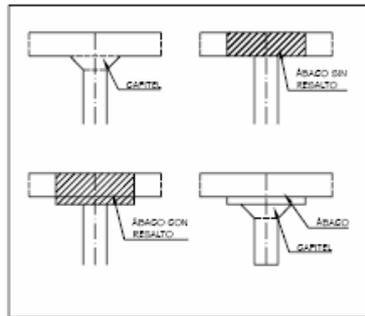
Salvo en casos de fuerte sobrecargas y casos especiales, los capiteles están en desuso.

La norma limita el tamaño máximo de los mismos a un 30% de la luz menor que rodea el pilar y exige que la inclinación útil resistente de sus paredes no sea superior a 45°, para que su utilidad sea total frente al punzonamiento.

Un tamaño muy clásico de capiteles puede obtenerse al darles en cada dirección un décimo o un noveno de la luz menor de los recuadros adyacentes al pilar.

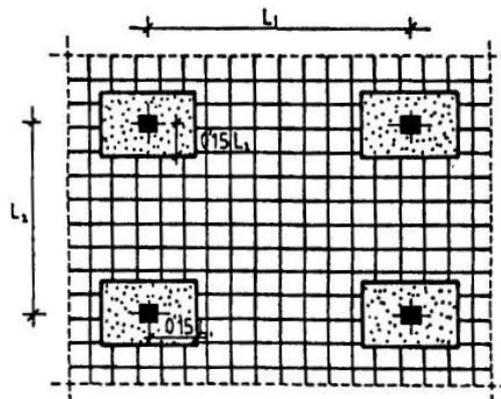


**ABACO:** Es una zona de la placa, alrededor de un soporte o su capitel, que se regruesa o maciza (si se trata de una placa aligerada), con objeto de aumentar su resistencia.



El tamaño del ábaco para pilares convencionales lo fija la norma de la siguiente forma:

“La distancia del borde del ábaco al eje del soporte deberá no ser menor que 0,15 de la luz correspondiente del recuadro considerado”. Las Normas tecnológicas hablan de 1/6 de la luz, es decir 0,166 de la luz.

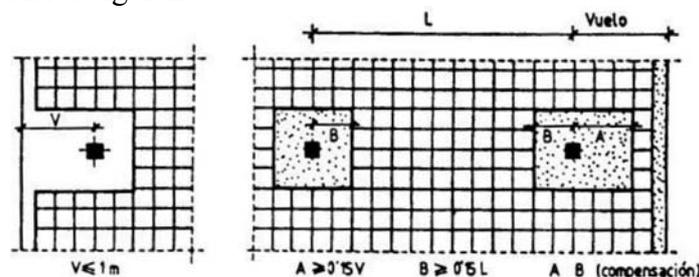


**TAMAÑO DE ABACOS SEGÚN LA NORMA**

Cuando el pilar es de borde y existe voladizo, las normas no dicen nada de la dimensión que debe poseer el ábaco en el sentido del vuelo. Es conveniente darle la misma dimensión al ábaco por la parte interior que por la parte del voladizo (compensación).

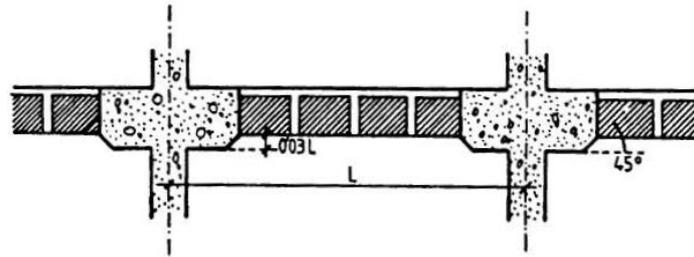
Para **voladizos que no superen el metro**, es aconsejable llevar el **ábaco** hasta el **extremo del vuelo**.

Los criterios aconsejables que deben tenerse en cuenta en el dimensionado de los ábacos volados son los siguientes:



**CRITERIOS DE DIMENSIONADOS EN ABACOS**

Cuando las luces y cargas de cálculo sean elevadas, puede resaltarse el ábaco de la placa un espesor aproximado igual a  $0,003L$  y biselar los bordes a  $45^\circ$  para que la transición de esfuerzos de los nervios al mismo sea suave.



**RECUADRO:** Zona rectangular de la placa limitada por las líneas que unen los centros de cuatro soportes contiguos.

El recuadro puede ser:

- Exterior: No tiene recuadro contiguo a uno de los lados de la dirección considerada.
- Interior: Está situado entre dos recuadros en la dirección considerada.

**BANDA:** Cada franja ideal paralela a la dirección considerada para calcular la placa, en que se dividen los recuadros o filas de recuadros.

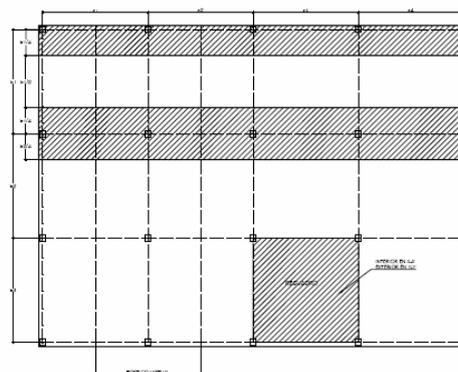
- **BANDA LATERAL:** Está situada en el lateral de un recuadro o fila de recuadros. Tiene una anchura de  $\frac{1}{4}$  de la luz del recuadro en la dirección considerada.

- **BANDA CENTRAL:** Banda situada en el centro de un recuadro y limitada por dos bandas laterales. Tiene una anchura de  $\frac{1}{2}$  de la luz del recuadro en la dirección considerada.

- **BANDA DE SOPORTES:** Está formada por dos bandas laterales contiguas pertenecientes a dos recuadros diferentes.

- **BANDA EXTERIOR:** Está formada por una banda lateral exterior incluyendo los vuelos que esta pueda tener.

**PÓRTICO VIRTUAL:** Elemento ideal que se adopta para el cálculo de la placa, según la dirección de cálculo y que va de eje a eje de recuadro contiguo.

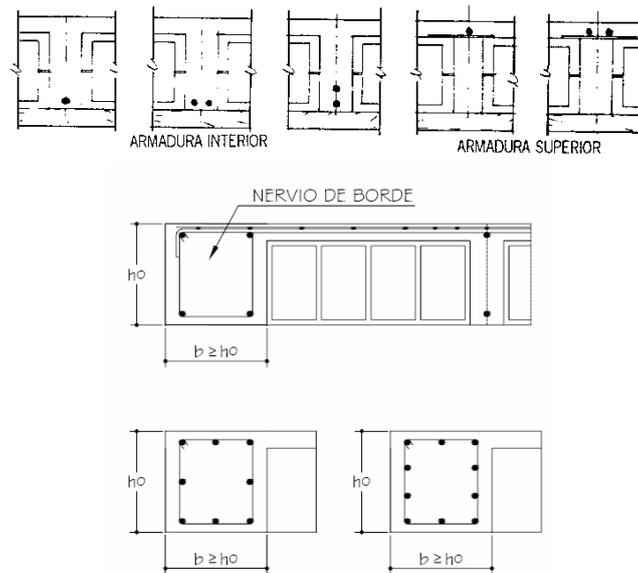


### NERVIOS:

- Los forjados reticulares llamados también “forjados sin vigas”, están formados en realidad por vigas de direcciones generalmente ortogonales cruzadas que denominamos nervios. Podrían seguir otras direcciones no ortogonales conformando casetones de diversos tipos(en forma de rombo, triangulares, etc).

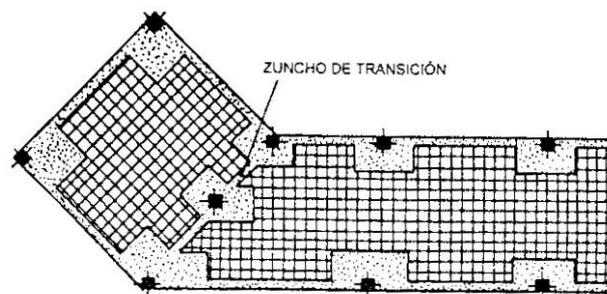
- La armadura vendrá dada por el cálculo y cada nervio se calcula como una viga cuyos apoyos, en continuidad, se producen en los ejes que unen los centros de

**pilares; su disposición dependerá de la anchura del nervio, número de barras y diámetro de las mismas, etc.**



-Para colocar la armadura inferior deberá alcanzarse o bien con elementos especiales de acero o plástico o bien con áridos del mismo tipo de los empleados en el hormigón, las barras superiores; se colocan como se ve en la figura, sobre trozos pequeños de alambre que apoyan en las bovedillas.

La modulación ortogonal de los nervios viene impuesta por la geometría que presente la planta del edificio, y debe hacerse de forma que resulte un trazado lo más constructivo y estructural posible. Frecuentemente es necesario disponer un zuncho de transición en la planta y cambiar la dirección de los nervios para obtener una modulación armónica y sencilla de replantear la obra, reduciéndose al mínimo los excesos de hormigón que se originan en los bordes cuando no existe paralelismo entre éstos y los nervios.

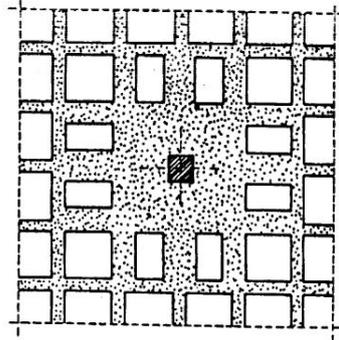


La anchura de los nervios no debe ser inferior a 7 cm ni a la cuarta parte del canto de la pieza aligerante, según la normativa vigente.

La mayoría de los forjados reticulares con bloques aligerantes, se están construyendo con nervios de ancho 10 cm, valor este que está demostrado ser el ideal, por el magnífico comportamiento que presentan los mismos frente a la flexión y el cortante.

Cuando los forjados deben soportar cargas muy elevadas (jardines, materiales almacenados ,etc.)problemas de cortadura obligan a ensanchar los nervios en las zonas próximas a los ábacos. La solución más cómoda para ello, es retirar algunos bloques de

los casetones de aligeramiento, con lo cual, los nervios pasarán a tener un ancho aproximado de 33 cm sin necesidad de alterar la modulación general de los nervios en el resto de la placa.



NERVIOS ENSANCHADOS RETIRANDO BLOQUES DE ALIGERAMIENTO POR PROBLEMAS DE CORTADURAS

El ancho y forma de los nervios que se obtienen empleando casetones recuperables, son sensiblemente de mayor entidad que los citados anteriormente.

A continuación reproducimos como referencia de geometría y secciones de cubetas y nervios, de una de las casas comerciales más introducidas en el sector.

Características de los ENCOFRADOS							
CANTO (d1=cm)	INTEREJE (cm)	NERVIO	AXB (cm)	C (cm)	D (cm)	E (cm)	F (cm)
20	80 x 80	12	80 x 74	68	60,8	6	3
	80 x 80	14	80 x 74	66	58,8	7	4
	84 x 84	16	80 x 74	68	60,8	6	3
	86 x 86	18	80 x 74	68	60,8	6	3
25	80 x 80**	14	80 x 74	66	57,0	7	4
	80 x 80	12	80 x 74	68	59,0	6	3
	84 x 84	16	80 x 74	68	59,0	6	3
	86 x 86	18	80 x 74	68	59,0	6	3
30	70 x 70	12	70 x 64	58	47,2	6	3
	72 x 72	14	70 x 64	58	47,2	6	3
	74 x 74	16	70 x 64	58	47,2	6	3
	76 x 76	18	70 x 64	58	47,2	6	3
	78 x 78	20	70 x 64	58	47,2	6	3
	80 x 80	12	80 x 74	68	57,2	6	3
	80 x 80*	14	80 x 74	66	55,2	7	4
	80 x 80**	22	70 x 64	58	47,2	6	3
	84 x 84	16	80 x 74	68	57,2	6	3
	86 x 86	18	80 x 74	68	57,2	6	3
35	80 x 80	12	80 x 74	68	55,4	6	3
	84 x 84	16	80 x 74	68	55,4	6	3
	86 x 86	18	80 x 74	68	55,4	6	3
40	80 x 80	12	80 x 74	68	53,6	6	3
	80 x 80	14	80 x 74	66	51,6	7	4
	84 x 84	16	80 x 74	68	53,6	6	3
	86 x 86	18	80 x 74	68	53,6	6	3

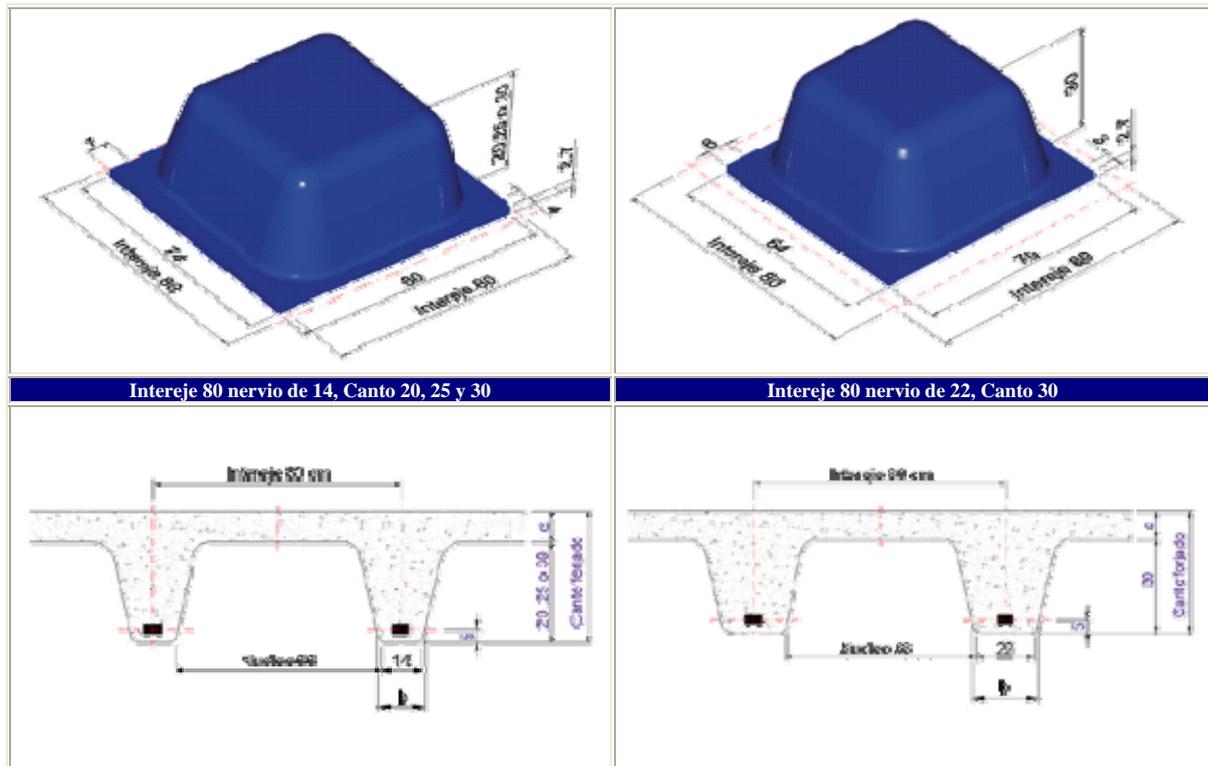
NOTAS:

1. La variación en las distancias de los interejos se logra modificando la pieza de enlace entre bovedillas.

2. Los forjados de canto 30 + capa que destacamos, no sólo permiten una RF - 180 con el ancho de nervio de 22 cm \* y una RF-120 con el nervio de 14 cm \*\*, sino que mantienen la posibilidad de la retícula de 80 x 80 cm. Se adjunta un estudio realizado para estos cantos de acuerdo a la nueva **Normativa de incendios (Eurocódigo 2)**, donde como se observa claramente se pueden obtener sobrecargas de hasta 2000 Kg./m2

INTEREJE (cm) NERVIO(d4=cm)		80x80 12					80x80 14	80x80 14	80x80 22
CANTO (d1=cm)		20	25	30	35	40	25	30	30
	d2=cm								
d3=cm	8	28	33	38	43	48	33	38	38
	10	30	35	40	45	50	35	40	40
	12	32	37	42	47	52	37	42	42
	15								45
A = cm2	8	952	1052	1162	1280	1408	1.142	1238	1462
	10	1112	1212	1322	1440	1568	1.302	1402	1622
	12	1272	1372	1482	1600	1728	1.462	1566	1782
	15								2022
di = cm	8	19,7	23,00	26,20	29,20	32,30	22,3	25,70	23,90
	10	21,0	24,40	27,70	30,90	34,00	23,74	27,30	25,40
	12	22,3	25,80	29,20	32,40	35,60	25,08	28,70	26,80
	15								28,80
ds = cm	8	8,3	10,00	11,80	13,80	15,70	10,7	12,30	14,10
	10	9,0	10,60	12,30	14,10	16,00	11,26	12,70	14,60
	12	9,7	11,20	12,80	14,60	16,40	11,92	13,30	15,20
	15								16,20
I = cm4	8	50.175	83.809	128.350	187.896	262.380	94.698	141.549	180.852
	10	62.142	100.761	151.507	218.889	302.634	113.958	167.121	213.879
	12	76.139	119.751	176.675	251.825	344.750	135.434	194.818	249.503
	15								308.856
Wi = cm3	8	2.547	3.644	4.899	6.435	8.123	4.247	5.508	7.567
	10	2.959	4.130	5.470	7.084	8.901	4.800	6.122	8.420
	12	3.414	4.641	6.051	7.772	9.684	5.400	6.788	9.309
	15								10.724
Ws = cm3	8	6.045	8.381	10.877	13.616	16.712	8.850	11.508	12.826
	10	6.905	9.506	12.318	15.524	18.915	10.121	13.159	14.649
	12	7.849	10.692	13.803	17.248	21.021	11.362	14.648	16.415
	15								19.065
**Volumen/Peso Unitario en zona de Retícula litros/m2	8	150	172	195	220	246	188	204	249
	10	170	192	215	240	266	208	224	269
	12	190	212	235	260	286	228	244	289
	15								319
**Volumen/Peso unitario del forjado (75% Retícula, 25% Abacos) litros/m2	8	182	212	241	272	304	229	248	282
	10	202	232	261	292	324	249	268	302
	12	222	252	281	312	344	269	288	322
	15								352

Los nervios que se obtienen empleando otros tipos de cubiertas, parten de una base de 10-12 cm con paredes prácticamente rectilíneas y con una inclinación de 80°.



C = capa de compresión

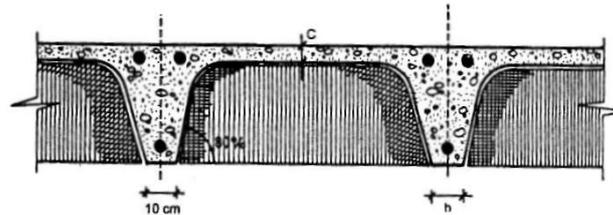
Se alcanzan nervios de 17 cm y 25 cm a una altura de la armadura de 5 cm cumpliendo los requerimientos mínimos que marca el Eurocódigo 2, y ofreciendo así una resistencia contra el fuego de 120 y 180 minutos respectivamente.

CANTO BOVEDILLA	NERVIO	CAPA COMPRESIÓN	CANTO FORJADO	Peso forjado en Zona de retícula Kg/m <sup>2</sup>	Peso Forjado (75% retícula 25% abacos) Kg/m <sup>2</sup>
20	N14	8	28	287,5	315
		10	30	335	365
		12	32	387,5	465
25	N14	8	33	470	572,5
		10	35	520	622,5
		12	37	570	672,5
30	N14	8	38	510	620
		10	40	560	670
		12	42	610	720
30	N22	8	38	622,5	705
		10	40	672,5	755
		12	42	722,5	805
		15	45	797,5	880

NOTA: Todas las medidas están en cm

Estas bovedillas permiten conseguir las siguientes características de nervios ampliando el entreje por medio del ancho de sopanda:

Bovedilla 80x74	Bovedilla 70x64
- e/e 80x80 nervio 14	- e/e 70x70 nervio 12
- e/e 82x82 nervio 16	- e/e 72x72 nervio 14
- e/e 84x84 nervio 18	- e/e 74x74 nervio 16
- e/e 86x86 nervio 20	- e/e 76x76 nervio 18
- e/e 88x88 nervio 22	- e/e 78x78 nervio 20
	- e/e 80x80 nervio 22



Dibujo: Nervios configurados son cubetas tipo "Boromar". Una vez adoptado el sistema de aligeramiento y los ejes de modulación de nervios, no es necesario tomar precauciones adicionales de ningún tipo, y por supuesto, no es imprescindible que ningún nervio pase por encima de los soportes.

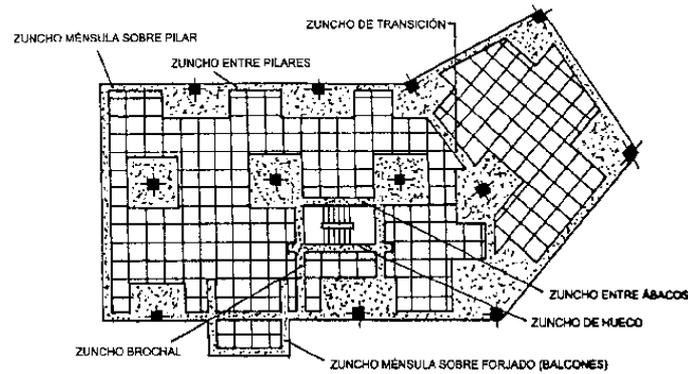
#### ZUNCHOS DE BORDE.

- Son elementos de vital importancia en el forjado reticular los Zunchos Perimetrales y los Zunchos de Borde de los Huecos.

- Los zunchos de borde, normalmente suelen ir embebidos en el espesor de la placa, con una base de 25 a 30 cm y sólo se asoman por debajo de la misma cuando es preciso salvar localmente vanos de gran luz cuyas deformaciones pueden dañar la tabiquería. Los zunchos de borde son los únicos elementos dentro del forjado reticular que van estribados con cercos de diámetro 6-8. El resto de la armadura, ya ésta dispuesta en ábacos o en nervios, va flotando sin estribos dentro del hormigón. En casos de grandes luces y sobrecargas elevadas, se acude a los cercos y barras inclinadas a 45° para resistir el punzonamiento sobre los pilares y la cortadura en los nervios (armaduras y crucetas de punzonamiento).

- Cuando la planta del forjado presente geometría irregular, puede recurrirse a colocar zunchos de transición, que sirven de enlace entre el reticular de ambos lados. Con ello conseguimos que el replanteo de nervios pueda efectuarse paralelo a las caras del solar, evitando zonas irregulares y casetones incompletos.

- En la figura siguiente podemos ver estos zunchos, destacando que con ellos "se destrozan" menos casetones.



TIPOLOGÍA DE LOS ZUNCHOS QUE APARECEN EN LOS FORJADOS

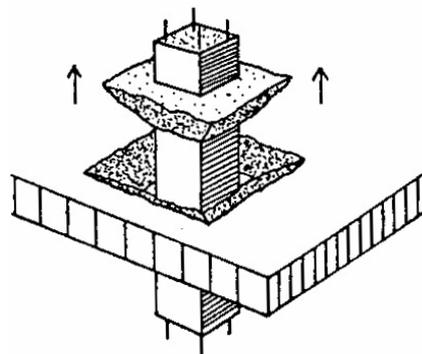
## PUNZONAMIENTO.

- El punzonamiento es el aspecto más importante del comportamiento de un forjado reticular. **El estado límite último de punzonamiento es un estado que alcanza por agotamiento de la pieza bajo tracciones debidas a tensiones tangenciales motivadas por una carga o reacción localizadas en una superficie pequeña de un elemento bidireccional de hormigón armado.**

- Las roturas por punzonamiento se presentan bruscamente y sin previo aviso, siendo sus consecuencias trágicas. **Para evitarlo deben elegirse cantos grandes para las placas, aumentar el tamaño de los pilares y evitar que se coloquen huecos para bajantes e instalaciones en las proximidades de los pilares.**

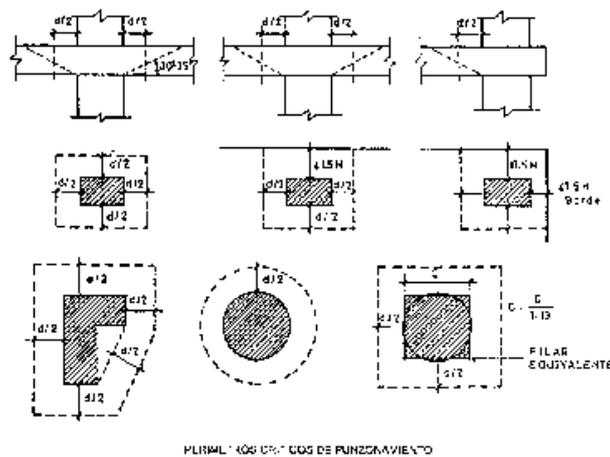
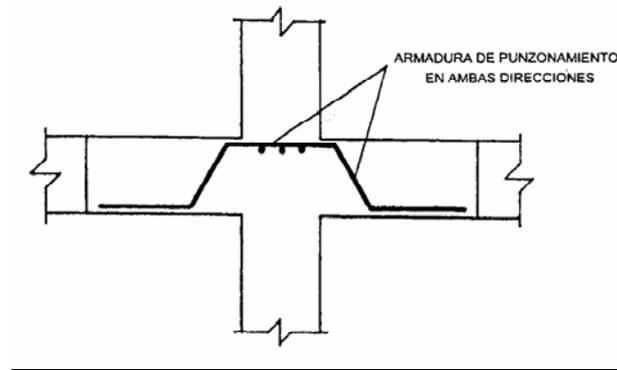
- La rotura por punzonamiento de una placa sobre un pilar, **se produce según una superficie tronco-piramidal que arranca sensiblemente del mismo con inclinación comprendida entre 30 y 35°** (cónica en el caso de áreas circulares), cuya directriz es el área cargada.

- La mayoría de las normas admiten que la sección crítica de punzonamiento, que debe comprobarse a cortadura es vertical, situada concéntricamente con el soporte o con el capitel si existiera, y a una distancia igual a la mitad del canto útil de la placa;  $d/2$ .

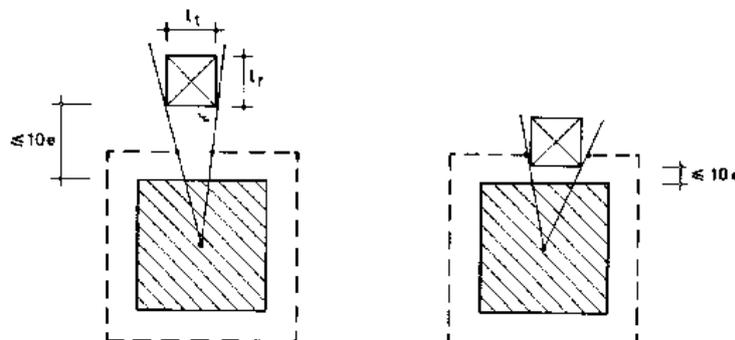


ROTURA TRONCO-CÓNICA POR PUNZONAMIENTO

- La armadura para evitar el punzonamiento la veremos más adelante. No obstante, para clarificar su misión, se adjunta una sección esquemática de un ábaco con la armadura de punzonamiento en ambas direcciones.



- Si en placa existen aberturas a una distancia menor de diez veces el espesor de la placa medida desde el borde del área cargada, el perímetro crítico se reducirá en la longitud intersectada en dicho perímetro por las rectas que proyectan desde el c.d.g. del área cargada a los límites de la abertura.



## PILARES

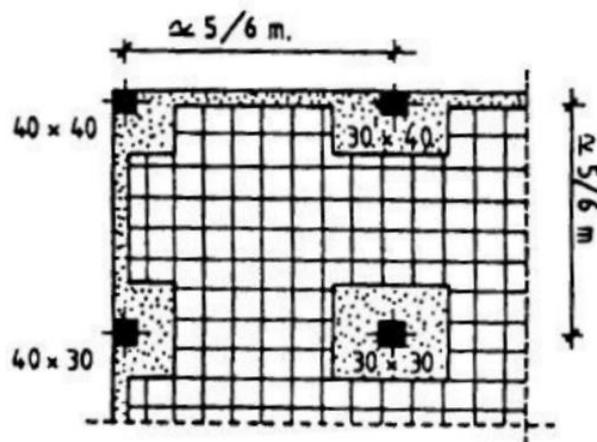
El tamaño de los pilares, al margen de la carga vertical que reciben y que lógicamente determina su sección para que no exista agotamiento, debe cumplir unos requisitos particulares, por el mero hecho de proyectar la estructura con forjado reticular.

La Instrucción EH fija el tamaño mínimo de los pilares en 25x25 cm. Esta dimensión es válida en el forjado reticular si se trata de pilares centrales, con luces compensadas y con cargas características inferiores a las 20 t y siempre que no existan huecos de bajantes próximos a los pilares que afecten considerablemente al perímetro de punzonamiento de la placa.

El tamaño mínimo aconsejable en los forjados reticulares no debería ser inferior a 30x30 cm.

Los pilares de medianería y esquina, para evitar problemas de punzonamiento y empotrar las placas adecuadamente deberían ser ligeramente mayores, pero nunca inferiores a 30x30 cm. El tamaño adecuado para luces de 5-6 m en los pilares de esquina podría ser de 40x40 cm.

Los pilares de medianería deberían tener el tamaño de 40x30 cm para luces superiores a los 5m. La dimensión mayor (40), lógicamente perpendicular a la medianería, justo al contrario como suele ser norma en los proyectos de viviendas, para evitar que sobresalgan los pilares excesivamente en los pasillos.



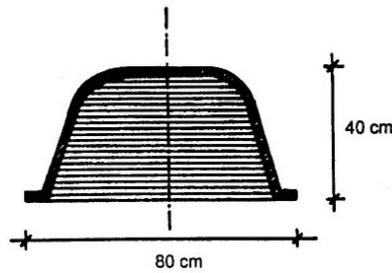
TAMAÑO MÍNIMO ACONSEJABLE PARA PILARES POR ECONOMÍA Y SEGURIDAD

Las dimensiones inferiores a los 30 cm, sólo son admisibles en pilares apantallados, es decir, en aquellos pilares cuya otra dimensión supera los 100cm.

Si se proyecta la estructura con pilares circulares, el diámetro mínimo de los mismos debería ser de 35 cm en los de medianería y de 40 cm en los de esquina y solamente en los vanos centrales podrían aceptarse pilares de diámetro 30cm.

### Luces y distribución de los pilares

Las luces de los forjados reticulares prácticamente no tienen limitación. Es cuestión de darle el canto correcto. Para los casetones recuperables existen en el mercado de canto máximo 40 cm podría llegarse a luces de 12 m.



CASETÓN DE CANTO MÁXIMO EXISTENTE

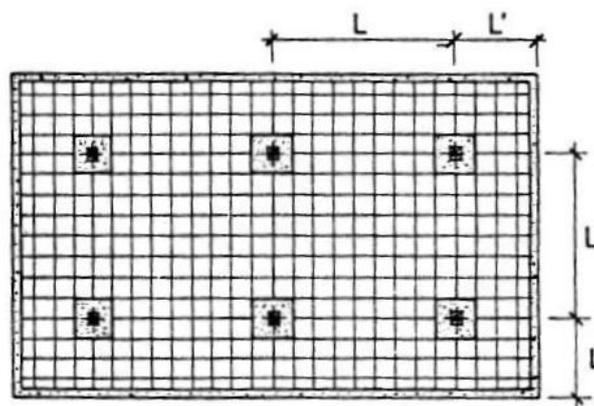
En bloques perdidos es difícil encontrar casetones con canto superior a los 30 cm, lo cual limita las luces máximas a 9-10 m y siempre supeditándolas a las cargas de uso y distribución de pilares que posea la estructura.

Las luces adecuadas para el forjado reticular se mueven alrededor de los 6 m con un más menos 1 m. La máxima economía se consigue con luces de 5-6 metros y los pilares de borde retranqueados 1,5 m, es decir con voladizos en todo el perímetro.

El forjado reticular admite una distribución caprichosa de los pilares, pero lógicamente esa distribución de los pilares engendra esfuerzos de flexión en los mismos, y consecuentemente un coste adicional de armaduras, que puede evitarse con una situación modulada y esfuerzos compensados alrededor de los mismos.

La distribución más correcta de pilares es formando una malla lo más cuadrada posible, con luces que difieran en menos de 1m. Los soportes conviene que se encuentren retranqueados con relación a los bordes del orden de 1 m como mínimo; 1,5 m para luces de 6 m podría ser lo ideal.

La distribución teórica ideal apenas engendra flexión en los pilares, y en ella se encuentra la placa en magníficas condiciones para resistir el punzonamiento que supone en sus apoyos puntuales. Esta distribución ideal en múltiples ocasiones no es posible debido a la ubicación de los pilares separados del contorno del solar, molestando para aparcamientos y/o comercios.



$$5 \leq L < 7 \text{ m}$$

$$0'8 - 1 \leq L' \leq 1'5 - 2 \text{ m}$$

### Canto del forjado.

El canto del forjado depende de los siguientes factores:

- Luces entre pilares.
- Luces de voladizo.
- Grado de empotramiento de la placa en bordes.
- Empujes horizontales a tener en cuneta.

- La Instrucción recomienda que para las placas aligeradas se tome un canto igual a la luz dividido por 28.

$$H(\text{canto}) = \frac{\text{Luz máxima}}{28}$$

CANTO DE FORJADO RETICULAR PARA CARGAS CONVENCIONALES  $\leq 300 \text{ Kg/m}^2$

Luz (m)	EH (cm)	NTE (cm)	ACONSEJABLE POR EXPERIENCIA
4	15	20	20-23
5	20	20	23-25
6	20	25	25-27
7	25	25	27-30
8	30	30	30-35

El canto recomendado puede obtenerse al dividir la luz por un valor comprendido entre 20 y 25, dependiendo de los 5 parámetros inicialmente expuestos.

$$\frac{L}{20} > H(\text{canto}) > \frac{L}{25}$$

Si el canto debe elegirse porque existen voladizos que predominan sobre las luces de vanos, se recomienda emplear la siguiente tabla, teniendo en cuenta las tabiquerías que incidan sobre los mismos y en caso de dudas, saltar el escalón siguiente.

VOLADIZO (m)	CANTO(cm)
1	20
1,25	20-23
1,50	23-25
1,75	25-26
2	25-28
2,50	28-30
3	30 en adelante.

### CAPA DE COMPRESIÓN

- Normalmente en edificios de viviendas se emplean bovedillas perdidas ya que consiguen un mayor aislamiento.
- Los forjados con bovedillas recuperables necesitan mayor espesor de la capa de compresión. (Art.56.2.)
- EHE-98: La capa de compresión debe tener un espesor  $e \geq 5 \text{ cm}$
- La capa de compresión para evitar la fisuración de debe llevar un mallazo de # 6 a 30 cm, si existen cargas puntuales concentradas, en esa zona del forjado se colocará un mallazo # 6 a 15 cm.

