

CARACTERÍSTICAS DE LAS LOSAS CAJÓN Y SU COMPORTAMIENTO ANTE CARGAS CONCENTRADAS Y APEOS

(¹) Gauna, Gustavo; (²) Owen, Brian; (³) Orona, Cristian

(¹) Magister en Ingeniería Estructural, Ingeniero en Construcciones – ggauna@frba.utn.edu.ar

(²) Ingeniero Civil – brianowen@frba.utn.edu.ar

(³) Maestro Mayor de Obras, est. Ingeniería Civil (UTN) – yocrisst@frba.utn.edu.ar

RESUMEN

Las losas cajón consisten en elementos de hormigón de alta rigidez y bajo peso, como consecuencia del aliviamiento en la zona central de la sección, las cuales conforman una solución factible desde el punto de vista técnico, económico y arquitectónico para el diseño de estructuras de entrepisos o cubiertas de grandes luces.

En este trabajo se presentan las características principales de esta tipología estructural, y se compara su comportamiento ante cargas concentradas y apeos con los sistemas tradicionales de losas macizas y losas casetonadas. A su vez, se brindan herramientas para efectuar un predimensionado del sistema que sirva de base para abordar un análisis de factibilidad o como punto de partida para la verificación estructural.

ABSTRACT

The box slabs consist of highly rigid and low-weight concrete elements, as result of the lightening in the central area of the section, which form a feasible solution from a technical, economic and architectural point of view for the design of intermediate floors or large span covers.

This work presents the main characteristics of this structural typology, and compares its behavior under concentrated loads and shoring with traditional solid slab and coffered slab systems. At the same time, tools are provided to carry out a pre-sizing of the system that serves as a basis for a feasibility analysis or as a starting point for structural verification.

Organiza:

INTRODUCCIÓN

¿De qué manera se puede mejorar la eficiencia de las estructuras que conforman los entresijos o cubiertas planas? Esta pregunta representa uno de los interrogantes que continuamente los profesionales dedicados al diseño estructural buscan responder.

En general, dichos elementos pueden ser analizados como placas delgadas, siendo éstos elementos cuyo espesor es despreciable en comparación a sus dimensiones restantes. Si se considera que las cargas exteriores de una placa, la ubicación de sus apoyos (o dimensiones de sus lados) y el tipo de material se encuentran determinados previamente, el resto de los factores a determinar (variables) son el peso propio y la rigidez de la sección.

Lo dicho anteriormente se refleja en la ecuación de equilibrio deducida por Lagrange¹ para placas planas delgadas y de espesor uniforme:

$$\frac{\partial^4 W(x, y)}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 W(x, y)}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 W(x, y)}{\partial y^4} = \frac{P}{D} \quad (1)$$

Donde:

$W(x, y)$: deformación de la placa, perpendicular a su plano

P : carga total distribuida en la placa, incluyendo su propio peso

D : rigidez de la placa

El miembro a la izquierda de la igualdad representa los efectos que se evidencian en la placa producidos por las causas que se encuentran a la derecha. De la ecuación se puede deducir que los efectos son directamente proporcionales a las cargas (en particular el peso propio) e inversamente proporcionales a la rigidez de la placa.

La rigidez de una placa de espesor uniforme se define por la siguiente expresión:

$$D = \frac{E \cdot \bar{I}}{1 - \nu^2} \quad (2)$$

Donde:

E : módulo de elasticidad del material

ν : coeficiente de Poisson del material

\bar{I} : inercia por unidad de longitud de la sección

Por lo tanto, ya que los parámetros relacionados al material se consideran previamente definidos, la búsqueda de una mejor eficiencia en el comportamiento de las placas se puede traducir en el intento de obtener secciones de mayor inercia con la menor cantidad posible de material, a fin de minimizar los efectos producidos por las cargas exteriores y el peso propio.

Organiza:

Con ese objetivo, a través del tiempo la ingeniería y la industria de la construcción han desarrollado diversas tipologías de placas de gran inercia y bajo peso en relación a una placa maciza de igual altura, con el propósito de cubrir grandes luces sin la necesidad de contemplar en el diseño vigas de alturas que puedan resultar contrarias a la funcionalidad arquitectónica. Entre estas tipologías se pueden citar a las losas casetonadas y las losas cajón de hormigón armado, en las que se prescinde de una gran masa de material cercana al eje medio de la placa, la cual tiene poca incidencia en la inercia de la sección.

Las losas casetonadas obtienen su nombre de los elementos con forma aproximada de prisma rectangular, llamados casetones, los cuales se utilizan como encofrados perdidos o recuperables para alivianar la sección. Los casetones se sitúan separados entre sí conformando nervios en ambas direcciones, por lo cual a estas placas también se las suele denominar como losas nervuradas en dos direcciones. En el colado del hormigón, además de llenar los nervios también se vierte una capa de material sobre los casetones. Esta capa tiene una gran incidencia en la inercia de la losa y cumple la función de distribuir las cargas hacia los nervios.

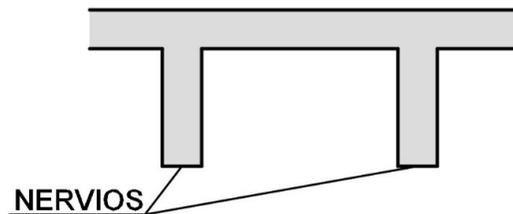


Figura 1: Esquema de losa casetonada

En las losas cajón, a diferencia de las casetonadas, para alivianar la sección se utilizan elementos con una gran diversidad de formas, desde prismas rectangulares (en particular bloques cúbicos) a esferas y esferoides (esferas achatadas). Esta tipología, además de contar con nervios en ambas direcciones, cuenta con dos capas de material, una superior y otra inferior que envuelven a las piezas de alivianamiento y conforman una sección cerrada con mejores propiedades estructurales que la sección abierta de las losas casetonadas.

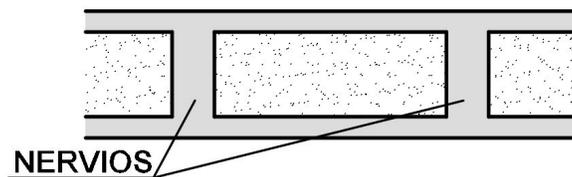


Figura 2: Esquema de losa cajón con bloques alivianadores

Organiza:

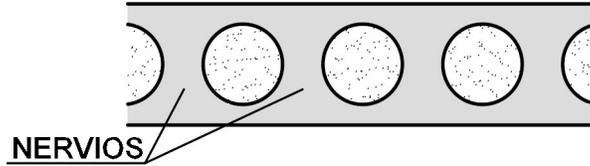


Figura 3: Esquema de losa cajón con alivianadores esféricos

Si bien la premisa de eficiencia obtenida de la ecuación de equilibrio es válida conceptualmente para las tipologías de placas descritas, debido a que las inercias pueden variar según la dirección considerada y se pueden tener secciones abiertas o cerradas, la expresión de Lagrange adopta la siguiente forma²:

$$D_x \frac{\partial^4 W(x, y)}{\partial x^4} + 2 H \frac{\partial^4 W(x, y)}{\partial x^2 \partial y^2} + D_y \frac{\partial^4 W(x, y)}{\partial y^4} = P \quad (3)$$

Donde:

$W(x, y)$: deformación de la placa, perpendicular a su plano

P : carga total distribuida en la placa, incluyendo su propio peso

D_x : rigidez flexional de la placa en dirección x

D_y : rigidez flexional de la placa en dirección y

H : rigidez flexo-torsional de la placa

En particular, la rigidez flexo-torsional viene dada por la sumatoria de las rigideces flexionales por acoplamiento (o efecto Poisson) y las rigideces torsionales propiamente dichas en cada dirección.

En el caso de las placas de espesor uniforme se cumple que:

$$D_x = D_y = H = D \quad (4)$$

Si consideramos una losa cajón en la que la separación de los nervios es igual en ambas direcciones, al contar con una sección cerrada la rigidez flexo-torsional de esta se asemeja a las rigideces flexionales, como en el caso de una placa de espesor uniforme:

$$D_x = D_y \cong H \quad (5)$$

Por lo tanto, para este tipo de losas es posible hallar la altura de una losa maciza cuya inercia sea igual que la inercia de la losa cajón (igualdad de rigideces flexionales), con la cual es posible efectuar un análisis con resultados semejantes al de la losa real, motivo por el cual la losa obtenida se denomina losa maciza equivalente. Para este método de cálculo se debe considerar que el peso propio a introducir como dato deberá ser el peso de la losa cajón (peso real de la losa) y no el de la losa maciza.³

Organiza:

A diferencia de las losas cajón, las losas casetonadas tienen una baja rigidez flexo-torsional en comparación a su rigidez flexional, lo que se debe a la forma abierta de su sección transversal. Por lo tanto, el comportamiento de esta tipología se asemeja más al comportamiento de un emparrillado de vigas que al de una losa maciza; por ende, el análisis puede ser realizado del lado seguro bajo esta premisa.

En cuanto a la ubicación de la armadura por flexión, esta se dispone distribuida en los nervios y en la capa inferior de la losa, si esta existiera. En las capas superiores se aconseja la colocación de una armadura mínima por contracción y temperatura.

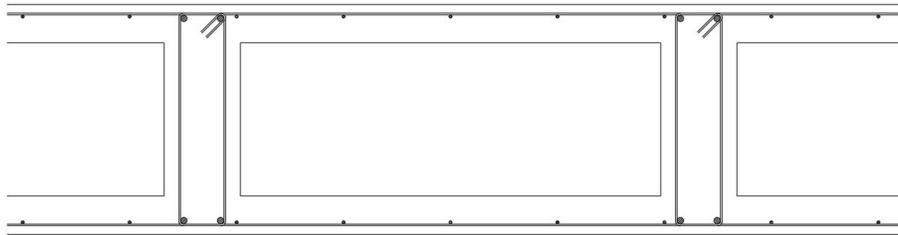


Figura 4: Detalle de armado típico de losa cajón

Respecto al comportamiento ante los esfuerzos de corte, se debe diferenciar entre el corte en una dirección y el corte en dos direcciones o punzonamiento. Para el corte en una dirección las secciones a estudiar se extienden a través de un plano con una cierta cantidad de nervios, los cuales deberán soportar los esfuerzos de forma análoga a vigas aisladas. El corte en dos direcciones o punzonamiento se da particularmente en las zonas con cargas concentradas y reacciones con columnas donde la falla puede ocurrir generándose una superficie de cono o pirámide truncada. En estos sectores se suele prescindir de la colocación de los elementos de alivianamiento a fin de macizar la losa generando ábacos, los que podrán resistir los esfuerzos considerando únicamente el aporte del hormigón o con el agregado de refuerzos de acero, si fuera necesario (estribos abiertos o cerrados, barras dobladas, o pernos con cabeza). En general, debido a la gran cantidad de armadura que puede haber en estos sectores, es preferible que los esfuerzos de punzonamiento sean tomados sólo por el hormigón. Para esto es posible aumentar la altura de los ábacos de acuerdo al flujo de las cargas, como en el caso de los cabezales de corte, o aumentar el perímetro del apoyo, lo que puede ser realizado con un ensanchamiento de la columna en toda su altura, o bien sólo en su extremo superior, generando un capitel hormigonado en conjunto con la columna.

Organiza:

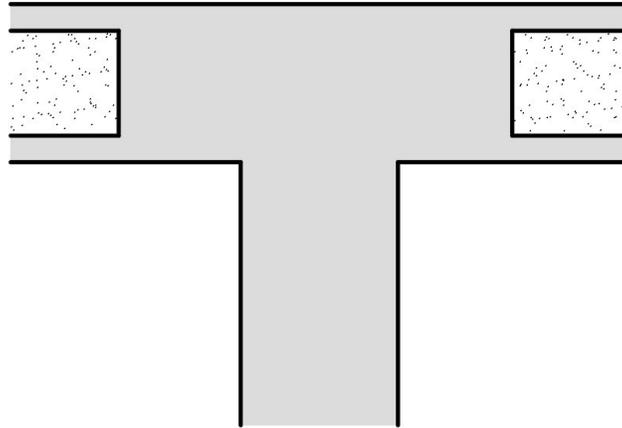


Figura 5: Esquema de ábaco

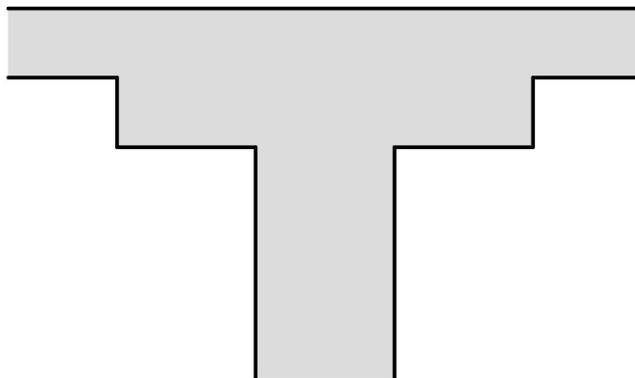


Figura 6: Esquema de cabezal de corte

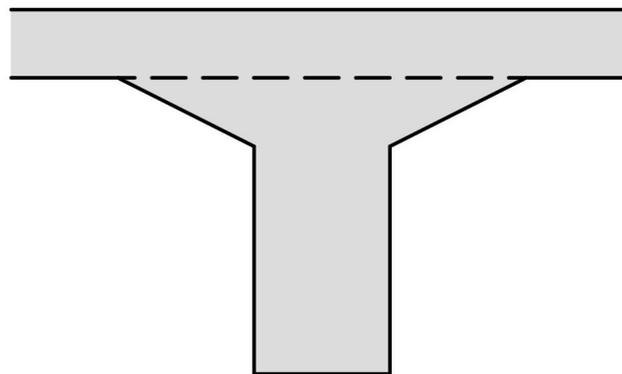


Figura 7: Esquema de capitel de columna

Organiza:

De acuerdo al CIRSOC 201-2005, las losas nervuradas (casetonadas) deben cumplir las siguientes limitaciones dimensionales, las cuales pueden extenderse como recomendaciones para el diseño de las losas cajón:

- Ancho de nervios mayor o igual a 100 mm.
- Altura de nervios libre menor o igual a 3,5 veces su ancho.
- Luz libre entre nervios menor o igual a 800 mm.
- Espesor de capa de hormigón superior mayor o igual a 1/12 de la distancia libre entre nervios, y mayor a 40 mm (en el caso de encofrados perdidos) o 50 mm (en el caso de encofrados removibles).

DESARROLLO

A continuación, se presentarán los resultados de diferentes modelos de placas calculados mediante el método de elementos finitos, con la asistencia del software Robot Structural Analysis Professional 2025 de la empresa Autodesk (licencia académica).

Comportamiento general

En primer lugar, se modelizaron distintas tipologías de placas con las siguientes propiedades y consideraciones:

- Dimensiones en planta 10x10 metros con apoyos fijos en todo el perímetro.
- Material hormigón H-30, con módulo de elasticidad igual a 25743 MPa y coeficiente de Poisson igual a 0,20.
- Carga de peso propio y carga superficial única de 5 kN/m² en todo el paño.
- Se efectuó un análisis estático lineal a partir de la combinación lineal de las cargas, sin ningún tipo de reducción de rigideces y considerando un mallado de láminas de 1x1 m.
- Se consideraron todas las secciones con igual peso propio, equivalente a una losa maciza de 22,2 cm de altura. Estas son:
 - Losa cajón

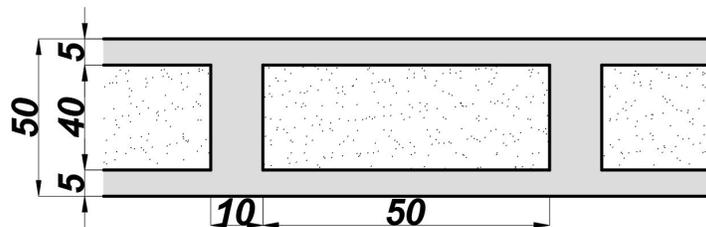


Figura 8: Dimensiones adoptadas de losa cajón

Organiza:

- Losa maciza equivalente: con 41,5 cm de altura, determinada a partir de la inercia de la losa cajón; sobre la que se aplicó una carga superficial negativa de 4,83 kN/m² para compensar el excedente de peso propio.
- Losa casetonada

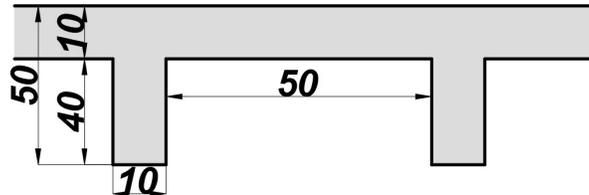


Figura 9: Dimensiones adoptadas de losa casetonada

- Emparrillado de vigas: se consideraron vigas con una altura de 63 cm, determinada a partir de la inercia de la losa casetonada, y un ancho igual que los nervios de esta; a su vez, se indicó al programa el espesor de losa maciza a tener en cuenta para la consideración del peso propio.

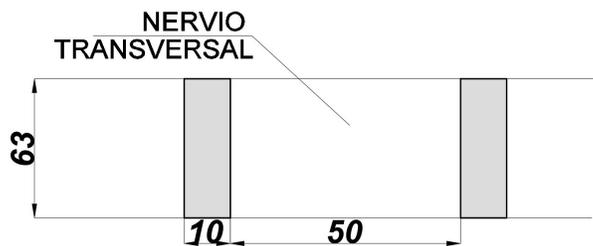


Figura 10: Dimensiones adoptadas de emparrillado de vigas

- Losa maciza de igual peso

Deformaciones (mm)

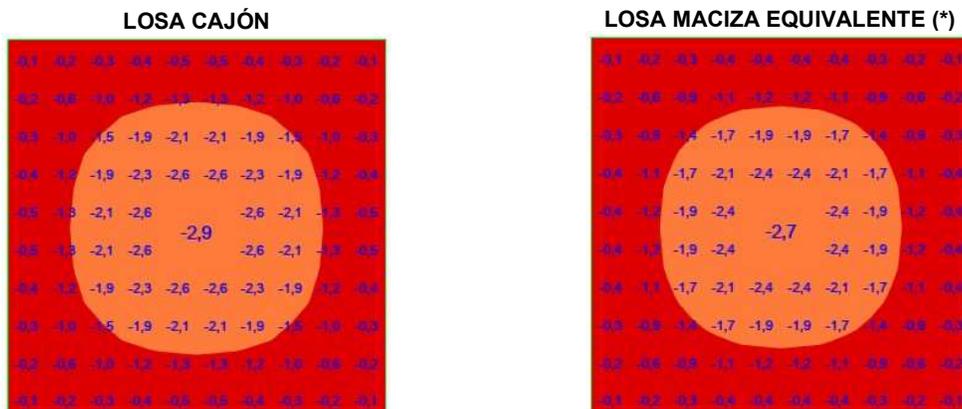


Figura 11a: Deformaciones obtenidas en los distintos tipos de losas

Organiza:



Figura 11b: Deformaciones obtenidas en los distintos tipos de losas -
(*) Losa maciza equivalente: altura obtenida a partir de la inercia de la losa cajón

Momentos flectores ortogonales para ambas direcciones (kNm/m)

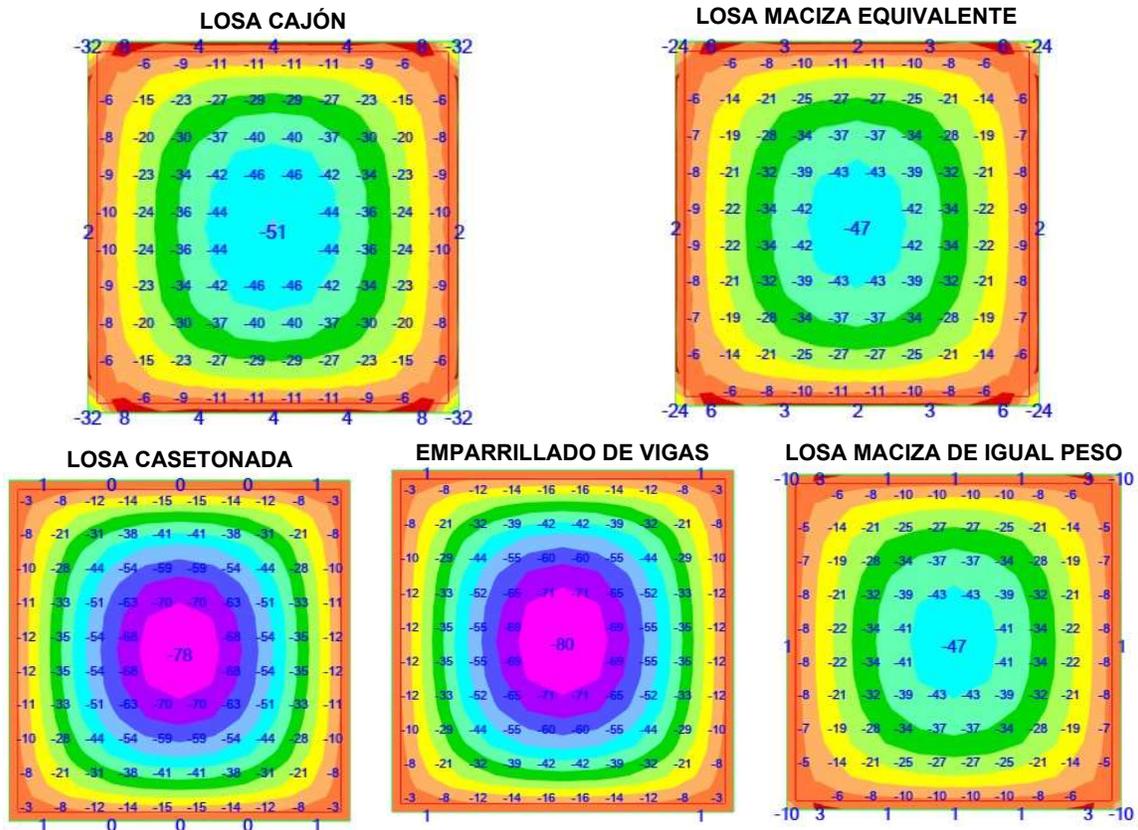


Figura 12: Momentos flectores (M_x , M_y) obtenidos en los distintos tipos de losas -
(*) Losa maciza equivalente: altura obtenida a partir de la inercia de la losa cajón

Organiza:

Momentos torsionales (kNm/m)

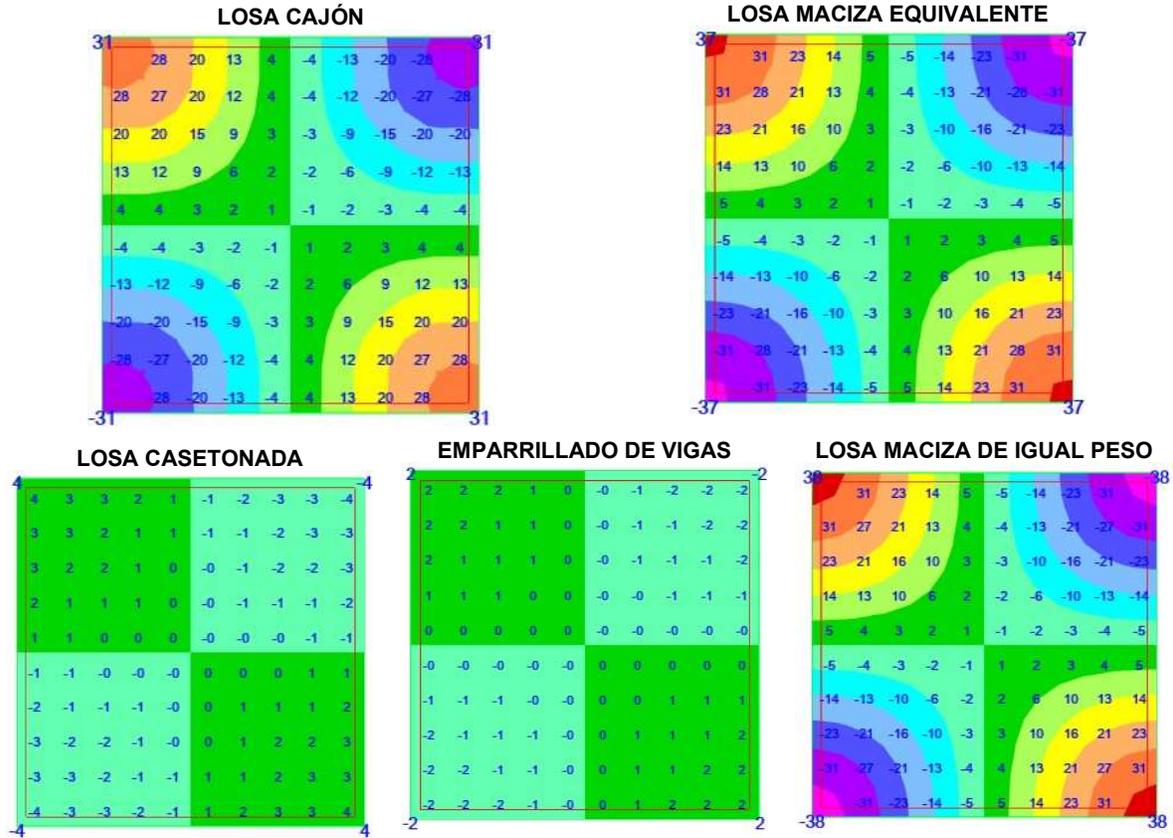


Figura 13: Momentos torsionales M_{xy} obtenidos en los distintos tipos de losas -
(*) Losa maciza equivalente: altura obtenida a partir de la inercia de la losa cajón

Tabla comparativa

	CAJÓN	MACIZA EQ.	CASETONADA	EMP. VIGAS	MACIZA 22,2
Def. máx. (mm)	2,9	2,7	8,8	9,2	17,6
M_x ó M_y máx. (kNm/m)	51	47	78	80	47
M_{xy} (kNm/m)	31	37	4	2	38

Tabla 1: Comparación de resultados obtenidos en los diferentes tipo de losas

Organiza:

A partir de los resultados plasmados en la tabla anterior, se pueden destacar los siguientes aspectos:

- La losa cajón tiene aproximadamente 8% más deformación y momentos flectores, así como momentos torsionales 19% menores que la losa equivalente. Para la obtención de los momentos de dimensionamiento de las armaduras en las direcciones ortogonales (por ejemplo, según la regla de Wood y Armer⁴) o según las direcciones principales, se puede esperar que las diferencias obtenidas se atenúen proporcionalmente a la distancia al punto de momento máximo. Por lo tanto, se considera que los resultados de la losa cajón son similares a los obtenidos para la losa maciza equivalente, por lo que la aplicación de esta última puede resultar en una buena alternativa de análisis de la losa cajón.
- La deformación de la losa casetonada triplica a la de la losa cajón, lo que demuestra que la incorporación de una capa inferior mejora notablemente el comportamiento general de la placa al aportar una mayor rigidez torsional, evidenciado por el aumento de los momentos torsionales en la losa cajón.
- Se observa que la diferencia entre las deformaciones de la losa casetonada y el emparrillado de vigas es menor al 5%, mientras que la diferencia entre los momentos flectores es menor al 3%. A su vez, se observa que los momentos torsionales de la losa casetonada duplican a los del emparrillado de vigas, gracias al aporte de la capa superior; sin embargo, los valores de ambos son prácticamente despreciables en comparación con los momentos flectores. Por lo tanto, el análisis de una losa casetonada puede aproximarse del lado de la seguridad mediante un emparrillado de vigas de altura equivalente.
- Se puede deducir que la distribución de momentos de dimensionamiento para la fibra inferior será más uniforme para la losa cajón que para la losa casetonada, en la cual los momentos se concentran en el centro del paño. En cuanto a la fibra superior, la losa cajón requerirá refuerzos en las esquinas, debido a la presencia de momentos torsionales.
- Como era de esperar, la deformación de losa maciza de igual peso es muy superior a la deformación de la losa casetonada y de la losa cajón, aun con solicitaciones similares a esta última. Esto demuestra la validez de la premisa de diseño, habiéndose podido optimizar el comportamiento de las secciones aumentando la inercia de estas sin aumentar su propio peso.

Organiza:

Comportamiento ante cargas concentradas

En segundo lugar, se modelizaron tres estructuras con distintas tipologías de placas con las siguientes propiedades y consideraciones:

- Material hormigón H-30, con módulo de elasticidad igual a 25743 MPa y coeficiente de Poisson igual a 0,20.
- Columnas de 30x30 cm de sección y vigas perimetrales de 30x40 cm, distribuidas de acuerdo al siguiente esquema:

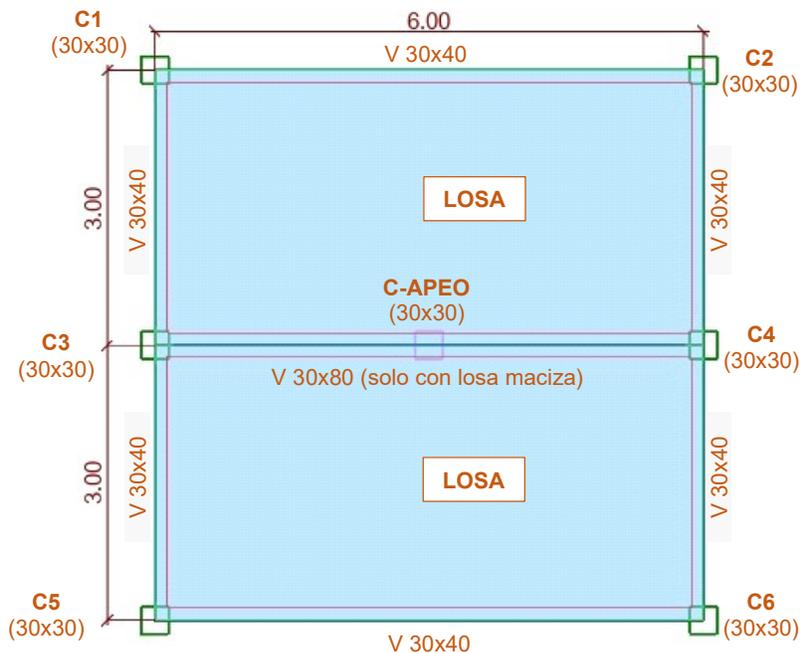


Figura 14: Planta esquemática de la estructura modelizada

- Apoyos fijos con un coeficiente de elasticidad vertical de 100000 kN/m.
- Carga de peso propio y una carga puntual de 500 kN sobre la columna de apeo.
- Se efectuó un análisis estático lineal a partir de la combinación lineal de las cargas, sin ningún tipo de reducción de rigideces y considerando un mallado de láminas de 75x75 cm.
- En un segundo análisis se redujo el coeficiente de elasticidad de la columna C3 en un 90%, a un valor de 10000 kN/m.
- Las secciones consideradas son:
 - Losa maciza: de 10 cm de espesor más una viga central de 30 cm de ancho y 80 cm de altura (sección necesaria para resistir la carga concentrada).
 - Losa cajón: altura de 40 cm, apta para resistir esfuerzos de punzonamiento.

Organiza:

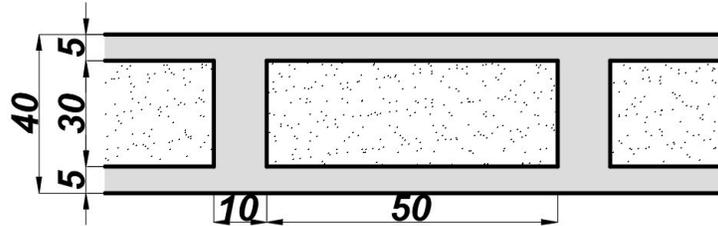


Figura 15: Dimensiones adoptadas de losa cajón

- Losas casetonada: igual altura que losa cajón.

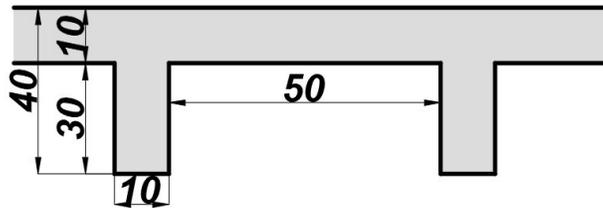


Figura 16: Dimensiones adoptadas de losa casetonada

En los siguientes esquemas se pueden visualizar las reacciones de vínculo obtenidas para ambos análisis efectuados, así como las direcciones principales de momentos en las losas, las cuales representan el flujo de las cargas hacia los apoyos.

Análisis 1: apoyos de igual rigidez (reacciones en kN)

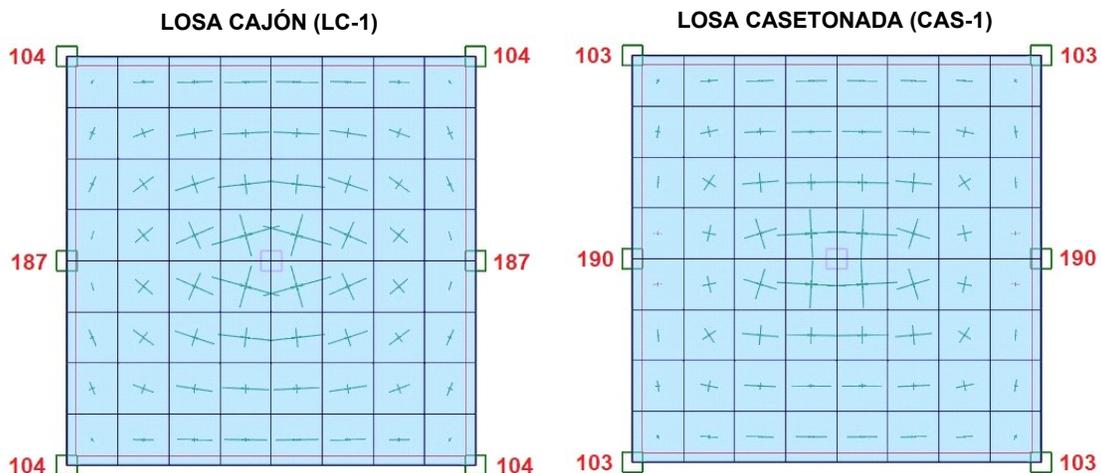


Figura 17a: Reacciones y flujos de cargas en los distintos tipos de sistemas

Organiza:

LOSA MACIZA + VIGA DE APEO (LM-1)

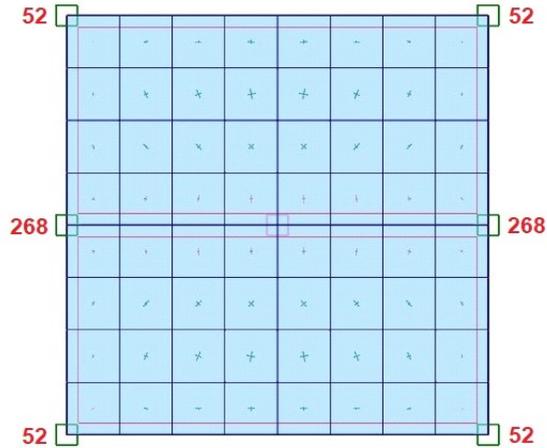


Figura 18b: Reacciones y flujos de cargas en los distintos tipos de sistemas con apoyos de igual rigidez (análisis 1)

Análisis 2: un apoyo con rigidez reducida (reacciones en kN)

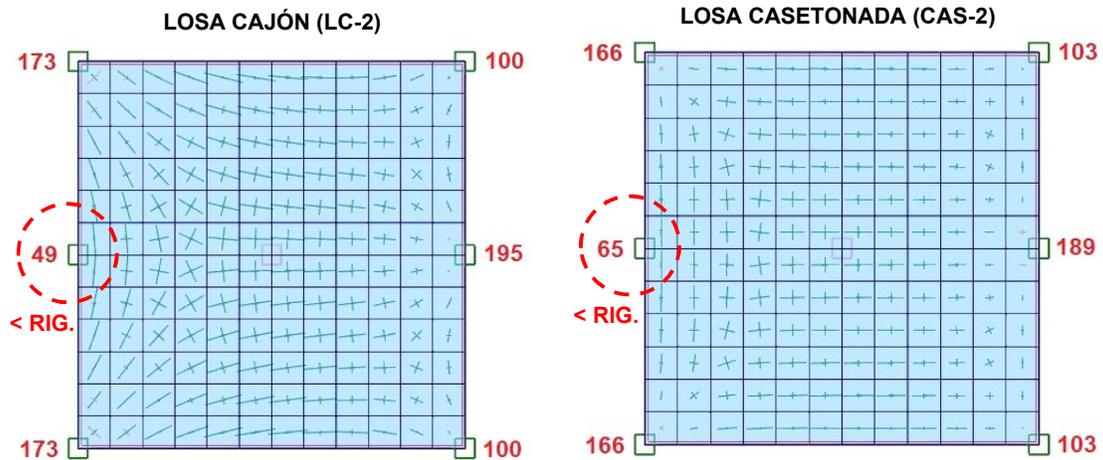


Figura 19a: Reacciones y flujos de cargas en los distintos tipos de sistemas con un apoyo rigidez reducida (análisis 2)

Organiza:



Figura 20b: Reacciones y flujos de cargas en los distintos tipos de sistemas con un apoyo rigidez reducida (análisis 2)

Tabla comparativa

	LC-1	LC-2	CAS-1	CAS-2	LM-1	LM-2
Reac. C1 / Reac. C3	0,6	3,5	0,5	2,6	0,2	1,1
Def. máx. (mm)	6,7	7,8	11,2	12,7	9,1	14,0
Mx máx. (kNm/m)	245	267	248	266	6	6
My máx. (kNm/m)	195	236	205	238	7	10
Mxy máx. (kNm/m)	16	19	3	3	1	2

Tabla 2: Tabla comparativa de los resultados del análisis 1 y el análisis 2

A partir de los resultados plasmados en la tabla anterior, se pueden destacar los siguientes aspectos:

- Los sistemas de losa cajón y losa casetonada son capaces de resistir las cargas concentradas y apeos distribuyendo las mismas en distintas direcciones con una capacidad alrededor de tres veces superior a la tipología tradicional de losas macizas, donde las cargas de apeos son tomadas por vigas y las cargas se transmiten predominantemente en la dirección de estas.
- Esta capacidad se hace más evidente en la losa cajón, sobretodo en el caso que sea necesario transmitir las cargas de apeo en dirección oblicua a los

Organiza:

nervios. Esto puede apreciarse en los esquemas de flujo de carga del segundo análisis, donde se observa que el mismo se genera de forma más natural y directa en la losa cajón que en el resto de las tipologías. En la siguiente figura se destaca el viaje de las cargas provenientes del apeo en la losa cajón, pudiéndose apreciar la capacidad de la misma para transmitir las cargas en diferentes direcciones. Esta capacidad, llamada redundancia estructural, es importante para ciertas estructuras (por ej. en zonas sísmicas) donde se debe asegurar la redistribución de cargas en caso de que algún elemento se vea comprometido, manteniendo la integridad y evitando el colapso de la estructura.

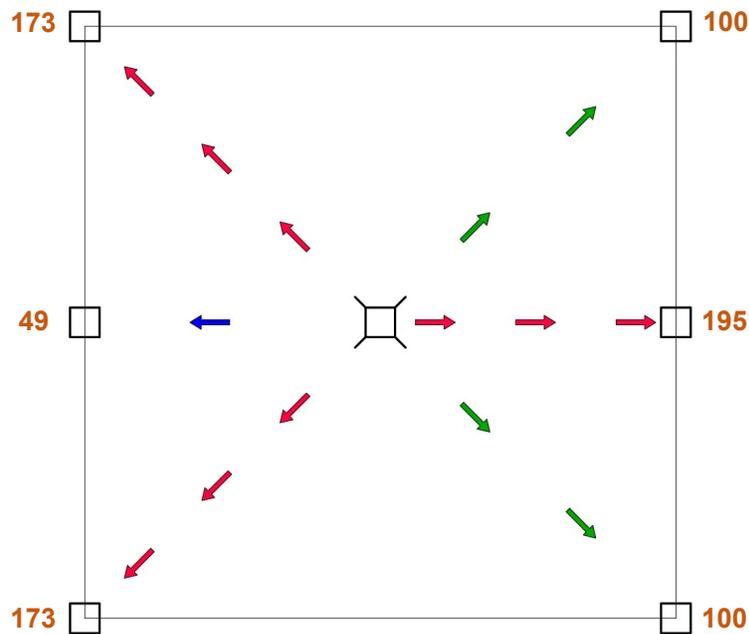


Figura 21: Viaje de cargas del apeo a las columnas de apoyo en losa cajón

- La losa cajón sufre una deformación significativamente menor que el resto de las tipologías. Particularmente, en el caso de ocurrir el cedimiento de uno de los apoyos más cercanos al apeo, se observa que la tipología tradicional sufre un incremento de deformación mayor a tres veces el incremento de la losa cajón y el de la losa casetonada.
- En general, las solicitaciones en la losa cajón y la losa casetonada debidas a la carga concentrada son prácticamente semejantes, a no ser por los esfuerzos torsionales en las esquinas del paño.

Organiza:

Predimensionado de losas cajón

A continuación, se presenta una tabla para el predimensionado de losas cajón que puede servir de base para abordar un análisis de factibilidad o como punto de partida para la verificación estructural.

Para la obtención de los datos que refleja la tabla se utilizó la asistencia del software CYPECAD v2025.a (licencia profesional 170081), aprovechando su herramienta para la verificación al punzonamiento de acuerdo a los requerimientos del reglamento CIRSOC 201-2005.

En el análisis efectuado se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- La sección de la losa cajón cuenta con capas de 5 cm de espesor y nervios de 10 cm de ancho con una separación de 60 cm en ambas direcciones.
- El material de la losa es hormigón H-30.
- La carga de apeo se aplica mediante una columna articulada de 30x30 cm de sección apoyada sobre un ábaco de hormigón macizo de igual altura que la losa cajón.
- En el paño se aplica una carga permanente y una sobrecarga superficial, ambas de 3 kN/m².
- La flecha activa diferida máxima es de L/480, siendo esta la que ocurre a largo plazo luego de la construcción de los elementos susceptibles a ser dañados.

La tabla brinda la altura necesaria para una losa cajón (H) en función de las dimensiones de una losa cuadrada simplemente apoyada (L) y una carga de apeo centrada en el paño (P). A su vez, para cada caso se brindan los siguientes datos:

1. Cantidad de hormigón por superficie de losa (m³/m²).
2. Cantidad de acero por superficie de losa (kg/m²).
3. Factor de utilización de la sección frente al punzonamiento (%).
4. Flecha activa diferida de la losa (10⁻¹ L).

La forma de presentación de estos datos en cada celda es la siguiente:

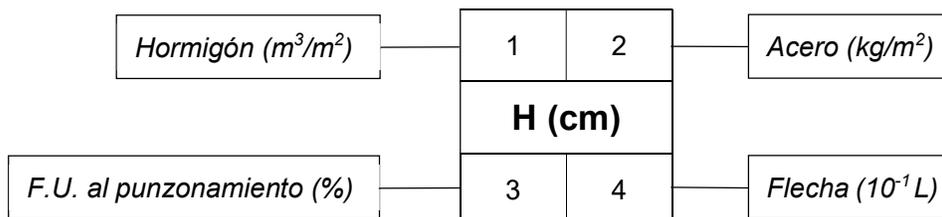


Figura 22: Esquema del orden de los datos dentro de las celdas

Organiza:

PREDIMENSIONADO DE LA ALTURA DE LOSA CAJÓN (cm)												
P (kN)	LUZ (m)											
	5		6		7		8		9		10	
0	0,14	5,9	0,16	7,1	0,16	9,9	0,18	11,2	0,19	12,2	0,21	12,8
	20		25		25		30		35		40	
	-	660	-	730	-	481	-	514	-	565	-	581
200	0,21	19,2	0,22	17,6	0,22	19,7	0,23	18,7	0,24	18,4	0,24	20,4
	30		35		35		40		45		45	
	38	622	29	684	29	536	24	580	19	645	19	501
400	0,24	28,2	0,25	25,2	0,25	27,0	0,26	25,1	0,27	25,0	0,27	26,5
	35		40		40		45		50		50	
	58	572	46	632	46	515	38	562	32	627	32	504
600	0,27	36,3	0,27	31,7	0,27	34,2	0,27	30,5	0,27	33,5	0,28	32,0
	40		45		45		50		50		55	
	70	595	57	648	57	538	48	582	48	495	40	529
800	0,29	43,0	0,29	43,4	0,29	39,5	0,29	39,7	0,29	38,4	0,3	35,1
	45		45		50		50		55		60	
	76	645	76	512	64	578	64	480	54	533	47	565
1000	0,29	53,3	0,29	46,9	0,29	49,0	0,3	45,7	0,3	43,0	0,3	42,7
	45		50		50		55		60		60	
	96	529	80	567	80	485	68	522	59	579	59	487

Tabla 3: Tabla para el predimensionado de la altura de losas cajón

CONCLUSIONES

A partir del trabajo realizado se pudo demostrar que el sistema constructivo de losas cajón tiene un mejor comportamiento ante los esfuerzos de flexión, provocados por cargas distribuidas y cargas concentradas, que las tipologías tradicionales de losas casetonadas y losas macizas.

Si bien la magnitud de las deformaciones depende de la configuración de la estructura y de las cargas, en general se pueden destacar los siguientes aspectos:

- En comparación con losas de igual volumen ante cargas distribuidas, la losa cajón tiene una deformación alrededor del 65% menor que una losa casetonada y 85% menor que de una losa maciza sin vigas interiores.
- Frente a cargas concentradas y apeos, una losa cajón con la altura suficiente para resistir los esfuerzos de punzonamiento presenta una deformación

Organiza:

alrededor del 25% al 50% menor a una losa casetonada o una losa maciza con una viga de apeo, sobretodo en el caso de ocurrir cedimientos de apoyos que obliguen a la estructura a transmitir las cargas en direcciones no previstas. Para esta altura de losa cajón, si bien el volumen de material total es superior al de la losa maciza con vigas, se puede apreciar que mediante este sistema es posible dar solución a una estructura que presenta apeos con la mitad de la altura que presentaría la tipología de losa y viga.

Por todo lo dicho, el sistema de losas cajón conforma una solución factible desde todo punto de vista para el diseño de estructuras que presentan grandes luces y/o cargas concentradas provenientes de apeos.

REFERENCIAS

1. Timoshenko, S., & Woinowsky-Krieger, S. (1959). *Theory of Plates and Shells*. McGraw-Hill Book Company. (Pág. 82).
2. Timoshenko, S., & Woinowsky-Krieger, S. (1959). *Theory of Plates and Shells*. McGraw-Hill Book Company. (Pág. 365).
3. Gauna, Carlos Gustavo. (2019). *Tesis de Maestría en Ingeniería Estructural: Metodología para el diseño de entresijos con losas alivianadas en el alma*. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Pacheco y Avellaneda. (Pág. 173-176).
4. Wood, R. H. (1968). The Reinforcement of Slabs in Accordance with a Pre-Determined Field of Moments, *Concrete*, vol. 2, no. 2. (Pág. 69–76).

Organiza: