

Expediente número: **102.765 / 2021****ASUNTO: PROYECTO de URBANIZACIÓN de la PLAZA SALAMERO**
DESARROLLO de las OBRAS de URBANIZACIÓN JULIO de 2022**OBRAS de URBANIZACIÓN PREVISTAS sobre el TRAMO del ESTACIONAMIENTO SUBTERRÁNEO entre la AVENIDA CÉSAR AUGUSTO y la PLAZA SALAMERO ADECUACIÓN a la CARGA MÁXIMA ADMISIBLE sobre la LOSA de CUBIERTA****INFORME COMPLEMENTARIO****Al COORDINADOR del ÁREA de URBANISMO y EQUIPAMIENTOS y GERENTE de URBANISMO**

El presente informe es complementario al de fecha 29 de junio de 2022, y tiene por objeto aclarar la contradicción existente entre la conclusión y el contenido de parte del anejo de cálculo del informe de 12 de febrero de 2021 "Aparcamiento en la avenida de César Augusto de Zaragoza. Informe sobre el estado de la estructura. (EX/OC-20052/E-9)" redactado por el Instituto Técnico de Materiales de Construcción (INTEMAC).

En concreto se ratifica la conclusión de que *"la losa es válida para la sobrecarga de tráfico uniformemente distribuida de 4 kN/m²"*, en lugar de los 2 4 kN/m² que se indicaba en el anejo, y que se incluyó por error como un análisis con una sobrecarga menor durante la realización del estudio y que finalmente fue descartada.

Se adjunta un nuevo informe igualmente redactado por el Instituto Técnico de Materiales de Construcción (INTEMAC) con esta aclaración:

- Aparcamiento en la avenida de César Augusto de Zaragoza.
Adenda al informe sobre el estado de la estructura. 8 de julio de 2021 (EX/OC-20052/E-16)

Esta aclaración, no modifica las conclusiones del anterior informe de este Servicio de 29 de junio de 2022, que se mantienen.

I.C. de Zaragoza, a 11 de julio de 2022

El INGENIERO de CAMINOS, JEFE del
SERVICIO de INGENIERIA de DESARROLLO URBANO **Zaragoza**
AYUNTAMIENTO
GERENCIA MUNICIPAL DE URBANISMO
SERVICIO DE INGENIERIA DE DESARROLLO URBANO

Fdo.: Jose Angel Navamuel Aparicio

Expediente número: **102.765 / 2021****ASUNTO: PROYECTO de URBANIZACIÓN de la PLAZA SALAMERO**
DESARROLLO de las OBRAS de URBANIZACIÓN JUNIO de 2022**OBRAS de URBANIZACIÓN PREVISTAS sobre el TRAMO del ESTACIONAMIENTO SUBTERRÁNEO entre la AVENIDA CÉSAR AUGUSTO y la PLAZA SALAMERO ADECUACIÓN a la CARGA MÁXIMA ADMISIBLE sobre la LOSA de CUBIERTA****AI COORDINADOR del ÁREA de URBANISMO y EQUIPAMIENTOS y**
GERENTE de URBANISMO

El presente escrito tiene por objeto exponer los estudios realizados, actuaciones llevadas a cabo y previsiones a desarrollar en el tramo de la Plaza Salamero comprendido entre la avenida César Augusto y el interior de la plaza, con el propósito de comprobar la viabilidad técnica de las obras a ejecutar, prever las medidas necesarias a tomar para devolver la funcionalidad y el uso público al entorno, y garantizar la seguridad estructural del estacionamiento existente en el referido ámbito.

A raíz del fallo estructural sucedido en enero de 2020 en el aparcamiento de la Plaza Salamero de Zaragoza, el Ayuntamiento de Zaragoza encargó los servicios del Instituto Técnico de Materiales y Construcciones (INTEMAC) para la realización de una serie de estudios sobre el origen de los daños, su transcendencia estructural y la definición y proyecto de medidas a adoptar, incluyendo en dichos estudios el aparcamiento de la avenida César Augusto, sobre el que se han realizado hasta la fecha cinco informes que se indican a continuación:

- Aparcamiento en la avenida de César Augusto de Zaragoza.
Informe sobre el estado de la estructura. 12 de febrero de 2021 (EX/OC-20052/E-9)
- Aparcamientos en la Plaza de Salamero y avenida de César Augusto de Zaragoza.
Informe sobre el estado de conservación, seguridad estructural y condiciones de uso. 25 de agosto de 2021 (EX/OC-20052/E-12).
- Tramo de aparcamiento entre la avenida de César Augusto y la Plaza de Salamero en Zaragoza.
Informe sobre la carga máxima admisible en la losa de cubierta. 15 de diciembre de 2021 (EX/OC-20052/E-13)
- Hueco de rampa de salida de vehículos en el tramo de aparcamiento entre la avenida de César Augusto y la Plaza de Salamero en Zaragoza.
Informe de resultados de las comprobaciones de cálculo de los elementos de la estructura vertical y cimentación afectados por la obra del cierre del hueco. 25 de abril de 2022 (EX/20052/E-14)
- Tramo de aparcamiento entre la avenida de César Augusto y la Plaza de Salamero en Zaragoza.
Refuerzo de la losa frente a punzonamiento en los apoyos sobre los pilares P45, P49, P65 y P66. 10 de mayo de 2022 (EX/OC-20052/E-15)

De las conclusiones del primer informe de 12 de febrero de 2021, se destaca lo siguiente:

- Los daños detectados en la inspección del inmueble del estacionamiento de César Augusto son en general leves, sin trascendencia estructural en lo relativo a su afección sobre la capacidad resistente en estado límite último. Básicamente consisten en fisuras longitudinales en los forjados unidireccionales (debidas principalmente a tracciones asociadas a la flexión transversal secundaria, a fenómenos de contracción térmica inicial y/o retracción hidráulica parcialmetne coortada) y daños leves por corrosión puntual de armaduras.
- En la losa de la cubierta del aparcamiento de la Avenida de César Augusto se ha detectado el mismo defecto de ejecución en la colocación de la armadura de refuerzo frente a punzonamiento que el observado en la cubierta de la Plaza de Salamero, ya que la armadura de punzonamiento (o como mínimo una de las familias del refuerzo) se sitúa excesivamente profunda, por debajo de la de flexión, lo que hace que no pueda considerarse su contribución resistente frente a punzonamiento.

En estas condiciones la losa es plenamente válida para resistir la parte uniformemente distribuida de las sobrecargas de tráfico que contemplan tanto la actual Instrucción de Acciones en Puentes de Carretera como la vigente en la fecha de redacción del Proyecto, pero no para los vehículos pesados. Sin ese defecto de colocación la losa habría resultado correcta incluso también para estos últimos vehículos.

Se propone impedir el tráfico de vehículos pesados (camiones de gran tonelaje, transportes especiales, etc) sobre la cubierta del aparcamiento y analizar si son necesarias actuaciones de refuerzo para permitir nuevamente el paso sobre ella de vehículos de mayor tonelaje en condiciones de total seguridad.

También se propone la ampliación del estudio de calidad del hormigón en los pilares para analizar la necesidad o no de su refuerzo estructural.

- El informe finaliza con dos recomendaciones a tener en cuenta en la gestión y explotación del aparcamiento:
 - Incorporar un nuevo recrido de hormigón ligero sobre los forjados unidireccionales con armadura de reparto para mejorar tanto sus condiciones de flexión transversal como la respuesta dinámica, si bien las condiciones estrictas de gálibo actuales podrían impedir esta posible solución.
 - Llevar a cabo una reparación convencional de los daños puntuales por corrosión de armadura, eliminando previamente las fuentes de humedad que aportan filtraciones a través de las juntas, en muchos casos canalizadas durante las operaciones de mantenimiento interior del aparcamiento.

El segundo informe de 25 de agosto de 2021 es un resumen de anteriores informes sobre el estado de las estructuras de los aparcamientos de Salamero y César Augusto, reiterando las conclusiones destacadas anteriormente para el caso de César Augusto agrupadas en los conceptos de seguridad estructural, estado de conservación y directrices para su uso. El informe añade algún matiz respecto al anterior en relación con las directrices para el uso del aparcamiento de César Augusto, entre las que se destacan las siguientes:

- Se recomienda la sustitución de la losa de cubierta debido al defecto en la colocación de la armadura de refuerzo frente a punzonamiento y, si no se ejecuta dicha sustitución, restringir la circulación de vehículos pesados (por encima de 38 toneladas), transportes especiales, ...
- Bajo rasante la estructura sigue siendo plenamente apta para el uso histórico como aparcamiento de vehículos ligeros. Al igual que en el caso de Salamero, es necesario, tras la reparación de los daños por corrosión puntuales y de los elementos adyacentes a la junta (zunchos y pilares) establecer un protocolo de inspecciones y vigilancia.

Expediente número: **102.765 / 2021**

A la vista de estos informes y la problemática en ellos reflejada, durante la redacción del proyecto de obras de urbanización de la Plaza Salemero se analizó la sustitución de la cubierta en los dos vanos de la estructura del estacionamiento de César Augusto afectado por la urbanización de la Plaza (entre la avenida y la plaza) y que incluye una importante superficie bajo la avenida de César Augusto, exterior al ámbito de las obras. También se encargó un estudio específico sobre la carga máxima admisible en la losa de cubierta actual entre la avenida y la plaza al objeto de valorar una alternativa, diferente a la sustitución de la losa, consistente en adecuar el uso, y por tanto la sobrecarga admisible, a la capacidad resistente que tiene la estructura actualmente existente. Como consecuencia del citado encargo, se redactó el tercer informe de los señalados de 15 de diciembre de 2021, del que se destacan las siguientes características y conclusiones:

- Las acciones consideradas para el cálculo son:

- Peso propio:

Losa maciza de cubierta: 875 kp/m²

Rampas: 500 kp/m²

Forjados intermedios: 275 kp/m²

- Sobrecarga de uso (área peatonal con tráfico restringido):

Situación permanente o transitoria: 500 kp/m²

Situación accidental: 2.000 kp/m² en 3 m x 8 m

En forjados bajo rasante y rampas: 400 kp/m²

- Calidades de los materiales para el cálculo deducidas de los ensayos realizados:

Hormigón de la losa: $f_{ck,ls} = 19,9 \text{ N/mm}^2$

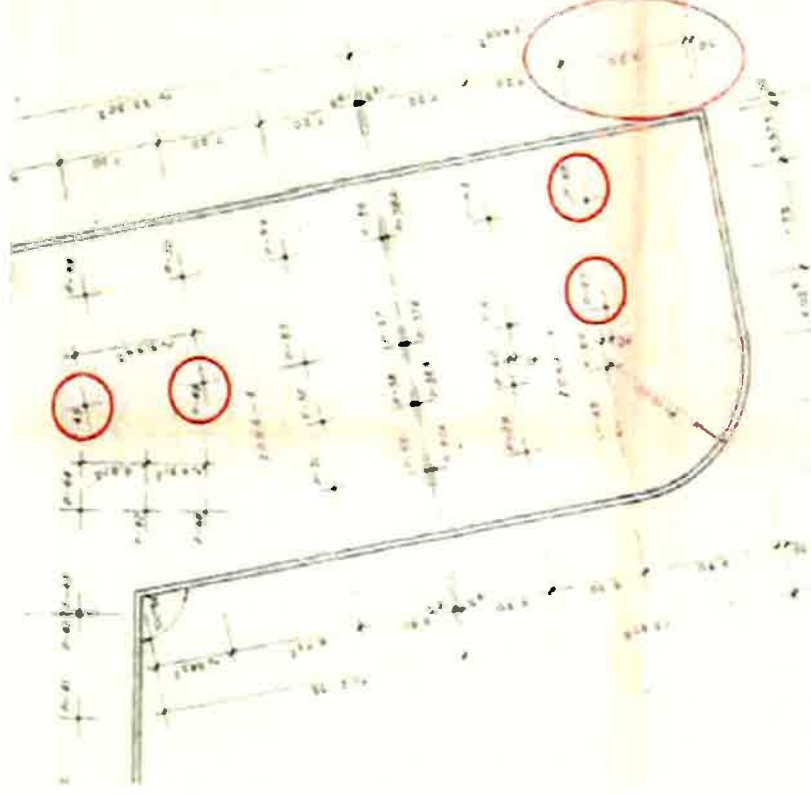
Hormigón de los pilares: $f_{ck,ls} = 10,9 \text{ N/mm}^2$

- No se consideran los refuerzos frente a punzonamiento dispuestos en la losa.

- De los resultados del estudio realizado se obtiene que la carga muerta máxima admisible, limitada por las condiciones de seguridad frente a punzonamiento de la estructura existente sin considerar los refuerzos a punzonamiento existentes e incorrectamente situados, es de 250 kp/m², correspondiente aproximadamente a un aglomerado asfáltico de 12 cm de espesor.

- En los apoyos sobre los pilares afectados por el ensanche del paso de 7,20 m a 9,00 m (pilares P65 y P66) y también en los pilares P45 y P49 el incremento de área tributaria es relevante y en tales casos las condiciones de seguridad frente a punzonamiento no serían técnicamente admisibles para una carga muerta máxima sobre la losa de 250 kp/m², por lo que es necesario reforzar los pilares P45, P49, P65 y P66 frente a punzonamiento. Se debería realizar una investigación detallada de dichos apoyos o en su defecto proyectar y ejecutar un refuerzo preventivo, que podría consistir en la incorporación de capiteles en cabeza de los tramos de la planta sótano-1 en los pilares citados.

- La sobrecarga de uso de 500 kp/m² en situación permanente es claramente condicionante sobre la de 2.000 kp/m² en la situación accidental.



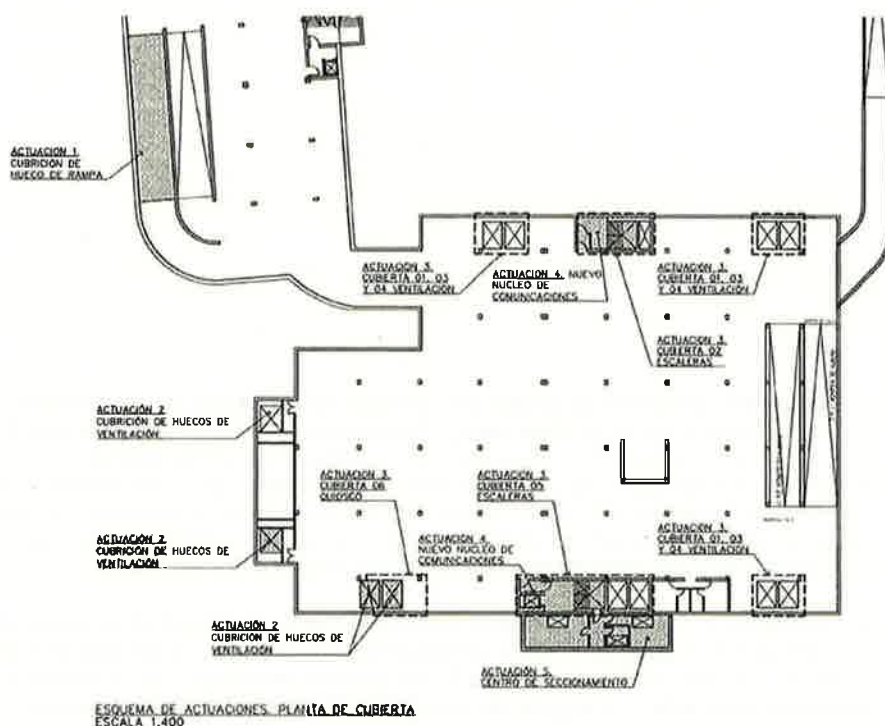
- Se ha ampliado el estudio de calidad del hormigón de los pilares con la extracción y rotura a compresión de 12 probetas testigo de hormigón endurecido de pilares situados entre la avenida y la plaza, corroborando las conclusiones del primer informe, con una resistencia característica, en el caso más desfavorable, de 10.9 N/mm^2 . Las considerables cuantías de acero dispuestas en los pilares, compensan la baja resistencia característica del hormigón, de modo que estos presentan condiciones de seguridad frente a esfuerzos de flexocompresión en todos los casos.
- Se recomienda la sustitución de la losa de cubierta debido al defecto en la colocación de la armadura de refuerzo frente a punzonamiento y, mientras no se ejecute dicha sustitución, restringir la circulación de vehículos pesados (por encima de 38 toneladas), transportes especiales, ... y ejecutar los refuerzos puntuales en los pilares indicados.
- La losa no es apta para soportar ningún tipo de cambio de uso que suponga un incremento de la carga muerta actualmente dispuesta sobre ella. La transformación al nuevo uso peatonal con tráfico restringido podría llevarse a cabo, siempre que la sustitución del pavimento actual se realice por una solución cuyo peso no sobrepase la carga muerta máxima indicada de 250 kp/m^2 .

A la vista del informe de 15 de diciembre de 2021 se opta, en el tramo del estacionamiento de César Augusto comprendido entre la avenida y la plaza, por adecuar la carga muerta de la urbanización sobre la losa de la cubierta a un máximo de 250 kp/m^2 y realizar el refuerzo de los pilares P45, P49, P65 y P66 frente a punzonamiento. Esta solución es técnicamente viable con la seguridad estructural del estacionamiento subterráneo, minimiza la afección a la ciudadanía al evitar cortar el tráfico de la avenida de César Augusto que supondría la sustitución de la losa de cubierta, elimina los inconvenientes de su ejecución (ruidos, presencia de grandes máquinas en el centro de la ciudad, ...), minimiza los tiempos de obra y supone una mayor eficiencia de la inversión a realizar.

Expediente número: **102.765 / 2021**

Así está previsto, dentro de las obras de urbanización de la Plaza Salamero, la ejecución sobre la cubierta del estacionamiento de la renovación del pavimento de aceras, calzada, bordillos e isletas por uno de uso preferente peatonal, la ejecución de parterres de espesor reducido y la colocación de elementos puntuales de alumbrado público, mobiliario urbano y señalización, de modo que en ningún caso se superen los 250 kp/m² de carga muerta. Se ha eliminado del proyecto inicialmente previsto los parterres de espesores que superen dicha carga, la colocación de pérgolas metálicas y de cualquier elemento no imprescindible para la urbanización que provoque superar la carga máxima señalada. También se ha eliminado el paso de tráfico rodado por este tramo, reducido exclusivamente a vehículos de mantenimiento y emergencia.

También se han encargado sendos estudios de comprobación de cálculo de estructuras en el cierre de la actual rampa de salida del estacionamiento y de refuerzo de la losa frente a punzonamiento en los cuatro pilares señalados en el informe de 15 de diciembre de 2021.



En el cuarto informe de 25 de abril de 2022 de INTEMAC se ha comprobado que las condiciones de seguridad los pilares, muro perimetral y cimentaciones afectados por el incremento de las cargas asociado a la construcción de la nueva losa de cierre del hueco de la rampa de la salida del aparcamiento son correctas y que no es necesario por tanto proyectar y ejecutar ninguna intervención de refuerzo de los elementos de la estructura vertical o recalce de las cimentaciones afectadas previamente a la construcción de la losa.

En el quinto informe de 10 de mayo de 2022 de INTEMAC de refuerzo de la losa frente a punzonamiento en los apoyos sobre los pilares P45, P49, P65 y P66 se realizan los cálculos y comprobaciones necesarios para proyectar y ejecutar un refuerzo preventivo frente a punzonamiento en los apoyos de los citados pilares en la planta sótano -1, con las previsiones de carga indicadas anteriormente, que incluyen una carga muerta de urbanización de 250 kp/m² y una carga en situación accidental (vehículo de emergencia o similar) de 2.000 kp/m² en una superficie de 3 m x 8 m ($3 \text{ m} \times 8 \text{ m} \times 2.000 \text{ kp/m}^2 = 48.000 \text{ kp}$ de peso).

CONCLUSIÓN:

En conclusión, tanto las actuaciones previstas de carácter estructural en el módulo de aparcamiento de la avenida César Augusto, en la zona de la plaza Salamero comprendida entre la avenida y la plaza (cierre de la rampa de salida y refuerzo del apoyo de los pilares P45, P49, P65 y P66), como la limitación de la carga muerta máxima admisible sobre la losa de la cubierta del aparcamiento a ejecutar con la urbanización a 250 kp/m², y a la vista de los estudios e informes señalados en el presente escrito, justifican la viabilidad técnica de las obras a ejecutar en la urbanización de la Plaza Salamero, devuelven la funcionalidad y el uso público al entorno, y garantizan totalmente la seguridad estructural del estacionamiento existente en el referido ámbito y, consecuentemente, de la urbanización prevista para la plaza.

I.C. de Zaragoza, a 29 de junio de 2022

EL INGENIERO de CAMINOS, JEFE del
SERVICIO de INGENIERIA de DESARROLLO URBANO



Fdo.: Jose Angel Navamuel Aparicio

APARCAMIENTO EN LA AVENIDA DE CÉSAR AUGUSTO DE ZARAGOZA



ADENDA AL INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA ESTRUCTURA

ÍNDICE

1.-ANTECEDENTES Y OBJETO DEL DOCUMENTO.....	1
2.-COMPROBACIONES DE CÁLCULO	1
3.-CONCLUSIÓN	1

ANEJO Nº 1: COMPROBACIONES DE CÁLCULO

1.- ANTECEDENTES Y OBJETO DEL DOCUMENTO

El AYUNTAMIENTO DE ZARAGOZA (en adelante Peticionario) solicitó los servicios del Instituto Técnico de Materiales y Construcciones (INTEMAC) para realizar un estudio sobre el estado actual de la estructura del aparcamiento de la Avenida César Augusto. El informe correspondiente (de referencia EX/OC-20052/E-9) fue emitido con fecha 12 de febrero de 2021.

Entre las conclusiones de dicho informe se indica que en la situación real actual de la losa de cubierta del citado aparcamiento se ha detectado el mismo defecto de ejecución de la colocación de la armadura de refuerzo frente a punzonamiento que en el de la cubierta de la plaza de Salamero. En estas condiciones, la losa es válida para la parte de la sobrecarga de tráfico uniformemente distribuida de 4 kN/m^2 .

Posteriormente el Peticionario nos ha manifestado una contradicción entre la conclusión y el contenido de parte del anejo de cálculo que acompañaba al citado informe, donde en una comprobación se consignaba la sobrecarga de 2 kN/m^2 en lugar de la de 4 kN/m^2 , solicitando por tanto una aclaración de esta circunstancia.

El objeto del presente documento es el de acreditar que la conclusión del informe es correcta, aclarando que en la parte del anejo citada se incluyó por error un análisis con la sobrecarga inferior que fue finalmente descartado.

2.- COMPROBACIONES DE CÁLCULO

En el anejo a la presente adenda, al que nos remitimos, se muestran otras consideraciones de análisis de la situación real que se hicieron y que son las que finalmente justificaron nuestra conclusión sobre la validez de la parte uniformemente distribuida de la sobrecarga de tráfico de 4 kN/m^2 que es la que se indica correctamente en nuestro informe:

- En las primeras cuatro páginas el análisis se realiza para la situación real de acuerdo con la metodología que debió servir para el diseño (EH-68) sin contar con la armadura transversal de refuerzo pero adoptando la máxima contribución a corte permitida para el hormigón por dicha norma.
- En las siguientes cuatro páginas el análisis se realiza para la situación real de acuerdo con EHE-08 pero con los coeficientes parciales que se deducen para el nivel de fiabilidad requerido de acuerdo con la metodología de evaluación de estructuras existentes de EN-1992-1-1.
- En las siguientes páginas se justifica el valor de los coeficientes parciales adoptados en el cálculo anterior.

En todos los casos, la situación de seguridad frente a punzonamiento de la losa en condiciones reales resulta técnicamente admisible para la sobrecarga indicada.

3.- CONCLUSIÓN

En resumen, de acuerdo con lo expuesto anteriormente, confirmamos que se trata de un error de montaje del anejo y corroboramos las conclusiones del informe.

Esta adenda consta de 2 páginas numeradas y 1 anejo.

En Torrejón de Ardoz (Madrid), a 8 de julio de 2022



D. Jesús María Rodríguez Romero
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Departamento de Estructuras.



D. Raúl Rubén Rodríguez Escribano
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Director de la División de Estudios.

El informe original emitido se conserva en el archivo de INTEMAC. Al Peticionario se le proporciona una copia electrónica que mantiene el valor de original y será válida siempre que no se vulneren las propiedades de seguridad del documento.

ANEJO Nº 1: COMPROBACIONES DE CÁLCULO.

APARCAMIENTO DE LA AVENIDA CÉSAR AUGUSTO DE ZARAGOZA

EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN REAL SIN CARRO

1. Datos previos

La cubierta del aparcamiento es una losa maciza de hormigón armado de 35 cm de canto, que apoya directamente sobre pilares del mismo material de sección transversal rectangular de 30 x 60 cm x cm. En la figura nº 1 se muestra una vista en planta del forjado.

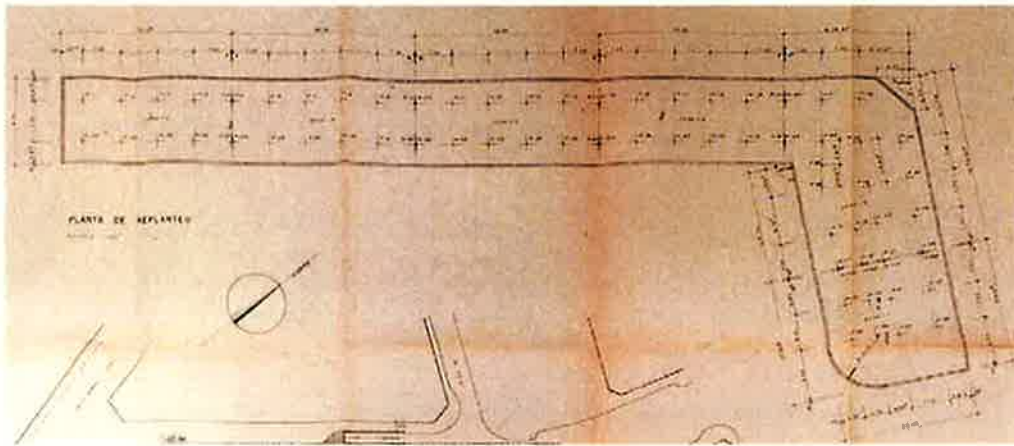


Figura 1

Evaluamos la seguridad frente a punzonamiento sin contar con las armaduras transversales y teniendo en cuenta la máxima contribución del hormigón permitida por la EH-68 que debió servir de base para el dimensionamiento. La resistencia del hormigón es la resultante de la campaña de ensayos realizada

2. Materiales, geometría, armado y coeficientes parciales de seguridad

2.1 Materiales y coeficientes de seguridad

Para el cálculo adoptamos un hormigón de 200 kgf/cm² de resistencia característica a compresión y un acero de 4.200 kgf/cm² de límite elástico.

$$\sigma_{bk} := 200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad \gamma_b := 1.50 \quad \sigma_b := \frac{\sigma_{bk}}{\gamma_b} = 133.3 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad \text{Resistencia de cálculo del hormigón a compresión}$$

$$\sigma_{bt} := 0.5 \cdot \sqrt{\sigma_b} \cdot \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right)^{\frac{1}{2}} = 5.77 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad \text{Resistencia virtual del hormigón a esfuerzo cortante}$$

$$\sigma_t := 4200 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad \text{Resistencia de cálculo limitada del acero} \quad \gamma_a := 1.10 \quad \sigma_{ta} := \frac{\sigma_t}{\gamma_a} = 3818 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$\gamma_f := 1.50$ Coeficientes de mayoración de acciones

2.2 Geometría y armado

$h := 35 \cdot \text{cm}$ Canto total de la losa maciza

$r_{\text{sup}} := 15 \cdot \text{mm}$ Recubrimiento geométrico superior de la armadura de punzonamiento.

$d := h - r_{\text{sup}} - 10 \cdot \text{mm} = 325 \cdot \text{mm}$ Canto útil mínimo.

$L_x := 7.20 \cdot \text{m}$ $l_y := 4.375 \cdot \text{m}$ $L_y := 7.75 \cdot \text{m}$ Luces a ejes de pilares inferiores

$b_{\text{pilar}} := 30 \cdot \text{cm}$ $h_{\text{pilar}} := 60 \cdot \text{cm}$ Dimensiones de la sección transversal de los pilares

3. Acciones y esfuerzos

3.1 Acciones

Las cargas permanentes previstas son el peso propio de la losa (875 kg/m^2), pavimento y una sobrecarga de uso de 400 kg/m^2

$\gamma_h := 2500 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$ Peso específico del hormigón armado $p_{\text{losa}} := \gamma_h \cdot h = 875 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$ Peso propio de la losa maciza

$\gamma_a := 2300 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$ $h_a := 12 \cdot \text{cm}$ $p_a := \gamma_a \cdot h_a = 276 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$ Peso pavimento asfáltico

$p_{\text{sc}} := 400 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$ Sobrecarga uniforme sobre la losa

$p_k := p_{\text{losa}} + p_a + p_{\text{sc}} = 1551 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$ $p_d := \gamma_f \cdot p_k = 2327 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$ cargas característica y de cálculo

3.2 Reacciones

Reacciones isostáticas de apoyo de la losa sobre los pilares:

$A_t := L_x \cdot \frac{L_y + l_y}{2} = 43.6 \text{ m}^2$ Área tributaria de carga pilar interior

$a_t := \frac{L_x}{2} \cdot \frac{L_y + l_y}{2} = 21.8 \text{ m}^2$ Área tributaria de carga pilar adyacente a junta

3.3 Esfuerzos de punzonamiento. Pilar interior.

Secciones críticas a medio y un canto útil de la cara del pilar interior

$$u_{0.5_i} := 2 \cdot (b_{\text{pilar}} + h_{\text{pilar}}) + 2 \cdot \pi \cdot 0.5 \cdot d = 2821 \cdot \text{mm}$$

$$A_{0.5_i} := b_{\text{pilar}} \cdot h_{\text{pilar}} + 2 \cdot 0.5 \cdot d \cdot (b_{\text{pilar}} + h_{\text{pilar}}) + \pi \cdot (0.5 \cdot d)^2 = 0.56 \text{ m}^2$$

$$u_{1_i} := 2 \cdot (b_{\text{pilar}} + h_{\text{pilar}}) + 2 \cdot \pi \cdot d = 3842 \cdot \text{mm}$$

$$A_{1_i} := b_{\text{pilar}} \cdot h_{\text{pilar}} + 2 \cdot d \cdot (b_{\text{pilar}} + h_{\text{pilar}}) + \pi \cdot d^2 = 1.1 \text{ m}^2$$

Estimación de reacciones (cota superior) de cálculo sobre pilar interior

$$N_{d0.5_i} := p_d \cdot (A_t - A_{0.5_i}) = 111 \cdot \text{tonf}$$

$$N_{d1_i} := p_d \cdot (A_t - A_{1_i}) = 109 \cdot \text{tonf}$$

3.4 Esfuerzos de punzonamiento. Pilar de borde.

Secciones críticas a medio y un canto útil de la cara del pilar interior

$$u_{0.5_b} := 2 \cdot b_{\text{pilar}} + h_{\text{pilar}} + \frac{2 \cdot \pi \cdot 0.5 \cdot d}{2} = 1711 \cdot \text{mm}$$

$$A_{0.5_b} := b_{\text{pilar}} \cdot h_{\text{pilar}} + 0.5 \cdot d \cdot (2 \cdot b_{\text{pilar}} + h_{\text{pilar}}) + \frac{\pi \cdot (0.5 \cdot d)^2}{2} = 0.42 \text{ m}^2$$

$$u_{1_b} := 2 \cdot b_{\text{pilar}} + h_{\text{pilar}} + \frac{2 \cdot \pi \cdot d}{2} = 2221 \cdot \text{mm}$$

$$A_{1_b} := b_{\text{pilar}} \cdot h_{\text{pilar}} + d \cdot (2 \cdot b_{\text{pilar}} + h_{\text{pilar}}) + \frac{\pi \cdot d^2}{2} = 0.74 \text{ m}^2$$

Estimación de reacciones (cota superior) de cálculo sobre pilar interior

$$N_{d0.5_b} := p_d \cdot (a_t - A_{0.5_b}) = 55 \cdot \text{tonf}$$

$$N_{d1_b} := p_d \cdot (a_t - A_{1_b}) = 54 \cdot \text{tonf}$$

4. Comprobaciones frente a punzonamiento en losa de cubierta

4.1 Contribución del hormigón. Pilar interior

$$T_{b0.5_i} := \sigma_{bt} \cdot u_{0.5_i} \cdot d = 58 \cdot \text{tonf} \quad T_{b1_i} := \sigma_{bt} \cdot u_{1_i} \cdot d = 79 \cdot \text{tonf}$$

4.2 Contribución del hormigón. Pilar de borde

$$T_{b0.5_b} := \sigma_{bt} \cdot u_{0.5_b} \cdot d = 35 \cdot \text{tonf} \quad T_{b1_b} := \sigma_{bt} \cdot u_{1_b} \cdot d = 46 \cdot \text{tonf}$$

4.4 Seguridad a punzonamiento perímetro crítico. Pilar interior.

Cálculo de los coeficientes K, cocientes entre la capacidad resistente y la sollicitación de cálculo. La capacidad resistente es la máxima contribución del hormigón según art. 37 de EH-68

$$K_{16i} := \frac{2 \cdot T_{b1_i}}{N_{d1_i}} = 1.46$$

$$K_{20i} := \frac{2 \cdot T_{b0.5_i}}{N_{d0.5_i}} = 1.06$$

$$2 \cdot T_{b1_i} = 159 \cdot \text{tonf} \quad \text{no mayor que:} \quad 5 \cdot \sigma_{bt} \cdot u_{0.5_i} \cdot h = 314 \cdot \text{tonf}$$

$$\Delta M_{d1_i} := 2 \cdot T_{b1_i} \cdot h = 495 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \Delta M_{d0.5_i} := 2 \cdot T_{b0.5_i} \cdot h = 363 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momentos adicionales al de cálculo a resistir por la armadura longitudinal (comprobados en la hoja de flexión)

4.5 Seguridad a punzonamiento perímetro crítico. Pilar de borde.

Cálculo de los coeficientes K, cocientes entre la capacidad resistente y la sollicitación de cálculo.

$$K_{16b} := \frac{2 \cdot T_{b1_b}}{N_{d1_b}} = 1.7$$

$$K_{20b} := \frac{2 \cdot T_{b0.5_b}}{N_{d0.5_b}} = 1.29$$

=====

=====

=====

APARCAMIENTO DE LA AVENIDA DE CÉSAR AUGUSTO EN ZARAGOZA
PUNZONAMIENTO EN LOSA MACIZA DE CUBIERTA
ANÁLISIS EN SITUACIÓN REAL

1. Objeto

Análisis de las condiciones de seguridad frente a punzonamiento teniendo en cuenta la situación real de la losa de cubierta considerando los siguientes aspectos:

- No se tiene en cuenta contribución alguna de la armadura de refuerzo frente a punzonamiento, que resulta ineficaz debido a su posición, excesivamente profunda.
- Se considera la resistencia característica in situ del hormigón de la losa, que se deduce de la campaña de ensayos a compresión de probetas testigo extraídas de la propia losa.
- Recubrimientos de la armadura negativa medidos en obra.
- Tratamiento de la seguridad de acuerdo con los procedimientos de evaluación de estructuras existentes actualizando los coeficientes parciales para el nivel de fiabilidad requerido.
- Metodología de EHE-08

2. Materiales, geometría, armado y coeficientes parciales de seguridad

Son los que se deducen del cálculo de actualización de coeficientes según EN 1992-1-1

$$f_{ck_is} := 22.3 \frac{N}{mm^2} \quad \gamma_c := 1.24 \quad f_{cd} := \frac{f_{ck_is}}{\gamma_c} = 18 \cdot \frac{N}{mm^2} \quad \text{Resistencia de cálculo del hormigón a corte}$$

$$L_x := 7.20 \cdot m \quad L_y := 7.75 \cdot m \quad l_y := 4.375 \cdot m \quad \text{Luces a ejes de pilares inferiores}$$

$$h := 35 \cdot cm \quad \text{Canto de la losa maciza} \quad r_{nom} := 50 \cdot mm \quad \text{Recubrimiento nominal geométrico a cara de barra superior, medido en obra}$$

Armado en dirección x. En el caso de la menor cuantía (pilar de borde) barras de 16 mm cada 30 cm más 2 barras de 20 mm cada 30 cm

$$n_{1x} := 1 \quad \phi_{1x} := 14 \cdot mm \quad n_{2x} := 1 \quad \phi_{2x} := 20 \cdot mm \quad s_x := 30 \cdot cm$$

Armado en dirección y. Barras de 16 mm cada 30 cm más 2 barras de 20 mm cada 30 cm

$$n_{1y} := 1 \quad \phi_{1y} := 16 \cdot mm \quad n_{2y} := 2 \quad \phi_{2y} := 20 \cdot mm \quad s_y := 30 \cdot cm$$

Recubrimientos mecánicos de las barras:

$$r_{1y} := r_{nom} + \frac{\phi_{1y}}{2} = 58 \cdot mm \quad r_{1x} := r_{nom} + \phi_{1y} + \frac{\phi_{1x}}{2} = 73 \cdot mm$$

$$h_{cg} := \frac{r_{1y} \cdot (n_{1y} \cdot \phi_{1y}^2 + n_{2y} \cdot \phi_{2y}^2) + r_{1x} \cdot (n_{1x} \cdot \phi_{1x}^2 + n_{2x} \cdot \phi_{2x}^2)}{n_{1y} \cdot \phi_{1y}^2 + n_{2y} \cdot \phi_{2y}^2 + n_{1x} \cdot \phi_{1x}^2 + n_{2x} \cdot \phi_{2x}^2} = 63 \cdot \text{mm}$$

$$d := h - h_{cg} = 287 \cdot \text{mm} \quad \text{Canto útil de la losa}$$

$$b_{\text{pilar}} := 30 \cdot \text{cm} \quad h_{\text{pilar}} := 60 \cdot \text{cm} \quad \text{Dimensiones de la sección transversal de los pilares}$$

$$\gamma_{pp} := 1.17 \quad \gamma_g := 1.29 \quad \gamma_q := 1.27 \quad \text{Coeficientes parciales de seguridad para las acciones actualizados}$$

3. Acciones y coeficientes de seguridad

Sobre la losa se dispone una capa de pavimento de aglomerado asfáltico de 15 cm de espesor medio.

$$\gamma_h := 25 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad \text{Peso específico del hormigón armado}$$

$$\gamma_{ag} := 23 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad h_{ag} := 12 \cdot \text{cm} \quad \text{Peso específico del aglomerado y espesor medio}$$

$$p_{\text{losa}} := \gamma_h \cdot h = 8.75 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{Peso propio de la losa maciza} \quad p_{ag} := \gamma_{ag} \cdot h_{ag} = 2.76 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{Peso del pavimento de aglomerado}$$

$$p_{sc} := 4 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{Sobrecarga de uso considerada}$$

$$p_k := p_{\text{losa}} + p_{ag} + p_{sc} = 15.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad p_d := \gamma_{pp} \cdot p_{\text{losa}} + \gamma_g \cdot p_{ag} + \gamma_q \cdot p_{sc} = 18.9 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

4. Cálculo de la tensión solicitante en el perímetro crítico

El valor de la tensión tangencial solicitante en el perímetro crítico debida al esfuerzo de punzonamiento se obtiene según:

$$\tau_{sd} = \frac{\beta \cdot F_{sd}}{u_1 \cdot d}$$

Donde β es el parámetro que tiene en cuenta los efectos de la excentricidad de la carga y vale 1,15 para soportes interiores y 1,40 para soportes de borde

$$\beta_i := 1.15 \quad \beta_b := 1.40$$

u_1 es la longitud del perímetro crítico que es el situado a una distancia de dos cantos útiles desde el perímetro del soporte o área cargada

$$c_1 := b_{\text{pilar}} \quad c_2 := h_{\text{pilar}}$$

$$u_1 := 2 \cdot (c_1 + c_2) + 2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot d = 5401 \cdot \text{mm} \quad \text{Perímetro crítico para un pilar interior}$$

$$u_{1b} := c_2 + 2 \cdot c_1 + \frac{2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot d}{2} = 3001 \cdot \text{mm} \quad \text{Perímetro crítico para un pilar de borde}$$

F_{sd} es el esfuerzo de punzonamiento de cálculo. Se obtiene como la reacción del soporte

$$A_t := L_x \cdot \left(\frac{L_y + l_y}{2} \right) = 43.6 \text{ m}^2 \quad \text{Área tributaria de carga para un soporte interior}$$

$$A_{tb} := \frac{L_x}{2} \cdot \left(\frac{L_y + l_y}{2} \right) = 21.8 \text{ m}^2 \quad \text{Área tributaria de carga para su soporte de borde}$$

$$A'_t := c_1 \cdot c_2 + 2 \cdot (c_1 + c_2) \cdot 2 \cdot d + \pi \cdot (2 \cdot d)^2 = 2.2 \text{ m}^2 \quad \text{Área a descontar en soporte interior}$$

$$A'_{tb} := c_1 \cdot c_2 + 2 \cdot c_1 \cdot 2 \cdot d + c_2 \cdot 2 \cdot d + \frac{\pi \cdot (2 \cdot d)^2}{2} = 1.4 \text{ m}^2 \quad \text{Superficie a descontar en soporte de borde}$$

$$F_{sd} := p_d \cdot (A_t - A'_t) = 782 \cdot \text{kN} \quad \text{Esfuerzo de punzonamiento en soporte interior}$$

$$F_{sd_b} := p_d \cdot (A_{tb} - A'_{tb}) = 386 \cdot \text{kN} \quad \text{Esfuerzo de punzonamiento en soporte de borde}$$

$$\tau_{sd} := \frac{\beta_i \cdot F_{sd}}{u_1 \cdot d} = 0.58 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{Tensión tangencial solicitante en soporte interior}$$

$$\tau_{sd_b} := \frac{\beta_b \cdot F_{sd_b}}{u_{1b} \cdot d} = 0.63 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{Tensión tangencial solicitante en soporte de borde}$$

5. Cálculo de la tensión máxima resistente en el perímetro crítico

Tensión máxima resistente en el perímetro crítico

$$\xi := \text{if} \left(1 + \sqrt{\frac{200 \cdot \text{mm}}{d}} \leq 2, 1 + \sqrt{\frac{200 \cdot \text{mm}}{d}}, 2 \right) = 1.84$$

En nuestro caso podemos tomar para la cuantía en cada dirección:

$$\rho_x := \frac{\pi}{4 \cdot d} \left(\frac{n_{1x} \cdot \phi_{1x}^2 + n_{2x} \cdot \phi_{2x}^2}{s_x} \right) = 0.005$$

$$\rho_y := \frac{\pi}{4 \cdot d} \left(\frac{n_{1y} \cdot \phi_{1y}^2 + n_{2y} \cdot \phi_{2y}^2}{s_y} \right) = 0.01$$

$$\rho_l := \text{if} \left(\sqrt{\rho_x \cdot \rho_y} \leq 0.02, \sqrt{\rho_x \cdot \rho_y}, 0.02 \right) = 0.007$$

Cuantía geométrica, no mayor de 0,02

$$v_{cu1} := \frac{0.18}{\gamma_c} \cdot \xi \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck_is})^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{N}{\text{mm}^2} \right)^{\frac{2}{3}} = 0.67 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$v_{cu_min} := \frac{0.075}{\gamma_c} \cdot \xi^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck_is}^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{N}{\text{mm}^2} \right)^{\frac{1}{2}} = 0.71 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{rd} := \max(v_{cu1}, v_{cu_min}) = 0.71 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Tensión máxima resistente en el perímetro crítico

6. Seguridad a punzonamiento

Calculamos el coeficiente K multiplicador de los de seguridad frente al fallo por punzonamiento.

$$K_{\text{punz_i}} := \frac{\tau_{rd}}{\tau_{sd}} = 1.22$$

$$K_{\text{punz_b}} := \frac{\tau_{rd}}{\tau_{sd_b}} = 1.13$$

Con la máxima sobrecarga de uso admisible sobre la losa

ACTUALIZACIÓN COEFICIENTES PARCIALES DE SEGURIDAD (ACORDE CON ANEJO A DE LA NORMA EN 1992-1-1)

$\beta_{ref} := 3.8$ Coeficiente de fiabilidad de referencia

$\beta_{tgt} := 3.1$ Coeficiente de fiabilidad actualizado

1. MATERIALES

Distribución Log-normal: x tiene una distribución log-normal si $y=\ln(x)$ tiene una distribución normal

$$\gamma = \frac{e^{\alpha_R \cdot \beta_a \cdot V_R}}{\mu_R}$$

V_R Coeficiente de variación

$\mu_R = \frac{X_m}{X_k}$ Coeficiente "bias" (cociente valor medio, X_m , y valor característico, X_k)

$\alpha_R := 0.8$ Coeficiente de sensibilidad para las variables dominantes de la resistencia

1.1. ACERO

$f_{yk} := 400$ Límite elástico de las armaduras (N/mm²)

$V_{RS} = \sqrt{f_{fy}^2 + V_d^2 + V_{\theta s}^2}$ Coeficiente de variación de la resistencia

$\mu_{RC} = \mu_{fy} \cdot \mu_d \cdot \mu_{\theta s}$ Factor bias de la resistencia

Incertidumbres del material:

$$V_{fy} := 0.045 \quad \mu_{fy} := e^{-qnorm(0.05, 0, 1) \cdot V_{fy}}$$

Incertidumbres del modelo:

$$V_{\theta s} := 0.045 \quad \mu_{\theta s} := 1.09$$

Incertidumbres geometría:

$d := 200$ Canto de la pieza, en mm

$$V_d := 0.05 \cdot \left(\frac{200}{d}\right)^{\frac{2}{3}} = 0.05 \quad \mu_d := 1 - 0.05 \cdot \left(\frac{200}{d}\right)^{\frac{2}{3}} = 0.95$$

Coefficiente de minoración del acero:

$$V_{RS} := \sqrt{V_{fy}^2 + V_d^2 + V_{\theta s}^2}$$

Coefficiente de variación de la resistencia

$$\mu_{RS} := \mu_{fy} \cdot \mu_d \cdot \mu_{\theta s}$$

Factor bias de la resistencia

$$\gamma_S(\beta_{tgt}) := \frac{\alpha_R \cdot \beta_{tgt} \cdot V_{RS}}{\mu_{RS}}$$

$$\gamma_{Sa} := \gamma_S(\beta_{tgt}) = 1,10$$

Coefficiente de minoración del acero

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_{Sa}} = 364,9$$

Límite elástico de cálculo del acero

1.2. HORMIGÓN

$$V_{RC} := \sqrt{V_{fc, is, corr}^2 + V_{Ac}^2 + V_{\theta c}^2 + V_{\eta, is}^2}$$

Coefficiente de variación de la resistencia

$$\mu_{RC} := \mu_{fc, is} \cdot \mu_{Ac} \cdot \mu_{\theta c} \cdot \mu_{\eta, is}$$

Factor bias de la resistencia

Incertidumbres del material:

$$n_c := 8 \quad \text{Tamaño de la muestra}$$

$$i := 1 \dots n_c$$

$fc_i :=$ Resistencias obtenidas en los ensayos a compresión de las n probetas testigo, expresadas en N/mm^2 .

41.3
28.9
35.3
20.4
35.7
39.3
30.0
35.5

$f_{co} := \text{sort}(fc)$ Vector con los valores de las resistencias ordenados de menor a mayor

$$f_{cm} := \frac{\sum_{i=1}^{n_c} fc_i}{n_c} = 33,3$$

Valor medio de la población (N/mm^2)

$$s_c := \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_c} (fc_i - f_{cm})^2}{n_c - 1}} = 6,67$$

Desviación estándar de la población (N/mm^2)

$$V_{fc} := \frac{s_c}{f_{cm}} = 0,20$$

Coefficiente de variación de la muestra
 $V_{fc}=0,10$ para obra nueva

$$V_{fc.min} := 0.1$$

Valor mínimo considerado para el coeficiente de variación
(EN13791 admite un poco menos, 0,08)

$$V_{fc.is} := \max(V_{fc}, V_{fc.min}) = 0.20$$

$$k_n(n) := -qt(0.05, n - 1) \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{n}}$$

$$\mu_{fc.is}(n) := e^{k_n(n) \cdot V_{fc.is}}$$

$$k_{dn}(n, \beta_{tgt}) := -qt(\text{cnorm}(-\alpha_R \cdot \beta_{tgt}), n - 1) \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{n}} \quad V_{fc.is.corr}(n, \beta_{tgt}, V_{fc.is}) := \frac{k_{dn}(n, \beta_{tgt})}{\alpha_R \cdot \beta_{tgt}} \cdot V_{fc.is}$$

Incertidumbres de la puesta en obra:

$$V_{\eta.is} := 0 \quad \mu_{\eta.is} := 1$$

Esta incertidumbre no existe en estructuras existentes en las que se ensaya directamente el hormigón de la estructura. En el caso de comparar la resistencia "in situ" con las probetas de control: $V_{\eta.is}=0.12$ y $\mu_{\eta.is}=0.95$.

Incertidumbres del modelo:

$$V_{\theta.c} := 0.06 \quad \mu_{\theta.c} := 1.02$$

Incertidumbres del modelo de resistencia del hormigón:
 $V_{\theta.R}=0.04$ Pequeñas incertidumbres sobre la influencia de la resistencia en el modelo estructural (momento, axil)

Incertidumbres geometría:

$$V_{A.c} := 0.04 \quad \mu_{A.c} := 1$$

Incertidumbres asociadas a las desviaciones geométricas (recubrimientos, dimensiones, etc.):

Coefficiente de minoración del hormigón:

$$V_{RC}(n, \beta, V_{fc.is}) := \sqrt{V_{fc.is.corr}(n, \beta, V_{fc.is})^2 + V_{A.c}^2 + V_{\theta.c}^2 + V_{\eta.is}^2} \quad \text{Coeficiente de variación de la resistencia}$$

$$\mu_{RC}(n) := \mu_{fc.is}(n) \cdot \mu_{A.c} \cdot \mu_{\theta.c} \cdot \mu_{\eta.is}$$

Factor bias de la resistencia

$$\gamma_C(n, \beta, V_{fc.is}) := \frac{e^{\alpha_R \cdot \beta \cdot V_{RC}(n, \beta, V_{fc.is})}}{\mu_{RC}(n)}$$

$$f_{ck.is} := \frac{f_{cm}}{\mu_{fc.is}(n_c)} = 22.27$$

Resistencia característica del hormigón de la estructura

$$\gamma_{Ca} := \gamma_C(n_c, \beta_{tgt}, V_{fc.is}) = 1.35$$

Coefficiente de minoración del hormigón actualizado

$$f_{cd.is} := \frac{f_{ck.is}}{\gamma_{Ca}} = 16.48$$

Resistencia de cálculo del hormigón de la estructura

1.3. CORTANTE Y PUNZONAMIENTO

$$V_{RV} = \sqrt{\left(\frac{V_{fc.is,corr}}{3}\right)^2 + V_d^2 + V_{res.v}^2 + V_{\theta v}^2 + \left(\frac{V_{\eta.is}}{3}\right)^2}$$

Coeficiente de variación de la resistencia

$$\mu_{RV} = \mu_{fc.is}^{\frac{1}{3}} \cdot \mu_d \cdot \mu_{\theta s} \cdot \mu_{\eta.is}^{\frac{1}{3}}$$

Factor bias de la resistencia

Incertidumbres del modelo:

$$V_{\theta v} := 0.107 \quad \mu_{\theta v} := 1.10 \quad V_{res.v} := 0.046$$

Coeficiente de minoración para cortante y punzonamiento (sin armadura):

$$V_{RV}(n, \beta, V_{fc.is}) := \sqrt{\left(\frac{V_{fc.is,corr}(n, \beta, V_{fc.is})}{3}\right)^2 + V_d^2 + V_{res.v}^2 + V_{\theta v}^2 + \left(\frac{V_{\eta.is}}{3}\right)^2}$$

Coeficiente de variación de la resistencia

$$\mu_{RV}(n) := \mu_{fc.is}(n)^{\frac{1}{3}} \cdot \mu_d \cdot \mu_{\theta v} \cdot \mu_{\eta.is}^{\frac{1}{3}}$$

Factor bias de la resistencia

$$\gamma_V(n, \beta, V_{fc.is}) := \frac{e^{\alpha_R \cdot \beta \cdot V_{RV}(n, \beta, V_{fc.is})}}{\mu_{RV}(n)}$$

$$f_{ck.is} = 22.27 \quad \gamma_{Va} := \gamma_V(n_c, \beta_{tgt}, V_{fc.is}) = 1.24 \quad \text{Coeficiente de minoración del hormigón a corte}$$

$$f_{cd.V} := \frac{f_{ck.is}}{\gamma_V(n_c, \beta_{tgt}, V_{fc.is})} = 17.99 \quad \text{Resistencia de cálculo del hormigón a corte}$$

2. ACCIONES:

$$\alpha_E := -0.7 \quad \text{Coeficiente de sensibilidad para las variables dominantes de la sollicitación}$$

$$\alpha_{\theta E} := 0.4 \cdot \alpha_E \quad \text{Coeficiente de sensibilidad para las variables no dominantes de la sollicitación}$$

2.1. CARGA PERMANENTE

Permanente. Desfavorable $k := 0$

Se considera que el valor representativo de la carga permanente es el valor medio

Distribución normal: $\gamma_g(V_G, \beta) := \frac{1 - \alpha_E \cdot \beta \cdot V_G}{1 + k \cdot V_G}$

$V_G = 0.05$ Peso propio
 $V_G = 0.1$ Resto de cargas permanentes

Incertidumbres del modelo:

$$V_{\theta E} := 0.065$$

$$\gamma_{Ed_G}(\beta) := 1 - \alpha_{\theta E} \cdot \beta \cdot V_{\theta E}$$

$$\gamma_{Ed_G}(\beta_{tgt}) = 1.06$$

$$\gamma_{Ed_G_fav} := 1.00$$

Acción desfavorable. Incertidumbres de la influencia de la sollicitación (geometría y efecto de la acción) en el modelo de resistencia

Acción favorable.

Coefficiente de mayoración de la acción:

$$\gamma_G(V_G, \beta) := \gamma_{Ed_G}(\beta) \cdot \gamma_g(V_G, \beta)$$

$$V_{pp} := 0.05$$

$$\gamma_{pp} := \gamma_G(V_{pp}, \beta_{tgt}) = 1.17$$

$$V_{cm} := 0.10$$

$$\gamma_{cm} := \gamma_G(V_{cm}, \beta_{tgt}) = 1.29$$

2.2. SOBRECARGAS:

Distribución de Gumbel (normalmente t_{ref} =vida útil):

$$t_{ref} := 50$$

$$\gamma_q(V_Q, \beta, t_{ref}, t_0, p) := \frac{1 - V_Q \cdot \left(\frac{0.577 \cdot \sqrt{6}}{\pi} - \frac{\sqrt{6}}{\pi} \ln \left(\frac{t_{ref}}{t_0} \right) + \frac{\sqrt{6}}{\pi} \cdot \ln(-\ln(\text{cnorm}(-\alpha_E \cdot \beta))) \right)}{1 - V_Q \cdot \left(\frac{0.577 \cdot \sqrt{6}}{\pi} + \frac{\sqrt{6}}{\pi} \cdot \ln(-\ln(p)) \right)}$$

Sobrecargas impuestas: la sobrecarga característica es la que tiene una probabilidad de excederse del 5 % (percentil $p=0.95$) en un tiempo básico de referencia de $t_0 = 50$ años.

$$\gamma_{q_imp}(V_Q, \beta, t_{ref}) := \gamma_q(V_Q, \beta, t_{ref}, 50, 0.95)$$

Acciones climáticas: el valor representativo es el que tiene una probabilidad de excedencia del 2 % (percentil $p=0.98$) en un tiempo básico de referencia de $t_0 = 1$ año (periodo de retorno de 50 años).

$$\gamma_{q_clim}(V_Q, \beta, t_{ref}) := \gamma_q(V_Q, \beta, t_{ref}, 1, 0.98)$$

Incertidumbres del modelo:

$$\gamma_{Ed_Q}(\beta) := 1 - \alpha_{\theta E} \cdot 0.11 \cdot \beta$$

Incertidumbres del modelo en la estimación del efecto de la acción.

Coefficiente de mayoración de la acción:

$$\gamma_{Q_imp}(V_Q, \beta, t_{ref}) := \gamma_{Ed_Q}(\beta) \cdot \gamma_{q_imp}(V_Q, \beta, t_{ref})$$

$$V_{imp} := 0.25 \quad t_{ref_imp} := 50$$

$$\gamma_{Q_Imp} := \gamma_{Q_imp}(V_{imp}, \beta_{tgt}, t_{ref_imp}) = 1.27$$

$$\gamma_{Q_clim}(V_Q, \beta, t_{ref}) := \gamma_{Ed_Q}(\beta - 1.25) \cdot \gamma_{q_clim}(V_Q, \beta - 1.25, t_{ref})$$

$$V_{clim} := 0.2; t_{ref.clim} := 50$$

$$\gamma_{Q_Clim} := \gamma_{Q_clim}(V_{clim}, \beta_{tgt}, t_{ref.clim}) = 1.34$$

3. RESUMEN DE RESULTADOS:

3.0. Fiabilidad requerida y vida útil:

$$\beta_{tgt} = 3.1$$

Fiabilidad requerida

$$t_{ref} = 50$$

Vida útil

3.1. Materiales:

$$f_{yk} = 400$$

Límite elástico del acero

$$\gamma_{Sa} = 1.10$$

Coefficiente de minoración del acero

$$f_{yd} = 364.9$$

Límite elástico de cálculo del acero

$$f_{ck.is} = 22.3$$

Resistencia característica del hormigón de la estructura

$$\gamma_{Ca} = 1.35$$

Coefficiente de minoración del hormigón actualizado

$$f_{cd.is} = 16.5$$

Resistencia de cálculo del hormigón de la estructura

$$\gamma_{Va} = 1.24$$

Coefficiente de minoración del hormigón a corte

$$f_{cd.V} = 18.0$$

Resistencia de cálculo del hormigón a corte

3.2. Acciones:

$$\gamma_{pp} = 1.17$$

Coefficiente de mayoración del peso propio

$$\gamma_{cm} = 1.29$$

Coefficiente de mayoración del resto de cargas permanentes

$$\gamma_{Q_Imp} = 1.27$$

Coefficiente de mayoración de las sobrecargas gravitatorias

$$\gamma_{Q_Clim} = 1.34$$

Coefficiente de mayoración de las acciones climáticas