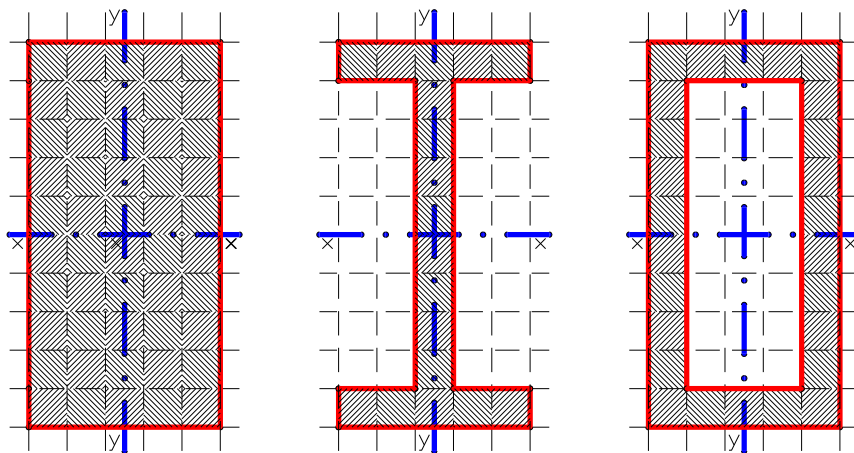




### Guía de Estudio (Repaso)

El tema de flexión debe ser analizado desde dos ópticas: esfuerzos externos (acción) y resistencia interna o nominal (reacción). El equilibrio requiere que la segunda sea mayor o igual que la primera. En los textos se designa al módulo resistente con la letra "W". En los textos actuales y en nuestro curso lo designaremos con la letra "S". Entre paréntesis se indica la bibliografía.

1. ¿Qué tipo de deformación producen sobre una viga los esfuerzos de corte y momento?  
Grafique una viga para explicarlo (DP-8)
2. ¿Qué diferencia hay cuando se habla de tensión de trabajo y tensión admisible?
3. Al hablar de la tensión en una estructura ¿qué diferencia puede describir si trabaja a sólo a tracción o a flexión?.
4. Para calcular la tensión ¿se usan las mismas expresiones?. ¿Por qué? (DP 18)
5. ¿Puede explicar la diferencia entre la figura 78 y la 117? (DP)
6. Propiedades de la sección (DP 19 y 27)
  - 6.1. Se proponen tres secciones y se solicita determinar los parámetros geométricos característicos (A, I, S) y
  - 6.2. Indicar las unidades de cada uno
  - 6.3. Ordenar de mayor a menor según A, I y S
  - 6.4. Determinar para cada sección la relación I/S
  - 6.5. Calcular la tensión  $f$  de cada uno para una carga  $P = 100$  kN
  - 6.6. Calcular la tensión  $f$  de cada uno para un momento  $M = 100$  kNm
7. ¿Qué diferencia puede indicar en el comportamiento estructural a flexión entre un elemento de hormigón, acero o madera? (DP 21)
8. ¿Por qué no se puede usar la propiedad "S" para el hormigón armado?
9. ¿Cómo se calcula una sección a flexión? (Use  $M = 8$  kNm)
  - 9.1. En acero
  - 9.2. En madera
  - 9.3. En Hormigón Armado





## FLEXIÓN

<b>Losas</b>  Sin vigas H=L/20 Simples H=L/30 Continuas H=L/40 Cruzadas H=L/50	Macizas
	Viguetas Pretensadas
	Viguetas Perfiles + Ladrillos
	Casetonados
	Steel Deck
	Otros
<b>Vigas</b>  Simples H=L/10 Continuas H=L/15 Pretensadas H=L/20	Acero
	Madera
	Hormigón
	Mixtas
	Otras

## CONSIDERACIONES PARA EL CÁLCULO EN FLEXIÓN

- Acciones y Combinaciones: ELU o ELS?
- Acero: ELU y ELS
- Madera: ELS
- Hº Armado macizo: ELU
- Hº Aliviando: ELU
- Steel Deck: Tablas

### Dimensionamiento Losas (Solicitaciones M y V)

#### Macizas y casetonadas (E.L.U.)

Determinar h.

Determinar armadura  $\rightarrow A_s = M_u / 0.90 (0,85 \cdot h \cdot f_y) \rightarrow (f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2)$

Maciza: Armadura calculada se coloca por metro de ancho de losa (cm<sup>2</sup>/m)

Casetonada: Armadura calculada se coloca en nervios contenidos en 1 m. de losa

#### Viguetas pretensadas (Nota: las tablas vienen dadas en E.L.S.)

Determinar altura de ladrillo

Seleccionar serie de vigueta  $\rightarrow M_{adm \text{ de vigueta}} > \text{Momento Flector}$

Agregar malla de repartición

### Dimensionamiento Vigas (Solicitaciones M y V)

#### Hormigón Armado (E.L.U. + E.L.S.)

- Determinar h
- Determinar armadura de flexión  $\rightarrow A_s = M_u / 0.9 (0,85 \cdot h \cdot f_y) \rightarrow (f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2)$
- La armadura calculada se coloca en el ancho "b" de la viga
- Controlar tensiones de corte  $\rightarrow \tau = V_u / (0,85 \cdot h \cdot b)$
- Determinar armadura de corte  $\rightarrow \text{sep} = n^{\circ} \text{ ramas} \cdot f_y [\text{kg/cm}^2] \cdot a_s \cdot h / V_u$
- Control de deformación  $\rightarrow f = M \cdot L^2 / (10 \cdot E \cdot I_{\text{fisurado}})$  (para cargas distribuidas)  
 $I_{\text{fisurado}} \approx I_{\text{bruto}} / 2$

#### Acero (E.L.U. + E.L.S.)

- Determinar perfil  $\rightarrow S_{nec} = M_u [\text{kgcm}] / (0.90 \cdot F_y) \rightarrow (F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2)$
- Control de deformación  $\rightarrow f = M \cdot L^2 / (10 \cdot E \cdot I)$  (para cargas distribuidas)

#### Madera (E.L.S.)

- Determinar sección  $\rightarrow S_{nec} = M [\text{kgcm}] / \sigma_{adm \text{ madera}} [\text{kg/cm}^2]$
- Control de deformación  $\rightarrow f = M \cdot L^2 / (10 \cdot E \cdot I)$  (para cargas distribuidas)



## ENTREPISOS DE PLACA DE ACERO Y ALIVIANADOS DE HORMIGÓN.

Los entrepisos son el primer componente a resolver en cualquier sistema estructural. Existen muchas alternativas empezando en las losas macizas de hormigón armado, entrepisos alivianados, etc. Se presentan dos casos no convencionales uno de placa colaborante y otro un entrepiso alivianado con esferas plásticas. Para facilitar la comprensión se proponen dos ejercicios.

### 1.- PLACA COLABORANTE DE ACERO CONFORMADO (STEEL DECK)

Dimensionar una losa utilizando placa colaborante para una oficina con sobrecarga de uso de  $300 \text{ kg/m}^2$  simplemente apoyada, en una dirección y luz de  $3,40 \text{ m}$

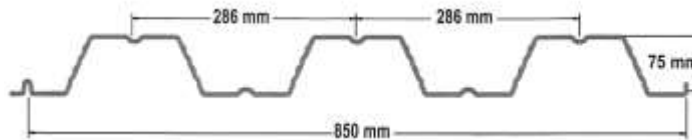
### PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

1.- Organización estructural determinando luces (L), condiciones de apoyo (simple, doble o triple) y cargas (carga por metro cuadrado)

Esta carga puede estar dada en  $[\text{kg/m}^2]$  o bien en  $[\text{kN/m}^2]$

Para obtenerla en  $[\text{kg/m}^2]$  hay que multiplicar por  $100 [\text{kN/m}^2]$ .

2.- Seleccionar tipo de placa colaborante: forma, altura de onda, espesor de chapa



3.- Determinar carga admisible (tabla N° 2) (con o sin conectores)

Determinar el destino: oficinas con una sobrecarga de diseño de  $300 \text{ kg/m}^2$ .

Elegir espesor de chapa (calibre): habíamos seleccionado calibre 22 (0.7 mm)

Elegir espesor de hormigón: habíamos elegido 50 mm y 125 mm espesor total de losa.

Indicar la luz de la losa:  $3,40 \text{ metros}$

La sobrecarga admisible es de  $342 \text{ kg/m}^2$  y es mayor que la de diseño, por lo que la chapa seleccionada verifica.

Espesor de placa	Esp. de Losa (mm)	H' s/cresta (mm)	Separación de apoyos (m)																
			1,80	2,00	2,20	2,40	2,60	2,80	3,00	3,20	3,40	3,60	3,80	4,00	4,20	4,40	4,60	4,80	5,00
cal. 22 (0,7mm)	125	50	1195	988	834	715	621	546	484	407	342	288	243	204	170	141	116	94	74
	130	55	1263	1045	881	756	656	577	512	435	366	309	260	219	183	152	125	101	80
	135	60	1332	1101	929	796	692	608	540	463	391	330	278	234	196	163	135	109	87
	155	80	1605	1327	1120	960	834	733	651	583	495	419	355	300	253	212	176	145	117
	175	100	1878	1553	1310	1123	976	858	761	682	607	515	437	371	314	264	221	183	150
cal. 20 (0,9mm)	125	50	1575	1312	1258	962	841	744	645	548	468	400	343	294	252	215	184	156	131
	130	55	1665	1387	1330	1017	889	786	689	586	500	428	367	315	270	231	197	168	141
	135	60	1755	1462	1402	1072	937	829	734	624	533	456	391	336	289	247	211	180	152
	155	80	2000	1762	1689	1292	1130	999	892	787	673	578	497	428	369	318	273	233	199
	175	100	2000	2000	1977	1512	1322	1169	1044	940	824	709	611	528	456	394	339	292	250
	125	50	1727	1473	1279	1126	1003	903	819	749	679	588	511	446	389	341	298	260	227
	130	55	1827	1573	1379	1226	1103	1003	919	849	779	688	611	546	489	441	398	360	327



En la tabla N° 1 se indican las longitudes máximas que no necesitan apuntalamiento. Para la opción elegida: chapa calibre 22 (espesor 0.7 mm) con dos apoyos (apoyos simples) y con 50 mm de espesor de hormigón sobre la cresta de la chapa (espesor total 125 mm), la luz máxima sin apuntalamiento es de 2,32 m.

Para nuestro ejemplo la losa tiene 3,40 metros de luz (separación entre apoyos), se debe colocar un apuntalamiento intermedio durante la construcción. Así la luz de la losa en la etapa constructiva será:  $3,40 \text{ m} / 2 = 1,70 \text{ m}$  que es menor que 2,32 m.

**Tabla N° 1**  
Longitud máxima sin apuntalamiento (m)

Espesor de placa	Tramos de apoyo	Hormigón sobre cresta (mm)				
		Esp. Total de losa (mm)				
		50	55	80	100	120
		125	130	155	175	195
cal. 22 (0,7mm)	Simple	2,32	2,27	2,06	1,94	1,83
	Doble	2,90	2,84	2,55	2,27	2,05
	Triple	2,99	2,93	2,67	2,51	2,33
cal. 20 (0,9mm)	Simple	2,84	2,78	2,52	2,36	2,23
	Doble	3,46	3,40	3,11	2,92	2,77
	Triple	3,58	3,51	3,21	3,02	2,86
cal. 18 (1,25mm)	Simple	3,52	3,44	3,11	2,91	2,74
	Doble	4,18	4,10	3,76	3,54	3,35
	Triple	4,20	4,16	3,88	3,66	3,47

### Resumen

Use losa de altura de onda 75 mm, calibre 22 (espesor de chapa) con capa de compresión de 50 mm y apuntalamiento a la mitad de la luz en la fase constructiva.

Colocar malla de acero tipo ADN-420 cruzada de barras de 4,2 mm de diámetro separadas 20 cm.

Como alternativa, se puede proponer modificar la luz de la losa a menos de 2.32 m para que no requiera apuntalamiento en la etapa constructiva. Esto impacta en que en lugar de colocar una viga de apoyo cada 3.40 m, deberá ir una viga cada 2.32 m. Si bien se elimina el apuntalamiento, se aumentará el consumo de acero para vigas en la proporción  $3.40/2.32 = 46\%$ , pero al tener menos carga, las vigas serán de menor peso. Se deberá evaluar la solución final más conveniente.

### Comentario:

La malla colocada tiene por objeto controlar la retracción (contracción) del hormigón durante el proceso de fragüe, que es cuando se empieza a perder parte del agua utilizada en el amasado. Mientras menos agua se coloque en la preparación del hormigón menor será el efecto de la retracción, además de la mejora en la resistencia al disminuir la relación agua/cemento. (Recordar curvas de resistencia)



## 2.- LOSA DE Hº Aº ALIVIADA CON ESFERAS (Similar a Tipo Prenova)

El objeto de aliviar un entrespacio tiene dos objetivos obtener mayor altura (mejora la rigidez por el aumento del momento de inercia) pero sin aumento sustancial del peso. Es el caso de las losas con viguetas pretensadas. También se utilizan bloques o encofrados (perdidos o removibles) que tienen el mismo fin. (Figura 1)

Las losas aliviadas con esferas son elementos de hormigón armado donde la esfera es un “encofrado” perdido cuya función es disminuir el peso por reemplazo del volumen de hormigón.

Desde el punto de vista del comportamiento estructural es similar al de una losa maciza donde se le coloca armadura en una o dos direcciones (preferentemente este último caso) de acuerdo con la demanda de momento flector.

La altura total del paquete (que incluye las esferas) debe respetar las relaciones de esbeltez usuales. Por ejemplo en una losa armada en una sola dirección la altura (h) sugerida es  $L/30$ . (Figura 2) Se debe recordar que esta altura está medida desde el borde superior al baricentro de la armadura. Para obtener la altura total a considerar en el peso se debe sumar el recubrimiento que no debe ser menor a 1,5 cm en ambientes no agresivos y cerrado y recomendable 2 cm.

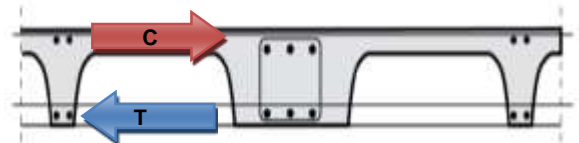


Figura 1

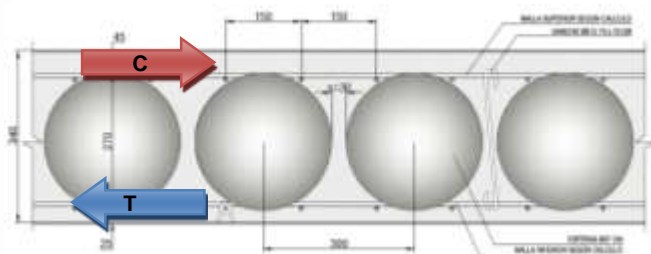


Figura 2



## Ejemplo 1

Dimensionar una losa de hormigón armado cruzada alivianada con esferas plásticas y sin vigas perimetrales (entrepiso sin vigas).

Nota 1: también se puede utilizar en entresijos con vigas.

Nota 2: El precio estimado es de U\$S 38/m<sup>2</sup>

Las luces son  $L_x = L_y = 6.50$  m. La altura  $h = L/20 = 650\text{cm}/20 = 32,5\text{cm}$ . Se adopta como espesor total 34 cm considerando el recubrimiento de la armadura inferior. (Ver mapa conceptual de flexión)

A excepción del peso propio las cargas surgidas del análisis son: 200 kg/m<sup>2</sup> (cielorraso, instalaciones, carpeta de nivelación, aislaciones y piso).

Por el destino la carga de uso es de  $L = 250$  kg/m<sup>2</sup>.

El peso propio se reduce un 65% por el uso de las esferas.

Peso propio bruto =  $0,34$  m x  $2400$  kg/m<sup>3</sup> =  $816$  kg/m<sup>2</sup>

Peso propio reducido =  $(0,34$  m x  $2400$  kg/m<sup>3</sup>) x  $(1-0,65)$  =  $286$  kg/m<sup>2</sup>

Carga total "q" (D + L) =  $286$  kg/m<sup>2</sup> +  $200$  kg/m<sup>2</sup> +  $250$  kg/m<sup>2</sup> =  $736$  kg/m<sup>2</sup>

Carga total "q<sub>u</sub>" =  $1.20$  x  $(286$  kg/m<sup>2</sup> +  $200$  kg/m<sup>2</sup>) +  $1.60$  x  $250$  kg/m<sup>2</sup> =  $983$  kg/m<sup>2</sup>

### Dimensionamiento de armadura

El momento flector de losa cruzada se determina igual que en las de una dirección, sólo que cambia el número divisor. Para losas cruzadas donde Lado Largo = Lado Corto, el N° para ambas direcciones es igual a 18 (Ver planilla de coeficientes para losas cruzadas)

$$M_u = q_u \cdot L^2 / 18 \quad [\text{kgm/m}] \quad (\text{momento por metro de ancho de losa})$$

$$A_s = M_u / 0.90 (0,85 \cdot h \cdot 4200 [\text{kg/cm}^2]) \quad [\text{cm}^2/\text{m}] \quad (\text{armadura por metro de ancho de losa})$$

$$M_u = q_u \cdot L^2 / 18 = 983 \text{ kg/m}^2 \cdot (6.50\text{m})^2 / 18 = 2307 \text{ kgm/m}$$

$$A_s = 2307 \text{ kgm/m} / 0.90 \cdot (0,85 \cdot 0,32 \text{ m} \cdot 4200 [\text{kg/cm}^2]) = 2,25 [\text{cm}^2/\text{m}]$$

### Armadura mínima

Independientemente del valor calculado siempre se debe colocar una armadura mínima del 0.18% de la sección total de hormigón por metro de ancho para controlar la retracción del hormigón durante el endurecimiento. Esto evita la aparición de fisuras. La armadura por retracción puede ser colocada en dos capas (superior e inferior). (Ver comentario del punto anterior)

$$A_{s \text{ mín}} = (0.18/100) \times (d \times 100) \text{ donde } d = \text{altura total de la losa}$$

$$A_{s \text{ mín}} = (0.18/100) \times (34 \times 100) = 6.12 \text{ cm}^2/\text{m} \quad (2 \text{ capas de } 3.06 \text{ cm}^2/\text{m})$$

$A_{s \text{ mín}} \rightarrow$  Doble malla cruzada  $\phi 8$  c/15cm (dos mallas una superior y otra inferior)

Se adopta como armadura la mínima (2 capas de  $3.06$  cm<sup>2</sup>/m) ya que resulta mayor que la de cálculo (2 capas de  $2.25$  cm<sup>2</sup>/m).

El detalle de armado es el que se muestra en la figura 2.



## Ejemplo 2

Se repita el ejemplo para una losa casetonada.

La determinación de armaduras se realiza de la misma manera. Esta armadura se expresa en  $\text{cm}^2$  por metro de ancho de losa y se coloca distribuida. Pero en los casetonados, se puede colocar sólo en los nervio, entonces se concentra la armadura en cada nervio.

Hay que determinar la cantidad de nervios por metro de ancho y la armadura de un metro debe dividirse por el número de nervios para obtener  $\text{cm}^2$  por nervio.

Repitiendo el cálculo de armadura.

$$M_u = q_u \cdot L^2 / 18 \quad [\text{kgm/m}] \quad (\text{momento por metro de ancho de losa})$$

$$A_s = M_u / 0.90 (0,85 \cdot h \cdot 4200 [\text{kg/cm}^2]) \quad [\text{cm}^2/\text{m}] \quad (\text{armadura por metro de ancho de losa})$$

$$M_u = q_u \cdot L^2 / 18 = 983 \text{ kg/m}^2 \cdot (6.50\text{m})^2 / 18 = 2307 \text{ kgm/m}$$

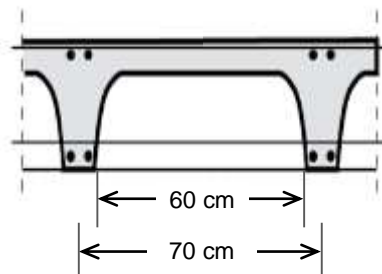
$$A_s = 2307 \text{ kgm/m} / 0.90 \cdot (0,85 \cdot 0,32 \text{ m} \cdot 4200 [\text{kg/cm}^2]) = 2,25 [\text{cm}^2/\text{m}]$$

Se proyecta una losa casetonada con nervios de 10 cm, separados 70 cm entre ejes. El hueco del casetón queda de 60 cm. En cada metro de ancho habrá un nervio y fracción:

$$\text{Número de nervios: } 1 \text{ nervio} / 0.70 \text{ m} = 1.43 \text{ nervios/m.}$$

$$\text{Armadura por nervio} = 2.25 [\text{cm}^2/\text{m}] / (1.43 [\text{nervios/m}]) = 1.57 \text{ cm}^2 / \text{nervio}$$

Se colocan  $2 \phi 10$  ( $1.58 \text{ cm}^2$ ) en cada nervio.





Caso	Tipo de panel	Momento Considerado	Lado Corto Coeficientes										Lado Largo para Cualquier Relación
			Relación Lado Largo/Lado Corto										
			1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,75	2			
Caso 1	4 Lados continuos	M Neg. En lado continuo	31	27	23	21	20	19	17	15	31		
		M. Pos. Tramo	42	36	31	28	26	24	22	20	42		
Caso 2	1 lado corto discontinuo	M Neg. En lado continuo	27	23	21	20	18	16	15	27			
		M. Pos. Tramo	36	31	26	26	24	23	21	19	36		
Caso 3	1 lado largo discontinuo	M Neg. En lado continuo	27	23	19	18	16	15	13	27			
		M. Pos. Tramo	36	30	26	23	21	20	17	15	36		
Caso 4	2 L. Adyacentes discontinuos	M Neg. En lado continuo	21	19	17	15	14	13	12	11	21		
		M. Pos. Tramo	29	25	22	20	19	18	16	14	29		
Caso 5	2 L. Cortos Discontinuos	M Neg. En lado continuo	22	20	19	18	17	17	15	14	-		
		M. Pos. Tramo	29	27	25	23	23	22	20	19	29		
Caso 6	2 L. Largos Discontinuos	M Neg. En lado continuo	-	-	-	-	-	-	-	-	22		
		M. Pos. Tramo	29	23	20	18	16	15	13	11	29		
Caso 7	3 Lados Discontinuos (Largo Continuo)	M Neg. En lado continuo	18	16	14	13	13	12	11	10	-		
		M. Pos. Tramo	23	21	19	18	17	16	14	14	23		
Caso 8	3 Lados Discontinuos (Corto Continuo)	M Neg. En lado continuo	-	-	-	-	-	-	-	-	18		
		M. Pos. Tramo	23	20	17	15	14	13	11	10	23		
Caso 9	4 Lados Discontinuos	M Neg. En lado continuo	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		M. Pos. Tramo	18	16	14	13	12	11	10	9	18		

Mi = Momento en la sección i  
q = Carga ultima sobre la losa  
Lcorto = Luz menor de la losa  
n = coeficiente que se obtiene de la tabla

$$M_i = \frac{q \times (L_{corto})^2}{n}$$

PLANILLA DE COEFICIENTES PARA MOMENTOS FLECTORES EN LOSAS CRUZADAS