

Influencia del espesor en el costo de losas bidireccionales de hormigón armado.

Ramos Baez, María Belén^a; Arroyo, Emmanuel Alejandro^a;
Pizzutti, Horacio Daniel. ^a

^a Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.
e-mails: belenramosbaezz@gmail.com, ing.arroyoemmanuel@gmail.com, pizzutti@fio.unam.edu.ar

Resumen

En este artículo se analiza el impacto económico de variar el espesor de las losas bidireccionales de hormigón armado, con vigas rígidas en todo su perímetro. Se examinan los costos asociados al incremento o disminución del espesor de la losa, considerando la armadura necesaria para flexión y la mínima por contracción y temperatura. El estudio proporciona una comparación de precios, destacando cómo las variaciones en el espesor afectan los costos totales de los materiales. Los resultados permiten a las personas correspondientes tomar decisiones informadas sobre el diseño de las losas para optimizar tanto el rendimiento estructural como los costos.

Palabras Clave – Losa bidireccional, Hormigón armado, Espesor de losa, Costos.

1 Introducción

Las losas bidireccionales de hormigón armado son elementos estructurales fundamentales en la construcción de edificios, debido a su capacidad para distribuir cargas en dos direcciones perpendiculares. La optimización del diseño de estas losas es crucial para lograr un equilibrio entre eficiencia estructural y costos de construcción. Uno de los aspectos más determinantes en el diseño de las losas es el espesor, ya que influye directamente en la cantidad de material necesario y en las características estructurales de la losa.

Este estudio se centra en la evaluación económica de las variaciones en el espesor de las losas bidireccionales de hormigón armado. Se analizan los costos asociados al aumento y disminución del espesor, teniendo en cuenta la armadura requerida para resistir esfuerzos de flexión y la armadura mínima dispuesta para controlar los efectos de contracción y temperatura. Al comparar los precios derivados de diferentes espesores, se pretende proporcionar una guía práctica para optimizar el diseño de las losas, asegurando tanto la integridad estructural como la viabilidad económica del proyecto. Los resultados de esta investigación son una herramienta valiosa para la toma de decisiones en el diseño y construcción de edificios más eficientes y sostenibles.

2 Desarrollo

2.1. Planteo Estructural

El proyecto arquitectónico utilizado para este artículo consta de una planta baja y un piso en altura, con un nivel entre plantas estructurales igual a +3,54m. El destino del mismo es un depósito, con una exposición al medio ambiente de clase “A2”, según el Reglamento CIRSOC 201/05 ^[1].

El entrepiso se divide en 9 losas bidireccionales con vigas rígidas distribuidas alrededor del perímetro de cada losa, que apoyan en columnas distanciadas entre sí a 6,00m. Los elementos estructurales mencionados son de hormigón armado, con un hormigón de categoría H-25 (según

tipo de exposición definida en CIRSOC 201/05) y con acero ADN-420, materializado en barras nervuradas de diámetros comerciales.

La losa a analizar para el presente trabajo es la número 105, la cual se encuentra representada con un símbolo de color rojo en la Fig. N°1. La elección de la misma se debe a su condición de bordes, pudiendo asemejarse a un empotramiento en todos sus lados, dados por la continuidad con las demás losas del proyecto.

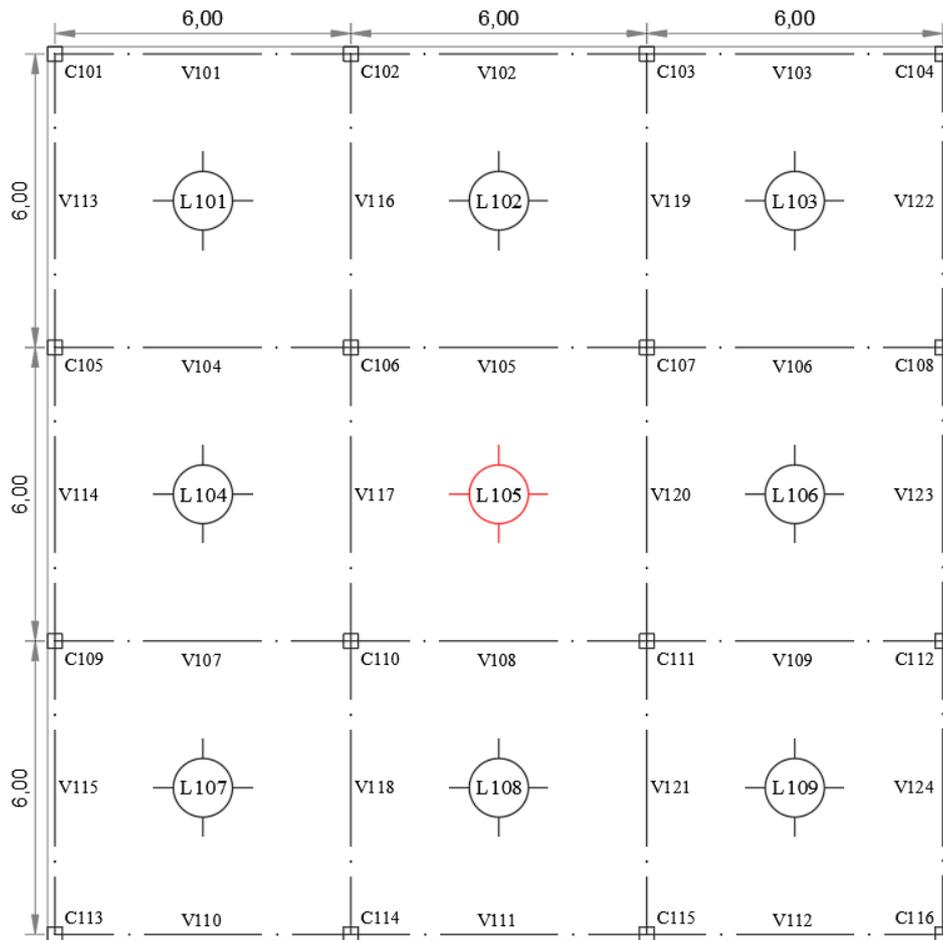


Fig. N°1. Planta estructural.

2.2 Predimensionado

Para definir las secciones de los elementos estructurales se parte de un pre-dimensionado, el cual se detalla a continuación.

Tabla N°1. Sección de las vigas.

Dimensiones de las Vigas	
$\gamma =$ Tabla 9.5a)-C201/05	21
L_c [m]= Luz de calculo	6,00
h [m] = L_c / γ	0,29
h adoptada [m] =	0,40
b adoptada [m] =	0,20

Tabla N°2. Espesores para la losa.

Cálculo del espesor de la Losa	
$\gamma =$	40
$h [m] = Lc / \gamma$	0,150
$h_0 [m] =$	0,09
$h_1 [m] =$	0,10
$h_2 [m] =$	0,139
$h_3 [m] =$	0,25

h_0 : altura mínima para losas con vigas rígidas entre apoyos, según CIRSOC 201/05 (9.5.3.3.c).

h_1 : altura adoptada según criterio de análisis.

h_2 : altura para la cual la armadura mínima reglamentaria iguala a la requerida por flexión.

h_3 : altura para la cual la armadura mínima supera a la calculada por flexión.

Las alturas elegidas son para poder estudiar la variación del precio que existe entre ellas, considerando no solo la cantidad de hormigón a emplear, sino también la cantidad de acero a disponer en cada alternativa.

2.3. Análisis de Cargas

Este paso consiste en determinar la carga permanente o “muerta” que actúa sobre la estructura durante toda la vida útil de la misma, y la sobrecarga o carga “viva” que depende del uso de la edificación, que fue definido como “depósito”.

Seguidamente se expone el análisis de carga utilizado, con la elección del solado y cielorraso a considerar para el trabajo, cuyos valores son obtenidos del reglamento CIRSOC 101/05 [2].

Tabla N°3. Análisis de cargas.

ANÁLISIS DE CARGAS PARA ENTREPISOS				
• LOSAS:		+ 3.54	-	
ITEM	ESPESOR	PESO ESP.	PESO	
Piso Porcelanato	-	0,20 kN/m ²	0,20 kN/m ²	
Mortero	cto. + arena	0,020 m	21,00 kN/m ³	0,42 kN/m ²
Contrapiso	cto.+arena+casc	0,050 m	18,00 kN/m ³	0,90 kN/m ²
Cielorraso: placa de yeso c/ estructura	-	0,20 kN/m ²	0,20 kN/m ²	
PESO PROPIO DE LOSA		$D_0 = 1,72 \text{ kN/m}^2$		
SOBRECARGA DE SERVICIO		$L = 6,00 \text{ kN/m}^2$		

ANÁLISIS PARA CADA ESPESOR DE LOSA			
ITEM	ESPESOR	PESO ESP.	D1: PESO
Losa Maciza = h_0	0,090 m	25,00 kN/m ³	2,25 kN/m ²
Losa Maciza = h_1	0,100 m	25,00 kN/m ³	2,50 kN/m ²

Losa Maciza = h2	0,139 m	25,00 kN/m ³	3,47 kN/m ²
Losa Maciza = h3	0,250 m	25,00 kN/m ³	6,25 kN/m ²

Las losas son elementos superficiales, por lo que las cargas que inciden sobre ellas se especifican por unidad de área. Pero, para el análisis, se considera un ancho unitario y se trabaja con cargas lineales. Por otro lado, estas cargas en servicio o nominales se deben mayorar para considerar la incertidumbre propia de cada una de ellas, por lo que se aplican polinomios de cargas, dado por el reglamento CIRSOC 201/05 en el capítulo 9.2. El valor de carga última a utilizar para el cálculo de la armadura es el mayor que resulta de aplicar las distintas combinaciones de carga.

Tabla N°4. Carga última para cada espesor de losa.

Cargas	h0 [m]	h1 [m]	h2 [m]	h3 [m]
qD [kN/m]= D0+D1	3,97	4,22	5,19	7,97
qL [kN/m]=	6,00	6,00	6,00	6,00
qU [kN/m]= 1,2qD+1,6qL	14,36	14,66	15,83	19,16

2.4. Análisis Estructural

Mediante la Tabla T.31 del autor Pozzi-Azzaro [3] se determinan los valores de las solicitaciones actuantes en la losa estudiada. La elección de la tabla se da en función de las condiciones de bordes de la losa, empotrada en todos sus bordes, y del tipo de carga, distribuida uniformemente.

Tabla N°5. Coeficientes para el cálculo de momentos.

Tabla Pozzi Azzaro - T31	Coeficientes			
lx/ly	Mxe	Mye	Mx	My
1,00	-0,0511	-0,0511	0,0176	0,0176

Tabla N°6. Resultados de los momentos según cada espesor de losa.

Valores de Momentos	h0 [m]				h1 [m]			
	Mxe	Mye	Mx	My	Mxe	Mye	Mx	My
Mu [kNm]=Coef*Lc ² *qU =	-26,42	-26,42	9,10	9,10	-26,98	-26,98	9,29	9,29
Ø	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Mn [kNm]= Mu/Ø	-29,36	-29,36	10,11	10,11	-29,97	-29,97	10,32	10,32

Valores de Momentos	h2 [m]				h3 [m]			
	Mxe	Mye	Mx	My	Mxe	Mye	Mx	My
Mu [kNm]=Coef*Lc ² *qU =	-29,11	-29,11	10,03	10,03	-35,25	-35,25	12,14	12,14
Ø	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Mn [kNm]= Mu/Ø	-32,35	-32,35	11,14	11,14	-39,17	-39,17	13,49	13,49

2.5. Dimensionamiento

A partir de los valores de momentos nominales necesarios expresados en la Tabla N°6, se procede a calcular la armadura a colocar, considerando también el límite mínimo impuesto por el efecto de la contracción y temperatura, dado en el reglamento CIRSOC 201/05, capítulo 7.12.

El algoritmo de resolución utilizado para la determinación de la armadura necesaria es el explicado en el libro del Dr. MÖLLER Oscar, “Hormigón Estructural” [4], en donde se obtiene la sección de armadura a partir de calcular el índice de refuerzo efectivo “ w_e ”.

A fines del presente artículo se decide acotar el análisis al centro de la losa estudiada, es decir que se tienen en cuenta los momentos en el tramo: “ $M_{nx} = M_{ny}$ ”.

Tabla N°7. Resumen de las armaduras [cm²/m]

Alturas	Arm. p/ Flexión		Arm. Mínima		Arm. Adoptada			-
	As [cm ² /m]	Sep máx [m]	Amin x = y [cm ² /m]	Sep max [m]	Ø [cm]	Sep [m]	As adop [cm ² /m]	
ho [m] = 0,09	4,32	0,225	1,62	0,27	1,0	0,18	4,36	Verifica
h1 [m] = 0,10	3,71	0,25	1,80	0,30	1,0	0,21	3,74	Verifica
h2 [m] = 0,1387	2,50	0,25	2,50	0,30	1,0	0,25	3,14	Verifica
h3 [m] = 0,25	1,47	0,25	4,50	0,30	1,0	0,17	4,62	Verifica

2.6. Análisis de Precios

Luego de definir el diámetro de la barra de acero y su separación en las distintas variantes propuestas de la losa en cuestión, se realiza un cómputo para poder conocer la cantidad de unidades de barras nervuradas que se necesitan adquirir para cada caso. Como criterio se adopta el mismo diámetro de barra para todas las variantes, siendo el mismo igual a 10mm (1,0cm).

Tabla N°8. Cómputo de armaduras.

Alturas	Dirección Arm.	Long. cada barra [m]	Cant. barras [un.]	Long. Total [m]	Cant. barras a comprar [un.]
ho [m] = 0,09	As x = y	6,24	33	208,00	18,00
h1 [m] = 0,10	As x = y	6,24	29	178,29	15,00
h2 [m] = 0,1387	As x = y	6,24	24	149,76	13,00
h3 [m] = 0,25	As x = y	6,24	35	220,24	19,00

Para llevar a cabo el análisis de precios, se debe conocer los valores actuales de cada uno de los materiales intervinientes. Por tal motivo, se recurre a la revista Cuadros de Precios y Costos [5] que publica mensualmente el Consejo Provincial de Ingeniería de Misiones (CPIM).

Tabla N°9. Precios de referencias.

PRECIOS DE REFERENCIA			
(Revista Cuadros de Precios y Costos - Junio 2024)			
HORMIGON	H-25	\$	144.000,00
ACERO	Ø10	\$	17.288,67

El último paso consiste en determinar el precio total de los materiales a utilizar en la losa, para diferentes espesores y cantidad de armadura, lo que se puede apreciar en la siguiente tabla (Tabla N° 10). Además, para observar de una mejor manera la variación de los precios de cada material y el total al ir cambiando la relación espesor-armadura se adjunta un gráfico (fig. 2).

Tabla N°10. Resultados obtenidos.

h [m]	H° [\$]	A° [\$]	TOTAL
h ₀ [m] = 0,09	\$ 466.560,00	\$ 622.392,12	\$ 1.088.952,12
h ₁ [m] = 0,10	\$ 518.400,00	\$ 518.660,10	\$ 1.037.060,10
h ₂ [m] = 0,1387	\$ 719.020,80	\$ 449.505,42	\$ 1.168.526,22
h ₃ [m] = 0,25	\$ 1.296.000,00	\$ 656.969,46	\$ 1.952.969,46

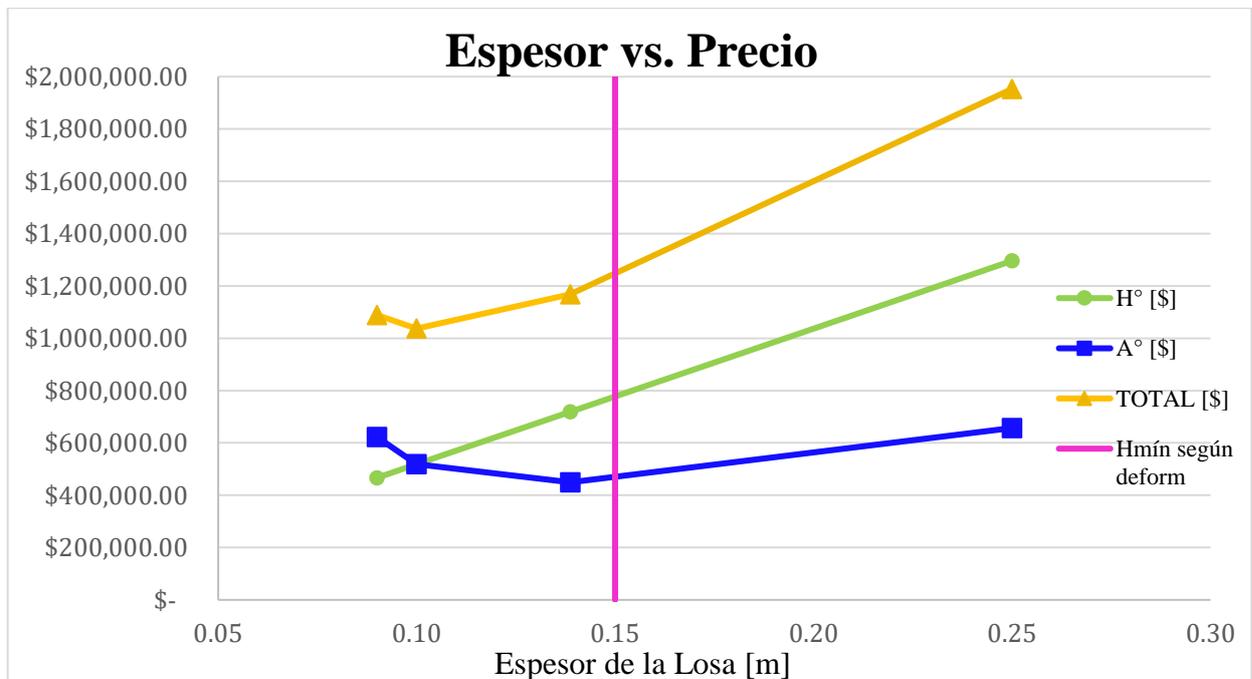


Fig N°2. Relación entre el espesor de la losa y la variación del costo final del elemento.

3 Conclusiones

El análisis de costos de la losa bidireccional muestra cómo el espesor de la misma y la cantidad de armadura influyen significativamente en el costo total. Los datos indican que al aumentar el espesor de la losa de 0.09 m a 0.25 m, el precio total de materiales se incrementa casi en un 80% (de \$1,088,952.12 a \$1,952,969.46). Este aumento se debe tanto al incremento en el volumen de hormigón como a las variaciones en la cantidad de acero necesario, ya sea por cálculos estructurales o por la cuantía mínima exigida para contrarrestar los efectos de contracción y temperatura, que está

en función del espesor. Aunque es importante destacar que existe un descenso en el precio total entre “ $h_0=0.09\text{m}$ ” y “ $h_1=0.10\text{m}$ ”, dado por una mayor optimización estructural.

En espesores más delgados, como 0.09 m y 0.10 m, el precio del acero supera al del hormigón, mientras que en espesores mayores, como 0.1387 m y 0.25 m, el del hormigón se incrementa significativamente. Esto destaca la importancia de encontrar un equilibrio adecuado entre el espesor de la losa y la cantidad de armadura, para optimizar los costos sin comprometer la seguridad de la estructura en su conjunto.

Es fundamental señalar que, en los casos donde se elige adoptar una altura inferior a la limitada por deformaciones (Según Tabla C.9.5.3.2 C-201/05), se debe efectuar un análisis de deflexión adicional y posterior verificación, teniendo en cuenta los valores admisibles. De esta manera se garantiza la funcionalidad del elemento estructural en estado de servicio.

Este estudio proporciona una base sólida para tomar decisiones informadas en el diseño de losas bidireccionales, considerando tanto los aspectos económicos como los técnicos, y subraya la necesidad de una planificación cuidadosa y detallada en la fase de diseño para asegurar la eficiencia y viabilidad del proyecto.

4 Recomendaciones

Para seguir profundizando en el análisis, presentado en el presente artículo, se recomienda analizar la deflexión máxima en el centro del tramo de la losa y verificar que se encuentre dentro de los límites admitidos por el reglamento CIRSOC 201/05.

También se podría incluir el estudio de la relación entre el costo total y las armaduras del apoyo continuo, en donde se considera un empotramiento como condición de borde.

Por otro lado, para todo análisis de cargas, se debe asegurar que la contribución del hormigón a corte debe ser suficiente para cubrir la sollicitación externa, evitando así disponer armadura de corte.

5 Referencias

- [1] Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón, ed. 2005, Instituto Nacional de Tecnología Industrial – INTI, Buenos Aires, Arg., 2005.
- [2] Reglamento Argentino de Cargas Permanentes y Sobrecargas Mínimas de Diseño para Edificios y Otras Estructuras, ed. 2005, Instituto Nacional de Tecnología Industrial – INTI, Buenos Aires, Arg., 2005.
- [3] P. Azzaro, Manual de Cálculo de Estructuras de Hormigón Armado, Aplicaciones de la norma DIN 1045, Tablas y Ábacos; 3ra ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Arg., Instituto del Cemento Portland Argentino, 1987
- [4] O. Möller, Hormigón Estructural: Conceptos básicos, comportamiento y diseño unificado de elementos típicos para edificios, 1ra ed. Rosario, Santa Fé, Arg., UNR Editora, 2016.
- [5] Cuadros de Precios y Costos, N°178, ed. Junio 2024, Consejo Provincial de Ingeniería de Misiones – CPIM, Misiones, Arg., 2024.