

Anejo nº 8:

CÁLCULO DE LA CIMENTACIÓN

Autor:
Frígols Olmos, Pablo Ricardo





ÍNDICE

1.- Metodología de cálculo.....	216
1.1.-Tipología de cimentación.....	216
1.2.-Comprobación frente al hundimiento.....	217
1.2.1.-Carga de hundimiento.....	217
1.2.2.-Carga transmitida.....	218
1.2.3.-Dimensionamiento de la zapata aislada.....	218
1.3.-Comprobación de asiento.....	219
1.4.-Comprobación frente a vuelco.....	219
1.5.-Comprobación frente a deslizamiento.....	219
1.6.-Comprobación frente a sismo.....	219
2.- Cálculo de la estructura metálica.....	221
2.1.-Modelado de la estructura y cargas.....	221
2.1.1.-Modelado de la estructura de la sala de ventas.....	221
2.1.2.-Modelado de la estructura del almacén.....	224
2.1.3.-Pilares colindantes entre sala de ventas y almacenes.....	226
2.2.-Dimensionado frente a hundimiento.....	227
2.3.-Dimensionado frente a asiento.....	228
3.- Cálculo de la estructura de hormigón prefabricado.....	233
3.1.-Modelado de la estructura y cargas.....	233
3.1.1.-Modelado de la estructura de la sala de ventas.....	233
3.1.2.-Modelado de la estructura del almacén.....	236
3.1.3.-Pilares colindantes entre sala de ventas y almacenes.....	238
3.2.-Dimensionado frente a hundimiento.....	239
3.3.-Dimensionado frente a asiento.....	239
4.- Armado de las zapatas.....	245
5.- Vigas de atado.....	247
5.1.-Estructura metálica.....	247
6.- Sección tipo en aparcamiento.....	250
7.- Sección tipo solera.....	251

1.- Metodología de cálculo

1.1.- Tipología de cimentación

Siguiendo un proceso de decisión basado en la información previa, el estudio geotécnico y el tipo de edificio con sus respectivas cargas actuantes averiguamos la tipología de cimentación más adecuada para el hipermercado. El terreno es granular, con una capa superficial de 1,2 metros de pésima calidad pero con unas arenas de propiedades aceptables desde los 1,2 metros hasta los 7,2 metros de profundidad. Dado que se trata de un edificio de una sola planta y diáfano, se ha optado por escoger una zapata superficial de tipo directa. En un principio se buscará una zapata cuadrada, pero si las condiciones frente a hundimiento o asiento lo requieren se podrá emplear una zapata rectangular.

En la *Imagen 1.1-a.* se muestra la geometría del terreno con los parámetros de cálculo de los tres niveles superiores.

Nivel 0

$$\begin{aligned}\gamma &= 2,0 \text{ t/m}^3 \\ \gamma_s &= 1,8 \text{ t/m}^3 \\ c' &= 0 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

Nivel 1

$$\begin{aligned}\gamma &= 2,1 \text{ t/m}^3 \\ \gamma_s &= 1,8 \text{ t/m}^3 \\ c' &= 0 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

Nivel 2

$$\begin{aligned}\gamma &= 2,1 \text{ t/m}^3 \\ \gamma_s &= 1,8 \text{ t/m}^3 \\ c' &= 0 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

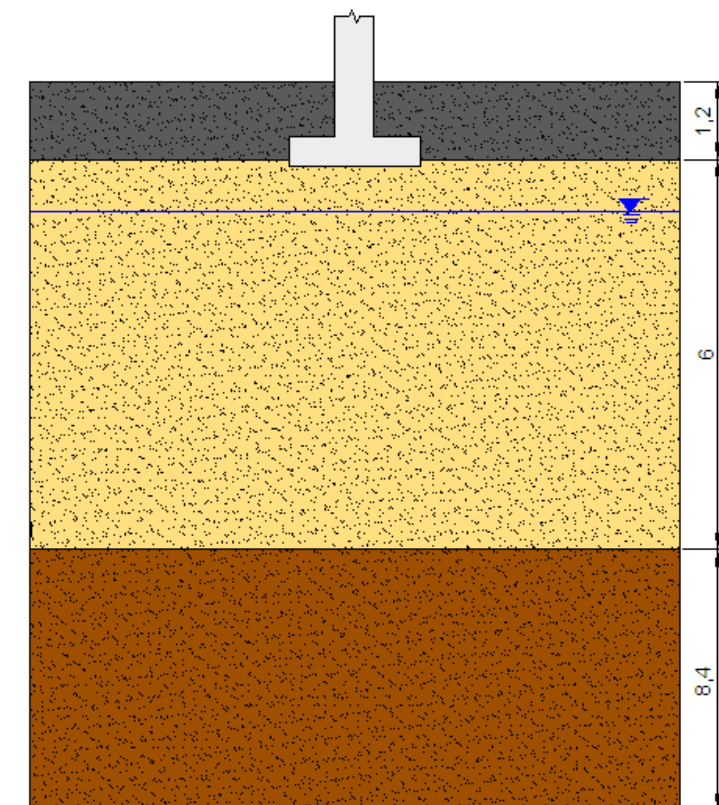


Imagen 1.1-a. Niveles del terreno

1.2.- Comprobación frente al hundimiento

A continuación se va a verificar la zapata frente al hundimiento. Para ello, se utiliza el siguiente coeficiente de seguridad:

$$\frac{q'_h}{q_t} = 3$$

La carga de hundimiento, q'_h , depende de diversos factores y se va a calcular según la fórmula de Brinch-Hansen. Al tratarse de un suelo arenoso, se hará únicamente el cálculo en tensiones efectivas. Dado que se desconoce la dimensión de la zapata aislada de la cimentación a verificar, se procede a calcular el hundimiento en función de B, el ancho de la zapata. Al tratarse de una zapata cuadrada, q_t depende simplemente del axil que transmite el pilar y del ancho de la zapata al cuadrado, B^2 . Dado que el coeficiente de seguridad es 3, se va a proceder a despejar el ancho de la zapata, dimensionándola de manera que cumpla frente al hundimiento.

En la *Imagen 1.2-a* se muestra un croquis de la zapata en el terreno. La cota de cimentación se sitúa 10 cm por debajo de la superficie de las arenas grises.

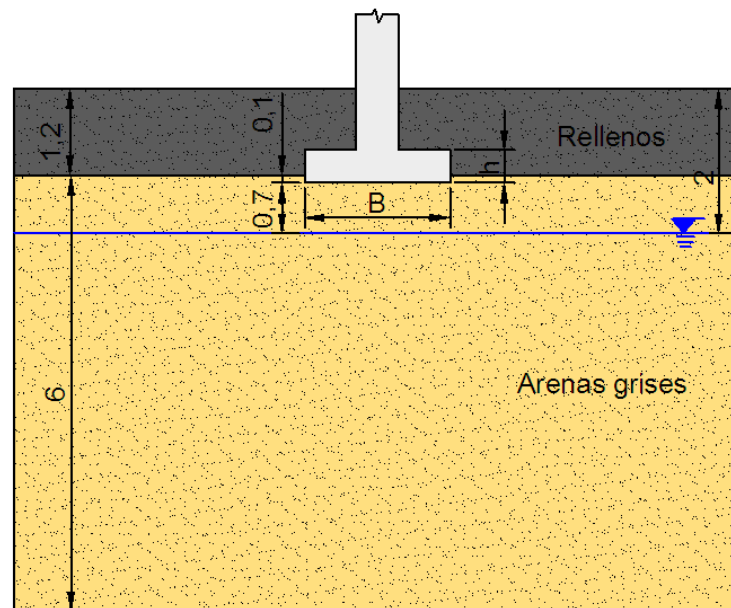


Imagen 1.2-a. Croquis zapata aislada

1.2.1.- Carga de hundimiento

Se comienza por el cálculo de Brinch-Hansen.

$$q'_h = c' N_c s_c i_c d_c + q' N_q s_q i_q d_q + \frac{1}{2} \gamma^* B' N_\gamma s_\gamma i_\gamma d_\gamma$$

Se calcula término a término y al final, se introduce en la ecuación en función de B. Dado que la cohesión efectiva, c' es 0, ese término de la ecuación se anula.

- » $q' = q - u = 26,1 \text{ kN/m}^2$
 - $q = \gamma z_{\text{cimentación}} = (20 \times 1,2 + 21 \times 0,1) = 26,1 \text{ kN/m}^2$
 - $u = 0 \text{ kN/m}^2$
- » $N_q = e^{\pi \times \tan \varphi} \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) = e^{\pi \times \tan(0,5411)} \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{0,5411}{2} \right) = 20,6308$
 - $\varphi = 31^\circ = 0,5411 \text{ rad}$
- » $s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \times \tan \varphi = 1 + \frac{2B - \frac{M_{\text{menor}}}{N}}{2B - \frac{M_{\text{mayor}}}{N}} \times 0,6009$
 - $B' = 2B - \frac{M_{\text{menor}}}{N}$
 - $L' = 2B - \frac{M_{\text{mayor}}}{N}$
 - $\varphi = 31^\circ = 0,5411 \text{ rad}$
- » $i_q = 1$
- » $d_q = 1$
- » $\gamma^* = \gamma' + \frac{D_w}{B'} \times (\gamma_{\text{aparente}} - \gamma') = 11,2331 + \frac{0,7}{2B - \frac{M_{\text{menor}}}{N}} \times (21 - 11,2331)$

Se utiliza esta fórmula dado que se estima que $D_w < B'$

$$- \gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w = 21,2331 - 10 = 11,2331 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{sat} = \gamma_d + \left(1 - \frac{\gamma_d}{G_s \times \gamma_w}\right) \times \gamma_w = 18 + \left(1 - \frac{18}{2,66 \times 10}\right) \times 10 = 21,2331 \text{ kN/m}^3$$

$$G_s = 2,66, \text{ por tratarse de una arena.}$$

$$\gamma_d = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$- D_w = 0,7 \text{ m}$$

$$- \gamma_{aparente} = 21 \text{ kN/m}^3$$

$$- B' = 2B - \frac{M_{menor}}{N}$$

$$» N_\gamma = 1,5 \times (N_q - 1) \times \tan \varphi = 1,5 \times (20,6308 - 1) \times \tan(31) = 17,6931$$

$$\varphi = 31^\circ = 0,5411 \text{ rad}$$

$$» s_\gamma = 1 - 0,4 \frac{B'}{L'} = 1 - 0,4 \frac{2B - \frac{M_{menor}}{N}}{2B - \frac{M_{mayor}}{N}}$$

$$B' = 2B - \frac{M_{menor}}{N}$$

$$L' = 2B - \frac{M_{mayor}}{N}$$

$$» i_\gamma = 1$$

$$» d_\gamma = 1$$

$$q'_h = c' N_c s_c i_c d_c + q' N_q s_q i_q d_q + \frac{1}{2} \gamma^* B' N_\gamma s_\gamma i_\gamma d_\gamma$$

$$q'_h = 0 + 26,1 \times 20,6308 \times \left(1 + \frac{B'}{L'} \times 0,6009\right) \times 1 \times 1 +$$

$$\frac{1}{2} \times \left(11,2331 + \frac{0,7}{B'} \times (21 - 11,2331)\right) \times (B') \times 17,6931 \times \left(1 - 0,4 \frac{B'}{L'}\right) \times 1 \times 1$$

$$q'_h = 538,464 + 323,563 \times \frac{B'}{L'} - 39,749 \frac{B'^2}{L'} + 99,374 B' + 36,289$$

$$q'_h = -39,749 \frac{B'^2}{L'} + 99,374 B' + 323,563 \times \frac{B'}{L'} + 574,753 \text{ kN/m}^2$$

1.2.2.- Carga transmitida

Se calcula la carga que transmite la cimentación al terreno, que se corresponde con el axil dividido entre el área de la zapata. Al tratarse de una zapata cuadrada, se divide entre su ancho B al cuadrado.

$$q_t = \frac{N}{B^2}$$

1.2.3.- Dimensionamiento de la zapata aislada

$$\frac{q'_h}{q_t} = 3$$

$$-39,749 \frac{B'^2}{L'} + 99,374 B' + 323,563 \times \frac{B'}{L'} + 574,753 = 3 \times \frac{N}{B^2}$$

$$\begin{aligned} & -39,749 \frac{2B - \left(\frac{M_{menor}}{N}\right)^2}{2B - \frac{M_{mayor}}{N}} + 99,374 \left(2B - \frac{M_{menor}}{N}\right) + 323,563 \times \frac{2B - \frac{M_{menor}}{N}}{2B - \frac{M_{mayor}}{N}} + 574,753 \\ & = 3 \times \frac{N}{B^2} \end{aligned}$$

En los apartados 2 y 3 se resolverá la fórmula anterior a fin de obtener el ancho B de las zapata, para la solución metálica y de hormigón prefabricado, respectivamente. Una vez obtenida la dimensión de la base se obtiene el canto h de la zapata.

1.3.- Comprobación de asiento.

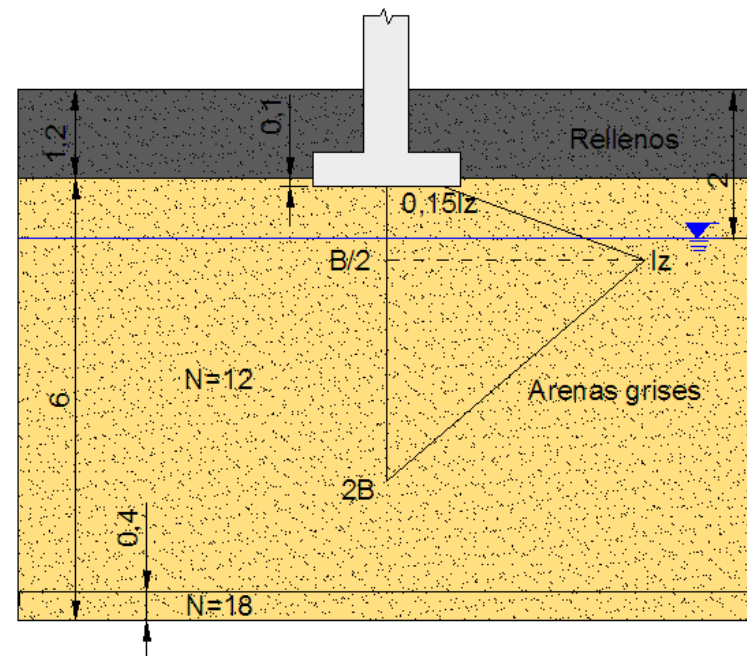


Imagen 1.3-a. Método de Schmertmann

Para la comprobación del asiento se utiliza el método de Schmertmann, que se basa en la siguiente ecuación:

$$s = C_1 \times q_{tn} \times \sum_{z=0}^{z=2B} \frac{I_z}{E} \Delta z$$

$$» C_1 = 1 - 0,5 \frac{q'}{q_{tn}} > 0,5$$

$$- q' = q - u = 26,1 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 1,2 \times \gamma_{relleno} + 0,1 \times \gamma_{arena \text{ gris}} = 1,2 \times 20 + 0,1 \times 21 = 26,1 \text{ kN/m}^2$$

$$u = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$- q_{tn} = q_t - q =$$

$$q_t = \frac{N}{B^2} =$$

$$» I_z = 0,5 + 0,1 \times \sqrt{\frac{q_{tn}}{\sigma'_{vq}}}$$

$$- \sigma'_{vq} = q - u$$

$$q = 1,2 \times \gamma_{relleno} + 0,1 \times \gamma_{arena \text{ gris}} + \frac{B}{2} \times \gamma_{arena \text{ gris}}$$

$$u = \left(\frac{B}{2} - 0,7 \right) \times 10 =$$

$$» E = 2,5 q_c = 10 \text{ N (kg/cm}^2\text{)} = 1000 \text{ N (kN/m}^2\text{)}$$

$$- q_c = 4 \text{ N ; correlación más usual para el caso de arenas.}$$

1.4.- Comprobación frente a vuelco.

Dado que se trata de un hipermercado de cubierta plana, con un 1% de pendiente, se puede decir que no van a aparecer esfuerzos horizontales relevantes que sean capaces de provocar el vuelco de la cimentación. No obstante, sí que aparecerá la carga del viento como única acción desestabilizadora. Sin embargo, se puede predecir que no se producirá el vuelco en ninguno de los casos por la disposición existente entre pilares, que están suficientemente rigidizados gracias a las vigas y las correas.

1.5.- Comprobación frente a deslizamiento.

De la misma manera que la estructura no puede volcar, a pesar de verse sometida al esfuerzo horizontal del viento, ésta no podrá deslizarse. Esto se debe a que se trata de una estructura muy arriostrada, unida por varios elementos en las 3 dimensiones, lo que consigue un efecto de trabajo solidario que impediría en todo caso un posible deslizamiento por parte del viento. Además, la estructura cuenta con su propio peso como agente estabilizador.

1.6.- Comprobación frente a sismo.

En este caso de cimentaciones aisladas, el sismo puede llegar a producir efectos catastróficos ya que las estructuras no están arriostradas a cota de cimentación. Se utilizan las vigas de atado, y son de obligado uso en el caso en el que $a_c > 0,016g$ según la NCSR-02. Sin embargo, el atado de zapatas es una recomendación en el caso de que $0,06g > a_c > 0,016g$.

Para la ciudad de Valencia, el valor de a_c/g es de 0,06, es decir, en el límite inferior de la recomendación. Se ha optado por evitar las vigas de atado, entre todas las zapatas ya que el hipermercado es una gran superficie y optar por un atado total de las vigas supondría un gran coste añadido. No obstante, en el apartado 5 se dimensionará la viga de atado perimetral al edificio y en la dirección Este-Oeste, que es la cara de mayor longitud del edificio.

2.- Cálculo de la estructura metálica

2.1.- Modelado de la estructura y cargas

En el siguiente anejo se va a dimensionar la zapata tal y como se ha planteado en el apartado 2, siguiendo las fórmulas de hundimiento y de asiento.

El procedimiento empleado ha consistido en modelar la estructura en el programa de cálculo SAP 2000, se han introducido las acciones con sus pertinentes combinaciones de ELU y se han generado unas tablas de reacciones en la base de los pilares como cargas que le llegan a la zapata.

El edificio cuenta con dos estructuras independientes. Por una parte, una estructura diáfana, de gran altura, con una cubierta plana muy ligera que se corresponde con la sala de ventas del hipermercado. Por otra parte, existe un almacén, una estructura mucho más rígida, con forjado de losa alveolar sometido a mayores acciones exteriores como unos depósitos, grupo electrógeno... Se ha realizado el modelado en SAP por separado.

Al ser estructuras completamente distintas, no comparten ni siquiera los pilares en el punto donde acaba la sala de ventas y comienza el almacén. Sin embargo, estos pilares, muy próximos el uno del otro, compartirán cimentación. Es decir, en la unión almacén-sala de ventas, existen zapatas aisladas que reciben dos pilares.

A continuación, imágenes de cómo quedan el almacén y la sala de ventas modeladas en el programa SAP2000.

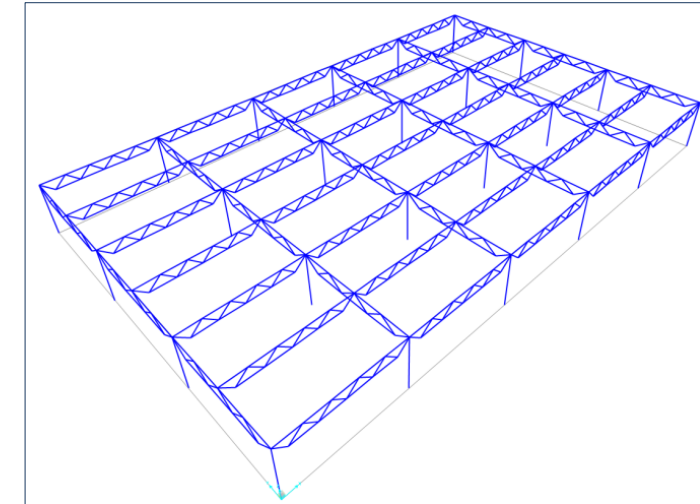


Imagen 2.1-a. Modelado de la estructura metálica en SAP. Sala de ventas

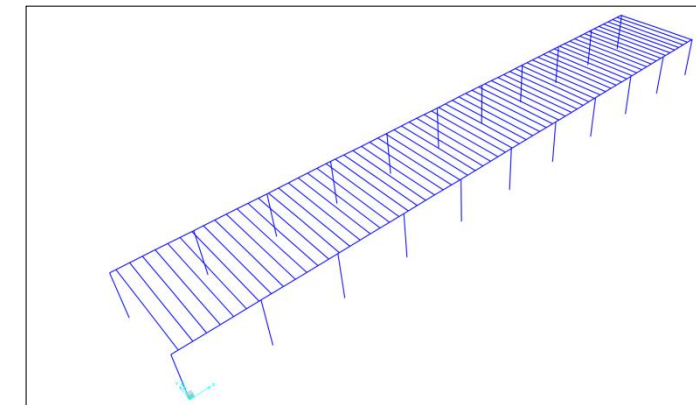


Imagen 2.1-b. Modelado de la estructura metálica en SAP. Almacén

Dado que aún no se conocen las dimensiones de la zapata, se opta por asumir que tendrán una geometría similar a 2x2x1 m, por lo que con una densidad del hormigón armado de 25 kN/m² se estima un axil generado por la zapata de 100 kN que habrá que sumarle a los esfuerzos generados en el programa SAP 2000. Ya que se espera que las zapatas que comparten pilares estén sometidas a mayores esfuerzos, a ese grupo se le sumará 150 kN en lugar de 100kN.

2.1.1.- Modelado de la estructura de la sala de ventas

Después de imprimir las tablas de reacciones en la cimentación de la zapata, se ha podido observar que los pilares interiores de la estructura están sometidos a unas cargas mayores

que los pilares exteriores, por lo que es posible que compense dimensionar dos zapatas de diferente tamaño. Además, la fila de pilares colindante al almacén transmiten las acciones a la misma zapata que la fila de pilares del almacén, por lo que sin duda estas zapatas tendrán una dimensión mayor. No obstante, a pesar de que se proponga de esta manera en este anejo, en caso de resultar más viable y económico por cuestiones constructivas, se podría usar el mayor ancho de zapata para todos los pilares del edificio.

Se han establecido, por tanto, tres grupos distintos de pilares (exteriores, interiores y colindantes con el almacén), para los cuales se escogen las combinaciones de ELU que se habían planteado, y para cada grupo se busca la combinación más desfavorable.

En la *Imagen 2.1-cse* enumeran los pilares, para los cuales se han establecido los siguientes grupos:

- » Grupo 1: pilares exteriores (en negro).
- » Grupo 2: pilares interiores (en azul).
- » Grupo 3: pilares colindantes con el almacén (en verde).

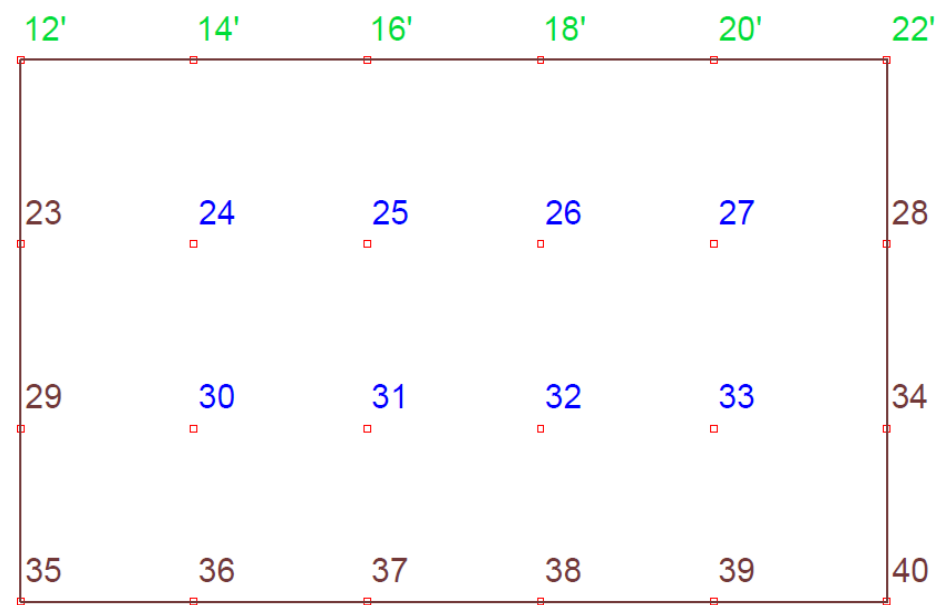


Imagen 2.1-c. Enumeración de los pilares de la sala de ventas

En las siguientes tablas se incluyen los esfuerzos que los pilares transmiten a la cimentación, para los 4 casos de ELU planteados. La situación del pilar al que hacen referencia se puede observar en la imagen anterior.

Pilares exteriores

Pilar	ELU	N (kN)	M ₁ (kNm)	M ₂ (kNm)
23	ELU 1	275,758	48,090	21,243
	ELU 2	310,714	45,593	-5,637
	ELU 3	293,235	-1,381	-51,651
	ELU 4	84,196	88,399	137,375
28	ELU 1	275,758	48,090	-21,243
	ELU 2	310,714	45,593	5,637
	ELU 3	293,235	-1,381	51,651
	ELU 4	84,196	88,399	-137,375
29	ELU 1	251,321	49,781	38,524
	ELU 2	282,601	55,951	0,278
	ELU 3	287,880	4,212	-48,045
	ELU 4	50,998	70,403	160,950
34	ELU 1	251,321	49,781	-38,524
	ELU 2	283,698	55,951	-0,277
	ELU 3	287,880	4,212	48,045
	ELU 4	50,998	70,403	-160,950
35	ELU 1	165,071	71,841	63,856
	ELU 2	166,998	79,424	77,555
	ELU 3	192,890	4,195	13,728
	ELU 4	39,495	94,679	113,582

36	ELU 1	224,976	198,606	24,622
	ELU 2	212,491	212,781	35,676
	ELU 3	277,657	62,248	7,812
	ELU 4	19,847	223,050	45,170
37	ELU 1	225,223	198,689	8,002
	ELU 2	210,580	212,782	12,080
	ELU 3	277,657	62,248	2,535
	ELU 4	20,258	223,190	14,688
38	ELU 1	225,223	198,689	-8,002
	ELU 2	210,580	212,782	-10,591
	ELU 3	277,657	62,248	-2,535
	ELU 4	20,258	223,190	-14,688
39	ELU 1	224,976	198,606	-24,622
	ELU 2	210,580	212,781	-34,073
	ELU 3	277,657	62,248	-7,812
	ELU 4	19,847	223,050	-45,170
40	ELU 1	165,071	71,841	-63,856
	ELU 2	159,352	79,424	-80,646
	ELU 3	192,890	4,195	-13,728
	ELU 4	39,495	94,679	-113,582

Tabla 2.1-I. Esfuerzos transmitidos por los pilares exteriores
Pilares interiores

Pilar	ELU	N (kN)	M ₁ (kNm)	M ₂ (kNm)
24	ELU 1	431,184	78,207	-11,314
	ELU 2	501,096	73,540	-26,681
	ELU 3	466,140	-20,494	-29,555
	ELU 4	97,082	165,888	39,467
25	ELU 1	431,184	78,181	-3,687
	ELU 2	501,096	73,541	-8,685
	ELU 3	466,140	-20,494	-9,618
	ELU 4	97,082	165,844	12,830
26	ELU 1	431,184	78,181	3,687
	ELU 2	501,096	73,541	8,685
	ELU 3	466,140	-20,494	9,618
	ELU 4	97,082	165,844	-12,830
27	ELU 1	431,184	78,207	11,314
	ELU 2	501,096	73,540	26,681
	ELU 3	466,140	-20,494	29,555
	ELU 4	97,082	165,888	-39,467
30	ELU 1	385,895	117,720	-1,571
	ELU 2	447,693	130,411	-23,287
	ELU 3	456,056	26,855	-27,497
	ELU 4	35,988	151,275	52,724
31	ELU 1	386,142	117,692	-0,518
	ELU 2	447,693	130,411	-7,580
	ELU 3	456,056	26,854	-8,949
	ELU 4	36,398	151,228	17,143
32	ELU 1	386,142	117,692	0,518
	ELU 2	447,693	130,411	7,579
	ELU 3	456,056	26,854	8,949
	ELU 4	36,398	151,228	-17,143

33	ELU 1	385,895	117,720	1,571
	ELU 2	447,693	130,411	23,287
	ELU 3	456,056	26,855	27,497
	ELU 4	35,988	151,275	-52,724

Tabla 2.1-II. Esfuerzos transmitidos por los pilares interiores

22'	ELU 1	189,508	76,810	-64,379
	ELU 2	206,985	65,553	-50,933
	ELU 3	198,246	-7,026	-10,123
	ELU 4	72,694	157,387	-119,679

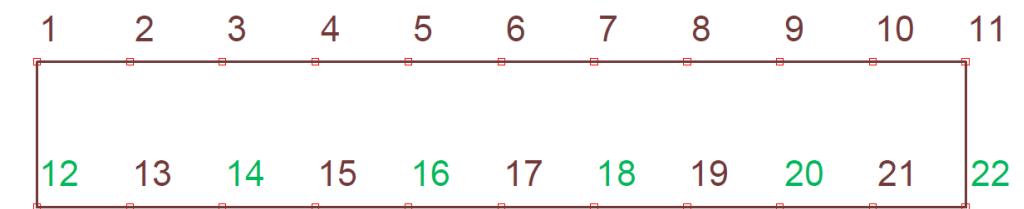
Tabla 2.1-III. Esfuerzos transmitidos por los pilares colindantes

2.1.2.- Modelado de la estructura del almacén

» Pilares colindantes con el almacén

Pilar	ELU	N (kN)	M1 (kNm)	M2 (kNm)
12'	ELU 1	189,508	76,810	64,379
	ELU 2	206,985	65,553	50,933
	ELU 3	198,246	-7,026	10,123
	ELU 4	72,694	157,387	119,679
14'	ELU 1	270,264	98,957	18,048
	ELU 2	305,218	76,758	10,361
	ELU 3	287,740	-68,609	5,755
	ELU 4	80,942	282,269	37,195
16'	ELU 1	270,264	98,932	5,863
	ELU 2	305,218	76,760	3,363
	ELU 3	287,740	-68,609	1,866
	ELU 4	80,942	282,227	12,093
18'	ELU 1	270,264	98,932	-5,863
	ELU 2	305,218	76,760	-3,363
	ELU 3	287,740	-68,609	-1,866
	ELU 4	80,942	282,227	-12,093
20'	ELU 1	270,264	98,957	-18,048
	ELU 2	305,218	76,758	-10,361
	ELU 3	287,740	-68,609	-5,755
	ELU 4	80,942	282,269	-37,195

En el caso del almacén, se han establecido dos grupos de pilares. En la *Imagen 2.1-d* se ha enumerado en verde aquellos que comparten la zapata con pilares de la sala de ventas (grupo 3), y en negro los demás (grupo 4).


Imagen 2.1-d. Enumeración de pilares. Almacén

Se han establecido, por tanto, dos grupos distintos de pilares, para los cuales se escogen las combinaciones de ELU que se habían planteado, y para cada grupo se busca la combinación más desfavorable.

En las siguientes tablas se incluyen los esfuerzos que los pilares transmiten a la cimentación, para los 4 casos de ELU planteados. La situación del pilar al que hacen referencia se puede observar en la imagen anterior.

Pilares colindantes con la sala de ventas

Pilar	ELU	N (kN)	M1 (kNm)	M2 (kNm)
12	ELU 1	425,557	10,504	10,448
	ELU 2	431,968	-12,005	10,448
	ELU 3	428,763	0,000	0,000
	ELU 4	237,655	17,507	17,413
14	ELU 1	780,838	23,933	0,860
	ELU 2	793,708	-27,341	0,860
	ELU 3	787,274	0,000	0,000
	ELU 4	433,557	39,889	1,433
16	ELU 1	780,838	23,933	0,282
	ELU 2	793,708	-27,341	0,282
	ELU 3	787,274	0,000	0,000
	ELU 4	433,557	39,889	0,470
18	ELU 1	778,236	22,563	-0,282
	ELU 2	791,057	-25,776	-0,282
	ELU 3	784,647	0,000	0,000
	ELU 4	432,124	37,604	-0,470
20	ELU 1	780,838	23,933	-0,860
	ELU 2	793,708	-27,341	-0,860
	ELU 3	787,274	0,000	0,000
	ELU 4	433,557	39,889	-1,433
22	ELU 1	461,999	11,956	-10,448
	ELU 2	469,084	-13,664	-10,448
	ELU 3	465,542	0,000	0,000
	ELU 4	257,721	19,927	-17,413

Tabla 2.1-IV.. Esfuerzos transmitidos por los pilares colindantes

Pilares no colindantes con la sala de ventas

Pilar	ELU	N (kN)	M1 (kNm)	M2 (kNm)
1	ELU 1	425,557	21,886	10,448
	ELU 2	431,968	-25,012	10,448
	ELU 3	428,763	0,000	0,000
	ELU 4	237,655	36,476	17,413
2	ELU 1	780,838	40,865	1,163
	ELU 2	793,708	-46,685	1,163
	ELU 3	787,274	0,000	0,000
	ELU 4	433,557	68,109	1,939
3	ELU 1	780,838	40,867	0,860
	ELU 2	793,708	-46,686	0,860
	ELU 3	787,274	0,000	0,000
	ELU 4	433,557	68,111	1,433
4	ELU 1	778,236	42,237	0,568
	ELU 2	791,057	-48,252	0,568
	ELU 3	784,647	0,000	0,000
	ELU 4	432,124	70,396	0,946
5	ELU 1	780,838	40,867	0,282
	ELU 2	793,708	-46,686	0,282
	ELU 3	787,274	0,000	0,000
	ELU 4	433,557	68,111	0,470
6	ELU 1	780,838	40,867	0,000
	ELU 2	793,708	-46,686	0,000
	ELU 3	787,274	0,000	0,000
	ELU 4	433,557	68,111	0,000
7	ELU 1	778,236	42,237	-0,282
	ELU 2	791,057	-48,252	-0,282
	ELU 3	784,647	0,000	0,000
	ELU 4	432,124	70,396	-0,470

8	ELU 1	780,838	40,867	-0,568
	ELU 2	793,708	-46,686	-0,568
	ELU 3	787,274	0,000	0,000
	ELU 4	433,557	68,111	-0,946
9	ELU 1	780,838	40,867	-0,860
	ELU 2	793,708	-46,686	-0,860
	ELU 3	787,274	0,000	0,000
	ELU 4	433,557	68,111	-1,433
10	ELU 1	778,236	42,236	-1,163
	ELU 2	791,057	-48,250	-1,163
	ELU 3	784,647	0,000	0,000
	ELU 4	432,124	70,393	-1,939
11	ELU 1	461,999	20,434	-10,448
	ELU 2	469,084	-23,353	-10,448
	ELU 3	465,542	0,000	0,000
	ELU 4	257,721	34,057	-17,413
13	ELU 1	780,838	23,932	1,163
	ELU 2	793,708	-27,340	1,163
	ELU 3	787,274	0,000	0,000
	ELU 4	433,557	39,886	1,939
15	ELU 1	778,236	22,563	0,568
	ELU 2	791,057	-25,776	0,568
	ELU 3	784,647	0,000	0,000
	ELU 4	432,124	37,604	0,946
17	ELU 1	780,838	23,933	0,000
	ELU 2	793,708	-27,341	0,000
	ELU 3	787,274	0,000	0,000
	ELU 4	433,557	39,889	0,000
19	ELU 1	780,838	23,933	-0,568
	ELU 2	793,708	-27,341	-0,568
	ELU 3	787,274	0,000	0,000
	ELU 4	433,557	39,889	-0,946
21	ELU 1	778,236	22,561	-1,163

	ELU 2	791,057	-25,774	-1,163
	ELU 3	784,647	0,000	0,000
	ELU 4	432,124	37,602	-1,939

Tabla 2.1-V. Esfuerzos transmitidos por los pilares del almacén

2.1.3.- Pilares colindantes entre sala de ventas y almacenes

Como ya se ha mencionado, la sala de ventas y almacenes son estructuras independientes. Sin embargo, en la unión entre zonas, cada 16 metros, dos pilares comparten una zapata. Esta zapata se va a calcular como una zapata combinada, donde los esfuerzos que provienen de los dos pilares se trasladan al centro de la zapata. Se suman los dos axiles junto con los momentos que éstos producen debido a su excentricidad, y se suman los momentos flectores que llegan a cota de cimentación por parte de cada pilar independientemente.

Pilares	ELU	N (kN)	M ₁ (kNm)	M ₂ (kNm)
12-12'	ELU 1	615,065	74,826	74,826
	ELU 2	638,953	61,380	61,380
	ELU 3	627,009	10,123	10,123
	ELU 4	310,349	137,091	137,091
14-14'	ELU 1	1051,102	18,908	18,908
	ELU 2	1098,926	11,221	11,221
	ELU 3	1075,014	5,755	5,755
	ELU 4	514,499	38,628	38,628
16-16'	ELU 1	1051,102	6,145	6,145
	ELU 2	1098,926	3,645	3,645
	ELU 3	1075,014	1,866	1,866
	ELU 4	514,499	12,563	12,563
18-18'	ELU 1	1048,500	-6,145	-6,145
	ELU 2	1096,275	-3,645	-3,645
	ELU 3	1072,387	-1,866	-1,866
	ELU 4	513,066	-12,563	-12,563

20-20'	ELU 1	1051,102	-18,908	-18,908
	ELU 2	1098,926	-11,221	-11,221
	ELU 3	1075,014	-5,755	-5,755
	ELU 4	514,499	-38,628	-38,628
22-22'	ELU 1	651,507	-74,826	-74,826
	ELU 2	676,069	-61,380	-61,380
	ELU 3	663,788	-10,123	-10,123
	ELU 4	330,415	-137,091	-137,091

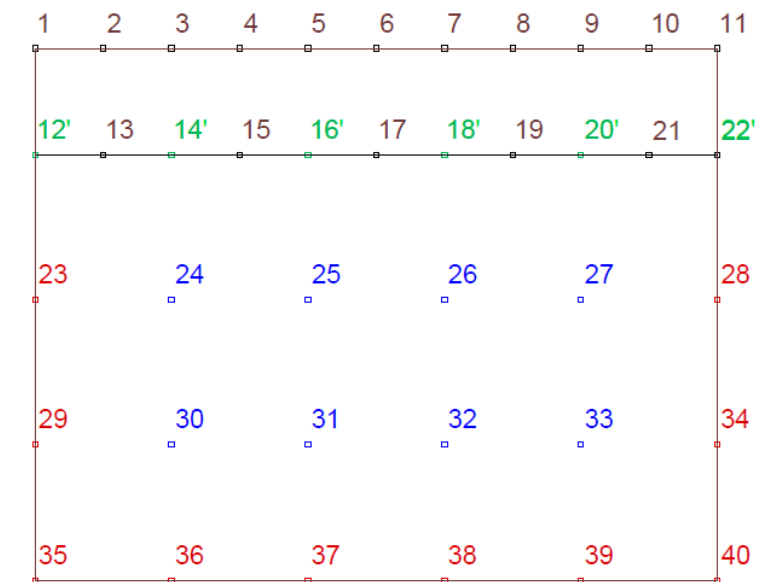
Tabla 2.1-VI. Esfuerzos en zapatas combinadas

De ahora en adelante, se hará referencia a cada zapata con la misma enumeración que los pilares que reciben.

2.2.- Dimensionado frente a hundimiento.

Para cada grupo de pilares que se ha definido previamente, tanto del almacén como de la sala de ventas, se busca el máximo axil y se escogen sus momentos concomitantes. Como se ha explicado con anterioridad, a cada axil se le va a sumar 100 kN por el peso estimado de la zapata, excepto al axil de las zapatas que reciben dos pilares, al que se le sumará 150 kN ya que presentan mayores dimensiones. Estos esfuerzos son los que se han empleado para el dimensionamiento de la zapata por hundimiento, y se recogen en la siguiente tabla:

Grupo	Zapata	N (kN)	M _{mayor} (kNm)	M _{menor} (kNm)
Grupo 1 (granate)	23	410,714	45,593	5,637
Grupo 2 (azul)	24	601,096	73,534	-26,681
Grupo 3 (verde)	16	1248,926	14,331	0,143
Grupo 4 (negro)	2	893,708	-46,685	1,163

Tabla 2.2-I. Esfuerzos máximos

Imagen 2.2-a. Distribución pilares

Con el programa *Wolfram Mathematica*, se ha introducido la fórmula de hundimiento y se ha despejado el ancho de la zapata, B, para cada caso establecido en la tabla anterior.

$$-39,749 \frac{2B - \frac{M_{menor}^2}{N}}{2B - \frac{M_{mayor}}{N}} + 99,374 \left(2B - \frac{M_{menor}}{N} \right) + 323,563 \times \frac{2B - \frac{M_{menor}}{N}}{2B - \frac{M_{mayor}}{N}} + 574,753 = 3 \times \frac{N}{B^2}$$

El ancho B de zapata obtenido para cada grupo es el siguiente:

Grupo	B (m)
1	1,1
2	1,3
3	1,8
4	1,6

Tabla 2.2-II. Ancho de zapata para cada grupo

2.3.- Dimensionado frente a asiento.

A continuación se va a verificar el ancho necesario para cumplir con la exigencia del asiento mínimo. Se parte del ancho obtenido por hundimiento, y siguiendo la fórmula de Schmertmann se comprueba que el asiento está dentro de los límites. En caso de no cumplir, se redimensionará el ancho de la zapata.

Dado que en el CTE no se especifica un valor de asiento máximo, se ha abogado por seguir la normativa de carreteras que exige que el asiento en zapatas aisladas para terrenos arenosos sea menor de 2,5 cm.

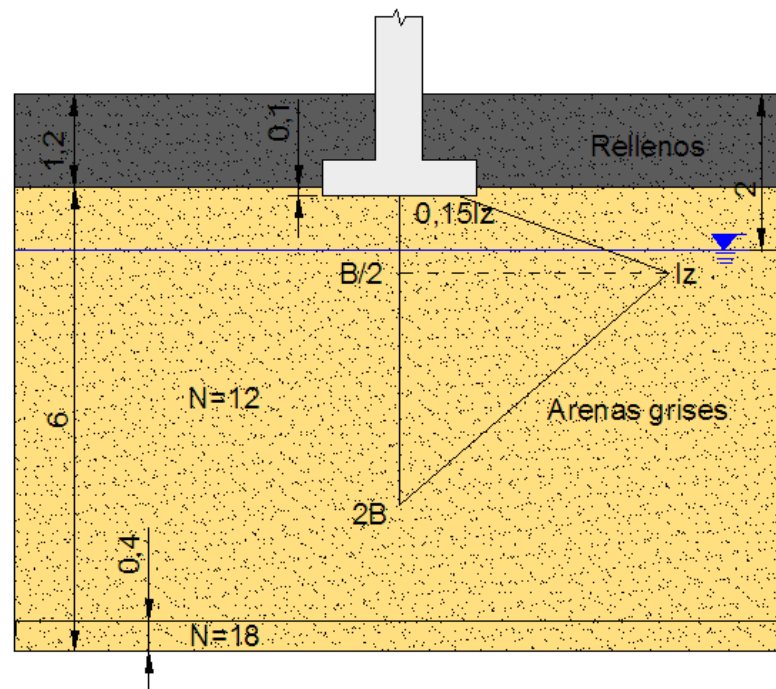


Imagen 2.3-a. Método de Schmertmann

Como se ha explicado con anterioridad, la fórmula de Schmertmann se basa en multiplicar la carga transmitida neta por un coeficiente llamado C1 y por el área encerrada en la *Imagen 8* dividido entre el módulo de elasticidad del terreno.

$$s = C_1 \times q_{tn} \times \sum_{z=0}^{z=2B} \frac{I_z}{E} \Delta z$$

Como se puede observar, las ecuaciones para resolver el asiento van a depender totalmente del ancho de la zapata.

Ya que el módulo de elasticidad cambia a una distancia de 5,5 metros desde la cota de cimentación, en un principio, se buscará que $2B < 5,5$ metros para simplificar el cálculo. En caso de que no sea posible obtener un ancho de zapata que cumpla con esto, habrá que modificar la fórmula de cálculo ya que hay dos módulos de elasticidad distintos.

En la *Imagen 2.3.-b* se enumeran todas las zapatas a las que se hacen referencia en las tablas siguientes:

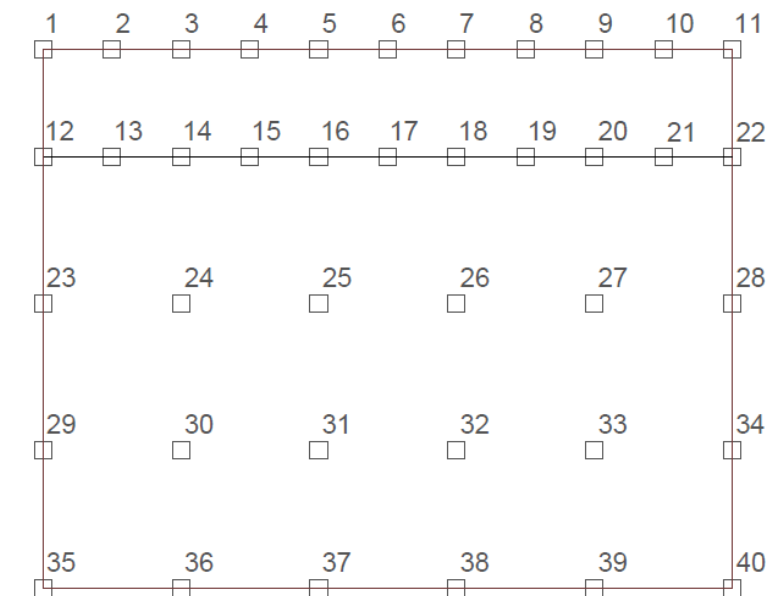


Imagen 2.3-b. Enumeración de zapatas

Pilares exteriores de la sala de ventas

Se ha elaborado una tabla Excel que obtiene el asiento en función del axil. De esta manera se busca el axil mayor de los pilares exteriores y se halla el asiento para una base $B=1,1$ m.

Para B=1,1m

Zapata	N (kN)	q _{tn} (kN/m ²)	I _z	C ₁	$\sum_{z=0}^{z=2B} \frac{I_z}{E} \Delta z$	asiento (cm)
23	410,714	313,3331	0,7829	0,9584	0,0001	2,2358
28	410,714	313,3331	0,7829	0,9584	0,0001	2,2358
29	382,601	290,099	0,772	0,955	0,000073	2,035
34	383,698	291,006	0,773	0,955	0,000073	2,042
35	266,998	194,560	0,723	0,933	0,000069	1,248
36	312,491	232,157	0,744	0,944	0,000071	1,549
37	310,58	230,578	0,743	0,943	0,000071	1,536
38	310,58	230,578	0,743	0,943	0,000071	1,536
39	310,58	230,578	0,743	0,943	0,000071	1,536
40	259,352	188,240	0,719	0,931	0,000068	1,198

Tabla 2.3-I. Asiento para B=1,1m

Se observa que el asiento de todas las zapatas es inferior al límite establecido de 2,5 cm.

Pilares interiores de la sala de ventas

Con el ancho hallado frente a hundimiento, B=1,3 m se procede a calcular si se cumple el asiento.

Para B=1,3 m y axil máximo:

Zapata	N (kN)	Q _{tn} (kN/m ²)	I _z	C ₁	$\sum_{z=0}^{z=2B} \frac{I_z}{E} \Delta z$	Asiento (cm)
24	601,096	329,578	0,786	0,960	0,0000883	2,797

Tabla 2.3-II. Asiento para B=1,3cm

Se observa que el asiento resultante es mayor a 2,5 cm que es el límite que se ha establecido, por lo que utilizando el método prueba-error en la hoja de cálculo se obtiene que el ancho de la cimentación que cumple es de B= 1,4 m.

Para B=1,4 m:

Zapata	N (kN)	q _{tn} (kN/m ²)	I _z	C ₁	$\sum_{z=0}^{z=2B} \frac{I_z}{E} \Delta z$	Asiento (cm)
24	601,096	280,582	0,762	0,953	0,000092	2,468
25	601,096	280,582	0,762	0,953	0,000092	2,468
26	601,096	280,582	0,762	0,953	0,000092	2,468
27	601,096	280,582	0,762	0,953	0,000092	2,468
30	547,693	253,335	0,749	0,948	0,000091	2,179
31	547,693	253,335	0,749	0,948	0,000091	2,179
32	547,693	253,335	0,749	0,948	0,000091	2,179
33	547,693	253,335	0,749	0,948	0,000091	2,179

Tabla 2.3-III. Asiento para B=1,4 m

Se observa que el asiento de todas las zapatas es inferior al límite establecido de 2,5 cm.

Pilares del almacén

Para B=1,6 m y axil máximo:

Zapata	N (kN)	Q _{tn} (kN/m ²)	I _z	C ₁	$\sum_{z=0}^{z=2B} \frac{I_z}{E} \Delta z$	Asiento (cm)
2	893,708	323,005	0,778	0,960	0,000	3,334

Tabla 2.3-IV. Asiento para B=1,6 m

Se observa que el asiento resultante es mayor a 2,5 cm que es el límite que se ha establecido, por lo que utilizando el método prueba-error en la hoja de cálculo se obtiene que el ancho de la cimentación que cumple es de B= 1,9 m.

Para B=1,9 m:

Zapata	N (kN)	q_{tn} (kN/m ²)	I _z	C ₁	$\sum_{z=0}^{z=2B} \frac{I_z}{E} \Delta z$	Asiento (cm)
1	531,968	121,260	0,667	0,892	0,000110	1,185
2	893,708	221,465	0,726	0,941	0,000119	2,484
3	893,708	221,465	0,726	0,941	0,000119	2,484
4	891,057	220,730	0,725	0,941	0,000119	2,474
5	893,708	221,465	0,726	0,941	0,000119	2,484
6	893,708	221,465	0,726	0,941	0,000119	2,484
7	891,057	220,730	0,725	0,941	0,000119	2,474
8	893,708	221,465	0,726	0,941	0,000119	2,484
9	893,708	221,465	0,726	0,941	0,000119	2,484
10	891,057	220,730	0,725	0,941	0,000119	2,474
11	569,084	131,541	0,674	0,901	0,000111	1,312
13	893,708	221,465	0,726	0,941	0,000119	2,484
15	891,057	220,730	0,725	0,941	0,000119	2,474
17	893,708	221,465	0,726	0,941	0,000119	2,484
19	893,708	221,465	0,726	0,941	0,000119	2,484
21	891,057	220,730	0,725	0,941	0,000119	2,474

Tabla 2.3-V. Asiento para B=1,9 m

Pilares colindantes entre sala de ventas y almacén

Para B=1,9 m:

Zapata	N (kN)	Q _{tn} (kN/m ²)	I _z	C ₁	$\sum_{z=0}^{z=2B} \frac{I_z}{E} \Delta z$	Asiento (cm)
14	1248,926	359,371	0,789	0,964	0,000123	4,253

Tabla 2.3-VI. Asiento para B=1,9 m

Puesto que el asiento es superior a 2,5 cm, se procede a redimensionar la zapata. Se ha ido aumentando el ancho progresivamente hasta que se ha cumplido dicho requisito, obteniendo una B=2,9: Se observa que cuando 2B>5,5, es decir, a partir de un ancho de 2,525 m, el efecto

de la zapata llega a transmitirse a un nuevo estrato donde el N obtenido del SPT varía de 12 a 18. Esto supone un cambio en la fórmula que se ha utilizado con anterioridad, ya que en el sumatorio $\sum \frac{I_z}{E} \Delta z$ aparecen dos módulos de elasticidad distintos y las áreas pasan de ser un trapecio y un triángulo a dos trapecios y un triángulo.

Para B=2,6 m:

Zapata	N (kN)	q_{tn} (kN/m ²)	I _z	C ₁	$\sum_{z=0}^{z=2B} \frac{I_z}{E} \Delta z$	asiento (cm)
12	788,953	90,609	0,638	0,856	0,000155	1,204
14	1248,926	158,652	0,683	0,918	0,000166	2,419
16	1248,926	158,652	0,683	0,918	0,000166	2,419
18	1246,275	158,260	0,683	0,918	0,000166	2,412
20	1248,926	158,652	0,683	0,918	0,000166	2,419
22	826,069	96,100	0,642	0,864	0,000156	1,298

Tabla 2.3-VII. Asiento para B=2,6 m

A parte de cumplir con el asiento, se recomienda que la diferencia de asiento entre zapatas contiguas no sea mayor a los 2 cm, valor propuesto por Terzaghi y Peck.

Zapatas	Asiento diferencial (cm)
1-2	1,298
1-12	0,019
2-13	0,000
2-3	0,000
3-4	0,010
3-14	0,065
4-15	0,000
4-5	0,010
5-16	0,065
5-6	0,000

6-7	0,010
6-17	0,000
7-18	0,062
7-8	0,010
8-19	0,000
8-9	0,000
9-20	0,065
9-10	0,010
10-21	0,000
10-11	1,162
11-22	0,014
22-28	0,938
22-21	1,176
21-20	0,055
20-27	0,049
20-19	0,065
19-18	0,072
18-26	0,057
18-17	0,072
17-16	0,065
16-15	0,055
16-25	0,049
15-14	0,055
14-13	0,065
13-12	1,280
12-23	1,032
23-24	0,232
23-29	0,201
24-25	0,000
25-31	0,289
25-26	0,000
24-30	0,289
26-27	0,000
26-32	0,289

27-28	0,232
27-33	0,289
28-34	0,193
34-33	0,137
34-40	0,844
33-39	0,643
39-40	0,338
33-32	0,000
32-38	0,643
38-39	0,000
32-31	0,000
31-37	0,643
37-38	0,000
31-30	0,000
30-36	0,630
36-37	0,013
36-35	0,301

Tabla 2.3–VIII. Asiento diferencial

Como se puede observar, ninguno de los asientos diferenciales supera el límite establecido de 2 cm.

Según el CTE 2.4.3.1, El valor límite de la distorsión angular para este tipo de cimentaciones no debe exceder la siguiente relación:

$$\epsilon_{AB} = \frac{\delta_{XAB}}{L_{AB}} < \frac{1}{300}$$

En este caso, la máxima distorsión angular que se da para la mínima distancia entre ejes de zapatas, 8 metros, es de 1,298 cm. Por lo que:

$$\epsilon_{AB} = \frac{1,298}{800} < \frac{1}{300}$$

Tabla resumen:

Zapatas	Ancho (m)
Interiores	1,4
Exteriores	1,1
Almacén	1,9
Comunes	2,6

Tabla 2.3-IX. Tabla resumen

Por último, faltaría dotarle de un canto a estas zapatas. Dado que se va a optar por una cimentación con armaduras de espera, se estima que por cuestiones de longitudes de anclaje, el canto mínimo debe oscilar los 75 cm.

Se va comprueba si con este canto las zapatas resultan ser rígidas o flexibles, aspecto que influirá en el armado de las mismas. Lo que condiciona la rigidez o flexibilidad de la zapata es la siguiente relación entre canto y vuelo.

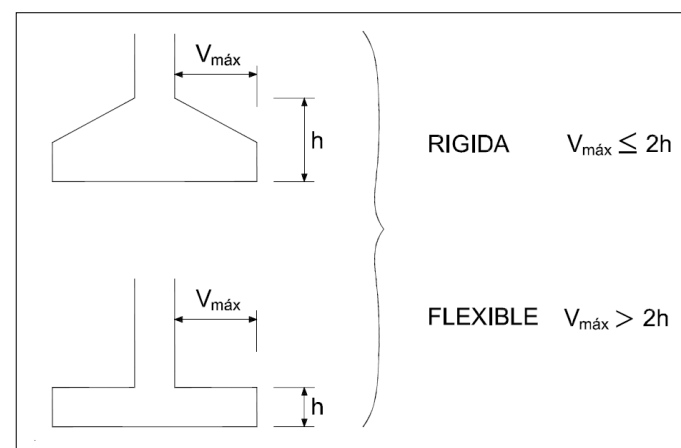


Imagen 2.3-c. Rigidez de la zapata. Fuente: CTE

Siendo el vuelo:

$$v = \frac{B}{2} - \frac{\text{Ancho pilar}}{2}$$

Para la zapata de ancho B=1,9 metros, le corresponde un canto de:

$$v_{max} = \frac{1,9}{2} - \frac{0,6}{2} = 0,65$$

Por lo que el canto mínimo sería de 0,65 metros. No obstante parece razonable que el canto mínimo sea de unos 80 cm, que es el canto que se le da a la zapata, que resulta ser rígida.

3.- Cálculo de la estructura de hormigón prefabricado

3.1.- Modelado de la estructura y cargas

En el siguiente anejo se va a dimensionar la zapata tal y como se ha planteado en el apartado 1, siguiendo las fórmulas de hundimiento y de asiento.

El procedimiento empleado ha consistido en modelar la estructura en el programa de cálculo SAP 2000, se han introducido las acciones con sus pertinentes combinaciones de ELU y se han generado unas tablas de reacciones en la base de los pilares como cargas que le llegan a la zapata.

El edificio cuenta con dos estructuras independientes. Por una parte, una estructura diáfana, de gran altura, con una cubierta plana muy ligera que se corresponde con la sala de ventas del hipermercado. Por otra parte, existe un almacén, una estructura mucho más rígida, con forjado de losa alveolar sometido a mayores acciones exteriores como unos depósitos, grupo electrógeno... Se ha realizado el modelado en SAP por separado.

Al ser estructuras completamente distintas, no comparten ni siquiera los pilares en el punto donde acaba la sala de ventas y comienza el almacén. Sin embargo, estos pilares, muy próximos el uno del otro, compartirán cimentación. Es decir, en la unión almacén-sala de ventas, existen zapatas aisladas que reciben dos pilares.

A continuación, imágenes de cómo quedan el almacén y la sala de ventas modeladas en el programa SAP2000.

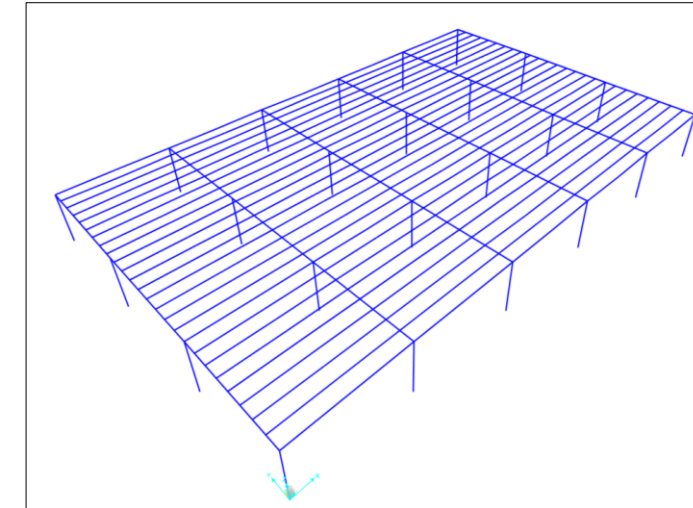


Imagen 3.1-a. Modelización de la estructura de hormigón prefabricado. Sala de ventas

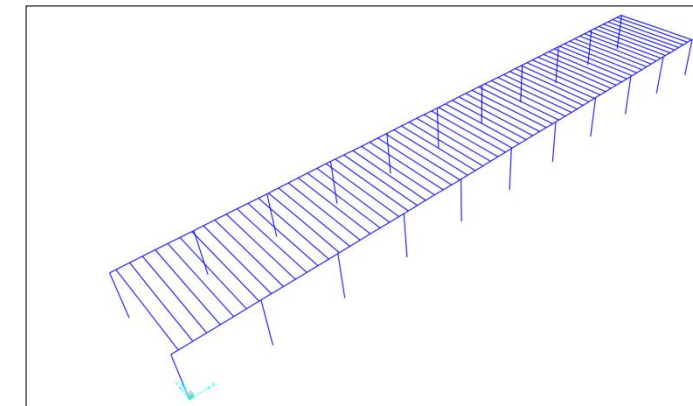


Imagen 3.1-b. Modelización de la estructura de hormigón prefabricado. Almacén

Dado que aún no se conocen las dimensiones de la zapata, se opta por asumir que tendrán una geometría similar a 2x2x1 m, por lo que con una densidad del hormigón armado de 25 kN/m² se estima un axil generado por la zapata de 100 kN que habrá que sumarle a los esfuerzos generados en el programa SAP 2000. Ya que se espera que las zapatas que comparten pilares estén sometidas a mayores esfuerzos, a ese grupo se le sumará 150 kN en lugar de 100kN.

3.1.1.- Modelado de la estructura de la sala de ventas

Después de imprimir las tablas de reacciones en la cimentación de la zapata, se ha podido observar que los pilares interiores de la estructura están sometidos a unas cargas mayores que los pilares exteriores, por lo que es posible que compense dimensionar dos zapatas de

diferente tamaño. Además, la fila de pilares colindante al almacén transmiten las acciones a la misma zapata que la fila de pilares del almacén, por lo que sin duda estas zapatas tendrán una dimensión mayor. No obstante, a pesar de que se proponga de esta manera en este anejo, en caso de resultar más viable y económico por cuestiones constructivas, se podría usar el mayor ancho de zapata para todos los pilares del edificio.

Se han establecido, por tanto, tres grupos distintos de pilares (exteriores, interiores y colindantes con el almacén), para los cuales se escogen las combinaciones de ELU que se habían planteado, y para cada grupo se busca la combinación más desfavorable.

En la *Imagen 3.1-c* se enumeran los pilares, para los cuales se han establecido los siguientes grupos:

- » Grupo 1: pilares exteriores (en negro).
- » Grupo 2: pilares interiores (en azul).
- » Grupo 3: pilares colindantes con el almacén (en verde).

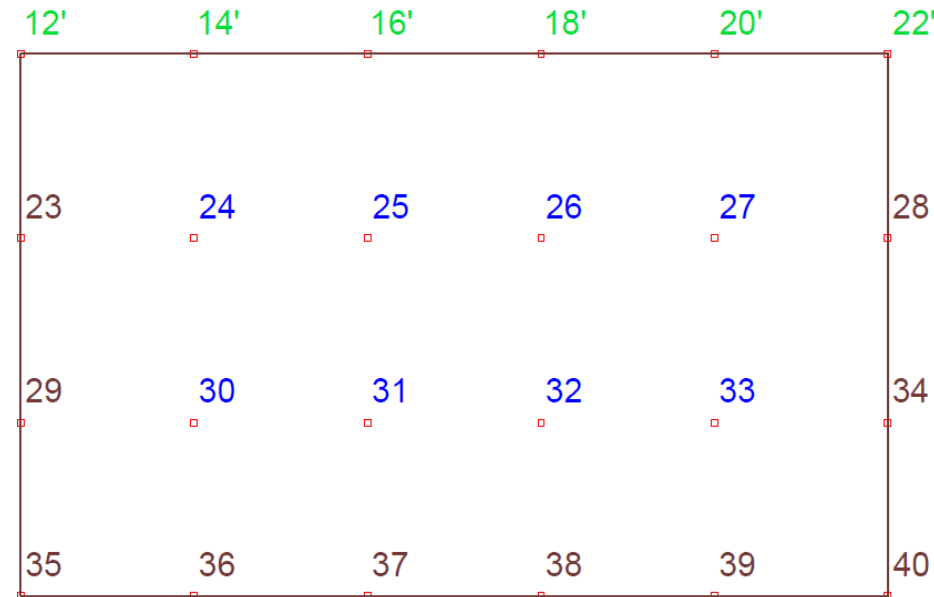


Imagen 3.1-c. Enumeración de pilares

En las siguientes tablas se incluyen los esfuerzos que los pilares transmiten a la cimentación, para los 4 casos de ELU planteados. La situación del pilar al que hacen referencia se puede observar en la imagen anterior.

Pilares exteriores

Pilar	ELU	N (kN)	M ₁ (kNm)	M ₂ (kNm)
23	ELU 1	575,889	24,681	46,625
	ELU 2	597,701	24,681	46,625
	ELU 3	586,795	0,000	0,000
	ELU 4	269,344	41,135	77,708
28	ELU 1	578,078	24,681	-46,623
	ELU 2	595,512	24,681	-46,623
	ELU 3	586,795	0,000	0,002
	ELU 4	272,992	41,135	-77,707
29	ELU 1	557,387	24,839	43,582
	ELU 2	571,192	24,839	43,582
	ELU 3	574,441	0,000	0,000
	ELU 4	253,202	41,398	72,637
34	ELU 1	558,480	24,839	-43,582
	ELU 2	570,099	24,839	-43,582
	ELU 3	574,441	0,000	0,001
	ELU 4	255,024	41,398	-72,637
35	ELU 1	318,778	57,964	22,047
	ELU 2	319,035	57,964	22,047
	ELU 3	340,651	0,000	0,000
	ELU 4	136,968	96,607	36,745
36	ELU 1	482,547	115,638	0,859
	ELU 2	483,062	115,638	0,859
	ELU 3	522,000	0,000	0,000
	ELU 4	186,688	192,731	1,432

37	ELU 1	486,835	115,734	0,283
	ELU 2	487,350	115,734	0,283
	ELU 3	521,999	0,000	0,000
	ELU 4	193,838	192,889	0,472
38	ELU 1	486,835	115,734	-0,283
	ELU 2	487,350	115,734	-0,283
	ELU 3	521,999	0,000	0,000
	ELU 4	193,838	192,889	-0,472
39	ELU 1	482,547	115,638	-0,859
	ELU 2	483,062	115,638	-0,859
	ELU 3	522,000	0,000	0,000
	ELU 4	186,688	192,731	-1,432
40	ELU 1	318,778	57,964	-22,047
	ELU 2	319,035	57,964	-22,047
	ELU 3	340,651	0,000	0,000
	ELU 4	136,968	96,607	-36,745

Tabla 3.1-I. Esfuerzos transmitidos por los pilares exteriores
Pilares interiores

Pilar	ELU	N (kN)	M ₁ (kNm)	M ₂ (kNm)
24	ELU 1	925,189	48,955	1,985
	ELU 2	964,457	48,955	1,985
	ELU 3	944,823	-4,63E-12	-8,36E-04
	ELU 4	406,676	81,591	3,310
25	ELU 1	925,047	49,089	0,637
	ELU 2	964,308	49,089	0,637
	ELU 3	944,677	-4,63E-12	-7,57E-04
	ELU 4	406,62	81,814	1,062
26	ELU 1	925,047	49,089	-0,638
	ELU 2	964,308	49,089	-0,638
	ELU 3	944,677	-4,63E-12	-4,73E-04
	ELU 4	406,62	81,814	-1,063

27	ELU 1	925,188	48,955	-1,986
	ELU 2	964,458	48,955	-1,986
	ELU 3	944,823	-4,63E-12	5,38E-05
	ELU 4	406,675	81,591	-3,310
30	ELU 1	890,699	49,481	1,570
	ELU 2	916,109	49,481	1,570
	ELU 3	923,327	4,92E-12	-3,79E-04
	ELU 4	375,246	82,468	2,617
31	ELU 1	891,155	49,545	0,513
	ELU 2	916,569	49,545	0,513
	ELU 3	923,402	4,92E-12	-3,05E-04
	ELU 4	375,913	82,575	0,856
32	ELU 1	891,155	49,545	-0,514
	ELU 2	916,569	49,545	-0,514
	ELU 3	923,402	4,92E-12	-9,09E-05
	ELU 4	375,913	82,575	-0,856
33	ELU 1	890,699	49,481	-1,570
	ELU 2	916,109	49,481	-1,570
	ELU 3	923,327	4,92E-12	2,78E-04
	ELU 4	375,247	82,468	-2,617

Tabla 3.1-II. Esfuerzos transmitidos por los pilares interiores
Pilares colindantes con el almacén

Pilar	ELU	N (kN)	M ₁ (kNm)	M ₂ (kNm)
12'	ELU 1	350,277	24,4979	35,1379
	ELU 2	361,301	24,4979	35,1379
	ELU 3	355,789	6,71E-10	-1,86E-04
	ELU 4	171,312	40,8298	58,5634

14'	ELU 1	538,243	48,7963	1,3825
	ELU 2	558,092	48,7963	1,3825
	ELU 3	548,168	6,71E-10	-2,12E-04
	ELU 4	247,658	81,3272	2,3044
16'	ELU 1	538,314	48,8616	0,4555
	ELU 2	558,166	48,8616	0,4555
	ELU 3	548,24	6,71E-10	-1,65E-04
	ELU 4	247,686	81,436	0,7594
18'	ELU 1	538,314	48,8616	-0,4557
	ELU 2	558,166	48,8616	-0,4557
	ELU 3	548,24	6,71E-10	-4,27E-05
	ELU 4	247,686	81,436	-0,7595
20'	ELU 1	538,244	48,7963	-1,3825
	ELU 2	558,092	48,7963	-1,3825
	ELU 3	548,168	6,71E-10	1,62E-04
	ELU 4	247,659	81,3272	-2,3044
22'	ELU 1	351,37	24,4979	-35,1377
	ELU 2	360,207	24,4979	-35,1376
	ELU 3	355,789	6,71E-10	4,44E-04
	ELU 4	173,135	40,8298	-58,5633

Tabla 3.1-III. Esfuerzos transmitidos por los pilares colindantes

3.1.2.- Modelado de la estructura del almacén

En el caso del almacén, se han establecido dos grupos de pilares. En la *Imagen 3.1-d* se ha enumerado en verde aquellos que comparten la zapata con pilares de la sala de ventas (grupo 3), y en negro los demás (grupo 4).

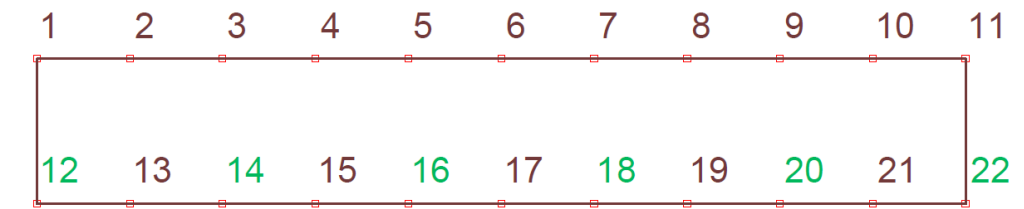


Imagen 3.1-d. Enumeración pilares del almacén

Se han establecido, por tanto, dos grupos distintos de pilares, para los cuales se escogen las combinaciones de ELU que se habían planteado, y para cada grupo se busca la combinación más desfavorable.

En las siguientes tablas se incluyen los esfuerzos que los pilares transmiten a la cimentación, para los 4 casos de ELU planteados. La situación del pilar al que hacen referencia se puede observar en la imagen anterior.

Pilares colindantes con la sala de ventas

Pilar	ELU	N (kN)	M ₁ (kNm)	M ₂ (kNm)
12	ELU 1	481,83	13,736	9,308
	ELU 2	488,24	-15,697	9,308
	ELU 3	485,035	0,000	0,002
	ELU 4	271,003	22,894	15,510
14	ELU 1	893,382	23,893	0,194
	ELU 2	906,252	-27,296	0,194
	ELU 3	899,818	0,000	-0,008
	ELU 4	500,249	39,822	0,331
16	ELU 1	893,382	24,233	0,074
	ELU 2	906,252	-27,684	0,074
	ELU 3	899,818	0,000	0,007
	ELU 4	500,249	40,388	0,116

18	ELU 1	890,781	24,197	-0,068
	ELU 2	903,602	-27,643	-0,068
	ELU 3	897,192	0,000	-0,001
	ELU 4	498,818	40,329	-0,112
20	ELU 1	893,382	23,893	-0,210
	ELU 2	906,252	-27,295	-0,210
	ELU 3	899,818	0,000	-0,008
	ELU 4	500,249	39,821	-0,341
22	ELU 1	518,27	13,798	-9,307
	ELU 2	525,356	-15,768	-9,307
	ELU 3	521,813	0,000	-0,001
	ELU 4	291,067	22,997	-15,510

Imagen 3.1-e. Esfuerzos transmitidos por los pilares colindantes

Pilares no colindantes con la sala de ventas

Pilar	ELU	N (kN)	M ₁ (kNm)	M ₂ (kNm)
1	ELU 1	481,829	22,360	9,308
	ELU 2	488,241	-25,552	9,308
	ELU 3	485,035	0,000	0,002
	ELU 4	271,002	37,266	15,510
2	ELU 1	893,382	39,130	0,276
	ELU 2	906,251	-44,703	0,276
	ELU 3	899,818	0,000	0,007
	ELU 4	500,25	65,217	0,453
3	ELU 1	893,382	40,069	0,194
	ELU 2	906,251	-45,775	0,194
	ELU 3	899,818	0,000	-0,008
	ELU 4	500,25	66,782	0,331

4	ELU 1	890,78	40,399	0,133
	ELU 2	903,603	-46,152	0,133
	ELU 3	897,192	0,000	-0,001
	ELU 4	498,816	67,332	0,223
5	ELU 1	893,382	40,457	0,074
	ELU 2	906,251	-46,218	0,074
	ELU 3	899,818	0,000	0,007
	ELU 4	500,25	67,428	0,116
6	ELU 1	893,382	40,479	-0,008
	ELU 2	906,251	-46,243	-0,008
	ELU 3	899,818	0,000	-0,008
	ELU 4	500,25	67,464	-0,005
7	ELU 1	890,78	40,492	-0,068
	ELU 2	903,603	-46,259	-0,068
	ELU 3	897,192	0,000	-0,001
	ELU 4	498,816	67,487	-0,112
8	ELU 1	893,382	40,363	-0,128
	ELU 2	906,251	-46,111	-0,128
	ELU 3	899,818	0,000	0,007
	ELU 4	500,25	67,272	-0,220
9	ELU 1	893,382	40,070	-0,210
	ELU 2	906,251	-45,776	-0,210
	ELU 3	899,818	0,000	-0,008
	ELU 4	500,25	66,783	-0,341
10	ELU 1	890,78	39,170	-0,270
	ELU 2	903,603	-44,748	-0,270
	ELU 3	897,192	0,000	-0,001
	ELU 4	498,816	65,283	-0,450
11	ELU 1	518,27	22,298	-9,307
	ELU 2	525,355	-25,481	-9,307
	ELU 3	521,813	0,000	-0,001
	ELU 4	291,068	37,163	-15,510
13	ELU 1	893,382	23,234	0,276

	ELU 2	906,252	-26,543	0,276
	ELU 3	899,818	0,000	0,007
	ELU 4	500,249	38,723	0,453
15	ELU 1	890,781	24,110	0,133
	ELU 2	903,602	-27,543	0,133
	ELU 3	897,192	0,000	-0,001
	ELU 4	498,818	40,183	0,223
17	ELU 1	893,382	24,254	-0,008
	ELU 2	906,252	-27,708	-0,008
	ELU 3	899,818	0,000	-0,008
	ELU 4	500,249	40,423	-0,005
19	ELU 1	893,382	24,146	-0,128
	ELU 2	906,252	-27,584	-0,128
	ELU 3	899,818	0,000	0,007
	ELU 4	500,249	40,243	-0,220
21	ELU 1	890,781	23,194	-0,270
	ELU 2	903,602	-26,497	-0,270
	ELU 3	897,192	0,000	-0,001
	ELU 4	498,818	38,657	-0,450

Tabla 3.1-IV. Esfuerzos transmitidos por los pilares del almacén

3.1.3.- Pilares colindantes entre sala de ventas y almacenes

Como ya se ha mencionado, la sala de ventas y almacenes son estructuras independientes. Sin embargo, en la unión entre zonas, cada 16 metros, dos pilares comparten una zapata. Esta zapata se va a calcular como una zapata combinada, donde los esfuerzos que provienen de los dos pilares se trasladan al centro de la zapata. Se suman los dos axiles junto con los momentos que éstos producen debido a su excentricidad, y se suman los momentos flectores que llegan a cota de cimentación por parte de cada pilar independientemente.

Pilares	ELU	N (kN)	M ₁ (kNm)	M ₂ (kNm)
12-12'	ELU 1	832,107	38,234	44,445
	ELU 2	849,541	8,801	44,445
	ELU 3	840,824	0,000	0,002
	ELU 4	442,315	63,724	74,074
14-14'	ELU 1	1431,625	72,690	1,576
	ELU 2	1464,344	21,501	1,576
	ELU 3	1447,986	0,000	-0,008
	ELU 4	747,907	121,149	2,636
16-16'	ELU 1	1431,696	73,095	0,529
	ELU 2	1464,418	21,178	0,529
	ELU 3	1448,058	0,000	0,006
	ELU 4	747,935	121,824	0,875
18-18'	ELU 1	1429,095	73,059	-0,523
	ELU 2	1461,768	21,218	-0,523
	ELU 3	1445,432	0,000	-0,001
	ELU 4	746,504	121,765	-0,872
20-20'	ELU 1	1431,626	72,689	-1,592
	ELU 2	1464,344	21,501	-1,592
	ELU 3	1447,986	0,000	-0,008
	ELU 4	747,908	121,148	-2,645
22-22'	ELU 1	869,64	38,296	-44,444
	ELU 2	885,563	8,730	-44,444
	ELU 3	877,602	0,000	-0,001
	ELU 4	464,202	63,827	-74,073

Tabla 3.1-V. Esfuerzos transmitidos a las zapatas combinadas

De ahora en adelante, se hará referencia a cada zapata con la misma enumeración que los pilares que reciben.

3.2.- Dimensionado frente a hundimiento.

Para cada grupo de pilares que se ha definido previamente, tanto del almacén como de la sala de ventas, se busca el máximo axil y se escogen sus momentos concomitantes. Como se ha explicado con anterioridad, a cada axil se le va a sumar 100 kN por el peso estimado de la zapata, excepto al axil de las zapatas que reciben dos pilares, al que se le sumará 150 kN ya que presentan mayores dimensiones. Estos esfuerzos son los que se han empleado para el dimensionamiento de la zapata por hundimiento, y se recogen en la siguiente tabla:

Grupo	Zapata	N (kN)	M _{mayor} (kNm)	M _{menor} (kNm)
Grupo 1 (granate)	23	697,701	46,625	24,681
Grupo 2 (azul)	27	1064,458	48,96	-1,986
Grupo 3 (verde)	16	1614,418	21,1778	0,5291
Grupo 4 (negro)	17	1006,251	-27,708	-0,008

Tabla 3.2-I. Esfuerzos máximos

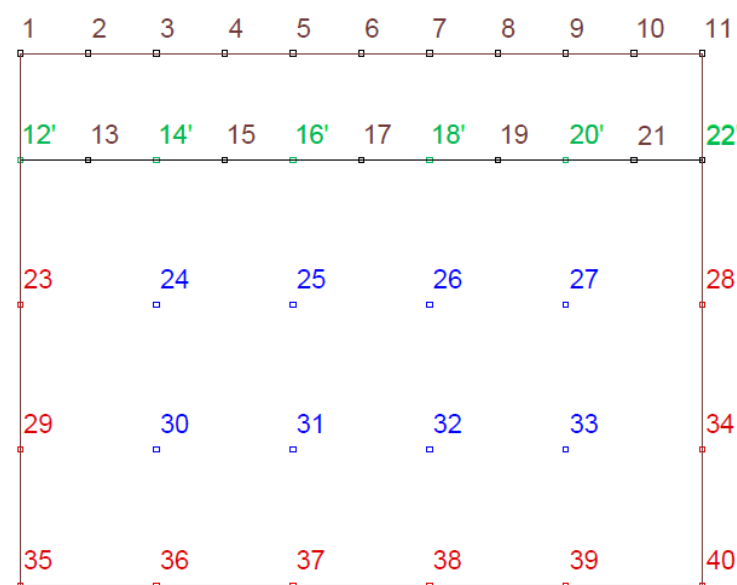


Imagen 3.2-a. Distribución de pilares

Con el programa *WolframMathematica*, se ha introducido la fórmula de hundimiento y se ha despejado el ancho de la zapata, B, para cada caso establecido en la tabla anterior.

$$-39,749 \frac{2B - \frac{M_{menor}^2}{N}}{2B - \frac{M_{mayor}}{N}} + 99,374 \left(2B - \frac{M_{menor}}{N} \right) + 323,563 \times \frac{2B - \frac{M_{menor}}{N}}{2B - \frac{M_{mayor}}{N}} + 574,753 = 3 \times \frac{N}{B^2}$$

El ancho B de zapata obtenido para cada grupo es el siguiente:

Grupo	B (m)
1	1,4
2	1,7
3	2,1
4	1,7

Se observa que tanto el grupo 2 como el 3 requieren la misma dimensión de zapata.

3.3.- Dimensionado frente a asiento.

A continuación se va a verificar el ancho necesario para cumplir con la exigencia del asiento mínimo. Se parte del ancho obtenido por hundimiento, y siguiendo la fórmula de Schmertmann se comprueba que el asiento está dentro de los límites. En caso de no cumplir, se redimensionará el ancho de la zapata.

Dado que en el CTE no se especifica un valor de asiento máximo, se ha abogado por seguir la normativa de carreteras que exige que el asiento en zapatas aisladas para terrenos arenosos sea menor de 2,5 cm.

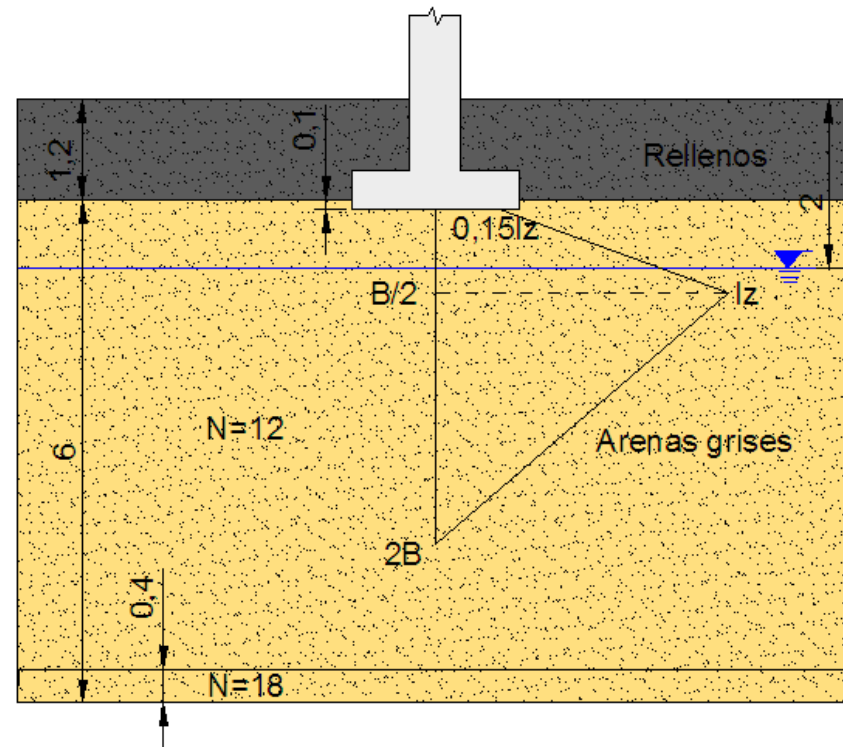


Imagen 3.3-a. Método de Schmertmann

Como se ha explicado con anterioridad, la fórmula de Schmertmann se basa en multiplicar la carga transmitida neta por un coeficiente llamado C_1 y por el área encerrada en la *Imagen 8* dividido entre el módulo de elasticidad del terreno.

$$s = C_1 \times q_{tn} \times \sum_{z=0}^{z=2B} \frac{I_z}{E} \Delta z$$

Como se puede observar, las ecuaciones para resolver el asiento van a depender totalmente del ancho de la zapata.

Ya que el módulo de elasticidad cambia a una distancia de 5,5 metros desde la cota de cimentación, en un principio, se buscará que $2B < 5,5$ metros para simplificar el cálculo. En caso de que no sea posible obtener un ancho de zapata que cumpla con esto, habrá que modificar la fórmula de cálculo ya que hay dos módulos de elasticidad distintos.

En la *Imagen 3.3-b* se enumeran todas las zapatas a las que se hacen referencia en las tablas siguientes:

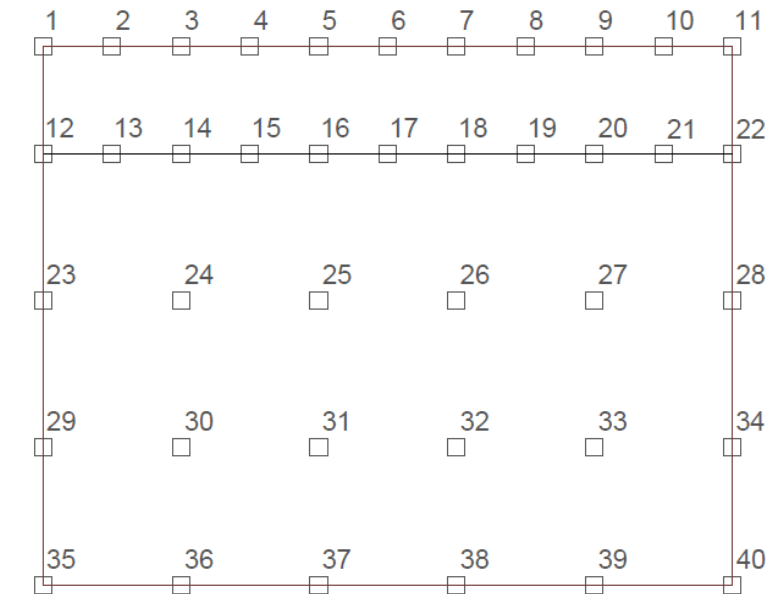


Imagen 3.3-b. Enumeración de zapatas

Pilares exteriores de la sala de ventas

Se ha elaborado una tabla Excel que obtiene el asiento en función del axil. De esta manera se busca el axil mayor de los pilares exteriores y se halla el asiento para una base $B=1,4$ m. Se observa que el asiento resultante es mayor a 2,5 cm que es el límite que se ha establecido, por lo que utilizando el método prueba-error en la hoja de cálculo se obtiene que el ancho de la cimentación que cumple es de $B=1,6$ m.

Para $B=1,4$ m

Zapata	N (kN)	q_{tn} (kN/m ²)	I_z	C_1	$\sum_{z=0}^{z=2B} \frac{I_z}{E} \Delta z$	asiento (cm)
23	697,701	329,870	0,784	0,960	0,000095	3,008

Tabla 3.3-I. Asiento para $B=1,4$ m

Para B=1,6m

Zapata	N (kN)	q _{tn} (kN/m ²)	I _z	C ₁	$\sum_{z=0}^{z=2B} \frac{I_z}{E} \Delta z$	asiento (cm)
23	697,701	246,439	0,743	0,947	0,000103	2,397
28	695,512	245,584	0,742	0,947	0,000103	2,387
29	671,192	236,084	0,737	0,945	0,000102	2,275
34	670,099	235,657	0,737	0,945	0,000102	2,270
35	419,035	137,586	0,681	0,905	0,000094	1,174
36	583,062	201,659	0,719	0,935	0,000100	1,877
37	587,35	0,933	0,929	0,000	0,000000	0,947
38	587,35	0,933	0,929	0,000	0,000000	0,947
39	583,062	201,659	0,719	0,935	0,000100	1,877
40	419,035	137,586	0,681	0,905	0,000094	1,174

Tabla 3.3-II. Asiento para B=1,6 m

Pilares interiores de la sala de ventas

Para B=1,7m con el axil máximo:

Zapata	N (kN)	Q _{tn} (kN/m ²)	I _z	C ₁	$\sum_{z=0}^{z=2B} \frac{I_z}{E} \Delta z$	Asiento (cm)
27	1064,458	342,225	0,784	0,962	0,000115	3,793

Tabla 3.3-III. Asiento para B=1,7 m

Se observa que el asiento resultante es mayor a 2,5 cm que es el límite que se ha establecido, por lo que utilizando el método prueba-error en la hoja de cálculo se obtiene que el ancho de la cimentación que cumple es de B= 2,2 m.

Para B=2,2 m:

Zapata	N (kN)	q _{tn} (kN/m ²)	I _z	C ₁	$\sum_{z=0}^{z=2B} \frac{I_z}{E} \Delta z$	asiento
24	1064,457	193,829	0,707	0,933	0,000134	2,431
25	1064,308	193,798	0,707	0,933	0,000134	2,431
26	1064,308	193,798	0,707	0,933	0,000134	2,431
27	1064,458	193,829	0,707	0,933	0,000134	2,431
30	1016,109	183,840	0,702	0,929	0,000133	2,279
31	1016,569	183,935	0,702	0,929	0,000133	2,281
32	1016,569	183,935	0,702	0,929	0,000133	2,281
33	1016,109	183,840	0,702	0,929	0,000133	2,279

Tabla 3.3-IV. Asiento para B=1,2 m

Pilares del almacén

Para B=1,7m y axil máximo:

Zapata	N (kN)	Q _{tn} (kN/m ²)	I _z	C ₁	$\sum_{z=0}^{z=2B} \frac{I_z}{E} \Delta z$	Asiento (cm)
17	1006,252	322,084	0,775	0,959	0,000114	3,522

Tabla 3.3-V. Asiento para B=1,7 m

Se observa que el asiento resultante es mayor a 2,5 cm que es el límite que se ha establecido, por lo que utilizando el método prueba-error en la hoja de cálculo se obtiene que el ancho de la cimentación que cumple es de B= 2,1 m.

Para B=2,1 m:

Zapata	N (kN)	q _{tn} (kN/m ²)	I _z	C ₁	$\sum_{z=0}^{z=2B} \frac{I_z}{E} \Delta z$	asiento (cm)
1	588,241	107,288	0,655	0,878	0,000119	1,121
2	1006,251	202,075	0,713	0,935	0,000129	2,446
3	1006,251	202,075	0,713	0,935	0,000129	2,446
4	1003,603	201,474	0,712	0,935	0,000129	2,437
5	1006,251	202,075	0,713	0,935	0,000129	2,446
6	1006,251	202,075	0,713	0,935	0,000129	2,446
7	1003,603	201,474	0,712	0,935	0,000129	2,437
8	1006,251	202,075	0,713	0,935	0,000129	2,446
9	1006,251	202,075	0,713	0,935	0,000129	2,446
10	1003,603	201,474	0,712	0,935	0,000129	2,437
11	625,355	115,704	0,661	0,887	0,000120	1,232
13	1006,252	202,075	0,713	0,935	0,000129	2,446
15	1003,602	201,474	0,712	0,935	0,000129	2,437
17	1006,252	202,075	0,713	0,935	0,000129	2,446
19	1006,252	202,075	0,713	0,935	0,000129	2,446
21	1003,602	201,474	0,712	0,935	0,000129	2,437

Tabla 3.3-VI. Asiento para B=2,1 m

Pilares colindantes entre sala de ventas y almacén

Para B=2,1 m, y axil máximo:

Zapata	N (kN)	Q _{tn} (kN/m ²)	I _z	C ₁	$\sum_{z=0}^{z=2B} \frac{I_z}{E} \Delta z$	Asiento (cm)
16	1614,418	339,981	0,776	0,962	0,000141	4,606

Tabla 3.3-VII. Asiento para B=2,1 m

una B=2,9: Se observa que cuando $2B > 5,5$, es decir, a partir de un ancho de 2,525 m, el efecto de la zapata llega a transmitirse a un nuevo estrato donde el N obtenido del SPT varía de 12 a 18. Esto supone un cambio en la fórmula que se ha utilizado con anterioridad, ya que en el sumatorio $\sum \frac{I_z}{E} \Delta z$ aparecen dos módulos de elasticidad distintos y las áreas pasan de ser un trapecio y un triángulo a dos trapecios y un triángulo.

Zapata	N (kN)	q _{tn} (kN/m ²)	I _z	C ₁	$\sum_{z=0}^{z=2B} \frac{I_z}{E} \Delta z$	asiento (cm)
12	999,541	84,960	0,631	0,846	0,000160	1,147
14	1614,344	153,2716	0,676	0,9149	0,0002	2,396
16	1614,418	153,280	0,676	0,915	0,000171	2,396
18	1611,768	152,985	0,676	0,915	0,000171	2,390
20	1614,344	153,272	0,676	0,915	0,000171	2,396
22	1035,563	88,963	0,634	0,853	0,000160	1,217

Tabla 3.3-VIII. Asiento para B=2,9 m

Puesto que el asiento es superior a 2,5 cm, se procede a redimensionar la zapata. Se ha ido aumentando el ancho progresivamente hasta que se ha cumplido dicho requisito, obteniendo

A parte de cumplir con el asiento, se recomienda que la diferencia de asiento entre zapatas contiguas no sea mayor a los 2 cm, valor propuesto por Terzaghi y Peck.

Zapatas	Asiento diferencial (cm)
1-2	1,325
1-12	0,026
2-13	0,000
2-3	0,000
3-4	0,009
3-14	1,947
4-15	0,000
4-5	0,009
5-16	0,050
5-6	0,000
6-7	0,009
6-17	0,000
7-18	0,047
7-8	0,009
8-19	0,000
8-9	0,000
9-20	0,050
9-10	0,009
10-21	0,000
10-11	1,205
11-22	0,015
22-28	1,170
22-21	1,221
21-20	0,041
20-27	0,035
20-19	0,050
19-18	0,056
18-26	0,040
18-17	0,056

17-16	0,050
16-15	0,041
16-25	0,035
15-14	0,041
14-13	0,050
13-12	1,299
12-23	1,250
23-24	0,034
23-29	0,122
24-25	0,000
25-31	0,150
25-26	0,000
24-30	0,152
26-27	0,000
26-32	0,150
27-28	0,044
27-33	0,152
28-34	0,117
34-33	0,009
34-40	1,096
33-39	0,403
39-40	0,703
33-32	0,001
32-38	1,334
38-39	0,930
32-31	0,000
31-37	1,334
37-38	0,000
31-30	0,001
30-36	0,403
36-37	0,930
36-35	0,703

Tabla 3.3-IX. Asiento diferencial

Como se puede observar, ninguno de los asientos diferenciales supera el límite establecido de 2 cm.

Según el CTE 2.4.3.1, El valor límite de la distorsión angular para este tipo de cimentaciones no debe exceder la siguiente relación:

$$\varepsilon_{AB} = \frac{\delta_{X_{AB}}}{L_{AB}} < \frac{1}{300}$$

En este caso, la máxima distorsión angular que se da para la mínima distancia entre ejes de zapatas, 8 metros, es de 1,298 cm. Por lo que:

$$\varepsilon_{AB} = \frac{1,947}{800} < \frac{1}{300}$$

Tabla resumen.

Zapatas	Ancho (m)
Interiores	2,2
Exteriores	1,6
Almacén	2,1
Comunes	2,9

Tabla 3.3-X. Tabla resumen

Por último, faltaría dotarle de un canto a estas zapatas. Dado que se va a optar por una cimentación con armaduras de espera, se estima que por cuestiones de longitudes de anclaje ,el canto mínimo debe oscilar los 75 cm.

Se va comprueba si con este canto las zapatas resultan ser rígidas o flexibles, aspecto que influirá en el armado de las mismas. Lo que condiciona la rigidez o flexibilidad de la zapata es la siguiente relación entre canto y vuelo.

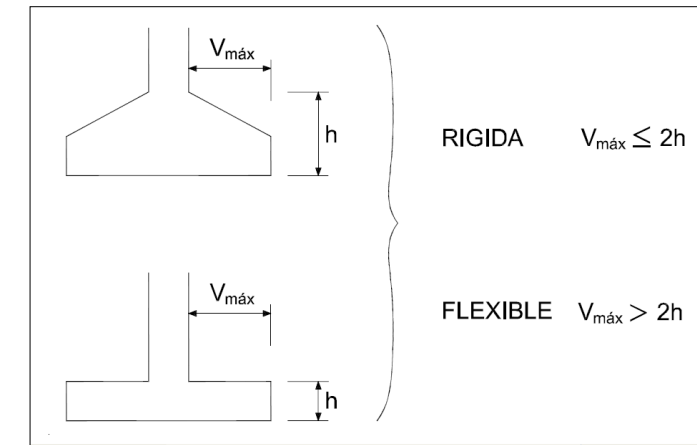


Imagen 3.3-c. Rigidez de la zapata. Fuente: CTE

Siendo el vuelo:

$$v = \frac{B}{2} - \frac{\text{Ancho pilar}}{2}$$

Para la zapata de ancho B=1,9 metros, le corresponde un canto de:

$$v_{max} = \frac{2,1}{2} - \frac{0,6}{2} = 0,75$$

Por lo que el canto mínimo sería de 0,75 metros. No obstante parece razonable que el canto mínimo sea de unos 80 cm, que es el canto que se le da a la zapata, que resulta ser rígida.

4.- Armado de las zapatas

Ya que se están estudiando zapatas rígidas, para lograr su armado, se sigue el método de bielas y tirantes. En el libro “Cálculo de Estructuras de Cimentación”, cuyo autor es José Calavera, se pueden encontrar varias tablas en las que se dimensiona el armado y separación de armaduras de acuerdo con el Eurocódigo. A continuación, se elabora una tabla resumen del armado resultante para las distintas tipologías de zapatas aisladas que se encuentran en este proyecto.

Estructura metálica:

Situación zapata	B _{pilar} (mm)	B _{zapata} (mm)	h (mm)	N _d (kN)	Armadura		Peso acero (kg)
					Ø (mm)	Separación (mm)	
Interior	600	1400	800	601	10	120	23,867
Exterior	600	1100	800	410	10	130	12,318
Almacén	600	1900	800	894	12	140	51,100
comunes	600	2600	800	1248	12	120	101,957

Tabla 3.3-I. Armado de las zapatas de la estructura metálica

Estructura de hormigón prefabricado:

Situación zapata	B _{pilar} (mm)	B _{zapata} (mm)	h (mm)	N _d (kN)	Armadura		Peso acero (kg)
					Ø (mm)	Separación (mm)	
Interior	600	2200	800	1064	12	150	61,408
Exterior	600	1600	800	697	12	170	32,558
Almacén	600	2100	800	1006	12	150	61,408
comunes	600	2900	800	1614	12	100	142,192

Tabla 3.3-II. Armado de las zapatas de la estructura de hormigón prefabricado

En la siguiente imagen se acotan los términos citados en las tablas anteriores.

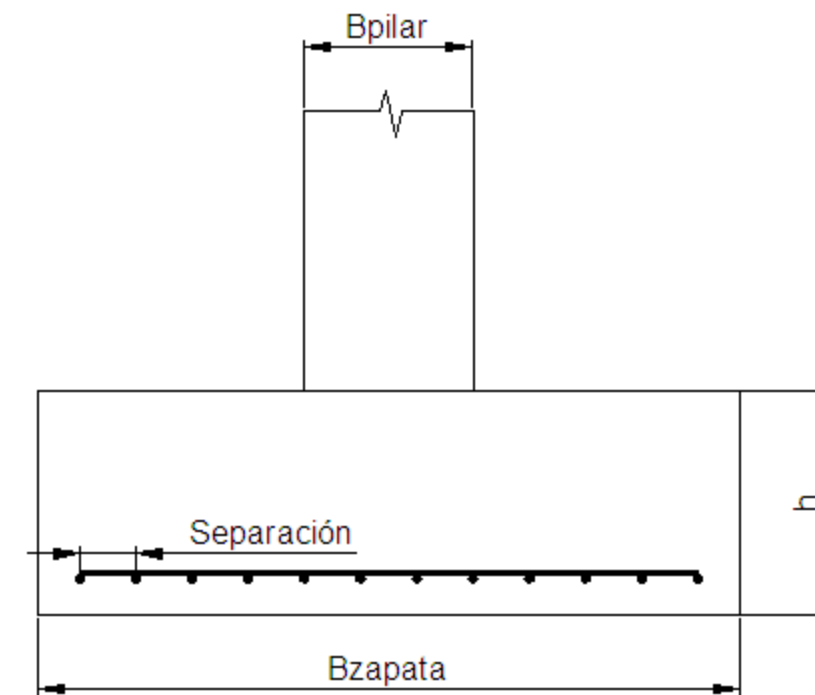


Imagen 4-3.3-a. Croquis zapata

La condición de anclaje por patilla supone un radio de doblado de 5ϕ y prolongación de 5ϕ

Estas zapatas, a parte del armado explicado, van a estar dotadas de unas vainas de espera, donde serán introducidas las armaduras de los pilares en el momento de realizar la unión zapata-pilar.

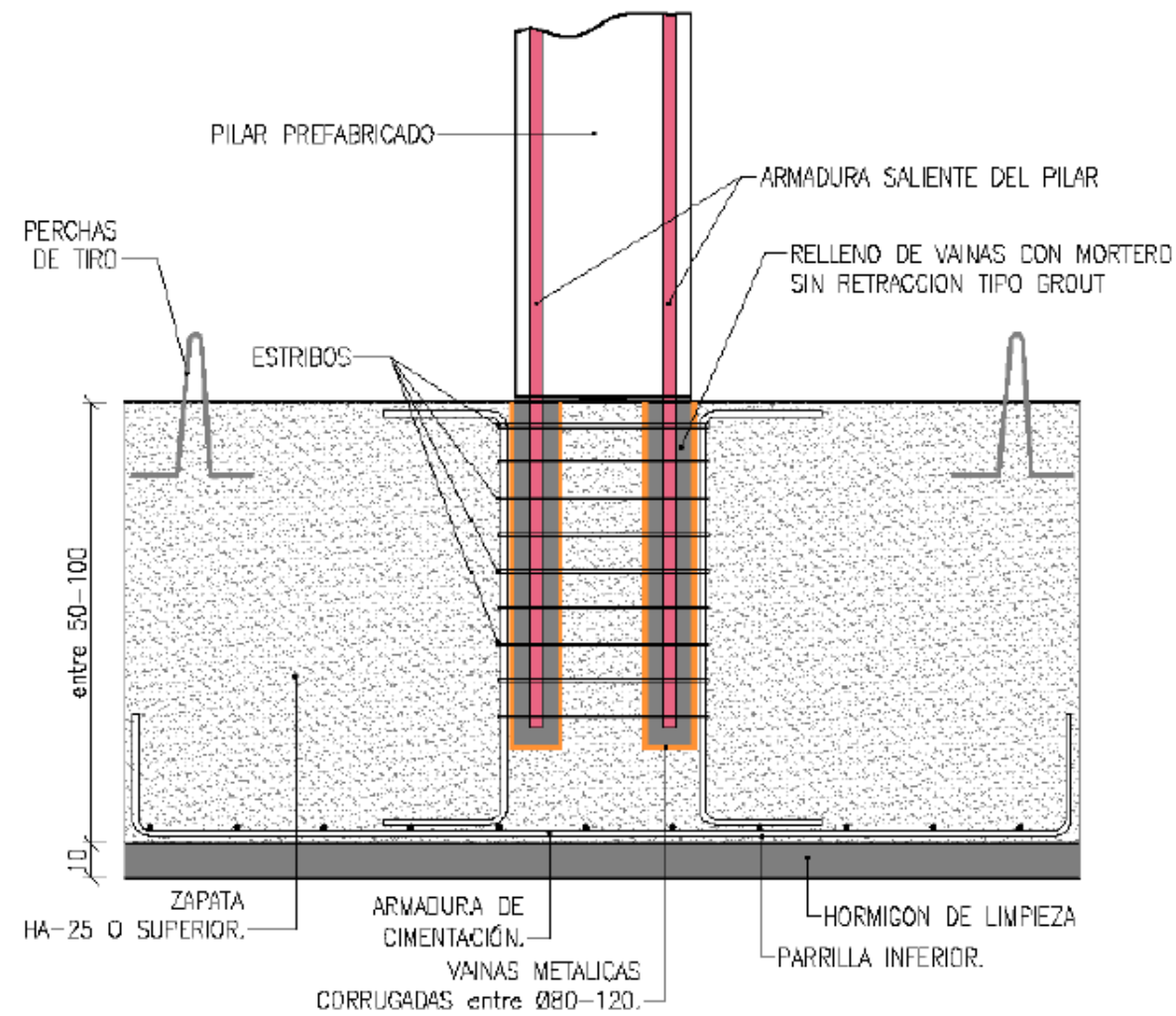


Imagen 4-3.3-b. Detalle vainas de la zapata. Fuente: catálogo de Pacadar

5.- Vigas de atado

La ciudad de Valencia se encuentra en un punto frontera en lo que al sismo se refiere. Su aceleración es de 0,06g, que es el mínimo considerado para plantearse la necesidad o no de vigas de atado. En el caso del presente proyecto, se va a realizar un atado de las zapatas perimetrales de la fachada y también se realizará un atado en la dirección Este-Oeste, la cara mayor del hipermercado.

5.1.- Estructura metálica

Se deben verificar 2 condiciones para poder resistir el sismo por parte de las vigas de atado:

$$0,85 \times A_c \times f_{cd} + A_s \times f_{yd} > a_c \times N_{ed}$$

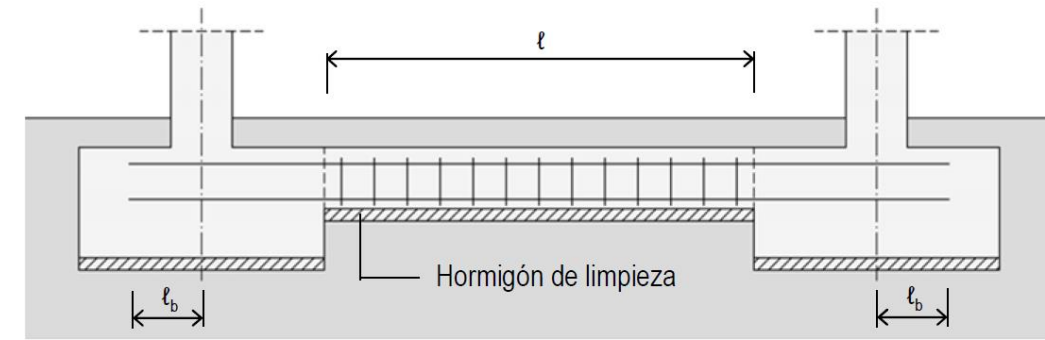
$$A_s \times f_{yd} > a_c \times N_{ed}$$

La segunda condición es más estricta, y es por lo tanto la determinante que se va a emplear para dimensionar la armadura.

Ya que es un atado perimetral, se escoge el axil máximo que reciben las zapatas exteriores en la estructura metálica ya sea del almacén o de la sala de ventas.

$$N_{ed} = 894 \text{ kN}$$

$$A_s > \frac{0,06 \times 894}{347,92} = 155 \text{ mm}^2$$



No sólo se debe cumplir la comprobación frente a sismo, sino que la armadura A_s , también debe cumplir condiciones de cuantía mínima respecto a la sección de la pieza de atado. Dado que la pieza de hormigón se coloca cuando éste está en un estado semiplástico, es propenso a fisurar por retracción. Se ha demostrado que la viga fisurada pierde prácticamente su función, por lo que es necesario que no fisure por retracción.

Para que la pieza no requiera una comprobación a pandeo se debe tener que el ancho de la viga de atado cumpla la siguiente condición:

$$\frac{\frac{l}{2}}{\sqrt{\frac{\frac{1}{12} \times ab^3}{ab}}} < 35$$

Siendo l la distancia entre los extremos de zapatas, es decir, la distancia entre ejes de pilares menos 2 veces medio ancho de cada zapata, tal y como se muestra en la imagen.

a es el ancho de la zapata y b es el canto.

Se va a suponer una pieza de 0,5x0,5 metros, ya que hacerla más grande sería excesivo, pero hacerla más pequeña sería limitante, teniendo en cuenta que la distancia entre ejes de zapatas es de 17 m en el lado mayor.

$$\frac{\frac{17-2}{2}}{\sqrt{\frac{\frac{1}{12} \times 0,5 \times 0,5^3}{0,5 \times 0,5}}} = 51,96 > 35$$

No cumple la condición, por lo que se deduce que la viga de atado requiere la comprobación de esbeltez. Además del axil que recibirá debido al sismo, se producirá una excentricidad.

Acudiendo al artículo 43.5.1 de la EHE:

Para soportes de sección y armadura constante deberá dimensionarse la sección para una excentricidad total igual a la que se indica:
donde:

$$e_{tot} = e_e + e_a \geq e_2$$

$$e_a = (1 + 0,12\beta)(\varepsilon_y + 0,0035) \frac{h + 20e_e}{h + 10e_e} \frac{l_0^2}{50i_c}$$

Donde:

- e_a : excentricidad ficticia utilizada para representar los efectos de segundo orden.
- e_e : excentricidad de cálculo de primer orden equivalente (en este caso=0).
- l_0 : longitud de pandeo.
- i_c : radio de giro de la sección de hormigón seleccionada.
- h : canto total de la sección
- $\varepsilon_y = \frac{f_{yd}}{E_s}$
- β factor de armado.

Al tratarse de una viga biempotrada con una longitud de 15 metros, su longitud de pandeo es de:

$$0,5 \times 15 = 7,5 \text{ m}$$

El radio de giro de la sección es:

$$i_c = \sqrt{\frac{\frac{1}{12} \times 0,5 \times 0,5^3}{0,5 \times 0,5}} = 0,144337$$

Con la disposición de armadura que se pretende utilizar, con armadura simétrica horizontal en la parte superior e inferior de la viga, el factor de armado $\beta = 1$.

De esta manera:

$$e_a = (1 + 0,12 \times 1,5)(0,00179 + 0,0035) \frac{0,8 + 20 \times 0}{0,8 + 10 \times 0} \frac{7,5^2}{50 \times 0,144337} = 0,0487 \text{ m}$$

Que en este caso que se estudia es igual a la excentricidad total ya que no existe una excentricidad de primer orden,

Con esta excentricidad hallada, se dimensiona la viga para el axil que va a recibir que va a depender de si se estudia la viga de la estructura de hormigón o la viga de la estructura de elementos prefabricados de hormigón.

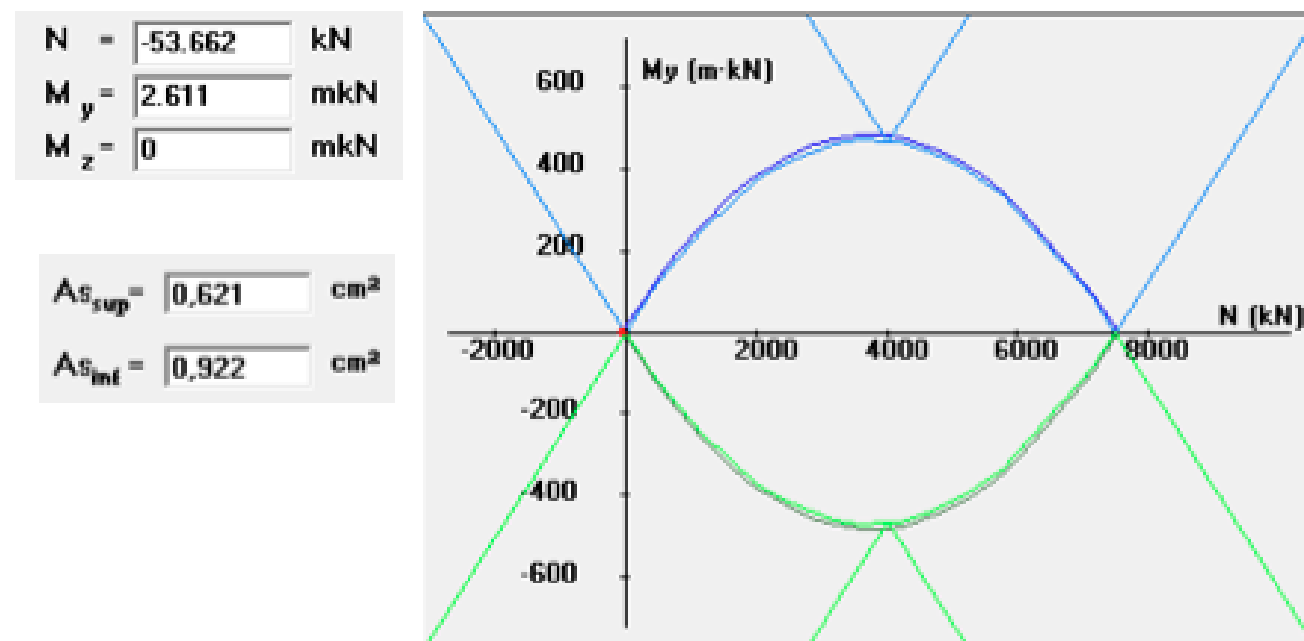
Se procede a calcular armaduras mínimas de las vigas de atado para las dos estructuras cumpliendo siempre que el mínimo de armadura sea de:

$$A_s \geq 0,15ab \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,15 \times 500 \times 500 \times \frac{20}{347,82} = 2156 \text{ mm}^2$$

	Estructura metálica	Estructura hormigón prefabricado
$N_{edm\acute{a}x}(kN)$	893.708	1006,251
$N_{eda_g}(kN)$	53,622	60,375
$(N_{eda_g})_{e_{tot}}(kNm)$	2,611	2,940

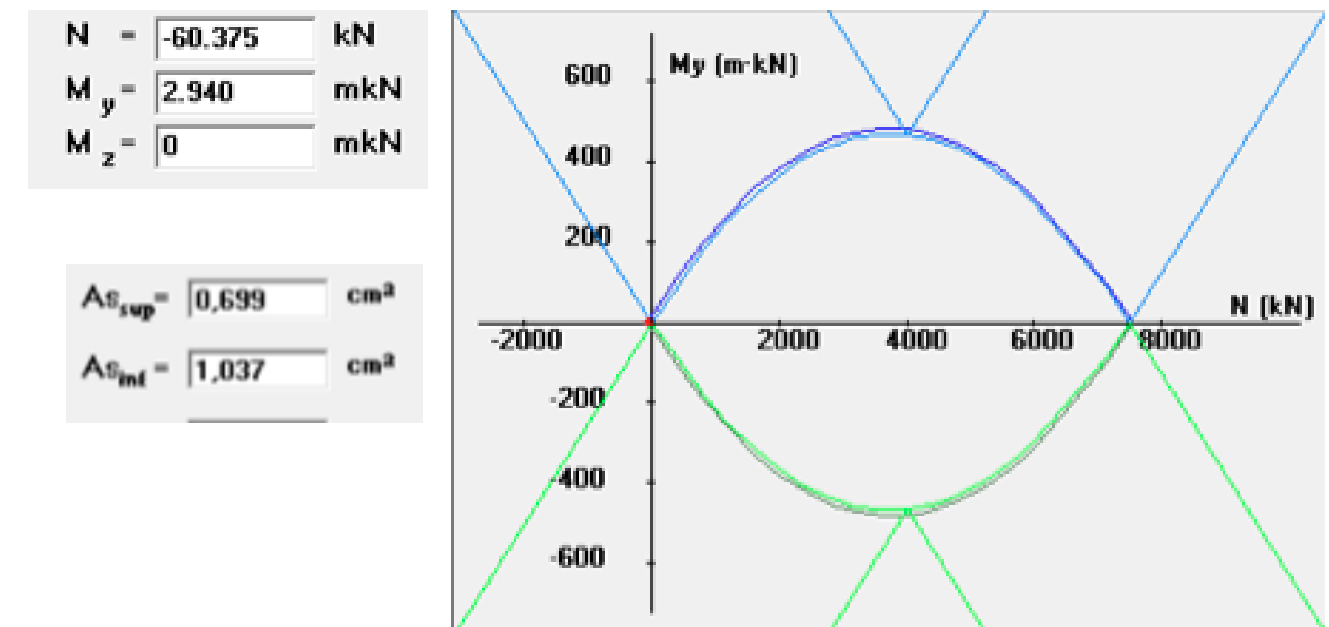
Con estos esfuerzos obtenidos, se introduce la sección en el programa de cálculo CalcFlex, como ya se ha realizado anteriormente en este proyecto y se dimensiona el armado, suponiendo estos axiles tanto a tracción como a compresión. Como se puede ver en las siguientes imágenes, el programa proporciona unas armaduras para los esfuerzos proporcionados.

Estructura metálica.



Siendo el total de armadura necesaria de 154,3 mm²

Estructura hormigón prefabricado.



Siendo el total de armadura necesaria de 173,6 mm²

No obstante, estos armados no cumplen con la armadura mínima establecida por la norma para este tipo de vigas. Como ya se ha establecido, la armadura mínima para estas secciones debe ser de 2156 mm², por lo que se propone una disposición de cuatro redondos de 20 mm de diámetro, dispuestos en las esquinas de la sección, cumpliendo los recubrimientos pertinentes. Los estribos tendrán un diámetro de 6 mm y la separación entre estribos será de 300 mm.

6.- Sección tipo en aparcamiento

Para el aparcamiento se escogerá un firme de hormigón, que es un pavimento rígido. Este tipo de pavimentos es totalmente resistente a la acción de los combustibles, aceites y grasas. Estas características son necesarias en un aparcamiento, ya que es un emplazamiento donde se producen derrames.

En base al PG3, se deduce que la explanada existente formada por arenas grises y 40 cm de zahorra artificial es una explanada del tipo E2.

La categoría del tráfico no se puede estimar, ya que se está tratando un aparcamiento privado sin una IMD de tráfico pesado definido. Aunque el tráfico de vehículos pesados va a ser reducido, habitualmente sí accederán al recinto camiones de carga y descarga, por lo que se ha optado por seleccionar una sección que pertenece a una categoría de tráfico tipo T3224.

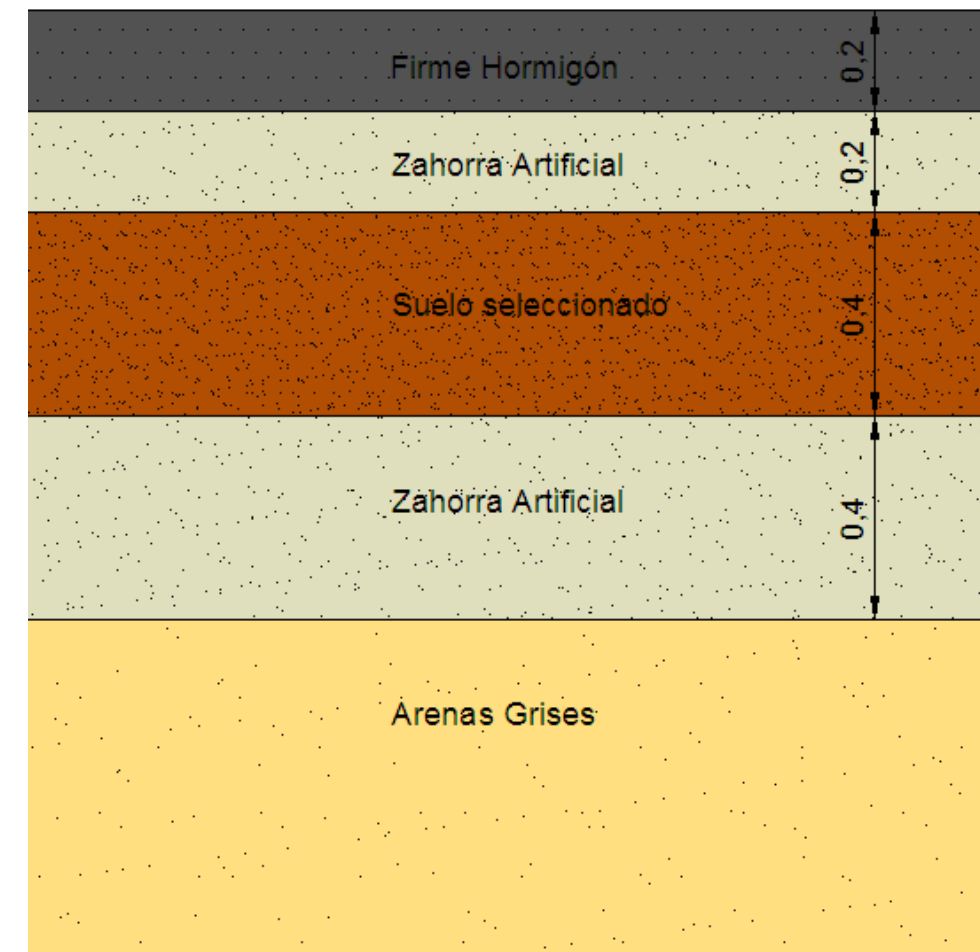


Imagen 6-a. Sección firme

7.- Sección tipo solera

Se procede a definir la sección de la solera. Se ha retirado la primera capa de 1,2 m del terreno dado que sus propiedades lo califican de suelo inadecuado.

Como se puede apreciar en la siguiente imagen, la sección de la solera está compuesta por una capa de 2 cm de baldosas cerámicas, unidas a la solera de hormigón H30 de 25 cm gracias a un mortero de agarre. La armadura de reparto está compuesta por la armadura mínima, que son barras de diámetro de 12 mm con una separación de 20 cm.

Atendiendo a la NTE, Revestimientos, se escoge el material RSR-2-Pavimento con baldosas cerámicas recibidas con mortero A-B. Tipo acabado, incluso nivelado de la arena, ejecución de maestras, espolvoreado, colocación y corte de baldosas, humedecido y limpieza. La solera apoya en una capa separadora de mortero, que apoya con una lámina impermeable. Bajo esta capa, se halla una capa de 10 cm de hormigón en masa, cuya función es la de limpieza.

El relleno se ha sustituido por una capa de 80 cm de zahorras artificiales.

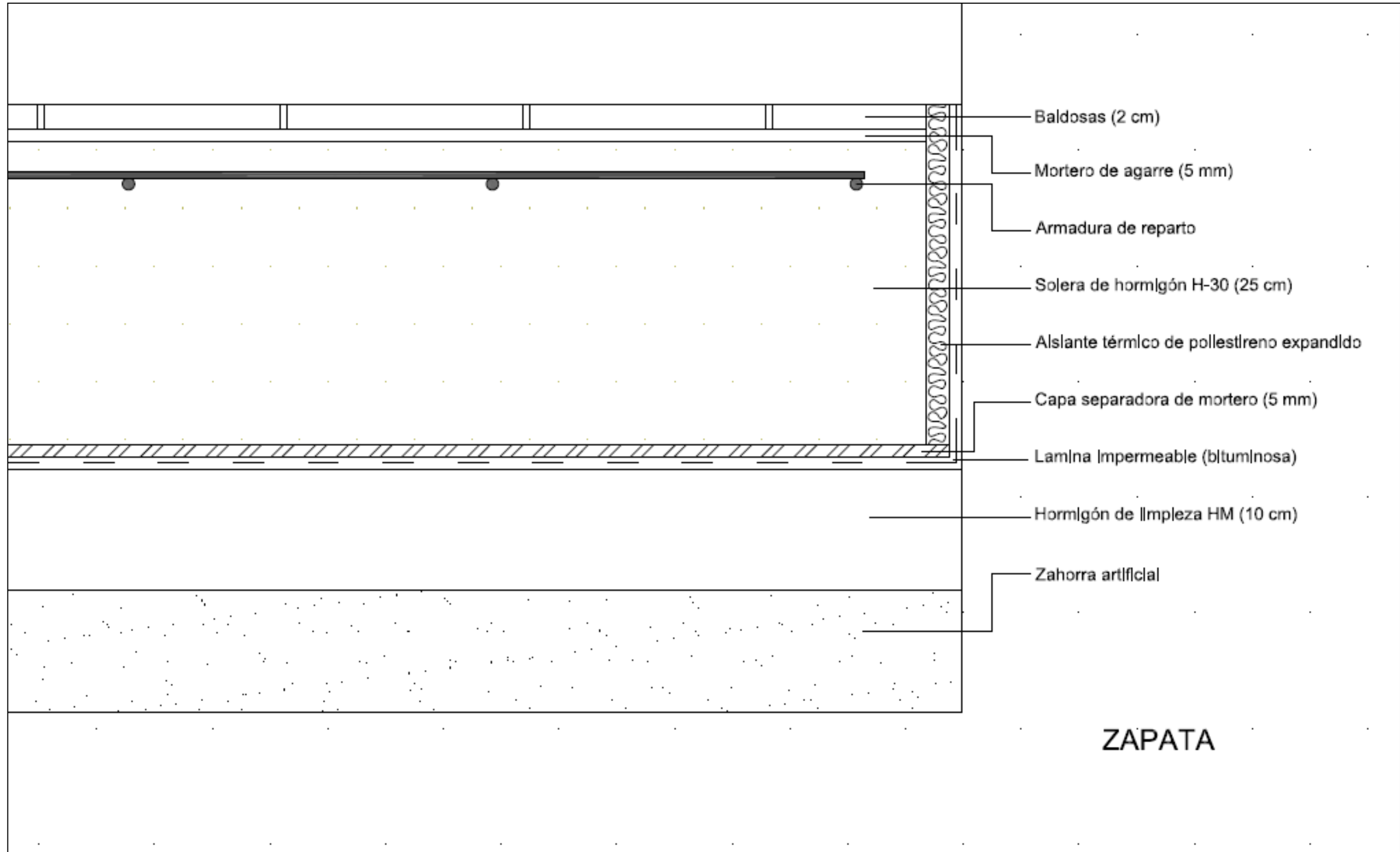


Imagen 75.1-a. Sección tipo solera

