



TÉCNICAS DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO.¹

Bakaleiko Mauro Damian²; Detke Fernando Rubén³; Duarte Javier Alberto⁴; Reinert Hugo Orlando⁵

¹Trabajo sobre Ejercicio de la Profesión

²Estudiante de Ingeniería Civil, maurobakaleiko@gmail.com

³Ingeniero Civil, detke@fio.unam.edu.ar

⁴Ingeniero en Construcciones, duartej@fio.unam.edu.ar

⁵Magíster, Ingeniero Civil, hugoreinert@gmail.com

Resumen

El análisis Estructural ha tenido avances en las últimas décadas, en consecuencia, con los avances tecnológicos de esta era, caracterizada por el uso de computadoras personales, sistemas operativos que permiten prestaciones diversas en términos de visualización de fenómenos y ordenamiento de grandes volúmenes de datos.

Esto de alguna manera permite agregar versatilidad y precisión a ciertos paradigmas del cálculo de estructuras, que se pueden potenciar si se acude a la retroalimentación de conceptos que permitan pensar en estructuras y en su comportamiento como un cuerpo que traslada sistemas de cargas entre diferentes puntos del espacio.

El problema se presenta cuando se intenta resolver estructuras en forma apresurada, creyendo que lo mejor es colocar los datos en el software y que él mismo lo resuelva sin ejercer juicio ante los resultados que presenta.

El objetivo del presente trabajo es presentar, mediante técnicas de simulación numérica llevados a cabo en SAP2000, modelos que permitan aportar nuevos enfoques en el diseño de estructuras de hormigón Armado. De esta manera, se evalúa la cantidad de sección de acero necesario por los distintos métodos de análisis que llevan a una diferencia significativa de hasta el 65%, favoreciendo económicamente al cálculo a través de elementos finitos.

Palabras Clave:

Diseño estructural-Hormigón Armado – Simulación - Elementos finitos.

Introducción

El cálculo estructural en la actualidad, se ve favorecido por un considerable avance tecnológico



en términos de herramientas computacionales, que sirven como propósitos de soporte para el análisis de estructuras. Esto permite, entre otras cosas: mejor aproximación de parámetros geométricos y mecánicos, al definir el comportamiento de un modelo y su correspondiente materialización; disponer de una variedad importante de opciones para la configuración del análisis, llegando hasta proponer no linealidad física y geométrica en el modelo estudiado. Estos elementos contribuyen al objeto principal, de lograr mayor precisión en el cálculo de esfuerzos, y posicionamiento de las secciones críticas, llamadas así a las secciones que se adoptan para el proceso de dimensionamiento de los distintos componentes de la estructura.

En términos de complejidad, esto resulta útil en aplicaciones orientadas a elementos superficiales, como ser pantallas, diafragmas, o entrepisos. En este último se observa una tendencia desde lo operativo a plantear vanos cada vez más extensos, lo cual requiere, para el caso de estructuras de hormigón armado, la necesidad de restar peso propio sin modificar la prestación en términos de resistencia a los estados límites últimos. En la Provincia de Misiones, como en otros lugares del país, se suele apelar al empleo de losas alivianadas con elementos no estructurales. El objeto de esta técnica, es el aumento de la altura estática de la sección del elemento estructural, manteniendo en un bajo incremento al peso propio del elemento.

En el presente trabajo, se evalúa un prototipo de entrepiso de hormigón armado alivianado para el cual se resuelven diferentes modelos. En principio, se determinan los esfuerzos característicos mediante técnicas de cálculo manual, a través del uso de tablas de solicitaciones, confeccionadas para elementos alivianados. Paralelamente se resuelven aplicando el método de los Elementos Finitos, modelos que difieren en: la configuración de elementos estructurales, el tipo de análisis según se considere la deformabilidad de la estructura. Luego se comparan las respuestas de los modelos analizados para el mismo sistema estructural, y se aplican procesos normativos de dimensionamiento vigentes. Por último, se analizan y discuten resultados, para posteriormente establecer conclusiones respecto del uso de herramientas computacionales en los procesos de diseño de estructuras.

Metodología

El análisis del presente trabajo fue basado en un prototipo compuesto por dos losas bidireccionales de hormigón armado más una losa en voladizo, de tipo alivianadas, cuales son los usos estructurales de la región. Dichas losas se encuentran vinculadas en su contorno a vigas de hormigón armado, de secciones adoptadas en función a parámetros que responden a estados límites de servicio, es decir, se adoptaron alturas mínimas por condición de rigidez de cada elemento. En la figura 1 se puede observar la geometría adoptada para el prototipo analizado.

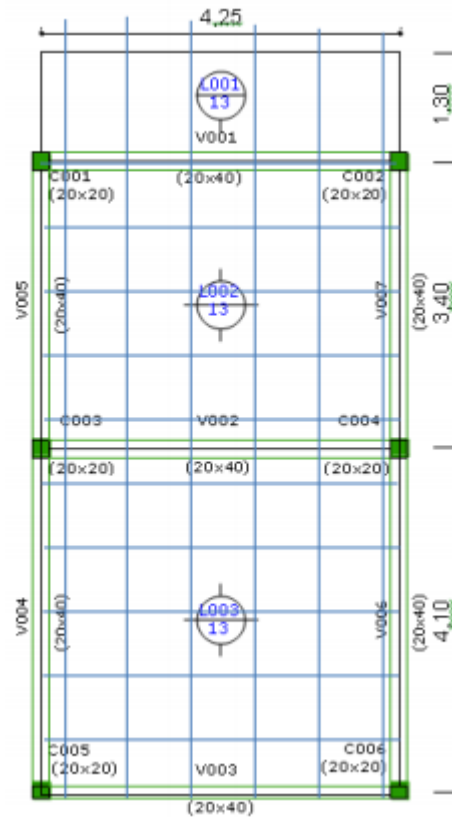


Figura 1. Planta estructural del prototipo en análisis.

La figura 2 muestra la forma y las características, tanto materiales como geométricas, que definen el prototipo estudiado, el cual sirve de base para las diferentes opciones de análisis estructural abordadas en el presente trabajo.

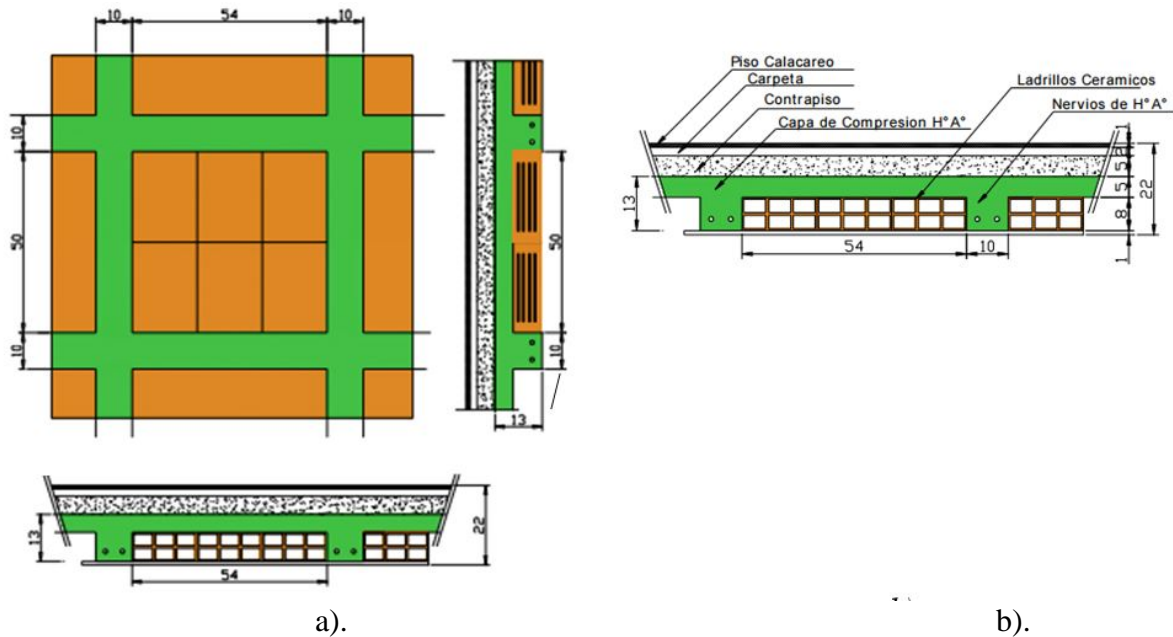


Figura 2.a) Detalle geométrico de losa Aliviada. b). Composición material de entrepiso.

Los modelos numéricos adoptados para el cálculo de solicitaciones fueron los que se detallan a continuación:

- Modelo 1:** Cálculo de Esfuerzos mediante tablas de solicitaciones para losas bidireccionales: En este caso se considera continuidad de esfuerzos entre losas adyacentes. Las losas bidireccionales se analizan según coeficientes m_x+ m_x- m_y+ m_y- que se encuentran tabulados [Ferreira, 2012], y que sirven para calcular los momentos positivos y negativos en cada una de las direcciones según corresponda. Para utilizar estas tablas hay que tener en cuenta la relación de lados L_x/L_y , además de la condición de vínculo de cada borde de la losa, las que admiten las siguientes condiciones: libre, continuo y apoyado. El momento de empotramiento del voladizo se obtiene de manera directa. Respecto al equilibrio de momentos, se aplicaron las técnicas descritas en [Bernal, 2005], donde se permite promediar los valores en apoyos, siempre que la diferencia entre Momentos Flectores no supere 50% para apoyos internos, y 20 % para apoyos externos, es decir, zonas de continuidad con voladizos. Así también los valores de voladizos se deben corregir por la forma que adoptan los diagramas de esfuerzos característicos. Las leyes constitutivas adoptadas para los materiales Hormigón y acero son: hormigón no confinado con modulo E calculado según CIRSOC201 versión 2013, mientras que el acero considerado es ADN 420 con límite de fluencia en 2%.

Modelo 2: Calculo de Esfuerzos mediante método de elementos finitos - SAP 2000



Versión 14.2.0.: Se ha utilizado el software SAP 2000 Versión 14.2.0. En esta versión se modelaron en forma independiente: la capa de compresión como elemento de Área de 4 nodos, discretos en primera instancia en los paños de losas descriptos en el prototipo. Luego se configura el modelo a efectos de generar un refinamiento de malla al momento de ensamblar la matriz de rigidez de la estructura analizada. Los nervios de losa como elementos de barra de Sección constante. Las consideraciones efectuadas en cuanto a materiales Hormigón y Acero fueron adoptadas considerando modelos constitutivos actualizados, desarrollados en trabajos académicos del campo de estudio.

· Modelo 3: Calculo de Esfuerzos mediante método de elementos finitos - Etabs versión 15.0.0.: En esta versión se modelaron en forma independiente: la capa de compresión como elemento de Área de 4 nodos, y los nervios de losa fueron considerados como elementos de barra de sección constante. Esta herramienta está orientada en forma específica al cálculo de edificios en altura, por lo tanto, presenta diferencias en cuanto a procedimientos de configuración de variables geométricas y mecánicas en el modelo. Entre las diferencias más puntuales, se utiliza una plantilla incorporada en el paquete de herramientas del software utilizado. Dicha plantilla permite configurar: altura libre de entrepiso, separación entre nervios, longitudes entre columnas y ubicación de puntos de fundación (vínculos).

Configuración de material hormigón para modelos 2 y 3:

Hormigón armado

El hormigón armado empleado comúnmente en este tipo de obras se corresponde con el denominado H-20, con base en la nomenclatura reglamentaria oficial. En el Software se definen las características del hormigón y del acero mediante el módulo Section Designer, del software SAP 2000 nonlinear versión 14.2.0.

En el mismo se define la sección, la resistencia especificada y el módulo de elasticidad. Para este hormigón se ha establecido que la descripción constitutiva del material en el campo plástico se efectúa con el modelo de Histéresis de Takeda. La definición de la curva tensión-deformación sigue el modelo de Mander et al. (1984), que desarrolla una relación constitutiva para hormigones confinados.

El modelo propuesto por Mander et al. (1984). La curva tensión deformación del hormigón ($f_c - \varepsilon_c$) envolvente en compresión está dado por la ecuación de Popovic (1973), ver Figura 3:



$$f_c = \frac{f'_{cc} x r}{r - 1 + x^r} \quad (1)$$

Donde:

$$x = \varepsilon_c / \varepsilon_{cc} \quad (2)$$

$$r = E_c / (E_c - E_{sec}) \quad (3)$$

$$E_{sec} = f'_{cc} / \varepsilon_{cc} \quad (4)$$

En términos conceptuales, "x" representa una corrección a la deformación longitudinal del hormigón, producto de un incremento de la energía interna de deformación, la cual ocurre a partir de la presión de confinamiento proporcionada por la armadura transversal del elemento. El factor "r" proporciona la corrección en la deformación del hormigón a través de considerar el incremento de ductilidad brindado por la antes mencionada armadura transversal.

Llamando a:

f'_c : Resistencia a compresión en probeta cilíndrica.

$E_c = 5000 \sqrt{f'_c}$: Módulo de elasticidad tangente inicial, expresando f'_c en Mpa.

$\varepsilon_{c0} = -0.002$: Deformación a la resistencia no confinada, donde el signo (-) indica compresión.

Se establecen las siguientes relaciones:

$$f'_{c0} = 0.85 f'_c \quad (5)$$

$$f'_{cc} = K_{cc} f'_{c0} \quad (6)$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{c0} (1 + R(K_{cc} - 1)) \quad (7)$$

Con f'_{c0} resistencia in-situ del hormigón no confinado y $f'_{cc}, \varepsilon_{cc}$ tensión y deformación a la resistencia máxima.

En la ecuación (7) es $1 < R < 5$: un parámetro calibrado con resultados experimentales y K_{cc} factor que depende de la presión de confinamiento f_{rx}, f_{ry} dado por la armadura transversal.

Para: $f_r = \frac{1}{2} (f_{rx} + f_{ry})$, siempre que $0.40 \leq f_{rx} / f_{ry} \leq 2.50$ (8)

Resulta:

$$K_{cc} = \frac{f'_{cc}}{f'_{c0}} = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_r}{f'_{c0}}} - 2 \frac{f_r}{f'_{c0}} - 1.254 \quad (9)$$

Las presiones de confinamiento se calculan con:



$$f_{rx} = \frac{A_{sx}}{s h_c} f_{yh} k_e \quad f_{ry} = \frac{A_{sy}}{s b_c} f_{yh} k_e \quad (10)$$

Donde:

A_{sx}, A_{sy} : Áreas de la armadura transversal en la dirección x e y.

s : separación entre capas de armadura transversal.

h_c, b_c : Dimensiones del núcleo de hormigón perpendicular a las direcciones x e y respectivamente.

f_{yh} : Tensión de fluencia de la armadura transversal.

k_e : Factor de efectividad de confinamiento que depende de la forma y disposición de la armadura transversal.

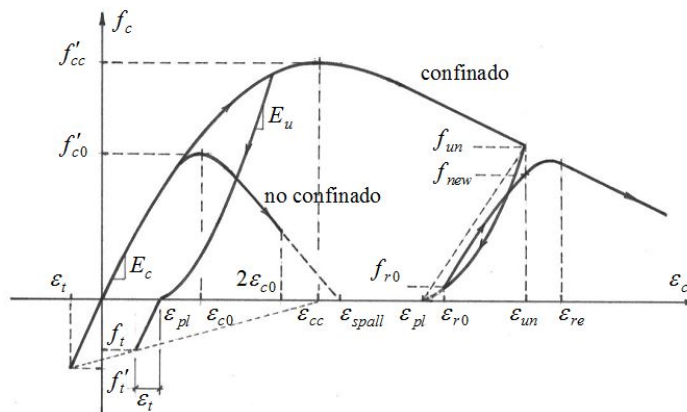


Figura 3: Relación tensión deformación del hormigón.

Acero para hormigón estructural.

Para representar el comportamiento mecánico del acero, se utiliza el modelo propuesto por Park (1988), el cual discrimina tres zonas en el mismo: la primera de carácter lineal conocido " E_s " como el módulo de Elasticidad longitudinal del material; la segunda zona es una meseta conocida como zócalo de fluencia, en la cual la deformación aumenta a tensión constante; la tercer zona comienza cuando el material adquiere posibilidad de incremento de tensiones a consecuencia del reordenamiento de su estructura interna, ocurrido en el segmento de fluencia, conforme se detalla en la Figura 4.



$$f_s = E_s \varepsilon_s \quad 0 \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_y \quad (11)$$

$$f_s = f_y \quad \varepsilon_y \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sh} \quad (12)$$

$$f_s = f_{su} + (f_y - f_{su}) \left| \frac{\varepsilon_{su} - \varepsilon_s}{\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh}} \right|^p \quad \varepsilon_{sh} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su} \quad (13)$$

$$\text{Dónde: } p = E_{sh} (\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh}) / (f_{su} - f_y) \quad (14)$$

Siendo:

E_s : Módulo de elasticidad del acero ADN.

E_{sh} : Módulo tangente al inicio del endurecimiento.

f_y : Tensión de fluencia.

f_{su} : Tensión última;

ε_{sh} : Deformación al final del plafón de fluencia.

ε_{su} : Deformación última a f_{su} .

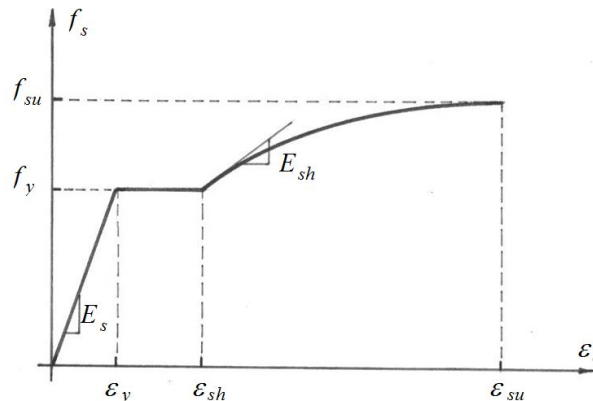


Figura 4. Modelo constitutivo para acero de hormigón estructural

Procedimiento de Diseño de la sección.

Se adopta para el presente trabajo el procedimiento establecido en Reglamento CIRSOC201 – 2005 y sus comentarios tomando base en la condición de resistencia establecida por el mencionado:

$$\phi Mn \geq Mu \quad (15)$$

El mecanismo resistente adoptado para la resolución del problema de una sección solicitada a Flexión, se muestra en la figura 5. En ella se puede interpretar el conjunto de hipótesis definidas para el procedimiento [Möller, 2007], a saber: la proporcionalidad entre deformaciones para el

hormigón comprimido y el acero traccionado, la deformación última admitida para el hormigón, la relación constitutiva adoptada para el material acero, la inhibición de aporte en términos de resistencia a tracción por parte del hormigón, la aproximación de la distribución de tensiones de compresión en el hormigón, y la simplificación admitida por el reglamento adoptado.

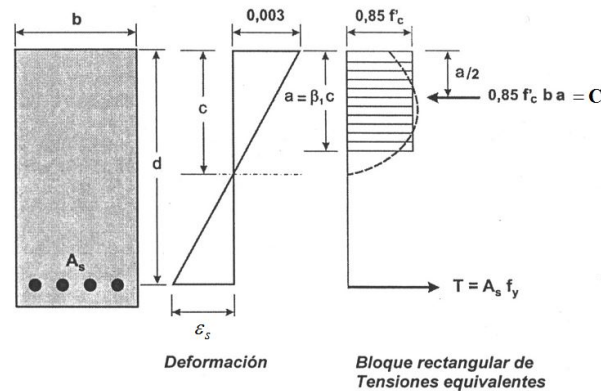


Figura 5. Sección de hormigón estructural sometida a flexión

Luego el problema se reduce a la implementación de la solución de un sistema de ecuaciones con las siguientes características: ecuaciones de equilibrio, ecuaciones de compatibilidad de deformaciones, y ecuaciones constitutivas. Planteadas las condiciones de equilibrio para la sección, y definidas las reglas que rigen la compatibilidad de deformaciones asumida para el problema, se deben interactuar con las leyes constitutivas de cada material componente de la sección compuesta, para lograr la reducción de incógnitas en el sistema de ecuaciones planteado. Por ser un sistema de ecuaciones no lineales [Möller, 2007], se debe resolver iterando. Para ello se utiliza en el presente trabajo una herramienta preparada en planilla de cálculo digital, que resuelve la condición de resistencia para la sección. Para el análisis no se tuvo en cuenta las condiciones de verificación a esfuerzo de corte.

Una vez obtenidos valores de cuantías para las secciones críticas, se efectúa una discusión sobre los resultados obtenidos para los 3 modelos. El objeto se enfoca en obtener conclusiones desde un punto de vista profesional, a la hora de sopesar el proceso de selección de herramientas de cálculo para el diseño de losas de hormigón armado, tomando como ejemplo los casos típicos utilizados en la provincia de Misiones.



Resultados y Discusión

En la tabla 1, se presentan los resultados obtenidos, en términos de esfuerzos característicos en secciones críticas, para los 3 modelos analizados.

MODELO 1-Calculo Manual por Tablas UNSA - Envoltente de cargas					
LOSA	M _x	M _{xe}	M _y	M _{ye} izquierda	M _{ye} derecha
	KN- m/m	KN- m/m	KN- m/m	KN-m/m	KN-m/m
L001	5.340	0	5.460	0.00	15.29
L002	3.6	0	3.52	0	10.27
L003	0	0	0	8.32	0

MODELO 2-SAP2000 14.1.0 - Envoltente de cargas					
LOSA	M _x	M _{xe}	M _y	M _{ye} izquierda	M _{ye} derecha
	KN- m/m	KN- m/m	KN- m/m	KN-m/m	KN-m/m
L001	2.659	3.076	2.610	3.217	3.786
L002	2.847	2.13	2.007	3.786	3.385
L003	0	0	0	3.385	

MODELO 3- ETABS 15.0.0 - Envoltente de cargas					
LOSA	M _x	M _{xe}	M _y	M _{ye} izquierda	M _{ye} derecha
	KN- m/m	KN- m/m	KN- m/m	KN-m/m	KN-m/m
L001	1.608	1.684	1.583	1.751	3.333
L002	2.847	0.947	2.007	3.333	2.400
L003	0	0	0	2.400	

Tabla 1. Solicitaciones en secciones críticas para los modelos analizados.

A primera vista se observó que el modelo 1 es diferente en términos de resultados de esfuerzos en bordes de las losas, cuestión que se observa, viendo resultados de la respuesta de la estructura, analizada por elementos finitos, en los modelos 2 y 3. Aun así la envoltente de esfuerzos en cada



dirección se aproxima con bastante precisión en los 3 casos, lo cual da a entender que los modelos son consistentes en un nivel de precisión razonable y esperada. A la vez, si observamos se puede entender que la rigidez torsional en el caso de los modelos 2 y 3 permitió considerar la aparición de esfuerzos de flexión en bordes de las losas, con la consecuente reducción de momentos en los tramos. Este hecho puntual no se suele tener en cuenta en el cálculo manual, al implementar procedimientos de análisis estructural para losas bidireccionales mediante el uso de tablas de solicitaciones. Por tanto en la tabla 2 se presentan los valores de Sección de acero necesaria obtenidas para los 3 modelos. Se sabe además que dicho fenómeno está considerado en el CIRSOC 201, al exigir en bordes de losas, un valor mínimo de cuantía.

Con respecto al dimensionado de armaduras, se observaron diferencias sustanciales entre los modelos 1, respecto de los modelos 2 y 3, en términos del consumo de acero necesario por condición de resistencia. Con respecto a los parámetros adimensionales, se observó diferencia considerable entre los modelos, además de la apreciación de haber trabajado con estados de carga típicos de edificios de cargas livianas. Las diferencias porcentuales de consumo, se pudieron apreciar diferencias de hasta un 65 %, lo cual llama la atención, si se piensa desde el enfoque de asumir valores de cuantía usuales en las estructuras.

LOSAS	ec	es	Kc	Kz	Kd	d	z	Mn	As/nerv	observaciones
L001	0.0030	0.1601	0.0184	0.9922	1.95	0.150	0.1488	5.93 KN/m/m	0.59cm ² /nerv.	Mx
L001	0.0030	0.1565	0.0188	0.9920	1.93	0.150	0.1488	6.07 KN/m/m	0.60cm ² /nerv.	My
L001	0.0030	0.1000	0.0291	0.9876	1.55	0.150	0.1481	9.35 KN/m/m	0.93cm ² /nerv.	Mxe
L001	0.0030	0.1000	0.0291	0.9876	1.55	0.150	0.1481	9.35 KN/m/m	0.93cm ² /nerv.	Mye izquierda
L001	0.0030	0.0531	0.0535	0.9773	1.15	0.150	0.1466	16.99 KN/m/m	1.71cm ² /nerv.	Mye derecha
L002	0.0030	0.2396	0.0124	0.9947	2.37	0.150	0.1492	4.00 KN/m/m	0.40cm ² /nerv.	Mx
L002	0.0030	0.2451	0.0121	0.9949	2.40	0.150	0.1492	3.91 KN/m/m	0.39cm ² /nerv.	My
L002	0.0030	0.1000	0.0291	0.9876	1.55	0.150	0.1481	9.35 KN/m/m	0.93cm ² /nerv.	Mxe
L002	0.0030	0.1000	0.0291	0.9876	1.55	0.150	0.1481	9.35 KN/m/m	0.93cm ² /nerv.	Mye izquierda
L002	0.0030	0.0812	0.0356	0.9849	1.40	0.150	0.1477	11.41 KN/m/m	1.14cm ² /nerv.	Mye derecha
L003	0.0030	0.1000	0.0291	0.9876	1.55	0.150	0.1481	9.35 KN/m/m	0.93cm ² /nerv.	Mx
L003	0.0030	0.1000	0.0291	0.9876	1.55	0.150	0.1481	9.35 KN/m/m	0.93cm ² /nerv.	My
L003	0.0030	0.1000	0.0291	0.9876	1.55	0.150	0.1481	9.35 KN/m/m	0.93cm ² /nerv.	Mxe
L003	0.0030	0.1012	0.0288	0.9878	1.56	0.150	0.1482	9.24 KN/m/m	0.92cm ² /nerv.	Mye izquierda
L003	0.0030	0.1000	0.0291	0.9876	1.55	0.150	0.1481	9.35 KN/m/m	0.93cm ² /nerv.	Mye derecha
									13.20 cm²/m	



LOSAS	ec	es	c	Kz	Kd	d	z	Mn	As/nerv	observaciones
L001	0.0030	0.3259	0.0091	0.9961	2.76	0.150	0.1494	2.95 KN/m/m	0.29cm ² /nerv.	Mx
L001	0.0030	0.3321	0.0090	0.9962	2.79	0.150	0.1494	2.90 KN/m/m	0.29cm ² /nerv.	My
L001	0.0030	0.2811	0.0106	0.9955	2.57	0.150	0.1493	3.42 KN/m/m	0.34cm ² /nerv.	Mxe
L001	0.0030	0.2686	0.0110	0.9953	2.51	0.150	0.1493	3.57 KN/m/m	0.35cm ² /nerv.	Mye izquierda
L001	0.0030	0.2276	0.0130	0.9945	2.31	0.150	0.1492	4.21 KN/m/m	0.42cm ² /nerv.	Mye derecha
L002	0.0030	0.3041	0.0098	0.9958	2.67	0.150	0.1494	3.16 KN/m/m	0.31cm ² /nerv.	Mx
L002	0.0030	0.4331	0.0069	0.9971	3.18	0.150	0.1496	2.23 KN/m/m	0.22cm ² /nerv.	My
L002	0.0030	0.4078	0.0073	0.9969	3.08	0.150	0.1495	2.37 KN/m/m	0.23cm ² /nerv.	Mxe
L002	0.0030	0.2276	0.0130	0.9945	2.31	0.150	0.1492	4.21 KN/m/m	0.42cm ² /nerv.	Mye izquierda
L002	0.0030	0.2551	0.0116	0.9951	2.45	0.150	0.1493	3.76 KN/m/m	0.37cm ² /nerv.	Mye derecha
L003	0.0030	0.2000	0.0148	0.9937	2.17	0.150	0.1491	4.77 KN/m/m	0.47cm ² /nerv.	Mx
L003	0.0030	0.2000	0.0148	0.9937	2.17	0.150	0.1491	4.77 KN/m/m	0.47cm ² /nerv.	My
L003	0.0030	0.2000	0.0148	0.9937	2.17	0.150	0.1491	4.77 KN/m/m	0.47cm ² /nerv.	Mxe
L003	0.0030	0.2551	0.0116	0.9951	2.45	0.150	0.1493	3.76 KN/m/m	0.37cm ² /nerv.	Mye izquierda
L003	0.0030	0.2000	0.0148	0.9937	2.17	0.150	0.1491	4.77 KN/m/m	0.47cm ² /nerv.	Mye derecha

5.50 cm²/m

LOSAS	ec	es	Kc	Kz	Kd	d	z	Mn	As/nerv	observaciones
L001	0.0030	0.5416	0.0055	0.9977	3.55	0.150	0.1496	1.79 KN/m/m	0.18cm ² /nerv.	Mx
L001	0.0030	0.5503	0.0054	0.9977	3.58	0.150	0.1497	1.76 KN/m/m	0.17cm ² /nerv.	My
L001	0.0030	0.5170	0.0058	0.9975	3.47	0.150	0.1496	1.87 KN/m/m	0.18cm ² /nerv.	Mxe
L001	0.0030	0.4971	0.0060	0.9975	3.40	0.150	0.1496	1.95 KN/m/m	0.19cm ² /nerv.	Mye izquierda
L001	0.0030	0.2591	0.0114	0.9951	2.46	0.150	0.1493	3.70 KN/m/m	0.37cm ² /nerv.	Mye derecha
L002	0.0030	0.3041	0.0098	0.9958	2.67	0.150	0.1494	3.16 KN/m/m	0.31cm ² /nerv.	Mx
L002	0.0030	0.4331	0.0069	0.9971	3.18	0.150	0.1496	2.23 KN/m/m	0.22cm ² /nerv.	My
L002	0.0030	0.9227	0.0032	0.9986	4.62	0.150	0.1498	1.05 KN/m/m	0.10cm ² /nerv.	Mxe
L002	0.0030	0.2591	0.0114	0.9951	2.46	0.150	0.1493	3.70 KN/m/m	0.37cm ² /nerv.	Mye izquierda
L002	0.0030	0.3615	0.0082	0.9965	2.90	0.150	0.1495	2.67 KN/m/m	0.26cm ² /nerv.	Mye derecha
L003	0.0030	0.2000	0.0148	0.9937	2.17	0.150	0.1491	4.77 KN/m/m	0.47cm ² /nerv.	Mx
L003	0.0030	0.2000	0.0148	0.9937	2.17	0.150	0.1491	4.77 KN/m/m	0.47cm ² /nerv.	My
L003	0.0030	0.2000	0.0148	0.9937	2.17	0.150	0.1491	4.77 KN/m/m	0.47cm ² /nerv.	Mxe
L003	0.0030	0.3615	0.0082	0.9965	2.90	0.150	0.1495	2.67 KN/m/m	0.26cm ² /nerv.	Mye izquierda
L003	0.0030	0.2000	0.0148	0.9937	2.17	0.150	0.1491	4.77 KN/m/m	0.47cm ² /nerv.	Mye derecha

4.51 cm²/m

Tabla 2. Diseño a flexión de las secciones críticas en los modelos analizados.

Conclusiones

Se analizó un prototipo estructural representativo de la zona de misiones, calculando esfuerzos característicos por dos metodologías, en una de las cuales se utilizaron códigos de elementos finitos similares, pero con configuraciones diferentes, una de ellas orientada al caso de edificios en altura. Respecto al dimensionado de las secciones críticas, estas se efectuaron para los valores extremos obtenidos de la respuesta en cada modelo, llegando a concluir que existen diferencias considerables entre valores obtenidos de un cálculo manual por tablas de coeficientes para losas bidireccionales, y los analizados mediante técnicas de elementos finitos.



Estas diferencias se deben al efecto de rigidez torsional que ocurre en bordes de los entrepisos, los cuales se pueden obtener con bajo costo computacional de los modelos digitales que se resuelven por método de elementos finitos, que a su vez permiten niveles de representación estructural de mayor precisión en lo que a comportamiento mecánico respecta.

A futuro se prevé estudiar la incidencia de este efecto torsional en vigas de borde, a efectos de evaluar las solicitaciones de torsión que deben incorporarse a estas, y su impacto en el diseño estructural.

Referencias

Mander, J.B., M.J.N. Priestley, and R. Park 1984. Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete. Journal of Structural Engineering. ASCE.

Ferreira U., Verificación De Tablas Para El Cálculo De Solicitaciones En Losas Macizas Y Nervura das. <http://hormigonarmado-fiobera.wikispaces.com/> , 2012.-

Bernal j., Losas: estudio de las bases de hormigón armado, diseño, cálculo y dimensionado, Editorial Nobuko, 2005.-

Möller, O., Hormigón Armado – Conceptos básicos y diseño de elementos con aplicación del reglamento CIRSOC 201-2005, 4ta Edición, 2007.-

Popovics, S., A numerical approach to the complete stress strain curves for concrete. Cement and concrete research, pp. 583-599, 1973.

CIRSOC 201 “Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón”, Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, 2005.-