

EVALUACIÓN DE ESFUERZOS Y ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES EN PLATEA DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS SOCIALES - IMPORTANCIA DEL MODELO DE ANÁLISIS EMPLEADO

Hugo O. Reinert^a, Javier A. Duarte^a, Ángel A. Lugo^b, Gabriel A. De Sousa^b

^(a) *Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones, Juan Manuel de Rosas N°325, CP: 3360, Oberá, Misiones, Argentina, reinert@fio.unam.edu.ar*

^(b) *Estudiante de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones, Juan Manuel de Rosas N°325, CP: 3360, Oberá, Misiones, Argentina.*

Palabras Clave: Solicitaciones, Elementos finitos, Platea, Interacción suelo-cimentación.

Resumen. La tipología de fundación empleada en viviendas sociales que conforman los conjuntos habitacionales financiados por el estado provincial en Misiones, está conformado por una platea de cimentación con refuerzos de vigas de hormigón armado según la configuración de paredes de la vivienda.

Estas plateas se ejecutan en un espesor próximo a los 0.10 metros, con malla única de armadura dispuesta en la mitad del espesor, empleándose malla soldada estándar de 15 x 15 centímetros y 6 milímetros de diámetro de tipo ADN 420. Las vigas de refuerzo bajo paredes exteriores se ejecutan con hierros de 8 milímetros y estribos de hierros de 6 milímetros cada 15 centímetros.

El nivel de desplante de la platea no supera los 0.15 metros, con lo que se encuentra a nivel muy superficial. Es por ello que se realiza un tratamiento del suelo de apoyo mediante la ejecución de compactación mecánica de un espesor mínimo de 0.30 metros, generándose lo que comúnmente se denomina "platea natural de suelo", a fin de mejorar la base de asiento de la platea de hormigón no solo en cuanto a resistencia del suelo, sino también en cuanto a su estabilidad en el tiempo ante los cambios de condiciones climáticas.

En el presente trabajo, se desarrollan comparaciones numéricas y conceptuales entre tres modelos simulados. El primero es un modelo simplificado de platea con vigas de refuerzo bajo paredes perimetrales, actuando todos los demás elementos constitutivos de la vivienda como cargas externas sobre la platea y las vigas de refuerzo. El segundo, es un modelo elaborado considerando no solo la platea con vigas de refuerzo bajo paredes perimetrales, sino también los refuerzos verticales y encadenado superior de hormigón armado, interactuando con los diafragmas propios de las mamposterías de cerramiento de las viviendas. El tercer modelo repite la metodología del segundo pero sin refuerzos bajo paredes.

En los tres casos, la simulación numérica permite considerar la interacción con el suelo mediante la incorporación de resortes de comportamiento elástico lineal, lo cual es aceptable para bajas deformaciones.

Como resultados del trabajo, se dan comparaciones en valores de deformaciones y solicitaciones, conforme los tres modelos propuestos, destacándose las diferencias obtenidas en el modelado del conjunto de la vivienda respecto del modelo simplificado.

1 INTRODUCCIÓN

Las tipologías edilicias de uso en la provincia de Misiones se sitúan en diferentes contextos según la región en que se efectúe la revisión. Tanto tecnológicamente, como en termino de construcción de edificios, está condicionada no solo por los usos y costumbres, sino también por la disponibilidad de recursos materiales.

En el caso particular de las viviendas sociales que conforman conjuntos habitacionales, las mismas presentan características de diseño y constructivas conforme se detallan en la Figura 1, y están definidas en forma general por las especificaciones del Instituto Provincial de Desarrollo Habitacional (IProDHa) para el prototipo de vivienda "D/10" aprobado en septiembre de 2010.

Respecto de los sistemas de cimentación, el Pliego de Especificaciones (IProDHa, 2010) permite la resolución mediante cuatro variantes:

a) Zapata corrida de hormigón armado: de 0,40 m de ancho por 0,20 m de alto, de H°A° 1:3:3 y armadura longitudinal de 6 hierros del 8mm (3 abajo y 3 arriba), y estribos del 6mm cada 0,20 m, no siendo necesario la ejecución del encadenado inferior, y a una profundidad de 0,60 m como mínimo, medida desde el nivel de terreno exterior a cota de fundación, siempre y cuando esté sobre terreno natural, en caso contrario se profundizará lo que sea necesario hasta llegar al mismo.

b) Zapata corrida de Hormigón ciclópeo: Ancho mínimo: 0,35 m, altura mínima 0,30 m y profundidad de fundación 0,60 m., medido desde el nivel del terreno a la cota de fundación, siempre y cuando esté sobre terreno natural, en caso contrario se profundizará lo que sea necesario hasta llegar al mismo. Se deberá ejecutar para este tipo de fundaciones viga de encadenado inferior de H° A°.

c) Platea de Hormigón Armado. Espesor mínimo: 0,10 m de H° A° 1:3:3 con una malla reticulada de 1 hierro del 6 mm cada 0,15 m en ambos sentidos y vigas de refuerzo perimetrales exterior de 0,20 m x 0,20 m con 4 hierros del 8 mm y estribos del 6 mm cada 0,15 m.

d) Pilotines de Hormigón: de 0,20 m de diámetro con armadura de 3 hierros del 8 mm y estribos tipo espiral de hierros del 6 mm con una profundidad que asegure su inserción en suelo natural y resistente, no menor nunca a los 1,50 m de profundidad inicial, y vigas de encadenado de H° A° de 0,20 m x 0,20 m con 2 hierros del 8 mm arriba y 2 hierros del 8 mm abajo con estribos del 6 mm cada 0,25 m. Distancia máxima entre pilotines 2,00 m.

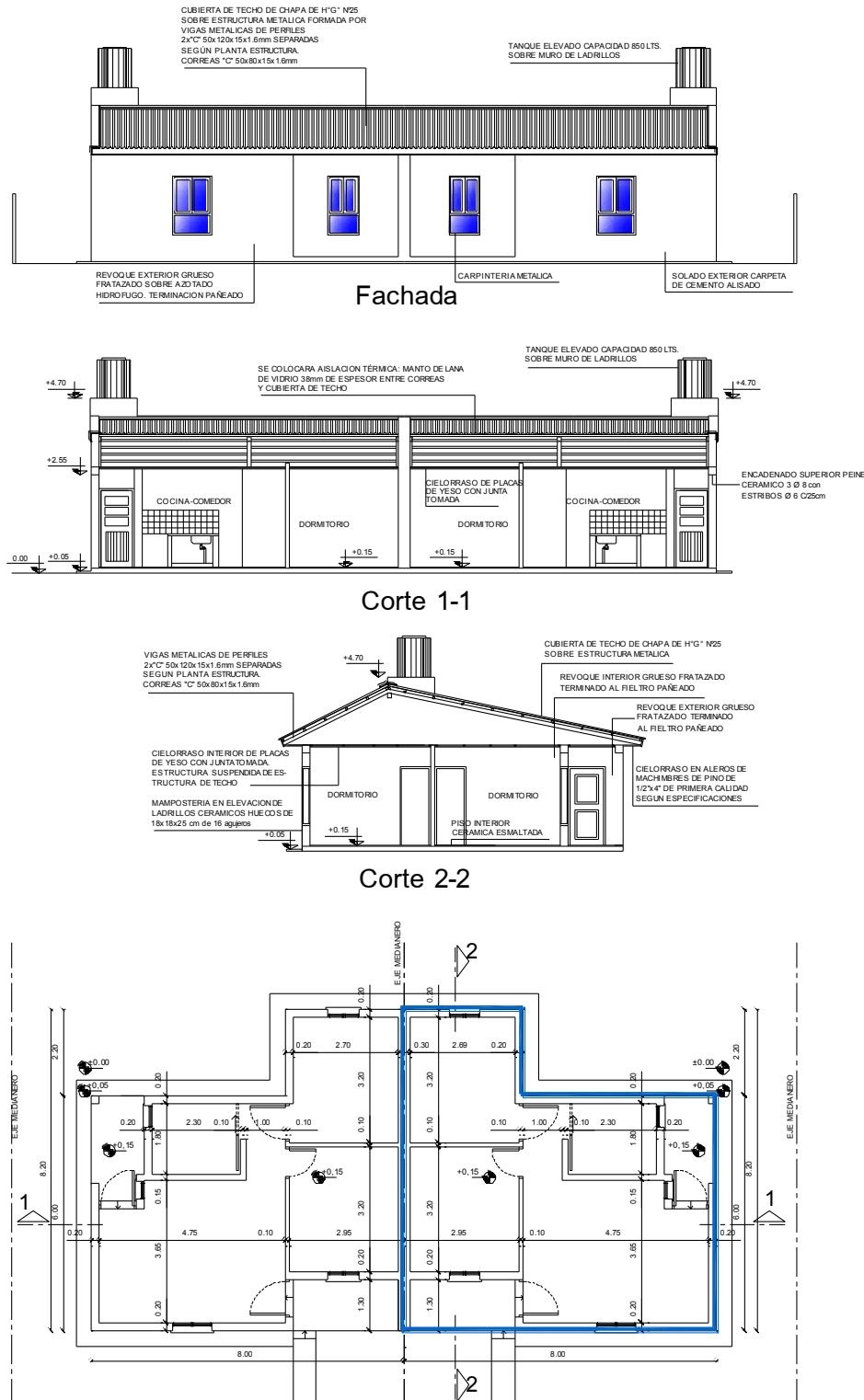
En todos los casos, son las empresas constructoras quienes a criterio y responsabilidad propia, con la correspondiente aceptación de la Inspección de Obra, deciden la tipología de cimentación a emplear.

De esta manera, las posibilidades de análisis de desempeño estructural de las viviendas sociales resulta muy amplia, y sin lugar a dudas amerita un estudio específico en cada caso a fin de poder definir con criterio científico y tecnológico la solución más conveniente, conforme las variables analizadas, en este caso puntual la interacción suelo y sistema de fundación.

Como se mencionara precedentemente, en la Figura 1 se da una descripción gráfica del prototipo edilicio adoptado para el análisis del presente trabajo. El mismo se compone de dos viviendas apareadas con pared divisoria compartida, y dada las características de simetría presentada, se planean los modelos simplificando el análisis a una sola vivienda, incorporando las condiciones de borde que representan la continuidad necesaria de la simulación.

Cada vivienda acusa una superficie próxima a los 55 m², con cerramiento perimetral

ejecutado con ladrillo cerámico hueco (LCH) portante misionero de 16 agujeros horizontales y dimensiones de 0,18 m x 0,18 m x 0,25 m. Los tabiques interiores son de ladrillos cerámicos huecos de 0,12 m x 0,18 m x 0,25 m y 0,08 m x 0,18 m x 0,25 m según su ubicación.



Planta Tipo - Viviendas apareadas - Prototipo D/10 (IProDHa)

Figura 1: Características básicas de diseño y constructivas. Vivienda Prototipo D/10 (IProDHa).

Como cerramiento superior, la vivienda cuenta con techo de chapa de cinc apoyado sobre sistema de correas y cabios, previstos en perfil de chapa doblada en frío, sección “C” de dimensiones según cálculo, de tipo simple para las correas y doble para los cabios.

En el presente trabajo se propone como objetivo inicial, desarrollar comparaciones conceptuales y numéricas entre tres modelos simulados, analizando solamente el empleo de cimentación mediante platea de hormigón armado, con la idea de evaluar y aportar información sobre mecanismos de interacción entre suelo y fundación.

Esto permitirá definir nuevos horizontes en materia de optimización para este tipo de proyectos, dado que los tópicos propuestos de ser analizados, brindan información importante en cuanto a racionalización de recursos y optimización de sistemas constructivos.

Se define así el planteo de tres modelos a simular:

Caso I: Modelo simplificado de platea con vigas de refuerzo bajo paredes perimetrales, actuando todos los demás elementos constitutivos de la vivienda como cargas externas sobre la platea.

Caso II: Modelo elaborado considerando no solo la platea con vigas de refuerzo bajo paredes perimetrales, sino también los refuerzos verticales y encadenado superior de hormigón armado, interactuando con los diafragmas propios de las mamposterías de cerramiento de la vivienda.

Caso III: Modelo equivalente al propuesto en el caso anterior pero sin vigas refuerzo bajo paredes.

En los tres casos, la simulación numérica permite considerar la interacción con el suelo mediante la incorporación de resortes de comportamiento elástico lineal, lo cual es aceptable para bajas deformaciones.

Como comparación entre los tres casos modelados se propone analizar las deformaciones obtenidas en puntos característicos de la platea (encuentros de vigas y tramos centrales de paredes); distorsión angular inducida en paredes; momentos solicitantes en puntos característicos de la platea; y esfuerzos máximos en vigas de refuerzo y su ubicación (caso I y II).

2 METODOLOGÍA

El abordaje del estudio de las fundaciones empleadas en viviendas sociales mediante el planteo de las tres variantes propuestas, conforme las descripciones precedentes, se realiza a partir de la modelación digital en el software de análisis estructural SAP2000 versión V.14.1.0, que permite el análisis del problema por el método de los elementos finitos.

2.1 Geometría

Como aspectos generales de conformación del modelo geométrico, se emplean:

- *Joint* (punto): para definir restricciones de grados de libertad, principio y fin de barras, esquinas de elementos área, puntos de aplicación de cargas, etc.

- *Frame* (barra): para definir elementos lineales (necesariamente requieren de dos puntos, uno de inicio y otro de fin de elemento), se emplean para la definición de los encadenados, refuerzos horizontales y verticales, entre otros.

- *Area* (área): para definir objetos (necesariamente requieren de tres o más puntos para conformarse), se emplean para la definición de los diafragmas de pared, losa de platea, etc.

Como criterio para mejorar el ajuste del método de elementos finitos, se emplea la

herramienta “auto-mallado”, con una refinación de malla conforme tamaño máximo definido. Tanto para los elementos barra, como para los elementos área, se define en el presente trabajo, una subdivisión de elementos a fin de establecer como tamaño máximo de elementos internos de 0.09 m, es decir la mitad del largo de los ladrillos cerámicos empleados en la mampostería.

2.2 Materiales

En el presente apartado se detallan las características mecánicas de los diferentes materiales empleados, destacándose los valores de los parámetros de referencia empleados en las tres modelaciones. Es así que se da una breve descripción de los siguientes materiales: suelo, hormigón armado, y mampostería de ladrillos cerámicos huecos (portantes y no portantes) revocados.

2.2.1 Suelo

Los parámetros geomecánicos de los suelos empleados en el presente trabajo, corresponden a ensayos realizados en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería de la U.Na.M. en el período 2007-2012 y las muestras empleadas para los ensayos fueron obtenidas de la zona centro de la Provincia de Misiones, y corresponden a suelos residuales de coloración rojiza, siendo los mismos los de mayor desarrollo en la región.

Sobre una base de análisis de treinta muestras de diferentes sitios, con las que se realizaron los ensayos específicos, se obtuvieron los valores medios de propiedades índice y geomecánicas indicados en la Tabla 1.

Parámetros	w %	γ_n kN/m ³	γ_d kN/m ³	e_i -	n %	S_i %	ϕ °	c kN/m ²	E kN/m ²
Valores medios	30,9	17,1	13,2	1,19	54,0	71,6	12	75,0	18.700

Tabla 1: Valores medios de parámetros índice y geomecánicos (w: Contenido de humedad; γ_n : Peso unitario húmedo; γ_d : Peso unitario Seco; e_i : Relación de vacíos; n: Porosidad; S_i : Grado de saturación).

Atendiendo a que los valores detallados corresponden a los resultados directos de ensayos, en el caso de los parámetros que aportan a la resistencia del suelo, se han aplicado factores de reducción a fin de considerar la importante variación de los parámetros mecánicos (cohesión, fricción y módulo elástico) con el cambio o variación del contenido de humedad del suelo.

En consecuencia, los valores de referencia asumidos para las modelaciones de la interacción suelo-estructura, con base en los resultados de ensayos citados y la experiencia en el ámbito profesional de la región (en especial valores de coeficiente de balasto y de Poisson) se detallan en la Tabla 2.

Parámetros	Ángulo de fricción ϕ (°)	Cohesión C kN/m ²	Módulo de Elasticidad E kN/m ²	Coefficiente de Balasto C_b kN/m ³	Coefficiente de Poisson ν -
Valores asumidos	10	50	15.000	20.000	0,30

Tabla 2: Parámetros geomecánicos empleados en el modelo.

En el Software el suelo se modela mediante el empleo de resortes de comportamiento elástico lineal, a través del módulo *area springs*, donde se da el valor de la resistencia por unidad de área, con la opción de trabajo solo a compresión.

2.2.2 Hormigón armado

El hormigón armado empleado comúnmente en este tipo de obras se corresponde con el denominado H-20 (CIRSOC 201, 2005). En el caso de estudio se emplea este material en la platea de cimentación, en las vigas de refuerzo (caso I y II), en los refuerzos verticales de esquina en la mampostería de cerramiento perimetral, y en las vigas de encadenado superior.

En el Software se definen las características del hormigón y del acero mediante el módulo *Section Designer*. En el mismo se detalla la geometría de la sección compuesta, la resistencia especificada y el módulo de elasticidad de cada material, entre otros parámetros demandados.

Para este hormigón se ha establecido la descripción constitutiva del material en el campo plástico mediante el modelo de Takeda (1970).

La definición de la curva tensión-deformación del hormigón sigue el modelo propuesto por Mander *et al.* (1984), mientras que para representar el comportamiento mecánico del acero, se utiliza el modelo propuesto por Park (1988).

2.2.3 Mampostería de ladrillos cerámicos huecos (portantes y no portantes) revocados

La mampostería de ladrillo cerámico hueco (LCH) de 0,18 m x 0,18 m x 0,25 m y 16 agujeros horizontales es comúnmente considerado como portante, mientras que los ladrillos de menores dimensiones empleadas en tabiques interiores son asumidos como no portantes.

Los parámetros mecánicos empleados para los ladrillos cerámicos huecos portantes con relación de vacíos menor al 60% se adoptaron conforme las especificaciones y recomendaciones planteadas en el reglamento CIRSOC 501 (2005), destacándose los siguientes parámetros:

- Modulo Elástico: E_m (Cirsoc 501): $850 \cdot f'_m = 2112.4$ MPa.
- Modulo de Corte: G_m (adoptado): $0.33 \cdot E_m = 707.7$ MPa
- Coeficiente de Poisson adoptado = 0.49

Respecto a la relación constitutiva, se asumió ante la falta de información expeditiva, la relación detallada en la Tabla 3. Se adopta el criterio en función a las características expuestas en el material, lo cual deja para futuros trabajos una serie de cuestiones a estudiar.

Como actividad reciente y de obtención de valores experimentales, se están iniciando actividades de ensayos de mampostería portante en la Facultad de Ingeniería de la U.Na.M., lo que permitirá ajustar en mejor medida las ecuaciones constitutivas en futuros trabajos.

ε	σ
(-)	(kN/m ²)
0	0
3.00E-03	2485.2

Tabla 3: Relación tensión deformación adoptada para la mampostería.

Es importante acotar que la variación del coeficiente de Poisson afecta directamente la proporción entre módulos E y G, con lo cual es de esperar para diferentes valores de ν , diferentes órdenes de magnitud de transmisión de cargas, debiendo verificar si las diferencias ameritan un estudio más profundo de este parámetro, debiéndose recurrir nuevamente al campo experimental para su ajuste.

2.3 Estados de carga

Los estados de carga considerados en la modelación responden a los requerimientos normales de las viviendas de este tipo, analizándose:

- Peso propio: La simulación numérica permite evaluar el peso propio de los diferentes elementos componentes del modelo planteado. El peso propio de la estructura y cubierta de techo es incorporado a los modelos como carga externa.

- Sobrecarga de uso: Se incorpora como estado de carga en los tres modelos planteados, adoptándose una carga de 2 kN/m^2 aplicado en forma uniforme en todos los ambientes de la vivienda, es decir, en toda la platea que conforma la cimentación.

- Acción del viento: No se considera en las modelaciones, dado que en el tipo de obra modelada, los efectos debidos al viento generan succión en la estructura de techo, y esto no afecta a nivel de consideración las sollicitaciones en la platea.

2.4 Modelos planteados

2.4.1. Caso 1: Modelo simplificado de platea con vigas de refuerzo bajo paredes perimetrales.

Este es el modelo simplificado empleado tradicionalmente para la determinación de sollicitaciones de dimensionado y/o verificación estructural de la platea. En la Figura 2 se dan imágenes del modelo planteado en este caso.

Está conformado por la platea propiamente dicha de 0.10 metros de espesor con malla única de acero dispuesta en la mitad del espesor, empleándose malla soldada estándar de $0.15 \times 0.15 \text{ m}$ y 6 mm de diámetro de tipo ADN 420; y vigas de refuerzo bajo paredes perimetrales exteriores de $0,20 \text{ m} \times 0,30 \text{ m}$ con 4 hierros del 8 mm y estribos de hierro del 6 mm cada $0,15 \text{ m}$. El material empleado en ello es un hormigón tipo H20.

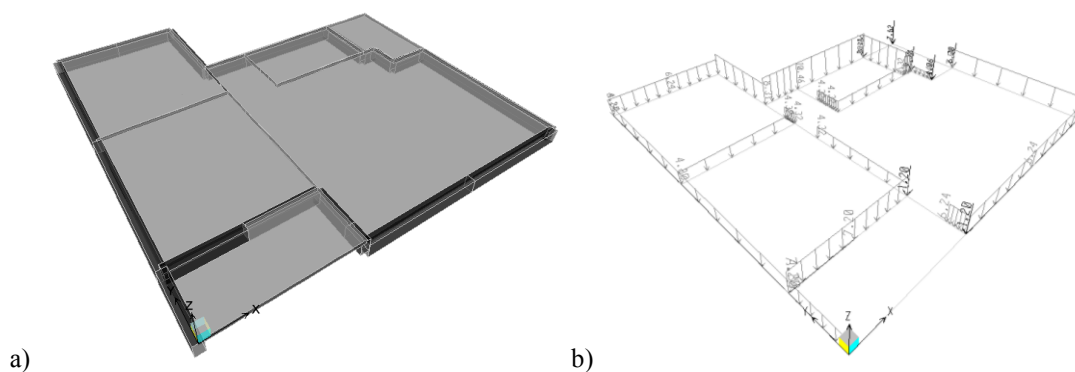


Figura 2: Caso I: Imagen del modelo. a) Modelo extruido; b) Detalle de aplicación de cargas.

Las cargas de las paredes de mampostería, refuerzos verticales de esquina, encadenado superior, ciellraso y estructura y cubierta de techo, son modelados como acciones externas aplicadas al modelo como cargas puntuales en nudos, distribuidas en vigas, y uniformes en losa de platea.

2.4.2. Caso 2: Modelo de platea con vigas de refuerzo bajo paredes perimetrales, refuerzos verticales y encadenado superior interactuando con diafragma de paredes.

En este modelo, se incorpora al análisis de la platea de 0.10 m de espesor con vigas de refuerzo de 0.20 m x 0.30 m bajo paredes exteriores, los refuerzos verticales de 0.18 m x 0.18 m en esquinas y/o encuentros de paredes exteriores, y encadenado superior perimetral de peine cerámico con armadura de 3 hierros del 8 mm y estribos de hierros del 6 mm cada 0.25 m. elaborado en hormigón tipo H20, interactuando con los diafragmas propios de las mamposterías de cerramiento de las viviendas.

El modelo evalúa por sí mismo el peso propio de los diferentes elementos componentes, incorporándose solamente como carga externa puntual en nudos de viga (encadenado superior) el peso propio de la estructura y cubierta de techo, y la sobrecarga de uso en los elementos área que conforman la platea de cimentación.

En la Figura 3, se da una imagen del modelo extruido, donde se aprecia la forma general de la vivienda, con la salvedad del cielorraso, y la estructura con la cubierta de techo que se incorporan como acción externa.

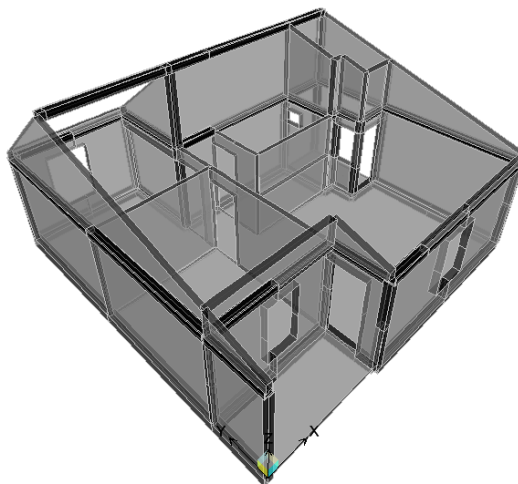


Figura 3: Caso II: Imagen del modelo extruido. Se observa la platea, vigas de refuerzo de platea, mampostería exterior e interior, refuerzos verticales y encadenado superior.

2.4.3. Caso 3: Modelo de platea sin vigas de refuerzo bajo paredes y con refuerzos verticales y encadenado superior interactuando con diafragma de paredes

En este modelo se repite la metodología del caso II, pero con la diferencia que no se considera la existencia de vigas de refuerzo de 0.20 m x 0.30 m bajo paredes exteriores. Para todo lo demás es aplicable la descripción presentada en el caso II, tanto en geometría, materiales, y acciones exteriores.

En la Figura 4, se da una imagen del modelo extruido, donde se aprecia que respecto del modelo del caso II, no se cuenta con vigas de refuerzo de platea bajo paredes perimetrales.

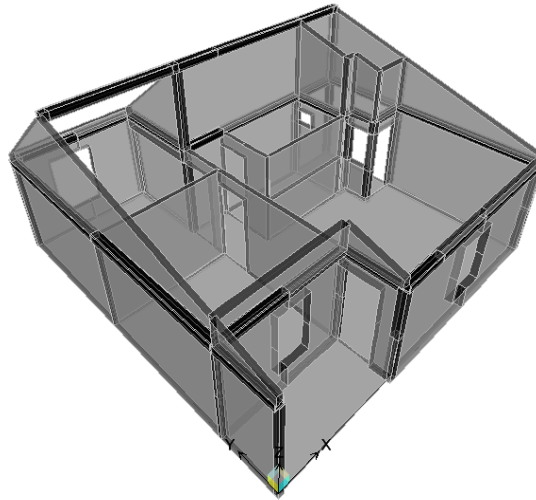


Figura 4: Caso III: Imagen del modelo extruido. Se observa la platea, mampostería exterior e interior, refuerzos verticales y encadenado superior.

3 PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS

Como criterio asumido para la presentación y análisis de resultados se propone analizar las deformaciones obtenidas en puntos característicos de la platea (encuentros de vigas y tramos centrales de paredes); distorsión angular inducida en paredes; momentos solicitantes en puntos característicos de la platea; y esfuerzos máximos en vigas de refuerzo y su ubicación (caso I y II).

Para ello se define en la Figura 5 los puntos característicos a analizar, que forman parte de los planos correspondientes a las vigas de refuerzo de platea (caso I y II).

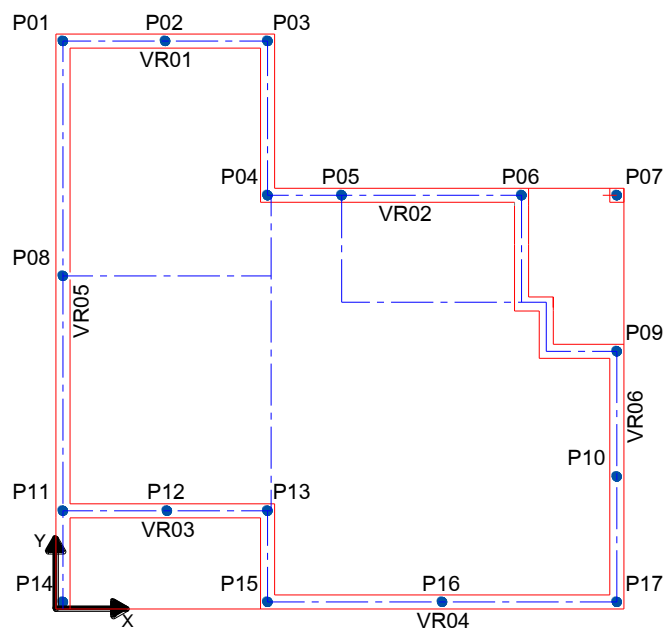


Figura 5: Detalle de designación de puntos característicos y vigas de refuerzo a analizar.

3.1 Análisis de deformaciones

En la Figura 6 y Tabla 4 y 5 se presentan los resultados obtenidos para los tres casos de modelación propuestos.

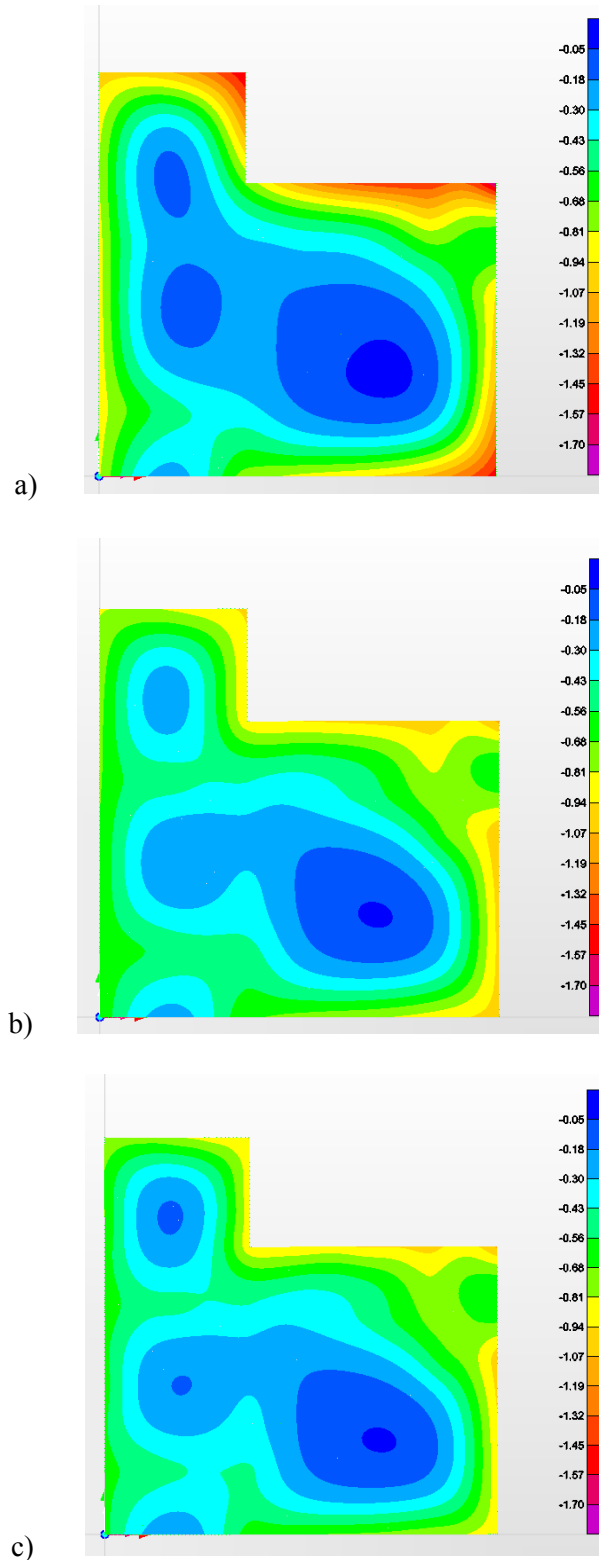


Figura 6: Desplazamientos U_z en milímetros: a) Caso I; b) Caso II; c) Caso III. Se dan los tres casos a igual rango de escala definida con valores extremos.

La Figura 6 muestra una representación gráfica de la distribución de deformaciones verticales (U_z) elaborado en igual rango de escala, la cual adopta como límites los valores extremos obtenidos para los tres casos modelados, a fin de poder mostrar y comparar en mejor medida las diferencias en las deformaciones obtenidas en cada caso.

En la Tabla 4 se detallan los valores de deformación obtenidos en los puntos característicos seleccionados para el análisis de resultados, presentándose no solo los valores puntuales, sino las diferencias entre los valores indicados según el caso analizado.

Designación	Deformación Caso I (m)	Deformación Caso II (m)	Deformación Caso III (m)	Diferencia Caso I-II (mm)	Diferencia Caso II-III (mm)	Diferencia Caso I-III (mm)
P01	-1.01E-03	-8.24E-04	-7.79E-04	-0.182	-0.046	-0.227
P02	-1.06E-03	-8.31E-04	-7.98E-04	-0.233	-0.033	-0.265
P03	-1.58E-03	-9.60E-04	-9.43E-04	-0.618	-0.018	-0.636
P04	-7.00E-04	-8.84E-04	-8.98E-04	0.185	0.013	0.198
P05	-1.11E-03	-9.37E-04	-9.30E-04	-0.176	-0.008	-0.183
P06	-1.41E-03	-9.99E-04	-9.90E-04	-0.406	-0.010	-0.416
P07	-1.75E-03	-1.10E-03	-1.09E-03	-0.650	-0.006	-0.655
P08	-8.63E-04	-6.99E-04	-6.50E-04	-0.164	-0.049	-0.213
P09	-9.49E-04	-1.04E-03	-1.00E-03	0.086	-0.034	0.052
P10	-1.08E-03	-9.84E-04	-9.14E-04	-0.098	-0.070	-0.168
P11	-8.78E-04	-6.56E-04	-6.01E-04	-0.222	-0.055	-0.277
P12	-4.74E-04	-5.07E-04	-4.48E-04	0.033	-0.059	-0.027
P13	-3.44E-04	-4.74E-04	-4.47E-04	0.130	-0.027	0.102
P14	-8.25E-04	-6.53E-04	-6.01E-04	-0.173	-0.052	-0.224
P15	-7.42E-04	-6.61E-04	-6.14E-04	-0.081	-0.048	-0.128
P16	-9.36E-04	-7.92E-04	-7.09E-04	-0.144	-0.083	-0.227
P17	-1.51E-03	-1.01E-03	-8.92E-04	-0.505	-0.113	-0.618

Tabla 4: Deformación obtenida en puntos característicos y diferencia entre casos analizados.

Asimismo, en la Tabla 5 se dan los resultados de la deformación diferencial y flecha máxima entre puntos característicos para los tres casos analizados, tomando como referencia las vigas de rigidización de platea consideradas, dado que sobre la posición de las mismas es donde se ubican las paredes exteriores de la vivienda.

El valor de flecha máxima considerado hace referencia a las recomendaciones de flechas máximas admisibles indicadas por el CIRSOC 201, asimilando criterios de límites de desplazamientos de la platea o de las vigas de rigidización en contacto con la mampostería de cerramiento. Específicamente se hace referencia a entresijos que soportan o están unidos a elementos no estructurales que pueden sufrir daños por grandes flechas, estableciéndose una limitación de $L/480$.

El análisis de los resultados presentados, permite observar que la respuesta en cuanto a deformaciones de los modelos propuestos en casos II y III son muy similares entre sí, y a su vez se diferencian del caso I, el cual al ser un modelo simplificado y no contar con la rigidización lineal sobre la platea que aportan los diafragmas de mampostería, cambian la respuesta del conjunto de la platea. Esto es visible en forma directa en el análisis de las gráficas de la Figura 6 y los valores presentados en la Tabla 4.

Asimismo, los valores presentados de deformación U_z en los puntos característicos seleccionados permiten afirmar además, que el modelo del caso I es el que mayores deformaciones totales presenta, alcanzando un valor máximo de 1.75 mm en P07, siendo éste, el punto de mayor deformación, y de un 60% superior a los demás casos planteados.

Como observación final se destaca la tendencia observada de aumento en los valores de deformación en los puntos correspondientes a esquinas o bordes sin continuidad estructural, subrayándose la coincidencia de los tres casos modelados en el punto de máxima y de mínima deformación, siendo los mismos el P07 y P13 respectivamente. En los demás puntos no se puede confirmar un patrón de deformaciones común entre los modelos planteados.

Designación	Caso I	Caso II	Caso III	Caso I	Caso II	Caso III
	VR01			VR02		
Puntos considerados	P01-P02-P03			P04-P05-P06		
Longitud (m)	2.90			3.60		
Deformación Diferencial (mm)	5.72E-01	1.36E-01	1.64E-01	7.06E-01	1.15E-01	9.21E-02
Flecha Límite (mm)	6.04E+00			7.50E+00		
Designación	Caso I	Caso II	Caso III	Caso I	Caso II	Caso III
	VR03			VR04		
Puntos considerados	P11-P12-P13			P15-P16-P17		
Longitud (m)	2.90			4.95		
Deformación Diferencial (mm)	5.34E-01	1.82E-01	1.54E-01	7.68E-01	3.44E-01	2.79E-01
Flecha Límite (mm)	6.04E+00			1.03E+01		
Designación	Caso I	Caso II	Caso III	Caso I	Caso II	Caso III
	VR05			VR06		
Puntos considerados	P01-P11-P14			P09-P10-P17		
Longitud (m)	8.00			3.60		
Deformación Diferencial (mm)	1.81E-01	1.72E-01	1.78E-01	5.61E-01	5.12E-02	1.09E-01
Flecha Límite (mm)	1.67E+01			7.50E+00		

Tabla 5: Deformación diferencial y flecha límite entre puntos característicos para los tres casos analizados.

Los valores de deformación diferencial entre puntos característicos para los tres casos analizados y resumidos en la Tabla 5, indican en todos los casos guarismos muy inferiores a los valores de flecha límite definidos. De todos modos, el análisis de flecha límite para el caso de VR05 (16.7 mm) resulta muy elevado como admisible para la mampostería, citando la referencia límite recomendada por el CIRSOC 501 en 7.50 mm.

3.2 Análisis de momentos solicitantes en platea

En la Figura 7 se indican los valores de momento en la platea para la dirección x-x, mientras que en la Figura 8 se da igual sollicitación pero en la dirección y-y, en ambos, se presentan los resultados obtenidos para los tres casos de modelación propuestos.

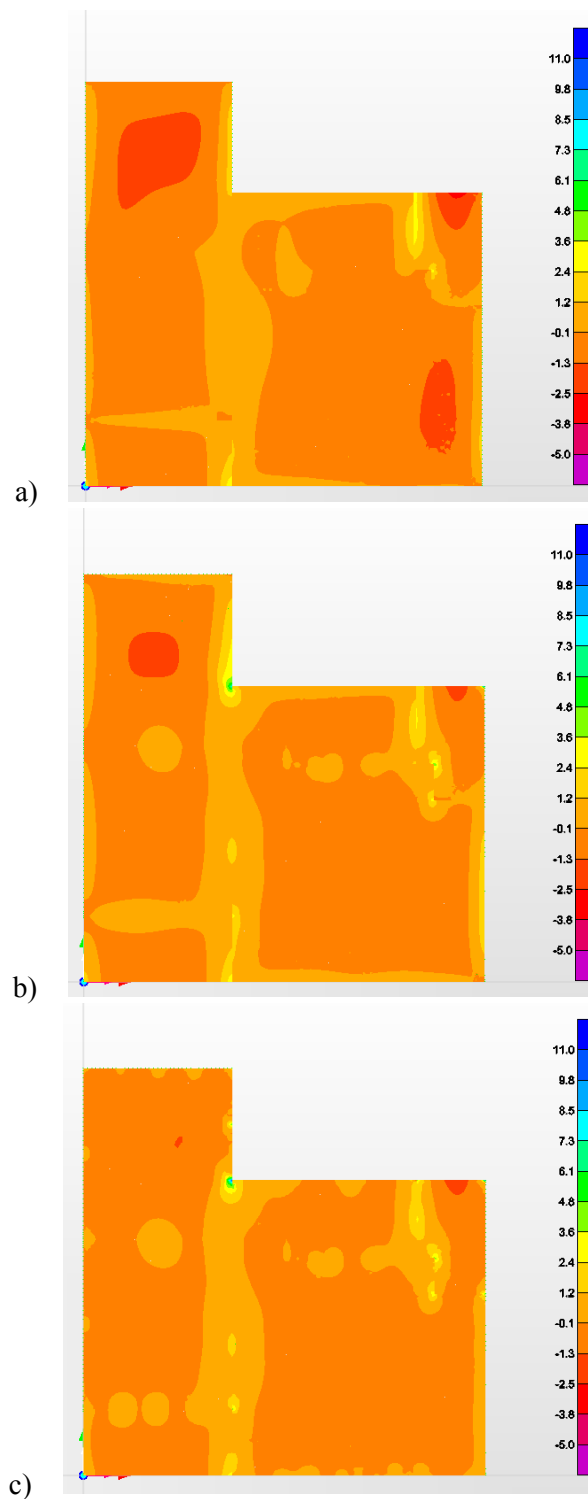


Figura 7: Momento x-x (kN.m.): a) Caso I; b) Caso II; c) Caso III. Se presenta la grafica a igual rango de escala definida con valores extremos.

En las figuras mencionadas se hace uso de gráficos elaborados en igual rango de escala definida con los valores extremos, a fin de poder mostrar y comparar en mejor medida las diferencias en las solicitaciones obtenidas en cada caso.

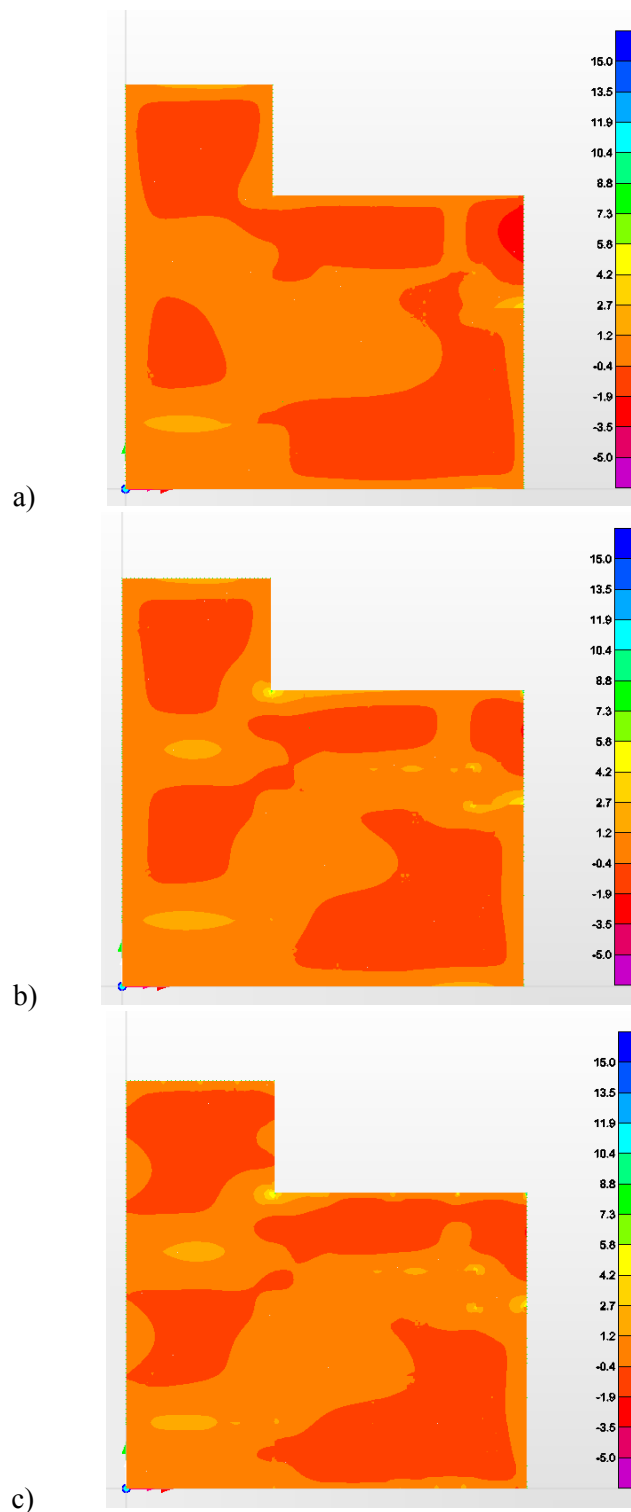


Figura 8: Momento y-y (kN.m.): a) Caso I; b) Caso II; c) Caso III. Se dan los tres casos a igual rango de escala definida con valores extremos.

El análisis de los resultados presentados, permite observar que la respuesta en cuanto al momento flector solicitante en ambas direcciones, presentan patrones comparativamente similares en cuanto a su posición geométrica, variando sensiblemente la magnitud de los valores en forma más sectorizada.

El caso I al ser un modelo simplificado y no contar con la rigidización lineal sobre la platea que aportan los diafragmas de mampostería, indica valores de solicitaciones mas puntuales y acentuados, dado que este cambio de rigidez modifica la respuesta del conjunto de la platea.

Por otro lado, en el caso II y III las gráficas muestran patrones de distribución de momentos muy similares, no solo en cuanto a su ubicación geométrica, sino también en su magnitud.

Esto demuestra, que el efecto de la modelación de la vivienda en su conjunto, considerando la mampostería, refuerzos verticales, y encadenado superior, genera diafragmas que interactúan con la platea y dan a la misma importante rigidez a flexión.

Este efecto, supera el aporte que le da la existencia o no de vigas de refuerzo perimetral en la platea, lo cual se evidencia en la similitud de resultados para los casos II y III.

Asimismo, si bien no se analizo en el presente trabajo el estado tensional de las mamposterías, atendiendo a que la transferencia de esfuerzo es directa entre la platea y toda la mampostería de la vivienda, será objeto de futuros trabajos analizarlo, dado que las paredes interiores se ejecutan sin rigidizadores, y además con ladrillos cerámicos huecos considerados no portantes, lo que debe ser objeto de estudio mas específico.

3.3 Análisis de esfuerzos en vigas de refuerzo de platea (caso I y II)

En las Figuras 9 a 11 y Tabla 6, se presentan los resultados obtenidos de momento flector y esfuerzo de corte vertical para los modelos planteados en los casos I y II que son los que presentan vigas de refuerzo.

A fines de limitar el análisis, se dan los resultados correspondientes a tres vigas de refuerzo, la VR01, VR04 y VR05, con lo cual se logra especificar las características relevantes de los valores obtenidos según los modelos planteados.

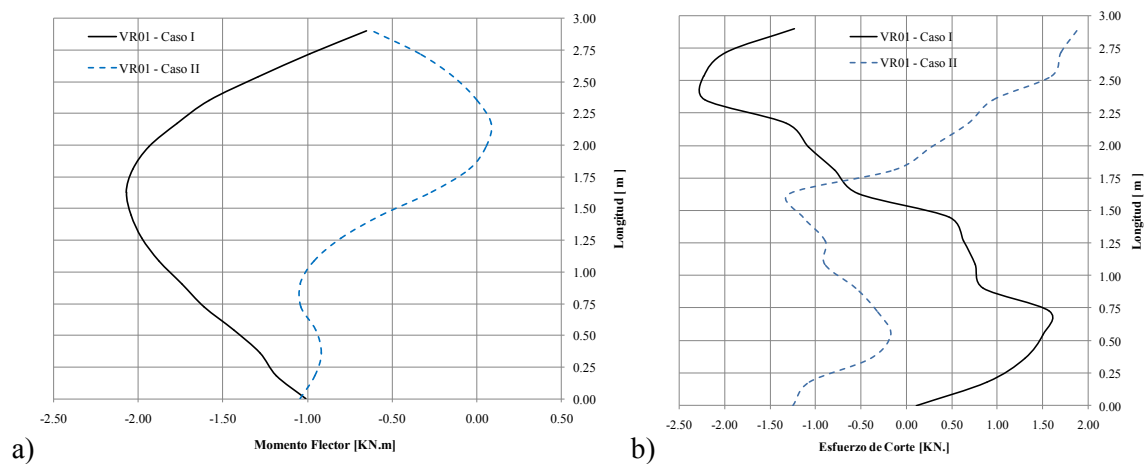


Figura 9: Viga de refuerzo VR01. a) Momento Flector 3-3 (kN.m.). b) Esfuerzo de corte 2-2.

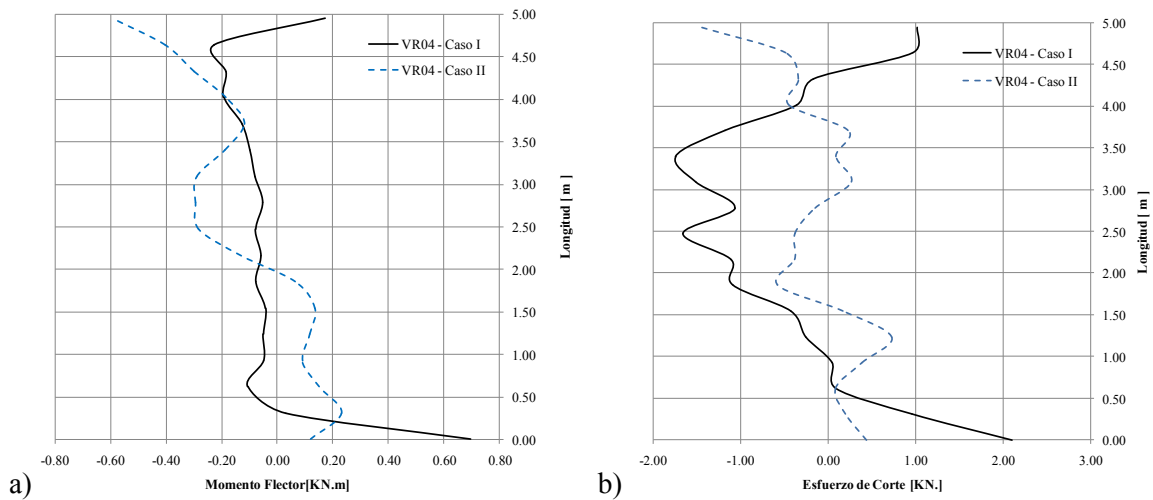


Figura 10: Viga de refuerzo VR04. a) Momento Flector 3-3 (kN.m.). b) Esfuerzo de corte 2-2.

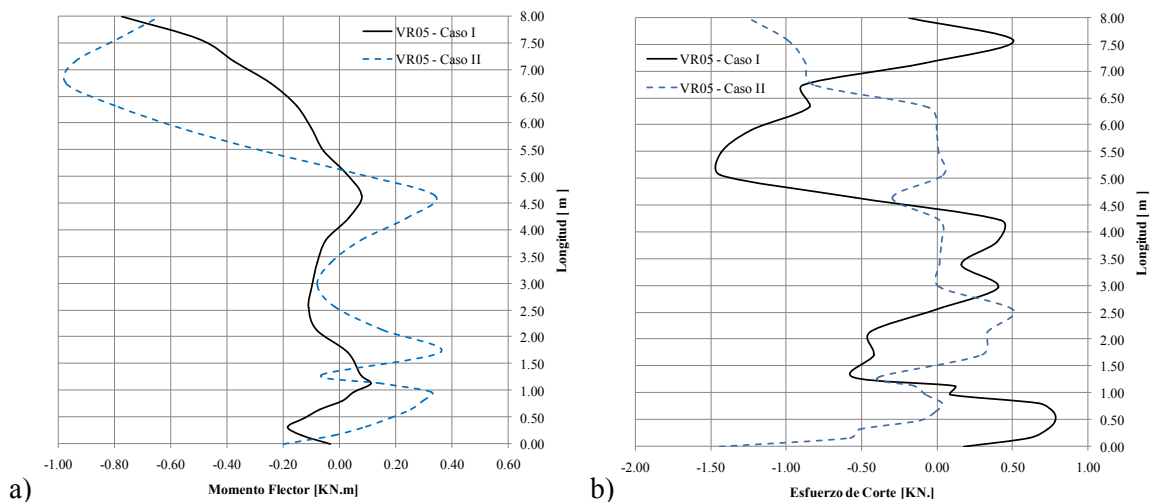


Figura 11: Viga de refuerzo VR05. a) Momento Flector 3-3 (kN.m.). b) Esfuerzo de corte 2-2.

El análisis de las figuras y la tabla correspondiente demuestra la interacción existente entre la platea y el suelo, y la diferencia de distribución de esfuerzos conforme el caso analizado, dado que los cambios son tanto en magnitud, signo, y forma de distribución a lo largo del elemento barra representativo de la viga.

La diferencia de signo manifestada en la mayor parte de los casos en los puntos extremos, radica en que el modelo propuesto por el caso II, considera la interacción no solo con el suelo, sino también por el aporte de los refuerzos verticales y los diafragmas de mampostería.

El efecto de la modelación en tres dimensiones y la continuidad estructural incorporada en el procesamiento del caso II entre diferentes elementos estructurales, no solo la platea, hace que la respuesta del sistema general se vea modificada respecto del caso I, mas aun cuando en el modelo se incorpora la interacción de la platea con un apoyo continuo dado por el medio elástico conformado con propiedades geomecánicas del suelo, considerado como lineal (a bajas deformaciones).

Elem.	No-Nj	CASO I		CASO II	
		V2	M3	V2	M3
Texto	m	KN	KN-m	KN	KN-m
VR01	0.000	0.112	-1.009	-1.253	-1.045
VR01	0.181	0.892	-1.182	-1.066	-0.955
VR01	0.363	1.303	-1.281	-0.392	-0.919
VR01	0.544	1.506	-1.438	-0.173	-0.951
VR01	0.725	1.578	-1.611	-0.320	-1.039
VR01	0.906	0.849	-1.742	-0.552	-1.042
VR01	1.088	0.759	-1.877	-0.897	-0.963
VR01	1.269	0.633	-1.980	-0.893	-0.802
VR01	1.450	0.472	-2.045	-1.133	-0.563
VR01	1.631	-0.527	-2.071	-1.286	-0.269
VR01	1.813	-0.788	-2.032	-0.132	-0.043
VR01	1.994	-1.079	-1.936	0.275	0.057
VR01	2.175	-1.320	-1.773	0.682	0.088
VR01	2.356	-2.221	-1.583	0.958	0.002
VR01	2.538	-2.233	-1.293	1.599	-0.136
VR01	2.719	-1.989	-0.983	1.704	-0.337
VR01	2.900	-1.230	-0.653	1.895	-0.617
VR04	0.000	2.108	-0.187	0.439	0.120
VR04	0.309	0.962	0.267	0.197	0.232
VR04	0.619	0.094	0.341	0.082	0.152
VR04	0.928	0.047	0.270	0.394	0.090
VR04	1.238	-0.250	0.181	0.730	0.118
VR04	1.547	-0.432	0.071	0.167	0.136
VR04	1.856	-1.093	-0.092	-0.580	0.065
VR04	2.166	-1.111	-0.255	-0.387	-0.131
VR04	2.475	-1.658	-0.502	-0.382	-0.283
VR04	2.784	-1.065	-0.447	-0.146	-0.295
VR04	3.094	-1.511	-0.706	0.269	-0.290
VR04	3.403	-1.744	-0.995	0.088	-0.190
VR04	3.713	-1.183	-1.200	0.230	-0.120
VR04	4.022	-0.364	-1.377	-0.447	-0.186
VR04	4.331	-0.165	-1.454	-0.337	-0.298
VR04	4.641	0.966	-1.389	-0.490	-0.404
VR04	4.950	1.017	-1.185	-1.448	-0.595
VR05	0.000	0.180	-0.197	-1.442	-0.030
VR05	0.163	0.614	-0.019	-0.577	-0.134
VR05	0.325	0.735	0.094	-0.515	-0.184
VR05	0.650	0.774	0.254	-0.013	-0.067
VR05	0.975	0.090	0.327	-0.074	0.050
VR05	1.138	0.117	0.152	-0.152	0.113
VR05	1.300	-0.555	-0.062	-0.388	0.075
VR05	1.719	-0.418	0.360	0.302	0.030
VR05	2.556	-0.008	-0.013	0.506	-0.110
VR05	3.394	0.163	-0.028	0.016	-0.078
VR05	4.231	0.425	0.240	0.016	0.032
VR05	4.650	-0.541	0.340	-0.293	0.081
VR05	5.069	-1.436	0.054	0.042	0.024
VR05	5.906	-1.229	-0.565	-0.003	-0.098
VR05	6.744	-0.885	-0.973	-0.822	-0.243
VR05	7.581	0.507	-0.790	-0.986	-0.499
VR05	8.000	-0.187	-0.639	-1.252	-0.775

Tabla 6: Esfuerzos obtenidos en vigas de refuerzo analizadas. Caso I y Caso II. Momento Flector 3-3 (kN.m.). Esfuerzo de corte 2-2.

4 CONCLUSIONES

En el presente trabajo se desarrollan comparaciones numéricas y conceptuales entre tres modelos diferentes, que permiten abordar la influencia de los mismos, en los resultados obtenidos en las deformaciones y solicitaciones de los elementos estructurales, que conforman la platea de cimentación utilizada frecuentemente en viviendas sociales del prototipo D/10, propuesto por el Instituto Provincial de Desarrollo Habitacional de la provincia de Misiones.

Para ello se aplica el método de los elementos finitos en el software de análisis estructural SAP2000 versión V.14.1.0.

Se plantean tres casos: Caso I: modelo simplificado de platea con vigas de refuerzo bajo paredes perimetrales, actuando todos los demás elementos constitutivos de la vivienda como cargas externas sobre la platea y las vigas de refuerzo; Caso II: modelo elaborado considerando no solo la platea con vigas de refuerzo bajo paredes perimetrales, sino también los refuerzos verticales y encadenado superior de hormigón armado, interactuando con los diafragmas propios de las mamposterías de cerramiento de las viviendas; Caso III: modelo que repite la metodología del caso II pero sin refuerzos bajo paredes.

Se analizan las deformaciones obtenidas en puntos característicos de la platea, distorsión angular inducida en paredes, momentos solicitantes en puntos característicos de la platea, y esfuerzos máximos en vigas de refuerzo y su ubicación (caso I y II).

El análisis de deformaciones indica que la respuesta de los modelos planteados en los casos II y III son similares entre sí, diferenciándose sustancialmente del caso I. En el punto común de mayor deformación, las diferencias entre los casos citados y el caso I supera el 60 %.

El análisis de las deformaciones diferenciales y flecha máxima indican guarismos inferiores a los límites propuestos por la bibliografía para el inicio de fisuras en mampostería.

Al igual que el análisis de deformaciones, las solicitaciones por momento flector x-x e y-y indican patrones de comportamiento similares en cuanto a su posición geométrica en los tres modelos, destacándose nuevamente el caso I por sobre los casos II y III en cuanto a la magnitud de las solicitaciones obtenidas.

Respecto del análisis de los esfuerzos en vigas de refuerzo de platea se observa la interacción existente entre la platea y el suelo caracterizado por una importante diferencia en la distribución de esfuerzos conforme el caso analizado, ya sea en magnitud, signo y forma de la distribución.

El análisis final de los resultados presentados, demuestra que el efecto de la modelación de la vivienda en su conjunto, considerando la mampostería, refuerzos verticales, y encadenado superior, lo que genera diafragmas que interactúan con la platea y dan a la misma importante rigidez a flexión, provoca un efecto que supera el aporte que le da la existencia o no de vigas de refuerzo perimetral a la platea.

Esto es importante porque permite incorporar nuevas verificaciones estructurales que pueden influir en el diseño de las cimentaciones de este tipo de vivienda, dando lugar en principio, a una reducción de costos.

Finalmente, como se menciona en el desarrollo del trabajo, se vislumbran actividades futuras que requieren del campo experimental sobre la caracterización y resistencia real de las mamposterías, lo cual está siendo abordado en sus primeras tareas por la Facultad de Ingeniería de la U.Na.M.

Asimismo, y en igual contexto, no se analiza en el presente trabajo el estado tensional de las mamposterías en los casos II y III, atendiendo a que la transferencia de esfuerzo es directa entre la platea y toda la mampostería de la vivienda, será objeto de futuros trabajos su análisis.

REFERENCIAS

- Aviram, A., Mackie K. R., Stojadinovic, B., Guidelines for Nonlinear Analysis of Bridge Structures in California, *PEER Report 2008/03 Pacific Earthquake Engineering Research Center*, College of Engineering, University of California, Berkeley, 2008.
- Computers and Structures, Inc., Analysis Reference Manual, For SAP2000®, ETABS®, and SAFE®, iso#gen062708m1 Rev.1, 1995, *University Avenue Berkeley, USA*, April 2009.
- De Salvo, O. E., El Perfil de Meteorización de las Rocas Basálticas y su Importancia en la Ingeniería de Fundaciones, *Revista Técnica de las Asociaciones Paraguayas de Estructuras y Geotecnia (APE y APG)*, Ediciones y Arte SRL. Año 1, Nro 1, Octubre 1990, Asunción, Paraguay, p. 33-46, 1990.
- Hernández Eliud, Manual de Aplicación del Programa SAP2000 v14.
- IProDHa. Pliego de Especificaciones Técnicas Generales, Prototipo "D/10". *Instituto Provincial de Desarrollo Habitacional de la Provincia de Misiones*, p.20, 2010.
- Mander J. B., Priestley M. J. N., Park R., Theoretical Stress Strain Model for confined concrete. *Journal of Structural Engineering*, vol. 14, n° 8, pp. 1804-1825, 1984.
- Park, R., Paulay T., Reinforced Concrete Structures, *Department of civil engineering, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand*, Cap. 2, p. 1, 1974.
- Peralta, M., Ercoli N., Dietrich C., Pico, L., Análisis de la flexibilidad del conjunto losa-viga de hormigón y su significación en el diseño. *Mecánica Computacional Vol. XXIII*, pp. 915-928, 2004.
- Prone, P. A., Interacción suelo-estructura en construcciones de la Región Pampeana Argentina, *VIII Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción y X Congreso de Control de Calidad en la Construcción*, Asunción, Paraguay, p. 17-25, 2005.
- Reglamento CIRSOC 201, Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón, *Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios*, 2005.
- Reglamento CIRSOC 501-E, Viviendas de mampostería bajo compromiso estructural, *Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios*, 2005.
- Reglamento CIRSOC 501, Estructuras de mampostería, *Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios*, 2005.
- Takeda, T., Sozen, M. and Nielsen, N. Reinforced Concrete Response to Simulated Earthquakes, *Journal of the Structural Division*, ASCE, Vol. 96, ST12, pp. 2557-2573, 1970.
- Whittaker, D., Park, R. And Carr, J. Seismic performance of offshore concrete gravity platforms. *Research Report 88-1*, *Department of Civil Engineering*, University of Canterbury, New Zealand, 1988.