

MODELOS DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA LOSAS ALIVIANADAS

Arroyo, Emmanuel A.; Duarte, Javier A.

Ing. Civil; Dr Ing.

FI - UNaM.

E-mail: ing.arroyoemmanuel@gmail.com

RESUMEN

El análisis estructural de losas en edificios representa un desafío que se encuentra vinculado a la disponibilidad tecnológica actual, dando lugar a una oportunidad para mejorar el aprovechamiento de recursos en los sistemas estructurales proyectados. El presente trabajo se basa en plantear alternativas a las propuestas usuales de configuración en la simulación numérica de losas de hormigón estructural. Específicamente se proponen dos modelos innovadores: el primero de ellos está diseñado para representar las losas alivianadas de hormigón armado bidireccionales, mientras que el segundo aborda las losas huecas bidireccionales, las cuales cuentan con doble capa de hormigón y doble capa de armaduras. Se espera mostrar la interacción de este tipo de entrepisos dentro de un conjunto estructural convencional de elementos de área y de barras conectados a condiciones de borde estandarizadas. Para validar el procedimiento, los resultados se comparan con modelos normalizados de losas macizas, utilizando un mismo conjunto de estados de carga.

ABSTRACT

The structural analysis of slabs in buildings represents a challenge that is linked to current technological availability, giving rise to an opportunity to improve the use of resources in the projected structural systems. The present work is based on proposing alternatives to the usual configuration proposals in the numerical simulation of structural concrete slabs. Specifically, two innovative models are proposed: the first of them is designed to represent lightened bidirectional reinforced concrete slabs, while the second addresses bidirectional hollow slabs, which have a double layer of concrete and a double layer of reinforcement. It is expected to show the interaction of this type of mezzanine within a conventional structural assembly of area and bar elements connected to standardized boundary conditions. To validate the procedure, the results are compared with normalized models of solid slabs, using the same set of load states.

Organiza:

INTRODUCCIÓN

El análisis de los elementos estructurales presentes en una construcción civil constituye un desafío intrínseco en la ingeniería, donde se busca predecir el comportamiento individual de cada parte y del conjunto de la estructura, con el fin de lograr niveles de seguridad que corresponden a probabilidades extremadamente bajas de ocurrencia de eventos de consecuencias significativas.

La respuesta de una estructura a las acciones que actúan sobre ella dependerá de la magnitud de dichas acciones y de las propiedades de la estructura. El comportamiento es considerado “satisfactorio” si, durante la vida útil, no se superan ciertos requerimientos llamados “Estados Límites”, que están referidos a condiciones de colapso o de utilización en servicio.

En la actualidad, el poder estudiar diferentes comportamientos de una misma estructura bajo diversas cargas y condiciones se ha vuelto más “sencillo” gracias al uso de herramientas computacionales, como el análisis por elementos finitos. Estos programas permiten la modelización detallada de las estructuras, considerando aspectos como materiales, geometría y condiciones de carga.

Este trabajo se enmarca en la búsqueda de optimizar el uso de recursos en sistemas estructurales mediante propuestas alternativas en la simulación numérica de losas de hormigón. Presentamos dos modelos innovadores: el primero de ellos está diseñado para representar las losas alivianadas de hormigón armado bidireccionales, mientras que el segundo aborda las losas huecas bidireccionales, las cuales cuentan con doble capa de hormigón y doble capa de armaduras. Se espera mostrar la interacción de este tipo de entrepisos dentro de un conjunto estructural convencional de elementos de área y de barras conectados a condiciones de borde estandarizadas. Para validar nuestro enfoque, comparamos los resultados con modelos de losas macizas normalizadas, utilizando un conjunto idéntico de estados de carga.

El presente trabajo busca ofrecer alternativas de modelos de análisis estructural, además de destacar la eficiencia y eficacia del enfoque estructural de cuerpos acoplados en la práctica ingenieril actual, aprovechando al máximo las capacidades de los software de elementos finitos disponibles.

CONCEPTOS DE ELEMENTOS FINITOS

El Método de Elementos Finitos (MEF) es una técnica numérica utilizada para encontrar soluciones aproximadas a problemas complejos en ingeniería y ciencias aplicadas. Este método es especialmente útil para resolver ecuaciones diferenciales parciales (EDP) que surgen en diversos campos como la mecánica estructural, la transferencia de calor, la dinámica de fluidos, y el electromagnetismo. A continuación, se presenta una breve ecuación descriptiva del método de elementos finitos para el caso de análisis de medios continuos:

$$[m] * \{a\} + [c] * \{v\} + [k] * \{x\} = \{F\} \quad (1)$$

Organiza:

La ecuación (1) muestra el problema del equilibrio de un medio continuo considerando variables que atienden fuerzas inerciales y de carácter dinámico. El presente trabajo se enfoca en el campo estático por lo tanto la ecuación (2) es la que usaremos como guía del problema a resolver:

$$[k] * \{x\} = \{F\} \quad (2)$$

En ella, “K” representa la matriz de rigidez, elemento algebraico analítico encargado de concentrar la información del prototipo modelado, mientras que el vector {x} representa el campo de desplazamientos representado en coordenadas locales por una cuestión operativa del método. El producto escalar de la matriz de rigidez y el vector de desplazamientos del modelo se equilibra al vector {F} que representa la acción externa, en este caso subdividida en carga permanente y sobrecarga de uso.

La tabla 1 muestra una descripción del método implementado en un entorno de software de análisis estructural para diferentes tipos de problemas de mecánica del medio continuo.

El Método de Elementos Finitos es una herramienta poderosa y versátil que ha revolucionado el análisis y diseño en ingeniería y ciencias aplicadas. Su capacidad para manejar problemas complejos con alta precisión lo hace indispensable en el desarrollo de tecnologías modernas y en la resolución de desafíos científicos avanzados, como el desarrollado para el presente artículo.

Etapa	Descripción
Discretización del dominio:	El dominio del problema se divide en subdominios más pequeños y simples llamados elementos finitos. Estos elementos pueden tener diferentes formas, como triángulos, cuadrados o tetraedros, dependiendo del problema y del tipo de malla utilizada.
Formulación de elementos	Cada elemento se representa mediante funciones de interpolación o funciones de forma, que aproximan el comportamiento del campo en el interior del elemento. Estas funciones de forma dependen de los nodos, que son puntos clave donde se calculan las variables del problema (por ejemplo, desplazamientos, temperaturas, etc.).
Formulación del sistema de ecuaciones:	Se deriva un sistema de ecuaciones algebraicas a partir de la ecuación diferencial parcial original, aplicando técnicas como el principio de los trabajos virtuales o el método de Galerkin. Este proceso involucra la integración de las funciones de forma a lo largo de cada elemento y la ensambladura de las contribuciones de todos los elementos para formar el sistema global.

Organiza:

Etapa	Descripción
Resolución del sistema de ecuaciones:	El sistema de ecuaciones resultante se resuelve utilizando métodos numéricos para obtener una solución aproximada. En muchos casos, se utilizan métodos de álgebra lineal como el método de eliminación de Gauss o métodos iterativos como el método de conjugado gradiente.
Post - procesamiento	Los resultados obtenidos se analizan y se interpretan. Esto incluye la visualización de los desplazamientos, esfuerzos, temperaturas u otras variables de interés en el dominio original, proporcionando una comprensión clara del comportamiento del sistema bajo las condiciones dadas.

Tabla N°1.Descripción del método.

METODOLOGÍA

A continuación se detalla el procedimiento utilizado para la elección de distintos parámetros y su modelación; para luego, mediante comparación entre los distintos sistemas elegidos, poder realizar un análisis de resultados y conclusiones.

Los sistemas estructurales evaluados son tres:

- Losa Maciza: totalmente conformada en el proceso de construcción, su ejecución se realiza a partir de un encofrado que constituirá el molde, en el cual se vierte el hormigón sobre una armadura metálica, donde todo el espesor de la losa se llena con el hormigón.
- Losa Alivianada: se elimina el hormigón de las zonas traccionadas, reemplazándolo por bloques o ladrillos cerámicos huecos, o por telgopor, quedando solamente los nervios de hormigón que conectan la armadura con la capa de compresión.
- Losa Hueca Bidireccional: es una losa alivianada, ya que no cuenta con hormigón en la parte central de la misma, pero la diferencia con otros tipos de losas aligeradas es que posee doble capa de armadura estructural, en la capa de compresión y en la zona traccionada.

Materiales y Dimensiones del Proyecto Estructural

En primera instancia se propone un proyecto estructural para su análisis, adoptando las dimensiones correspondientes entre elementos y sus materiales. El trabajo se compone de dos plantas en altura, separadas a 3m, en donde cada nivel cuenta con 2 losas cruzadas o bidireccionales contiguas, de luces igual a 6m en ambas direcciones y con vigas en el perímetro de cada una; las columnas son de 25x25cm y se ubican en los 4 extremos de cada losa, siendo su vinculación al suelo mediante articulaciones.

Organiza:

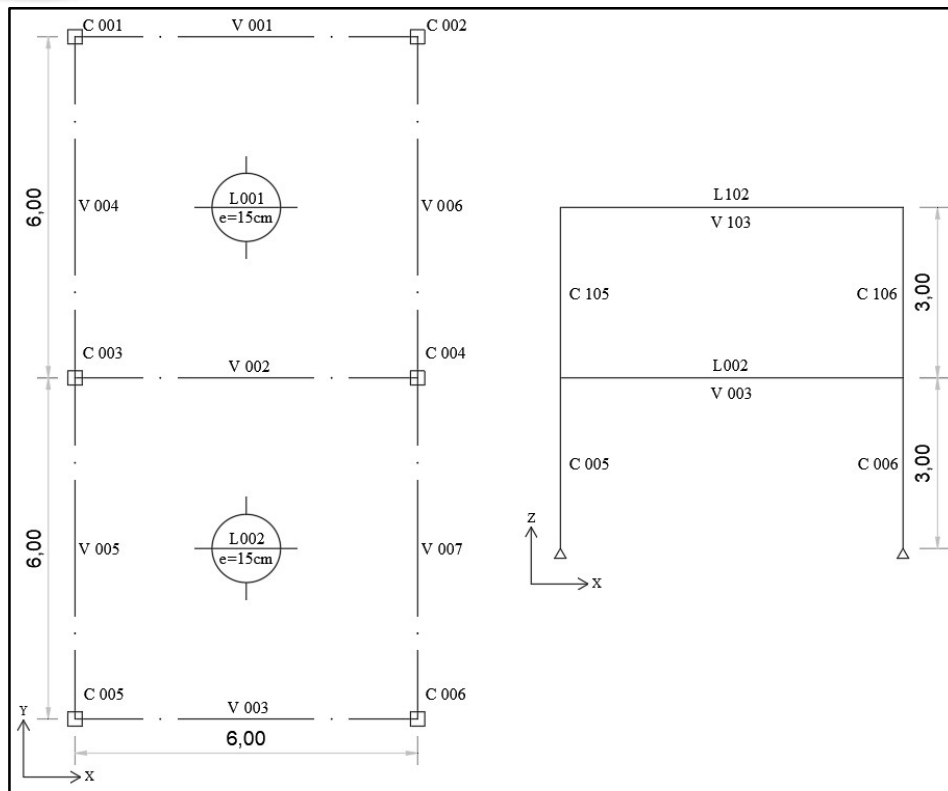


Figura N°1. Planta y vista estructural del modelo adoptado.

En cuanto a los materiales considerados, el hormigón a utilizar es categoría H-30 (según tipo de exposición A3 definida en CIRSOC 201/05 ^[1]), y el acero es ADN-420. El peso unitario del hormigón armado se considera igual a 25 kN/m³ y su módulo de elasticidad se obtiene a partir de la expresión (3). El módulo de elasticidad del acero se adopta igual a 200000 MPa.

$$Ec [MPa] = 4700 * \sqrt{f'c} = 4700 * \sqrt{30 MPa} = 25743 MPa \quad (3)$$

Secciones de los elementos

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

Organiza:

<i>Losas de H°A°</i>		
Lx = Ly [m]	6,00	-
Coeficiente γ	28	T. C 9.5.3.2 - C201/05 - c/ Mampostería y $L=3\text{kN/m}^2$
h min [m] = L / γ	0,214	-
h adopt [m] =	0,150	-

Tabla N°2. Pre-dimensionado de la Losa

Como es objetivo del presente trabajo evaluar las prestaciones que ofrecen las losas alivianadas y huecas bidireccionales, se adopta un espesor menor al dado por el pre-dimensionamiento, a fin de comprobar sus cualidades.

<i>Vigas</i>			<i>Columns</i>	
Lvx = Lvy [m]	6,00	-	C1 = C2 [m]	0,25
Coeficiente γ	18,5	Tabla 9.5.a) - C201/05	Lc [m]	3,00
h min [m] = Lv / γ	0,32	-	Lu [m]	2,60
h adop [m]	0,40	-		
b adop [m]	0,20	-		

Tabla N°3. Predimensionado de Vigas y Columnas.

Para la simulación numérica se utiliza el software SAP2000, en donde se modelan los elementos estructurales con sus correspondientes características.

Las losas son definidas como elementos de “área” y se configuran como “Shell - Layered/Nonlinear”, para analizar la no linealidad del elemento. Esta forma de análisis se repite para los distintos tipos de losas (maciza, alivianada, hueca), a fin de evaluarlas bajo las mismas condiciones y sacar conclusiones.

A continuación se exponen las imágenes del software de cada una de las losas a analizar, con sus materiales y dimensiones.

Organiza:

Layer Name	Distance	Thickness	Type	Num Int. Points	Material	Material Angle	Type	Material Component S11	Behavior S22	S12
ConcS	-0,075	0,15	Shell	2	H-30	0,	Directional	Linear	Linear	Linear
ConcS	-0,075	0,15	Shell	2	H-30	0,	Directional	Linear	Linear	Linear
BotBar1	-0,13	0,008	Shell	1	A30H425	0,	Directional	Linear	Inactive	Linear
BotBar2	-0,122	0,008	Shell	1	A30H425	90,	Directional	Linear	Inactive	Linear

Quick Start Add Insert Modify Delete

☐ Highlight Selected Layer
Transparency Control < >

Section Name
Losa Maciza 12cm

Order Layers By Distance
Order Ascending Order Descending

Calculated Layer Information
Number of Layers: 3
Total Section Thickness: 0,15
Sum of Layer Overlaps: 0,016
Sum of Gaps Between Layers: 0,

OK Cancel

Figura N°2. Losa Maciza.

Layer Name	Distance	Thickness	Type	Num Int. Points	Material	Material Angle	Type	Material Component S11	Behavior S22	S12
ConcS	-0,025	0,05	Shell	2	H-30	0,	Directional	Nonlinear	Nonlinear	Nonlinear
ConcS	-0,025	0,05	Shell	2	H-30	0,	Directional	Nonlinear	Nonlinear	Nonlinear
BotBar1	-0,117	0,008	Shell	1	A30H425	0,	Directional	Linear	Inactive	Linear
BotBar2	-0,125	0,008	Shell	1	A30H425	90,	Directional	Linear	Inactive	Linear
ConcInf	-0,14	0,02	Shell	2	H-30	0,	Directional	Nonlinear	Nonlinear	Nonlinear

Quick Start Add Insert Modify Delete

☐ Highlight Selected Layer
Transparency Control < >

Section Name
Losa Liv 12cm

Order Layers By Distance
Order Ascending Order Descending

Calculated Layer Information
Number of Layers: 4
Total Section Thickness: 0,15
Sum of Layer Overlaps: 1,388E-17
Sum of Gaps Between Layers: 0,064

OK Cancel

Figura N°3. Losa Alivianada.

Organiza:

Layer Name	Distance	Thickness	Type	Num Int. Points	Material	Material Angle	Type	Material S11	Component Behavior S22	Material S12
Conc-Inf	-0,125	0,05	Shell	2	H-30	0,	Directional	Nonlinear	Nonlinear	Nonlinear
BotBar1	-0,13	0,008	Shell	1	A304A20	0,	Directional	Linear	Inactive	Linear
BotBar2	-0,122	0,008	Shell	1	A304A20	90,	Directional	Linear	Inactive	Linear
Conc-Sup	-0,025	0,05	Shell	2	H-30	0,	Directional	Nonlinear	Nonlinear	Nonlinear
TopBar1	-0,03	0,008	Shell	1	A304A20	0,	Directional	Linear	Inactive	Linear
TopBar2	-0,022	0,008	Shell	1	A304A20	90,	Directional	Linear	Inactive	Linear

☐ Highlight Selected Layer
 Transparency Control

Section Name
 Losa Hueca 15cm

Order Layers By Distance

Calculated Layer Information
 Number of Layers: 6
 Total Section Thickness: 0,15
 Sum of Layer Overlaps: 0,032
 Sum of Gaps Between Layers: 0,05

Figura N°4. Losa Hueca.

Las vigas y columnas son cargadas como elementos de “barra”, con sus materiales y dimensiones.

Section Name
Display Color

Section Notes

Dimensions

Depth (t3)

Width (t2)

Section

Material

Property Modifiers

Properties

Figura N°5. Viga de 20x40cm.

Organiza:

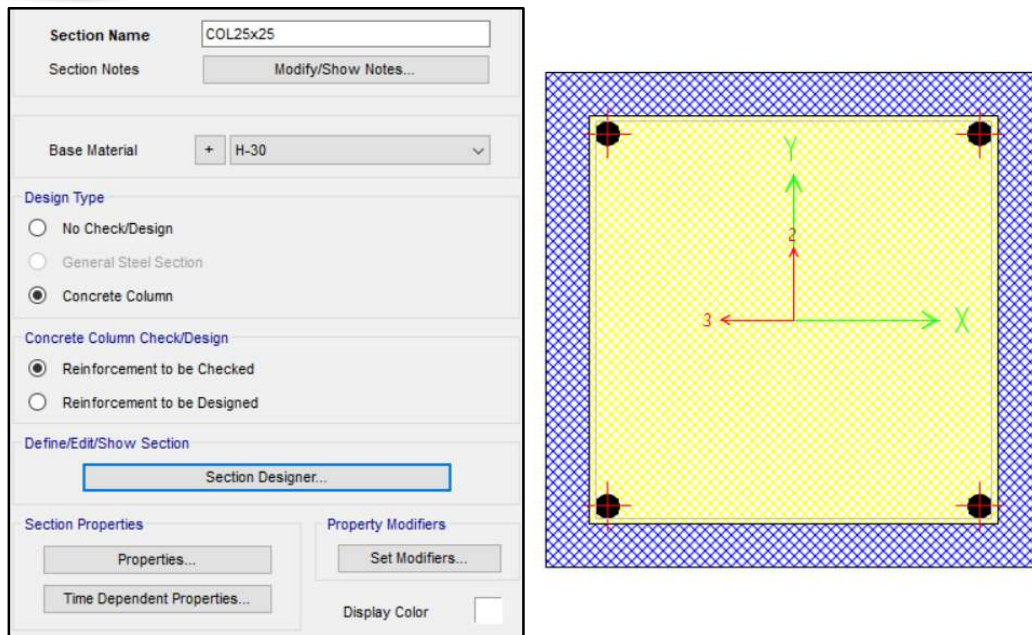


Figura N°6. Columna de 25x25cm.

Mallado

Para lograr un análisis más detallado y generar un mayor grado de exactitud con el comportamiento real de la estructura, se decide realizar un mallado en las distintas áreas, es decir, en cada una de las losas del modelo. Lo que se busca con esta metodología es que la carga que actúa sobre la losa se distribuya en cada subdivisión y no en el área total de cada losa (6x6m).

La opción que se utiliza es: “assign automatic area mesh”, donde se define que el tamaño máximo de cada sub-área sea de 30x30cm. Se eligen estas medidas por las dimensiones globales de las losas, donde la intención es que el número de divisiones sea entero y, además, que exista continuidad entre las sub-áreas de las losas contiguas.

Análisis de Cargas

Se adopta un paquete estructural con un mismo solado para todos los modelos a evaluar, para obtener la carga muerta (permanente) que actúa sobre la estructura; y el peso propio del elemento se calcula para cada caso, ya que varía según cada tipo de losa analizada. Para la carga viva (sobrecarga) se define el uso del proyecto, que es de viviendas.

Para el análisis de cargas se ocupa el reglamento CIRSOC 101-05 ^[2], de donde se extraen los diferentes valores de pesos unitarios y el valor de la carga viva.

Organiza:

ANÁLISIS DE CARGAS PARA ENTREPISOS			
• LOSAS:		+ 3,00 m	
ITEM	ESPESOR	PESO ESP.	PESO
Piso Porcelanato	-	0,20 kN/m ³	0,20 kN/m ²
Mortero cto. + arena	0,02	21,00 kN/m ³	0,42 kN/m ²
Contrapiso cto.+arena+casc	0,05	18,00 kN/m ³	0,90 kN/m ²
Cielorraso: placa de yeso c/ estructura	-	0,20 kN/m ³	0,20 kN/m ²
CARGA PERMANENTE DE LOSA		<i>Do = 1,72 kN/m²</i>	
SOBRECARGA DE SERVICIO		<i>Vivienda</i>	<i>L = 2,00 kN/m²</i>

ANÁLISIS DE CADA LOSA			
ITEM	ESPESOR	PESO ESP.	D1: PESO
Losa Maciza	0,15	25,00 kN/m ³	3,75 kN/m ²
Losa Alivianada	0,07	25,00 kN/m ³	1,75 kN/m ²
Losa Hueca	0,115	25,00 kN/m ³	2,88 kN/m ²

Tabla N°3. Análisis de cargas para Losas.

POLINOMIOS DE CARGAS		
Losa Maciza	Losa Alivianada	Losa Hueca
D=Do + D1= 5,47 kN/m ²	D=Do + D1= 3,47 kN/m ²	D=Do + D1= 4,60 kN/m ²
L= 2,00 kN/m ²	L= 2,00 kN/m ²	L= 2,00 kN/m ²
<i>U_{m1}: 1,4D = 7,66 kN/m²</i>	<i>U_{a1}: 1,4D = 4,86 kN/m²</i>	<i>U_{h1}: 1,4D = 6,43 kN/m²</i>
<i>U_{m2}: 1,2D + 1,6L = 9,76 kN/m²</i>	<i>U_{a2}: 1,2D + 1,6L = 7,36 kN/m²</i>	<i>U_{h2}: 1,2D + 1,6L = 8,71 kN/m²</i>

Tabla N°4. Mayoración de cargas para Losas.

RESULTADOS: Deflexiones

Las deflexiones o flechas son el descenso de cualquier elemento estructural debido a la presión de carga a la que está sometido.

Organiza:

A continuación se presenta el algoritmo de cálculo de flechas de forma manual, para luego poder comparar cada sistema analizado con los valores obtenidos por el software de análisis finitos. Se definen algunos parámetros para facilitar la comprensión del proceso:

E_c = Módulo de elasticidad del hormigón [MPa];

E_s = Módulo de elasticidad del acero [MPa];

M_{cr} = Momento crítico [MPa];

b = base;

h = espesor de la losa;

A_s = Sección de la armadura;

M_a = Momento máximo;

I_e = Momento de inercia efectivo.

Paso seguido, se comienza con el procedimiento, utilizando como guía el libro de O. Moller, "Hormigón estructural" [3].

PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN	REF
$n = E_s / E_c$	-	(4)
$A_h = b * h + (n - 1) * A_s$	Sección homogeneizada.	(5)
$y_g = [b * h * h/2 + (n-1) * A_s] / A_h$	Baricentro de la sección.	(6)
$j_h = b * h^3 / 12 + b * h * (h/2 - y_g)^2 + (n - 1) * A_s * (d - y_g)^2$	Momento de inercia de la sección homogeneizada.	(7)
$b * (k * d)^2 / 2 = n * A_s * (d - k * d)$ $\rightarrow k$	Momento estático del área traccionada = área en compresión.	(8)
$C = k * d$	Posición del eje neutro.	(9)
$j_{hf} = b * (k * d)^3 / 12 + b * k * d * (k * d / 2)^2 + n * A_s * (d - k * d)^2$	Momento de inercia de la sección homogeneizada fisurada.	(10)
$M_{total} = M_{pp} + M_D + M_L$	Momento flector total.	(11)
$I_e = (M_{cr} / M_a)^3 * j_h + [1 - (M_{cr} / M_a)^3] * j_{hf}$	Momento de inercia efectivo.	(12)
$\Delta_{iD+L} = (2,07/384 * q_u * l^4) / (E_c * I_e)$	Flecha instantánea total.	(13)

Organiza:

$\Delta_{iD} = (2,07/384 * (q_D + q_{pp}) * l^4) / (E * I)$	Flecha instantánea permanente.	(14)
$\Delta_{tD} = \lambda * \Delta_{iD}$	Flecha a largo plazo, para cargas permanentes.	(15)
PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN	REF
$\lambda = \xi / (1 + 50 \rho')$	(ξ - Ver figura N°7)	(16)
$\rho' = A_s / (b * d)$	Cuantía de armadura a compresión	(17)
$\Delta = \Delta_{iD+L} + \Delta_{tD}$	Flecha total	(18)
$L/480$	Flecha admisible (Tabla 9.5.b C201)	(19)

Tabla N°5. Procedimiento para el cálculo de la flecha o deformación.

Losa Maciza			
b [m] =	1,00	Mcr [kNm/m] =	13,08
h [m] =	0,15	k =	0,1716
Rec [cm] =	2,60	c = k d [m] =	0,020
db [mm] =	12,00	Jhf [m4] =	0,00002
d [m] =	0,118	le [m4] =	0,0009595
L [m] =	6,00	le ≤ Jh [m4] =	0,0002846
q pp [kN/m] =	3,75	Ec le [kNm²] =	7326,1547
Mpp [kNm/m] =	4,29	F inst total [m] =	0,0071
MD [kNm/m] =	1,9691	le perm. [m4] =	0,007427
ML [kNm/m] =	2,2896	le ≤ Jh [m4] =	0,0002846
Ma [kNm/m] =	8,55	F inst perm. [m] =	0,0036
q [kN/m] =	7,47	ε (t > 5 años)	2,00
Asmin [cm²/m] =	2,70	ρ'	0,00
n = Es / Ec =	7,77	λ	2,00
Ah [m²] =	0,152	F largo plazo [m] =	0,0072
Yg [m] =	0,076	F total [m]	0,0143
Jh [m4] =	0,00028	F adm [m] =	0,0125
		Verifica?	No

Tabla N°6. Cálculo de la Flecha para Losa Maciza.

Organiza:

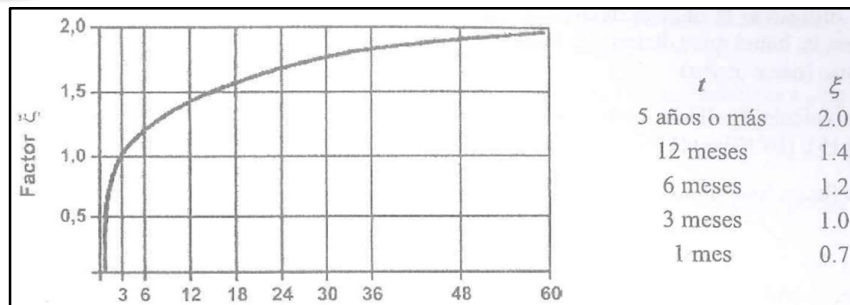


Figura N°7. Factor ξ en función del tiempo.

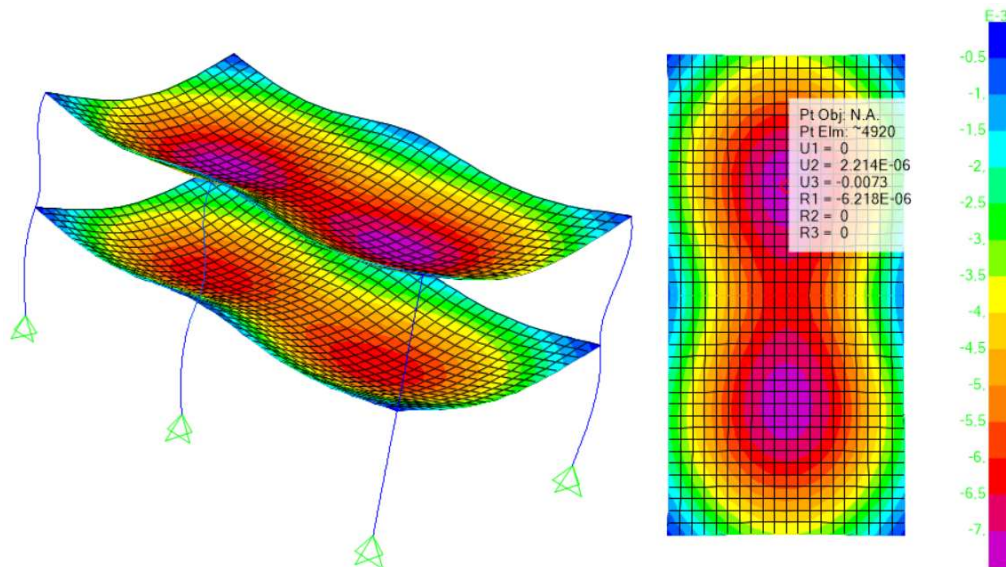


Figura N°8. Deformación de la Losa Maciza.

A continuación se exponen los cálculos correspondientes para la losa alivianada. Para este caso, se decide calcular un espesor equivalente mediante la inercia, es decir, una altura constante que represente la misma inercia que posee la losa analizada según la geometría planteada. Esto se logra mediante la ubicación del eje baricéntrico de la sección, para luego calcular la inercia propia, y finalmente igualar este valor con la expresión de la inercia para una sección rectangular.

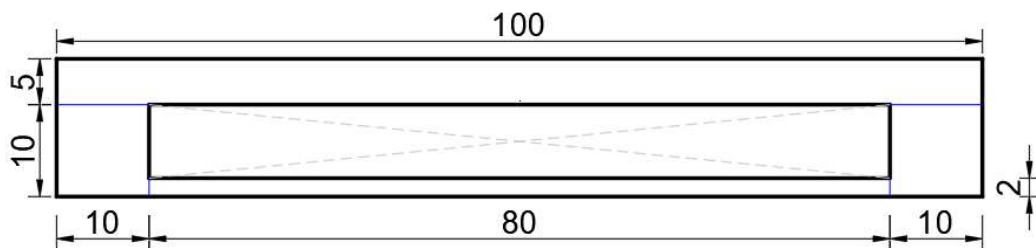


Figura N°9. Sección de la Losa Alivianada.

Organiza:

Cálculo Auxiliar	
Yg [cm] =	8,616
I xg [cm ⁴] =	22.200,04
h equiv [cm] =	13,86

Tabla N°7. Cálculo de la altura equivalente, por inercia.

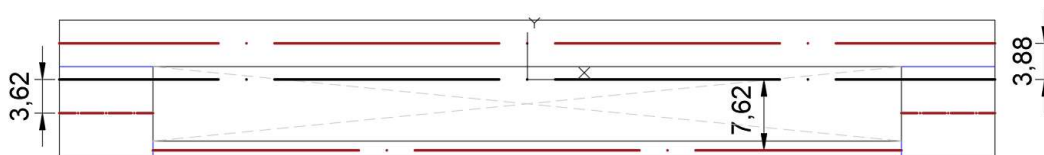


Figura N°10. Distancias al baricentro del conjunto.

Losa Alivianada		Mcr [kNm/m] = 11,15	
b [m] =	1,00	k =	0,1734
h equiv. [m] =	0,1386	c = k d [m] =	0,018
Rec [cm] =	2,60	Jhf [m ⁴] =	0,00002
db [mm] =	12,00	le [m ⁴] =	0,0011850
d [m] =	0,1066	le ≤ Jh [m ⁴] =	0,00022
L [m] =	6,00	Ec le [kNm ²] =	5771,4766
q pp [kN/m] =	1,75	F inst total [m] =	0,0066
Mpp [kNm/m] =	2,00	le perm. [m ⁴] =	0,035681
MD [kNm/m] =	1,9691	le ≤ Jh [m ⁴] =	0,00022
ML [kNm/m] =	2,2896	F inst perm. [m] =	0,0021
Ma [kNm/m] =	6,26	ε (t > 5 años) =	2,00
q [kN/m] =	5,47	ρ' =	0,00
Asmin [cm ² /m] =	2,49	λ =	2,00
n = Es / Ec =	7,77	F largo plazo [m] =	0,0042
Ah [m ²] =	0,140	F total [m] = 0,0109	
Yg [m] =	0,070	F adm [m] =	0,0125
Jh [m ⁴] =	0,00022	Verifica? =	Si

Tabla N°8. Cálculo de la Flecha para Losa Alivianada.

Organiza:

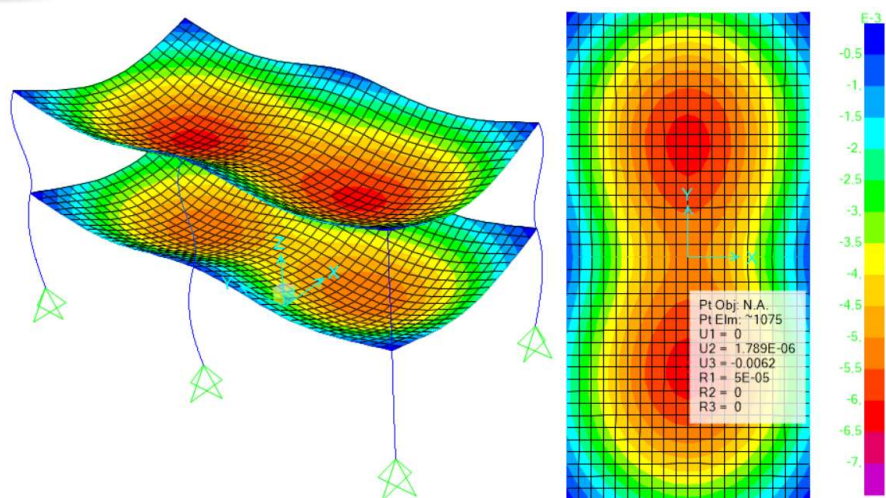


Figura N°11. Deformación de la Losa Alivianada.

Seguidamente se presentan los cálculos correspondientes para la losa hueca, con su altura equivalente, obtenida de la misma manera que en la losa alivianada.

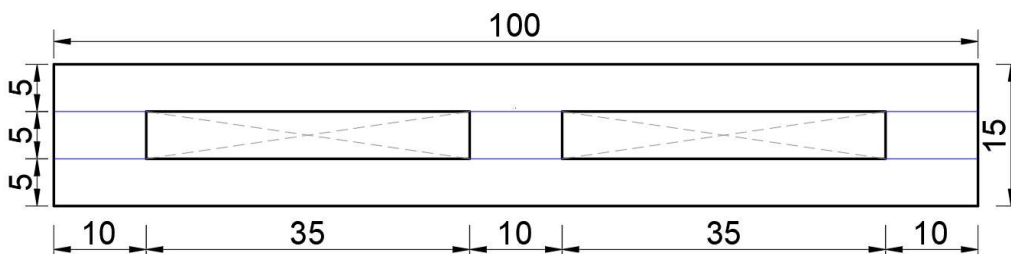


Figura N°12. Sección de la Losa Hueca.

Cálculo Auxiliar	
Yg [cm] =	7,500
I xg [cm4] =	27.083,33
h equiv [cm] =	14,81

Tabla N°9. Cálculo de la altura equivalente, por inercia.

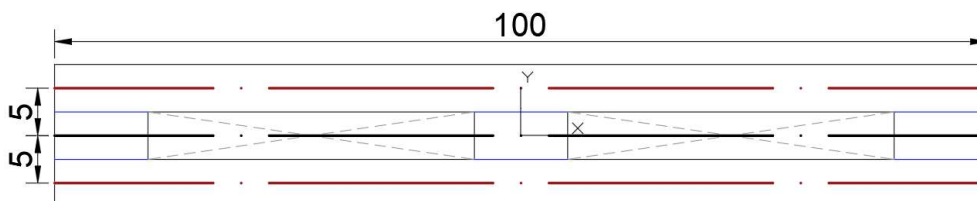
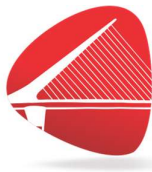


Figura N°13. Distancias al baricentro del conjunto.

Organiza:



Losa Hueca	
b [m] =	1,00
h [m] =	0,148
Rec [cm] =	2,60
db [mm] =	12,00
d [m] =	0,116
L [m] =	6,00
q pp [kN/m] =	2,875
Mpp [kNm/m] =	3,29
MD [kNm/m] =	1,9691
ML [kNm/m] =	2,2896
Ma [kNm/m] =	7,55
q [kN/m] =	6,60
Asmin [cm ² /m] =	2,66
n = Es / Ec =	7,77
Ah [m ²] =	0,150
Yg [m] =	0,075
Jh [m ⁴] =	0,00027

Mcr [kNm/m] =	12,73
k =	0,1716
c = k d [m] =	0,020
Jhf [m ⁴] =	0,00002
Ie [m ⁴] =	0,0012274
Ie ≤ Jh [m ⁴] =	0,0002733
Ec Ie [kNm ²] =	7035,3463
F inst total [m] =	0,0065
Ie perm. [m ⁴] =	0,014575
Ie ≤ Jh [m ⁴] =	0,00027
F inst perm. [m] =	0,0029
ε (t > 5 años)	2,00
ρ'	0,0018
λ	1,83
F largo plazo [m] =	0,0052
F total [m]	0,0118
F adm [m]	0,0125
Verifica?	Si

Tabla N°10. Cálculo de la Flecha para Losa Hueca.

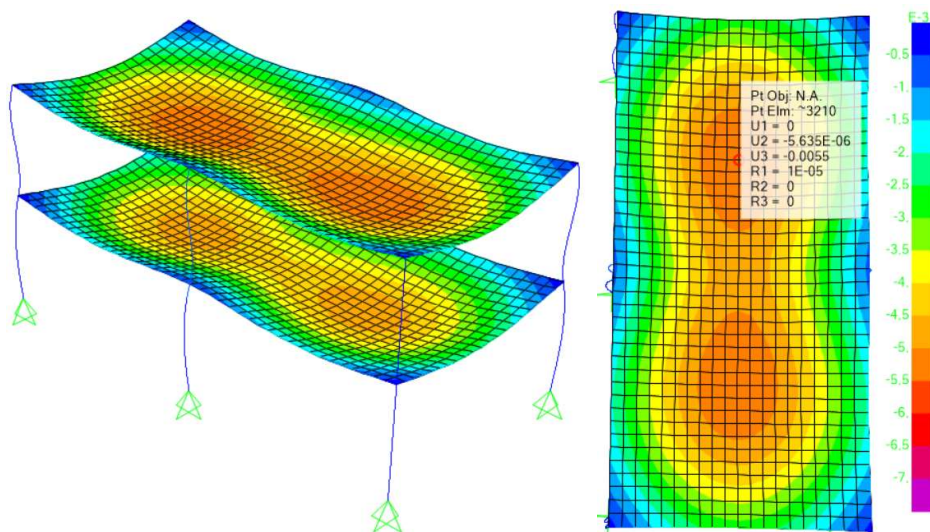


Figura N°14. Deformación de la Losa Hueca.

Organiza:

Solicitaciones: Flexión y Corte

Las losas bidireccionales, también conocidas como losas cruzadas, se caracterizan por tener una relación de lados $\beta \leq 2$, permitiendo la transferencia de cargas en ambas direcciones principales. Esto resulta en una superficie deformada que exhibe curvaturas significativas en los ejes ortogonales "x" e "y".

En el diseño de estos elementos, es fundamental que el espesor sea suficiente para que la colaboración del hormigón (V_c) pueda absorber las cargas externas sin necesidad de armadura adicional para corte.

El procedimiento para determinar estas cargas implica la utilización de polinomios de mayoración de cargas, U_1 y U_2 , según se detalla en la Tabla N°2. Generalmente, el polinomio U_2 resulta ser el más influyente para las construcciones civiles de hormigón estructural. A continuación, se emplea una tabla específica, basada en las condiciones de borde y configuración de carga de la losa analizada, desarrollada por el autor Pozzi Azzaro. Esta tabla proporciona los coeficientes necesarios para calcular los momentos flectores y las fuerzas cortantes. Dichos coeficientes, multiplicados por la carga última y la luz menor al cuadrado, arrojan las solicitaciones requeridas para el diseño estructural.

Losa Maciza

$$q_u \text{ [kN/m]} = 9,76$$

$$L_x / L_y = 1$$

$$L_x = L_y \text{ [m]} = 6,00$$

$$m_{xe} = 0,0839$$

$$M_{xe} \text{ [kNm/m]} = 29,49$$

$$m_x = 0,0318$$

$$M_x \text{ [kNm/m]} = 11,18$$

$$m_y = 0,0243$$

$$M_y \text{ [kNm/m]} = 8,54$$

$$r_x = 0,166$$

$$R_x \text{ [kN/m]} = 9,72$$

$$r_{ye} = 0,433$$

$$R_{ye} \text{ [kN/m]} = 25,37$$

$$r_y = 0,235$$

$$R_y \text{ [kN/m]} = 13,77$$

T.27

l_x/l_y	M_x^e	M_x	M_y	R_x	R_y^e	R_y
0,50	-0,1214	0,0584	0,0060	0,169	1,049	0,613
0,55	-0,1188	0,0562	0,0083	0,168	0,947	0,545
0,60	-0,1159	0,0538	0,0105	0,167	0,845	0,487
0,65	-0,1126	0,0512	0,0127	0,167	0,769	0,437
0,70	-0,1089	0,0485	0,0149	0,166	0,702	0,394
0,75	-0,1050	0,0457	0,0168	0,166	0,643	0,360
0,80	-0,1008	0,0428	0,0187	0,165	0,591	0,329
0,85	-0,0965	0,0400	0,0205	0,165	0,545	0,302
0,90	-0,0922	0,0372	0,0221	0,165	0,504	0,278
0,95	-0,0880	0,0345	0,0234	0,165	0,467	0,255
1,00	-0,0839	0,0318	0,0243	0,166	0,433	0,235
0,95	-0,0881	0,0327	0,0282	0,166	0,440	0,240
0,90	-0,0924	0,0330	0,0323	0,209	0,449	0,245
0,85	-0,0967	0,0328	0,0369	0,234	0,460	0,249
0,80	-0,1011	0,0324	0,0423	0,263	0,471	0,253
0,75	-0,1055	0,0319	0,0485	0,298	0,482	0,257
0,70	-0,1096	0,0309	0,0553	0,339	0,492	0,260
0,65	-0,1133	0,0292	0,0627	0,388	0,501	0,262
0,60	-0,1165	0,0269	0,0707	0,447	0,508	0,264
0,55	-0,1192	0,0240	0,0792	0,519	0,514	0,266
0,50	-0,1215	0,0204	0,0880	0,606	0,520	0,268

l_y/l_x

$$\frac{l_x}{l_y} < 1$$

S= coeficiente de tabla . q . l_x^2

$$\frac{l_y}{l_x} < 1$$

S= coeficiente de tabla . q . l_y^2

Tabla N°11. Cálculo de las solicitaciones.

Organiza:

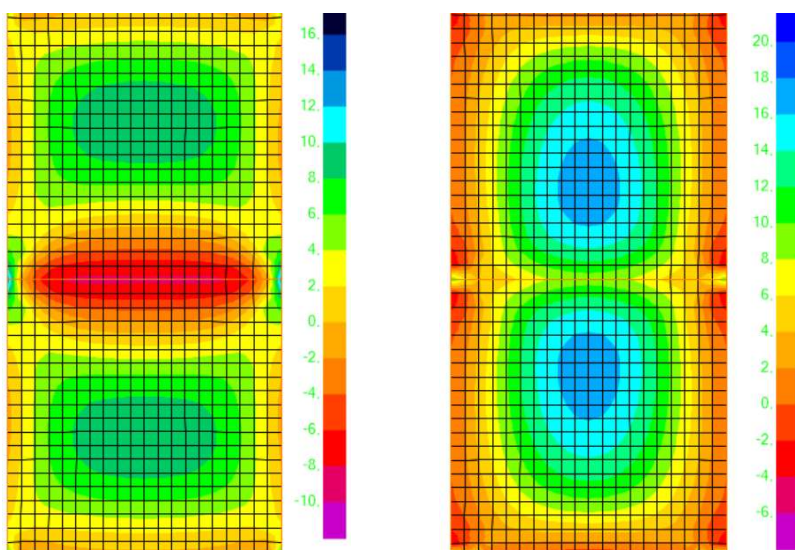


Figura N°15. Momentos en “y” Figura N°16. Momentos en “x”

Se puede apreciar en las imágenes obtenidas del software que los momentos en la dirección de la continuidad, apoyo continuo entre losas) son menores que los obtenidos manualmente. En cambio, en la dirección horizontal, donde la condición de borde en ambos extremos podría asemejarse a una articulación, los momentos en el tramo son mayores a los resultantes de las tablas utilizadas.

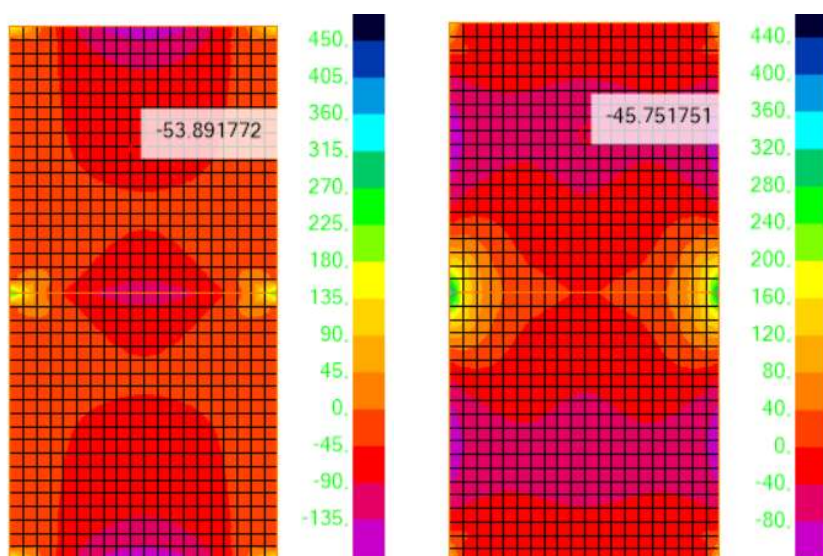
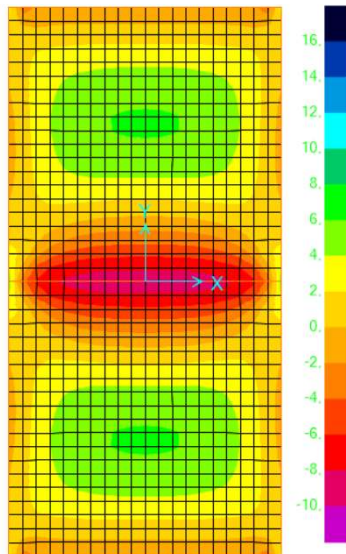
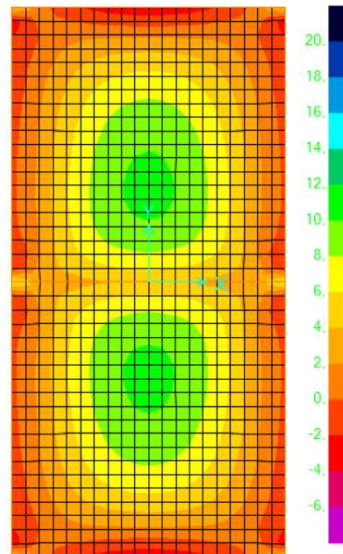


Figura N°17. Fuerza Axil en “y” Figura N°18. Fuerza Axil en “x”

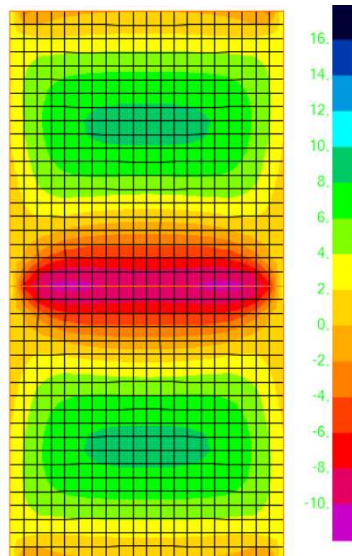
Organiza:



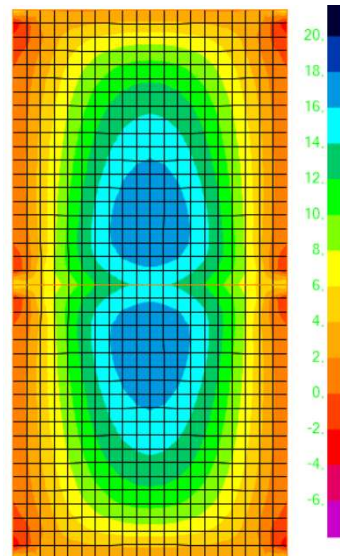
*Figura N°19. Momentos en “y”.
Losa Alivianada.*



*Figura N°20. Momentos en “x”.
Losa Alivianada.*



*Figura N°21. Momentos en “y”.
Losa Hueca.*



*Figura N°22. Momentos en “x”.
Losa Hueca.*

Para el caso de las losas hueca y alivianada, los momentos son menores a los obtenidos para la losa maciza, correspondientemente. Esto se corresponde con la inercia propia de cada elemento, que se va reduciendo, lo que se traduce con la menor capacidad de absorber esfuerzos.

Organiza:

CONCLUSIONES

Metodología y precisión

Inicialmente, se observa que la metodología empleada genera valores de deformación bastante similares a los obtenidos manualmente, aunque existen discrepancias significativas en las solicitaciones. Este fenómeno puede atribuirse a las características específicas de las losas analizadas, las cuales no sólo transfieren carga sino que también la resisten en su propio plano, lo que se aprecia en las figuras N°17 y 18. Este aspecto subraya la necesidad de profundizar en la metodología y realizar un análisis detallado de cada componente.

Es notable la considerable variedad del comportamiento estructural de las diferentes losas en función de su inercia y peso propio. En este sentido, **no** sería adecuado considerar un espesor equivalente para el análisis de carga de cada tipología, pues la inercia juega un papel importante en la definición de los valores de deflexión del entrepiso y una desventaja del método “shell layered nonlinear” radica en la imposibilidad de considerar ciertos elementos que aportan resistencia como ser el caso los nervios de hormigón que sirven de lugar para colocar las armaduras. Dicho esto se puede equivaler el peso con estas técnicas pero se incurre en un error cuantitativo en el valor de las inercias.

Sugerencias futuras

Con la implementación de nuevos procedimientos y tecnologías, es factible que estos coeficientes puedan calibrarse de manera más eficiente. Es crucial avanzar en el estudio de los parámetros específicos del hormigón, considerando su naturaleza no lineal y todas sus propiedades inherentes, permitiendo un análisis más realista del comportamiento del material bajo diferentes condiciones.

Se recomienda profundizar en la evaluación del comportamiento integral de la estructura, logrando determinar las solicitaciones en los elementos y su respuesta estructural, facilitando la obtención de conclusiones más eficientes en el análisis por elementos finitos.

BIBLIOGRAFÍA

1. CIRSOC 201: “Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón”, ed. 2005, Instituto Nacional de Tecnología Industrial – INTI, Buenos Aires, Arg., 2005
2. CIRSOC 101: “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. O. Möller, Hormigón Estructural: Conceptos básicos, comportamiento y diseño unificado de elementos típicos para edificios, 1ra ed. Rosario, Santa Fé, Arg.: UNR Editora, 2016.

Organiza:



Asociación de Ingenieros
Estructurales
ARGENTINA

Tel/Fax: [+54] 11 5252.8838 | Whatsapp: [+54 9] 11 3180.3746 | Hipólito Yrigoyen 1144 Piso 1° - Of. 2 | Buenos Aires
Horario de atención: de lunes a viernes de 13:00 a 18:00 hs. | Mail: info@jornadasaie.org.ar - www.jornadasaie.org.ar