

FORJADO

Elección del forjado

Los pórticos principales se encuentran separados entre ellos 6m como costillas que van a buscar los límites de la estructura. Los pilares que conforman los pórticos se separan proporcionalmente 6,3m y 3,15m y las jácenas se disponen de canto para conseguir mayor inercia y menores deformaciones. A consecuencia de las luces reducidas y las irregularidades en la forma se ha optado por un forjado unidireccional de semi-viguetas pretensadas y bovedillas cerámicas donde será necesario el montaje en obra del armado superior de continuidad y negativos así como el hormigonado in-situ de la capa de compresión y de los nervios.

Canto forjado cubierta transitable

PREDIMENSIONADO

Aplicamos la fórmula simplificada del cálculo del canto en forjados con vigas y luces inferiores a 7m. Consideramos la luz de 6m y simplificamos $\delta_1 = 1$ $\delta_2 = 1$ para obtener el canto y el peso propio del forjado. El coeficiente C=23 utilizado corresponde en tablas a viguetas pretensadas con tabiques o muros en el tramo extremo, posibilidad más desfavorable al no tener ningún tramo aislado y trabajar con un suelo de comportamiento rígido que admite pocas deformaciones.

$$h_{min} \geq \delta_1 \cdot \delta_2 \cdot L/C \rightarrow h_{min} \geq 1 \cdot 1 \cdot 6/23 = 0,26cm \rightarrow \text{canto catálogo PREHFEOR } h = 25 + 5cm$$

DIMENSIONADO

Estado de cargas

Peso propio forjado (pp) (25 + 5) = 3,30 KN/m²

Carga permanente (pp) Pavimento rígido = 1,25 KN/m²

Capa de pendientes + impermeable + aislante = 1,5 KN/m² | Carga permanente = 2,95 KN/m²
Falso techo + luces = 0,2 KN/m²

Sobrecarga (sc) Uso (centro comercial) = 5 KN/m²

Nieve = 0,5 KN/m² | Sobrecarga = 5,5 KN/m²

Carga total (Qt) = 8,45 KN/m² + pp forjado = 11,75KN/m²

Cálculo

Aplicamos la fórmula desarrollada:

$$\delta_1 = \sqrt{Q_T/7}; \quad \delta_1 = \sqrt{11,75/7} = 1,29$$

$$\delta_2 = \sqrt{L/6}; \quad \delta_2 = \sqrt{6/6} = 1$$

$$h_{min} \geq 1,29 \cdot 1 \cdot 6/23 = 0,33cm \times$$

No cumpliría porque el canto sería de mayor grosor que el mínimo 0,33cm > 0,26cm, error resultado de la simplificación del predimensionado. Recalcularemos las cargas con un nuevo canto considerando las medidas estándares de los revoltos cerámicos y de la capa de compresión catálogo FREHFHOR (h=30+5cm)

Peso propio forjado (pp) (30 + 5) = 3,85 KN/m² → Qt = 12,3 KN/m²

$$\delta_1 = \sqrt{Q_T/7}; \quad \delta_1 = \sqrt{12,3/7} = 1,32$$

$$\delta_2 = \sqrt{L/6}; \quad \delta_2 = \sqrt{6/6} = 1$$

$$h_{min} \geq 1,32 \cdot 1 \cdot 6/23 = 0,34cm \checkmark$$

Cumpliría ya que el resultado no supera el canto mínimo 0,35cm > 0,33cm. El canto utilizado será de 35 cm que corresponde con un forjado de 30 + 5cm.

Canto forjado cubierta no transitable

$$h_{min} \geq \delta_1 \cdot \delta_2 \cdot L/C \rightarrow h_{min} \geq 1 \cdot 1 \cdot 6/23 = 0,26cm \rightarrow \text{canto catálogo PREHFEOR } h = 22 + 4cm$$

Estado de cargas

Peso propio forjado (pp) (22 + 4) = 2,86 KN/m²

Carga permanente (pp) Grava = 0,9 KN/m²

Capa de pendientes + impermeable + aislante = 1,5 KN/m² | Carga permanente = 2,6 KN/m²
Falso techo + luces = 0,2 KN/m²

Sobrecarga (sc) Uso (cubiertas accesibles únicamente para la conservación, pendiente < 20 %) = 2 KN/m²

Nieve = 0,5 KN/m² | Sobrecarga = 2,5 KN/m²

Carga total (Qt) = 5,1 KN/m² + pp forjado = 7,96KN/m²

Cálculo

Aplicamos la fórmula desarrollada:

$$\delta_1 = \sqrt{Q_T/7}; \quad \delta_1 = \sqrt{7,96/7} = 1,06$$

$$\delta_2 = \sqrt{L/6}; \quad \delta_2 = \sqrt{6/6} = 1$$

$$h_{min} \geq 1,06 \cdot 1 \cdot 6/23 = 0,27cm \times$$

canto catálogo PREHFEOR h=25+4cm

$$Qt = 8,29 KN/m^2$$

$$\delta_1 = \sqrt{Q_T/7}; \quad \delta_1 = \sqrt{8,29/7} = 1,08$$

$$\delta_2 = \sqrt{L/6}; \quad \delta_2 = \sqrt{6/6} = 1$$

$$h_{min} \geq 1,08 \cdot 1 \cdot 6/23 = 0,28cm \checkmark$$

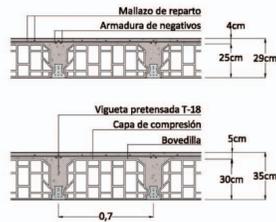
Catálogo FREHFHOR

Forjado Semi-Vigüeta Pretensada T-11 _ Bovedilla cerámica

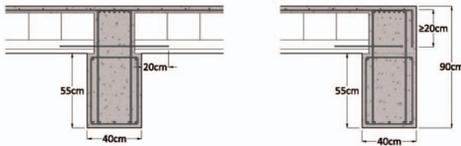
CANTO	VIGUETA I/SIMPLE	PESO EN KN/m2				LITROSH L/m2
		HOR	ARLIT	CERAM	POREX	
12+4	50/S	2,95	2,85	2,47	*	36
12+5	50/S	3,19	3,05	2,81	2,24	46
12+4	60/S	2,87	2,45	2,04	*	43
17+4	70/S	2,68	*	2,17	*	60
17+5	70/S	2,92	*	2,41	1,89	70
20+4	70/S	2,93	*	2,41	*	70
20+5	70/S	3,17	*	2,65	2,11	80
22+4	70/S	3,13	2,98	2,58	*	74
22+5	70/S	3,37	3,22	2,82	2,28	84
25+4	70/S	3,41	3,25	2,84	*	83
25+5	70/S	3,65	3,50	3,08	2,54	93
30+4	70/S	3,84	3,78	3,32	*	98
30+5	70/S	4,18	4,00	3,56	2,98	100

Detalles constructivos (E:1/25)

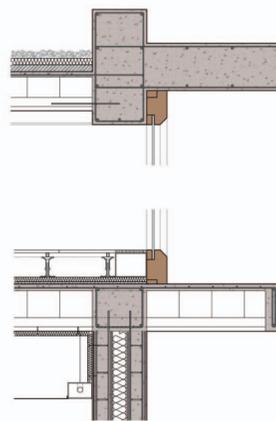
DETALLE 1: Forjado



DETALLE 2: Encuentro del forjado con viga de canto tramo intermedio/extremo



DETALLE 3: Cambio de cota en forjado superior y extremo en voladizo sobre muro



JÁCENA A

Cálculo bajo criterio tensional

La jácena escogida es la que se encuentra en una situación más desfavorable dentro de la malla que conforma la cubierta transitable sin tener en cuenta situaciones especiales como el voladizo o la barandilla que se calcularán con posterioridad.

Estado de cargas

Ancho tributario At=6m

Carga lineal a partir de la carga repartida:

CP repartida = 2,95 KN/m² + 3,56 KN/m² (forjado 30+5cm PREHFHOR) = 6,51 KN/m² → CP lineal = CP repartida · At = 39,06 KN/m
SC repartida = 5,5 KN/m² → SC lineal = 33KN/m
Qt lineal = 72,06KN/m

Cogeremos el momento más desfavorable e aislaremos el canto útil (d) de la fórmula → $M_d = 0,24 \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$

M = -Q²/10 = 72,06 · 6,3²/10 = 286 KN·m

Md = M · 1,5 = 429 KN·m

d = $\sqrt{\frac{M_d}{0,24 \cdot b \cdot f_{cd}}} = \sqrt{\frac{429}{0,24 \cdot 0,4 \cdot (25 \cdot 10^3 / 1,5)}} = 0,51m$

Según el criterio tensional el canto de la jácena será de 50 + 5cm

Cálculo según deformaciones máximas admisibles

El pavimento de la cubierta es de hormigón armado por lo que según el CTE deberemos aplicar una deformación de cálculo máxima Fadm = 1/500, aplicable a pavimentos rígidos sin juntas. Por lo tanto si la luz es de 6,3m, la flecha máxima será de 1,26cm. Considerando las cargas mayoradas debemos de comprobar que la flecha máxima admitida sea mayor que la flecha máxima de la jácena multiplicada por cuatro, de donde aislaremos la inercia para finalmente hallar el canto.

Fadm ≥ 4 · Fmáx

Fadm = 1/500 = 1,26cm

Fmáx = $\frac{5Q^4}{384EI} + \frac{M_{máx}^2}{16EI} = \frac{5 \cdot 72,06 \cdot 6,3^4}{384 \cdot (27,3 \cdot 10^3)^4} + \frac{2 \cdot (72,06 \cdot 6,3^2/10) \cdot 6,3^2}{16 \cdot (27,3 \cdot 10^3)^4} = \frac{1}{1} \cdot (2,16 \cdot 10^{-4})$

0,0126 = $\frac{4}{1} \cdot (2,16 \cdot 10^{-4}) \rightarrow I = \frac{4 \cdot (2,16 \cdot 10^{-4})}{0,0126} = 6,87 \cdot 10^{-4} m^4 \rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot I}{b}} = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot 6,87 \cdot 10^{-4}}{0,40}} = 0,27m$

Según las deformaciones máximas admisibles en el vano central el canto de la jácena será de 30 + 5cm

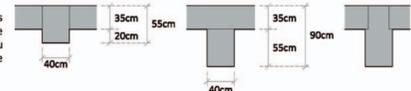
Fmáx = $\frac{5Q^4}{384EI} + \frac{M_{máx}^2}{16EI} = \frac{5 \cdot 72,06 \cdot 6,3^4}{384 \cdot (27,3 \cdot 10^3)^4} + \frac{72,06 \cdot 6,3^2/10 \cdot 6,3^2}{16 \cdot (27,3 \cdot 10^3)^4} = \frac{1}{1} \cdot (1,37 \cdot 10^{-4})$

0,0126 = $\frac{4}{1} \cdot (1,37 \cdot 10^{-4}) \rightarrow I = \frac{4 \cdot (1,37 \cdot 10^{-4})}{0,0126} = 0,0043 m^4 \rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot I}{b}} = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot 0,0043}{0,40}} = 0,50m$

Según las deformaciones máximas admisibles en el vano lateral el canto de la jácena será de 50 + 5cm

Criterio de proyecto

El proyecto busca la presencia estructural de las jácenas. Se ha optado por mantener el canto de cálculo bajo el nivel del forjado aumentando su canto total al adoptar una geometría en "T" que resuelve la solución constructiva.



Armado a flexión

Armadura mínima

Calcularemos la armadura mínima mediante la fórmula $0,0028 > A_s/AC$ para posteriormente coger los rodones que cumplan la fórmula $(A_s \cdot F_{yd}) / (AC \cdot F_{cd}) > 0,04$. Consideraremos una geometría rectangular teórica de la jácena para el cálculo de 30x90cm.

As = Superficie de acero

Ac = Superficie de hormigón 0,30 · 0,90cm

Ac = 0,0028 · 300 · 900 = 756mm² → As real = 804,24mm² **4Ø16mm**

(As · F_{yd}) / (Ac · F_{cd}) > 0,04 → (804,24 · 500 / 1,5) / (300 · 900 · 25 / 1,5) = 0,06 > 0,04 ✓

Armadura longitudinal

Calcularemos la armadura longitudinal, no obstante, la armadura mínima siempre será de 4Ø16mm. Los cálculos los realizaremos mediante las siguientes fórmulas con la ayuda de las tablas convenientes.

$$\mu = \frac{M_d}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}; \quad \omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} \text{ por lo tanto, } A_s = \frac{\omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd}}{f_{yd}}$$

Momento en el extremo 312,8 KNm

$$\mu = \frac{312,8 \cdot 10^6}{300 \cdot 900^2 \cdot (25/1,5)} = 0,08; \text{ en tablas } \omega = 0,09$$

As = $\frac{0,09 \cdot 300 \cdot 900 \cdot (25/1,5)}{500/1,5} = 1215mm^2 \rightarrow \mathbf{7Ø16}$

Momento resistente 1407,4mm²

$$\omega = \frac{1407,5 \cdot (500/1,5)}{300 \cdot 900 \cdot (25/1,5)} = 0,10; \text{ en tablas } \mu = 0,09$$

Mr = $\frac{0,09 \cdot 300 \cdot 900^2 \cdot (25/1,5)}{10^6} = \mathbf{364,5 KNm}$

Momento en el centro 239,2 KNm

$$\mu = \frac{239,2 \cdot 10^6}{300 \cdot 900^2 \cdot (25/1,5)} = 0,06; \text{ en tablas } \omega = 0,07$$

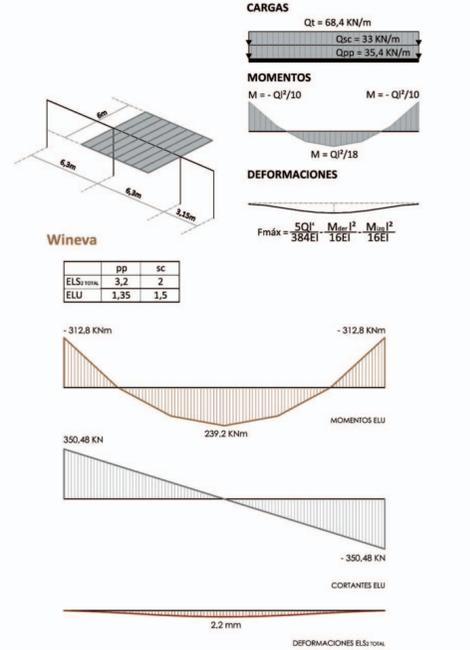
As = $\frac{0,07 \cdot 300 \cdot 900 \cdot (25/1,5)}{500/1,5} = 945mm^2 \rightarrow \mathbf{5Ø16}$ > armado mínimo

Momento resistente 1005,3mm²

$$\omega = \frac{1005,3 \cdot (500/1,5)}{300 \cdot 900 \cdot (25/1,5)} = 0,075; \text{ en tablas } \mu = 0,07$$

Mr = $\frac{0,07 \cdot 300 \cdot 900^2 \cdot (25/1,5)}{10^6} = \mathbf{283,5 KNm}$

La separación mínima entre el armado ha de ser ≥ 2cm o el Ø utilizado para poder hormigonar. En el caso más desfavorable 7Ø16, tenemos una separación de 2,1cm. Hemos decidido armar con rodones de Ø16 en lugar de utilizar rodones de Ø20 porque se cumple esta condición y en obra es más fácil de ejecutar.



Tablas

Sección armada		NÚMERO DE BARRAS											
Clase	Clase	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	0,028	0,030	0,032	0,034	0,036	0,038	0,040	0,042	0,044	0,046	0,048	0,050
2	1	0,030	0,032	0,034	0,036	0,038	0,040	0,042	0,044	0,046	0,048	0,050	0,052
3	1	0,032	0,034	0,036	0,038	0,040	0,042	0,044	0,046	0,048	0,050	0,052	0,054
4	1	0,034	0,036	0,038	0,040	0,042	0,044	0,046	0,048	0,050	0,052	0,054	0,056
5	1	0,036	0,038	0,040	0,042	0,044	0,046	0,048	0,050	0,052	0,054	0,056	0,058
6	1	0,038	0,040	0,042	0,044	0,046	0,048	0,050	0,052	0,054	0,056	0,058	0,060
7	1	0,040	0,042	0,044	0,046	0,048	0,050	0,052	0,054	0,056	0,058	0,060	0,062
8	1	0,042	0,044	0,046	0,048	0,050	0,052	0,054	0,056	0,058	0,060	0,062	0,064
9	1	0,044	0,046	0,048	0,050	0,052	0,054	0,056	0,058	0,060	0,062	0,064	0,066
10	1	0,046	0,048	0,050	0,052	0,054	0,056	0,058	0,060	0,062	0,064	0,066	0,068
11	1	0,048	0,050	0,052	0,054	0,056	0,058	0,060	0,062	0,064	0,066	0,068	0,070
12	1	0,050	0,052	0,054	0,056	0,058	0,060	0,062	0,064	0,066	0,068	0,070	0,072
13	1	0,052	0,054	0,056	0,058	0,060	0,062	0,064	0,066	0,068	0,070	0,072	0,074
14	1	0,054	0,056	0,058	0,060	0,062	0,064	0,066	0,068	0,070	0,072	0,074	0,076
15	1	0,056	0,058	0,060	0,062	0,064	0,066	0,068	0,070	0,072	0,074	0,076	0,078
16	1	0,058	0,060	0,062	0,064	0,066	0,068	0,070	0,072	0,074	0,076	0,078	0,080
17	1	0,060	0,062	0,064	0,066	0,068	0,070	0,072	0,074	0,076	0,078	0,080	0,082
18	1	0,062	0,064	0,066	0,068	0,070	0,072	0,074	0,076	0,078	0,080	0,082	0,084
19	1	0,064	0,066	0,068	0,070	0,072	0,074	0,076	0,078	0,080	0,082	0,084	0,086
20	1	0,066	0,068	0,070	0,072	0,074	0,076	0,078	0,080	0,0			