

## MODELACION NUMERICA DE PLATEAS DE CIMENTACION SOBRE SUELOS COMPRESIBLES DE MISIONES, ARGENTINA

Hugo O. Reinert<sup>a</sup>, Javier A. Duarte<sup>a</sup>, Marcos A. Silva<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*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*

<sup>b</sup>*Estudiante de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones, Juan Manuel de Rosas N°325, CP: 3360, Oberá, Misiones, Argentina.*

**Palabras Clave:** Modelación numérica, Suelos compresibles, Platea de cimentación.

**Resumen.** Las técnicas actuales de modelación numérica de problemas geotécnicos, permiten analizar en forma más conveniente el comportamiento de diferentes perfiles de suelo. Un caso puntual lo constituyen los suelos grises de la provincia de Misiones, caracterizados como blandos, normalmente consolidados, con importantes deformaciones potenciales y baja resistencia ante la acción de cargas. Estos suelos se encuentran en zonas de topografía baja, y la necesidad de estudio radica en la expansión urbana que obliga a emplearlos como elementos de apoyo de estructuras edilicias. En el presente trabajo se aborda el estudio del comportamiento de estos suelos cuando sobre los mismos se desarrollan plateas de cimentación de uso típico en viviendas sociales. Para ello se hace uso de un programa de elementos finitos que permite el análisis de problemas geotécnicos, en el cual se plantea la construcción por etapas, necesaria para poder reproducir la modalidad constructiva de permitir el drenaje de los suelos subyacentes, su consolidación y consecuente mejoramiento de la resistencia de los suelos grises en etapas sucesivas de carga. La modelación permitió determinar los órdenes de magnitud de los asentamientos esperados, y de las tensiones de trabajo en diferentes niveles, conforme el perfil de suelo considerado.

## 1 INTRODUCCIÓN

El estudio del comportamiento de las plateas de cimentación empleadas regionalmente en forma metódica en los conjuntos habitacionales desarrollados en la Provincia de Misiones, se asienta en la necesidad de dar una respuesta técnica y científica a un sistema constructivo aceptado mas por una cuestión de usos y costumbres, por facilidad de ejecución, que por una fundamentación técnica basada en su respuesta estructural.

Las especificaciones del Instituto Provincial de Desarrollo Habitacional (IProDHa, 2010) para los prototipos de viviendas sociales resulta bastante amplio en cuanto a los sistemas de cimentación posibles, permitiendo el empleo de cuatro variantes:

**a) Zapata Corrida de Hormigón Armado:** de 0,40 m de ancho por 0,20 m de alto a una profundidad de 0,60 m como mínimo, medida desde el nivel de terreno exterior a cota de fundación.

**b) Zapata Corrida de Hormigón Ciclópeo:** ancho de 0,35 m por 0,30 m de alto a una profundidad de fundación 0,60 m. como mínimo, medido desde el nivel del terreno a la cota de fundación. En este caso se deberá realizar una viga de encadenado inferior de hormigón armado.

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

**d) Pilotines de Hormigón Armado:** de 0,20 m de diámetro con armadura de 3 hierros de 8 mm y estribos tipo espiral de hierros de 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 4 hierros de 8 mm con estribos de 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, optándose en líneas generales por plateas de Hormigón Armado.

En trabajos publicados con anterioridad, se realizaron modelaciones considerando al suelo como de comportamiento elástico lineal, mediante el empleo del coeficiente de balasto, en el programa SAP2000 (Computers and Structures, 2009), siendo ello valido en un análisis de pequeñas deformaciones, y de aplicación para el caso de suelos de perfil de meteorización típico en la Provincia de Misiones (De Salvo, 1990).

En esos casos se verificó la relevancia en los resultados obtenidos del empleo de modelos simplificados de platea, o bien de la modelación del conjunto de la vivienda con todos sus elementos componentes (Reinert y Duarte, 2013; Silva *et al.*, 2014).

Por otro lado, el empleo de predios donde los suelos existentes no resultan los deseados para el apoyo de estructuras, particularmente los suelos grises producto de la descomposición de la roca matriz en un ambiente hidromórfico (Reinert *et al.*, 2008), presentan un permanente crecimiento, fundamentalmente por la expansión urbana y el desarrollo de conjuntos habitacionales.

Esto ha hecho que el conocimiento del comportamiento geotécnico de los suelos grises, vaya tomando cada vez más importancia, no solo en el ámbito profesional sino también en el académico, mas aun cuando se pretende analizar la interacción entre estos suelos y los diferentes sistemas de cimentación.

En el presente trabajo se aborda el estudio del comportamiento de estos suelos cuando sobre los mismos se desarrollan plateas de cimentación, realizándose la modelación en un programa de elementos finitos desarrollado específicamente para el análisis de problemas

geotécnicos (Díaz y López, 2008), en el cual se reproduce la secuencia constructiva necesaria en obra, atendiendo a las características de estos suelos, de encontrarse en líneas generales en predios anegados.

En la Figura 1 se detalla en imágenes fotográficas como se plantea la secuencia constructiva, caracterizada fundamentalmente por:

- Despeje del predio y apertura de zanjas para lograr la disminución parcial del nivel de napa freática, permitiendo de esta manera el ingreso de los equipos para el saneamiento.
- Avance sobre el suelo gris con el relleno y compactación de suelo residual limo-arcilloso colorado, a fin de lograr una capa de suelo compactado del orden de los 0.50 metros con buenas propiedades geomecánicas, que permiten el tránsito e inicio de las obras edilicias.
- Replanteo y ejecución de las plateas de cimentación superficiales en contacto directo con el suelo de relleno compactado.



Figura 1: Registro fotográfico de un predio con presencia de suelo gris anegado, donde se detalla la secuencia constructiva para la ejecución de conjuntos habitacionales.

El análisis de las secuencias detalladas se reproduce en el programa de elementos finitos mediante el módulo de construcción por etapas, necesaria para poder representar la modalidad constructiva de permitir el drenaje de los suelos subyacentes, su consolidación, ejecución de una capa de suelo compactado superficial, y aplicación de carga por ejecución de la platea.

Para el análisis de resultados se definirán los órdenes de magnitud de los asentamientos esperados, y de las tensiones de trabajo en diferentes niveles conforme el perfil de suelo considerado, con la idea de evaluar y aportar información sobre mecanismos de interacción entre suelo y fundación (Prone, 2005).

## 2 METODOLOGÍA

El abordaje del estudio de interacción suelo-estructura conforme las descripciones precedentes, se realiza a partir de la simulación digital mediante el empleo del programa Plaxis 3D Foundation basado en el Método de Elementos Finitos (Brinkgreve and Broere, 2006), donde se modela el perfil geotécnico con sus propiedades geomecánicas, al cual se le incorpora en superficie la platea de hormigón armado que transfiere las cargas de la edificación al suelo. En la Figura 2 se detalla el perfil mencionado, la geometría de la platea, y la imagen del modelo generado.

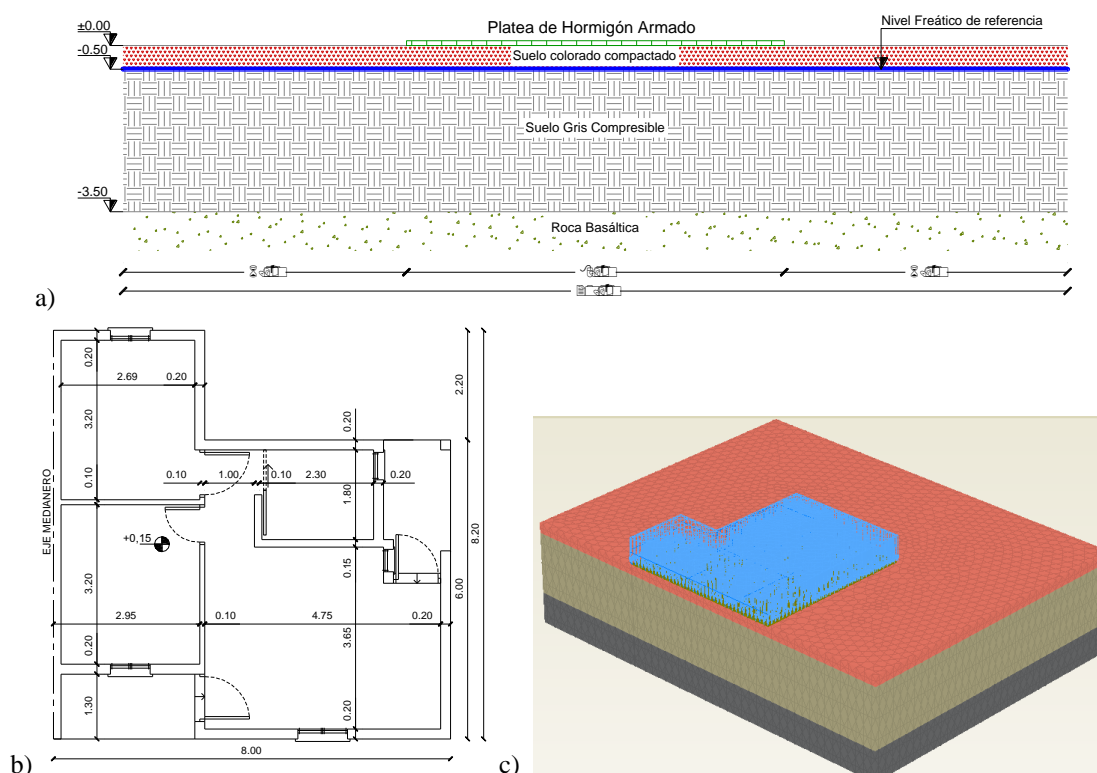


Figura 2: Esquemas: a) Perfil de suelo; b) Geometría de la platea; c) Modelo elaborado.

### 2.1 Materiales

En el presente apartado se detallan las características mecánicas de los diferentes materiales empleados, destacándose los valores de los parámetros de referencia. Atendiendo a los requerimientos del modelo, se emplearon básicamente dos tipologías de material, los suelos y el hormigón armado propio de la platea y vigas de refuerzo bajo paredes perimetrales.

### 2.1.1 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 2007-2014, con muestras obtenidas de la zona centro de la Provincia de Misiones (Reinert *et al.*, 2008; Reinert y Terzariol, 2009).

En la **Tabla 1** se detallan los parámetros índice y geomecánicos requeridos por el programa para la configuración del modelo, a fin de poder llevar a cabo los análisis elastoplástico y de consolidación.

Parámetro	Desig.	Ud.	Suelo Colorado Compactado	Suelo Gris Compresible	Roca Basáltica
Modelo Material	-	-	Mohr - Coulomb	Mohr - Coulomb	Mohr - Coulomb
Tipo de comportamiento	-	-	No Drenado	No Drenado	No Drenado
Peso unitario húmedo	$\gamma_{Wet}$	kN/m <sup>3</sup>	17.00	15.00	19.00
Peso unitario saturado	$\gamma_{Sat}$	kN/m <sup>3</sup>	19.00	18.00	20.00
Coefficiente de Permeabilidad	$k_{x,y,z}$	m/día	$3.4 \times 10^{-4}$	$2.97 \times 10^{-4}$	$1.00 \times 10^{-8}$
Modulo de Elasticidad	$E_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	15000	4000	30000
Modulo de Poisson	$\nu$	-	0.35	0.35	0.25
Cohesión	$C_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	60.00	25.00	0.00
Angulo de fricción	$\phi$	°	20.00	5.00	50.00

Tabla 1: Valores de parámetros índice y geomecánicos considerados.

### 2.1.2 Hormigón armado

El hormigón armado empleado comúnmente en este tipo de obras se corresponde con el denominado H-25 (CIRSOC 201, 2005).

En el programa se definen las características de la placa de hormigón armado en base a las propiedades mecánicas como el Módulo de elasticidad (E), Módulo de corte (G), y a partir de ello define un espesor equivalente de la placa.

En la **Tabla 2** se detallan los parámetros geométricos y mecánicos requeridos por el programa para la configuración del modelo.

Parámetro	Desig.	Ud.	Platea	Viga
Tipo de Análisis	-	-	Tridimensional	Tridimensional
Peso Unitario	$\gamma_{HA}$	kN/m <sup>3</sup>	25.00	25.00
Espesor Equivalente	d	m	0.10	-
Sección	A	m <sup>2</sup>	-	0.040
Modulo de Poisson	$\nu_{12}$	-	0.25	0.25
Modulo de Elasticidad	$E_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	$2.350 \times 10^{+7}$	$2.350 \times 10^{+7}$
Modulo de Corte	$G_{12}$	kN/m <sup>2</sup>	$9.400 \times 10^{+6}$	$9.400 \times 10^{+6}$

Tabla 2: Valores de parámetros geométricos y mecánicos considerados.

## 2.2 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:** Se incorpora como carga externa el peso propio de los diferentes elementos componentes de la vivienda: platea, mampostería, estructura y cubierta de techo, y demás elementos componentes.

- **Sobrecarga de uso:** Se incorpora como estado de carga externa, adoptándose una carga de  $2 \text{ kN/m}^2$  aplicado en forma uniforme en todos los ambientes de la vivienda, es decir, en toda la platea que conforma la cimentación.

### 2.3 Geometría

Para la conformación del modelo, se utilizaron las siguientes entidades geométricas que incluye el programa de elementos finitos, empleándose:

- **Points:** para definir restricciones de grados de libertad, principio y fin de líneas, esquinas de elementos área, puntos de aplicación de cargas, refinamiento local de malla, etc.

- **Lines:** para definir elementos lineales (necesariamente requieren de dos puntos, uno de inicio y otro de fin de elemento), se emplean para la definición de bordes, límites físicos de la geometría, entre otros.

- **Clusters:** son las áreas encerradas por líneas, y son reconocidas automáticamente por el programa. Dentro de cada *cluster* las propiedades del suelo son homogéneas.

- **Floor o Plate:** son elementos estructurales que se emplean para modelar estructuras esbeltas, como por ejemplo la platea de cimentación.

- **Beam:** Se generan como elementos lineales entre dos puntos, corresponden en el modelo a las vigas de refuerzo bajo paredes.

El modelo geométrico incluye una división representativa del subsuelo en las distintas capas de suelo, objetos estructurales y diferentes etapas de construcción y carga a ser asignadas.

En cuanto a la extensión del modelo se han definido con cierta amplitud, a fin de que los bordes o contornos no condicionen los resultados del análisis. En la [Figura 2a](#) se detalla el perfil de suelo considerado, junto a las cotas de extensión del modelo planteado, adoptándose 6.00 metros a cada lado de la platea para garantizar la no influencia de los bordes en los resultados. Así mismo atendiendo a que la vivienda presenta simetría respecto del eje medianero detallado en la [Figura 2b](#), se ha empleado tal situación como condición de borde en el modelo.

Luego de la creación del modelo geométrico se genera la discretización del continuo mediante una malla de elementos finitos en 2D, basada en la composición de clusters y líneas del modelo geométrico, la cual es refinada en forma global y local a fin de mejorar los resultados. Una vez logrado el mallado 2D en forma satisfactoria, se procede al mallado 3D.

### 2.4 Modelo de elementos finitos

El modelo adoptado está conformado por una platea de hormigón armado apoyada sobre un manto de suelo compactado cuyas características geotécnicas, geométricas, y mecánicas se detallaron en la [Figura 2](#) y en las [Tablas 1 y 2](#).

Las cargas de las paredes de mampostería, refuerzos verticales de esquina, encadenado superior, cielorraso, estructura y cubierta de techo, y demás elementos componentes son modelados como acciones externas aplicadas al modelo como cargas concentradas en puntos, cargas distribuidas en líneas, y cargas uniformes en la platea.

En la simulación desarrollada se reprodujo el proceso constructivo detallado en la [Figura 1](#), planteándose para ello la realización de cinco instancias de análisis:

- Situación Inicial: Suelo en condición saturada con nivel freático en superficie. Se calculan las tensiones iniciales del suelo por peso propio a través del coeficiente de empuje de suelos en reposo.
- Etapa I: Ejecución de capa de suelo compactado superior. Análisis elastoplástico.
- Etapa II: Ejecución de capa de suelo compactado superior. Análisis de consolidación.
- Etapa III: Ejecución de la platea y cargas externas. Análisis elastoplástico.
- Fase IV: Ejecución de la platea y cargas externas. Análisis de consolidación.

El análisis elastoplástico se plantea haciendo uso del modelo de Mohr-Coulomb, que resulta ampliamente difundido para el análisis de suelos en general. Asimismo y dada la situación particular de que el suelo se encuentra con presencia de agua hasta la superficie, se adoptó el criterio de asumir un comportamiento de tipo no drenado, es decir impedir el drenaje del fluido de los poros, con generación de excesos de presión intersticial.

En cuanto al análisis de consolidación, el programa permite definir en forma precisa el desarrollo o disipación en función del tiempo de las presiones intersticiales, en los suelos arcillosos como el suelo gris presente en el perfil de suelo estudiado. Como regla general es necesario realizar un análisis plástico con aplicación de cargas, previamente al estudio de consolidación.

En cuanto a la malla de elementos finitos que se emplean en el programa, se detallan:

- Para la modelación del suelo, se utilizan elementos de 15 nodos, compuesto de triángulos de 6 nodos en dirección horizontal y cuadriláteros de 8 nodos en dirección vertical. Estos nodos son el número de puntos que definen un elemento y es donde se calculan los desplazamientos. Asimismo, existen puntos independientes de los nodos, denominados puntos de Gauss que es donde se calculan las tensiones.

- Para la modelación de las vigas se utilizan elementos especiales compuestos por 3 nodos lineales, los cuales son compatibles con los 3 nodos de un lado del elemento de 15 nodos que modela el suelo.

- Para la modelación de las placas (platea) se utilizan elementos especiales compuestos por 6 u 8 nodos.

El modelo desarrollado en su conjunto se compone de 24702 elementos, estudiando en ellos 71632 nodos y 148212 puntos de análisis de tensión. El tamaño global promedio de elementos resulto de 0.246 metros.

### 3 PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS

Como criterio asumido para la presentación y análisis de resultados se propone estudiar los órdenes de magnitud de los asentamientos esperados, y de las tensiones de trabajo en diferentes niveles, conforme el perfil de suelo definido, con especial consideración en el análisis de la relevancia de los efectos de la consolidación.

Para ello se definen en la [Figura 3](#) los puntos característicos a analizar, que forman parte de los planos correspondientes a las vigas de refuerzo de platea bajo paredes.

#### 3.1 Análisis de deformaciones

Con base en la designación de puntos y vigas de la [Figura 3](#), se detallan en la [Tabla 3](#) y [Figuras 4](#) y [5](#) los resultados obtenidos en la modelación propuesta.

En la [Tabla 3](#) se dan los valores de deformación obtenidos en los puntos característicos seleccionados para el análisis de resultados, presentándose no solo los valores puntuales, sino

las diferencias de deformación ocurridas entre etapas analizadas.

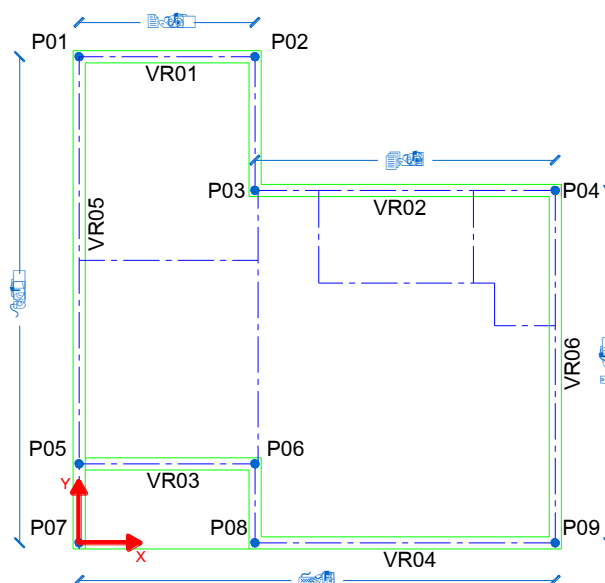


Figura 3: Detalle de designación de puntos característicos y vigas de refuerzo a analizar.

Designación	Etapa I	Etapa II	Etapa III	Etapa IV	Diferencia EII-EI	Diferencia EIII-EII	Diferencia EIV-EIII
	Uz (mm)	Uz (mm)	Uz (mm)	Uz (mm)	(mm)	(mm)	(mm)
<b>P01</b>	-0,181	-0,212	-2,229	-6,687	-0,031	-2,017	-4,458
<b>P02</b>	-0,181	-0,212	-1,609	-5,460	-0,031	-1,397	-3,851
<b>P03</b>	-0,181	-0,212	-2,613	-7,923	-0,031	-2,401	-5,309
<b>P04</b>	-0,181	-0,212	-2,119	-5,756	-0,031	-1,907	-3,638
<b>P05</b>	-0,181	-0,212	-2,360	-7,608	-0,031	-2,148	-5,249
<b>P06</b>	-0,181	-0,212	-1,645	-6,593	-0,031	-1,433	-4,948
<b>P07</b>	-0,181	-0,212	-1,485	-5,902	-0,031	-1,273	-4,417
<b>P08</b>	-0,181	-0,212	-0,350	-4,771	-0,031	-0,138	-4,421
<b>P09</b>	-0,181	-0,212	-0,008	-3,185	-0,031	0,204	-3,178

Tabla 3: Deformación vertical obtenida en puntos característicos y diferencia entre etapas analizadas.

En la [Figura 4](#) se han graficado las curvas de deformación vertical acumulada en los puntos de análisis conforme la progresión de etapas constructivas y de cálculo.

En la [Figura 5](#) se presentan en escala gráfica de colores el diagrama de descensos verticales sucedido para el análisis de comportamiento elastoplástico del suelo en etapa III, y para el caso de análisis de deformaciones por consolidación en etapa IV.

El análisis de los resultados presentados permiten observar que, las deformaciones del modelo propuesto en sus diferentes etapas, muestran características particulares a ser observadas:

- Las deformaciones indicadas en etapa I y etapa II resultan idénticas en valor para todos los puntos considerados, lo cual es correcto dado que corresponden a un análisis elastoplástico y de consolidación del suelo, producto de la carga transferida por la ejecución de una capa



uniforme de suelo colorado compactado en toda la superficie del predio original.

- Las deformaciones de etapa III sucedidas como consecuencia de la aplicación de la platea de cimentación, mampostería, estructura, cubierta de techo, y demás elementos componentes, junto a las sobrecargas de uso, manifiestan diferencias entre puntos analizados, lo cual es esperable atendiendo a que las cargas en cada línea de viga son diferentes, y en consecuencia las deformaciones en los puntos considerados también lo serán. Las deformaciones máximas se sucedieron en los puntos P03, P05, P04 y P01, todos ellos puntos de esquina de mampostería con deformaciones superiores a los 2.10 milímetros.

- Respecto de la etapa IV, es la que mayores deformaciones ha acusado, con valores extremos próximos a los 8.00 milímetros en algunos de los puntos analizados, siendo la causante principal de ello las deformaciones de consolidación sucedidas por el manto de suelo gris compresible. Los resultados mostrados en el cálculo de las diferencias entre etapas, confirman tal situación.

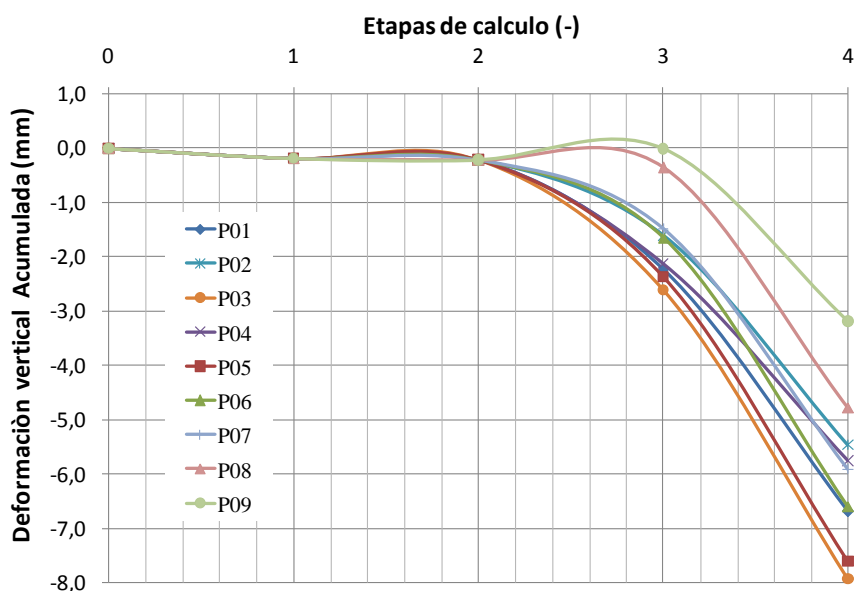


Figura 4: Curvas de deformación vertical acumulada en puntos característicos por etapas de cálculo.

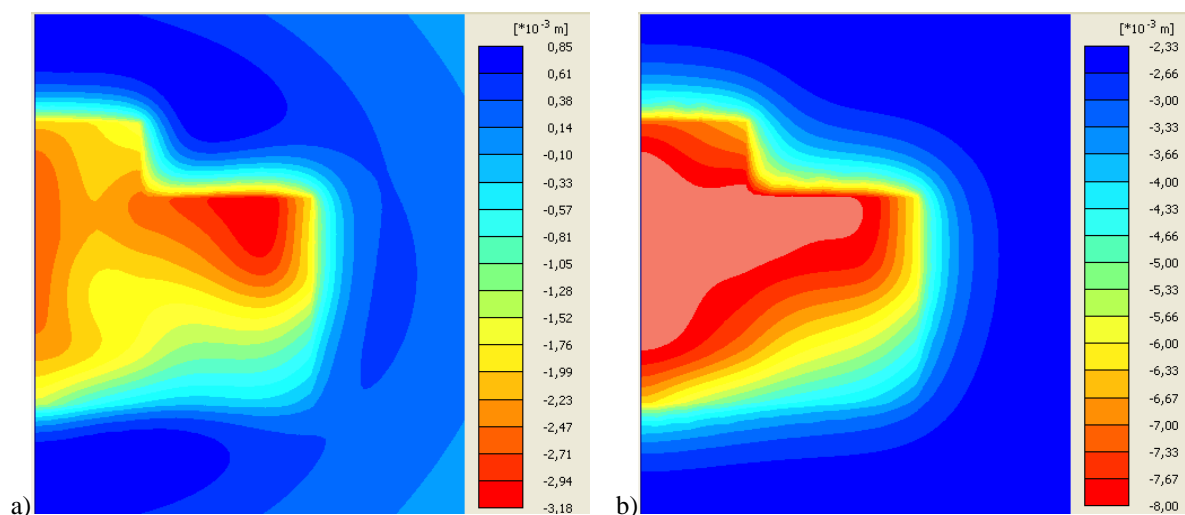


Figura 5: Desplazamientos verticales. a) Etapa III elastoplástico; b) Etapa IV consolidación.

- La observación de la [Figura 4](#), resalta la relevancia de las deformaciones obtenidas para cada etapa de cálculo, donde se puede apreciar que las de mayor peso son las asociadas a la etapa IV de consolidación.

- Particular situación se manifiesta en las deformaciones de etapa III del punto P09, dado que se detalla deformación menor que la obtenida por consolidación del relleno superficial de etapa II. Esto se explica en el hecho de que tal punto acompaña la deformación propia de la platea, la cual como consecuencia de mayores deformaciones en otros sectores genera una deformada ascendente en particular en la línea de borde coincidente con la viga VR04, por ello el punto P08 también se ve afectado con muy baja deformación resultante no llegando a ser ascendente como en el caso del punto P09.

- En la [Figura 5](#) se observa en mejor medida lo comentado precedentemente, dado que con el diagrama de colores y la escala gráfica presentada para el caso de la etapa III de análisis elastoplástico y etapa IV de análisis de consolidación, se observa que el borde correspondiente a la viga VR03 y VR04 reciben baja deformación, en especial en la etapa III.

- Asimismo, se puede verificar que para el caso del análisis de consolidación, el nivel de deformación máximo es alcanzado en la mayor parte de la platea, inclusive en los sectores donde no existen vigas de refuerzo bajo paredes.

- En la [Tabla 4](#) y [Figura 6](#) se detalla el análisis de consolidación en los puntos de estudio demostrándose el avance de deformaciones en función del tiempo de aplicación de carga para la etapa IV, es decir para la totalidad de las cargas aplicadas.

- Las curvas detalladas muestran un comportamiento similar en cuanto a la evolución temporal de las deformaciones, afirmándose en todos los casos que el 90 % de las deformaciones asociadas a la consolidación, para el nivel de cargas inducida por las viviendas sociales, se alcanza en un período próximo a los 100 días, lo cual es un dato más que interesante para el desarrollo temporal de las obras, dado que las mismas en líneas generales tienen un plazo de ejecución superior al detallado.

- Asimismo se observa también el comportamiento particular del punto P09 al inicio de la etapa IV, que como se mencionara precedentemente al finalizar el análisis elastoplástico de etapa III manifiesta una deformación ascendente.

- Como criterio para la finalización del análisis de consolidación se estableció una presión de poros en exceso de 10 kPa, la cual se alcanzó conforme las curvas de la [Figura 6](#), a los 1500 días, valor muy superior al del tiempo necesario para alcanzar el 90 % de las deformaciones por consolidación, el cual se encuentra en el orden de los 100 días.

### 3.2 Análisis de tensiones

En las [Figuras 7](#) y [8](#) se presentan los resultados obtenidos del modelo en la consideración de tensiones verticales efectivas obrantes al finalizar las etapas de cálculo de comportamiento elastoplástico y de consolidación, tomándose como cotas de análisis las correspondientes a -0.05 metros, a fin de evaluar las tensiones en proximidad al contacto entre la platea y vigas de fundación con el suelo colorado compactado, y en cota -0.50 metros, que es el nivel superior del suelo gris compresible a partir del cual se inicia el nivel freático.

El análisis de los valores mostrados en la [Figura 7](#), correspondientes a una cota de -0.05 metros, indican que para el caso de análisis elastoplástico ([Figura 7a](#)) la máxima compresión alcanzada en el suelo es de 10.66 kN/m<sup>2</sup>, mientras que para el análisis de consolidación ([Figura 7b](#)) el valor manifiesta un notable incremento a 30.65 kN/m<sup>2</sup> el cual se presenta en proximidad a la viga de refuerzo VR02.

Tiempo (días)	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09
	Uz (m)	Uz (m)	Uz (m)	Uz (m)	Uz (m)	Uz (m)	Uz (m)	Uz (m)	Uz (m)
0.115	-0.0018	-0.0009	-0.0025	-0.0018	-0.0023	-0.0016	-0.0011	-0.0003	0.0001
0.229	-0.0018	-0.0010	-0.0026	-0.0019	-0.0023	-0.0016	-0.0011	-0.0003	0.0001
0.344	-0.0019	-0.0010	-0.0026	-0.0019	-0.0024	-0.0017	-0.0012	-0.0004	0.0000
0.573	-0.0020	-0.0011	-0.0028	-0.0020	-0.0025	-0.0018	-0.0013	-0.0005	0.0000
0.802	-0.0021	-0.0012	-0.0029	-0.0021	-0.0026	-0.0019	-0.0014	-0.0005	-0.0001
1.031	-0.0022	-0.0012	-0.0030	-0.0021	-0.0027	-0.0020	-0.0014	-0.0006	-0.0001
1.260	-0.0022	-0.0013	-0.0030	-0.0022	-0.0028	-0.0020	-0.0015	-0.0007	-0.0002
1.718	-0.0024	-0.0014	-0.0032	-0.0023	-0.0029	-0.0022	-0.0016	-0.0008	-0.0002
2.634	-0.0026	-0.0016	-0.0035	-0.0025	-0.0032	-0.0024	-0.0018	-0.0010	-0.0004
4.467	-0.0029	-0.0019	-0.0039	-0.0027	-0.0036	-0.0028	-0.0022	-0.0013	-0.0006
8.132	-0.0035	-0.0024	-0.0045	-0.0032	-0.0042	-0.0033	-0.0027	-0.0018	-0.0009
15.462	-0.0042	-0.0031	-0.0053	-0.0037	-0.0050	-0.0041	-0.0035	-0.0025	-0.0014
30.123	-0.0051	-0.0039	-0.0063	-0.0044	-0.0060	-0.0050	-0.0043	-0.0033	-0.0020
59.444	-0.0059	-0.0047	-0.0071	-0.0051	-0.0068	-0.0058	-0.0051	-0.0040	-0.0026
118.087	-0.0063	-0.0051	-0.0076	-0.0054	-0.0072	-0.0062	-0.0055	-0.0044	-0.0029
235.372	-0.0065	-0.0053	-0.0077	-0.0056	-0.0074	-0.0064	-0.0057	-0.0046	-0.0030
469.942	-0.0065	-0.0053	-0.0078	-0.0056	-0.0074	-0.0064	-0.0057	-0.0046	-0.0031
939.082	-0.0065	-0.0053	-0.0078	-0.0056	-0.0075	-0.0064	-0.0058	-0.0046	-0.0031
1877.36	-0.0066	-0.0053	-0.0078	-0.0057	-0.0075	-0.0065	-0.0058	-0.0047	-0.0031
3753.92	-0.0066	-0.0054	-0.0078	-0.0057	-0.0075	-0.0065	-0.0058	-0.0047	-0.0031
7507.05	-0.0066	-0.0054	-0.0079	-0.0057	-0.0075	-0.0065	-0.0058	-0.0047	-0.0031
15013.3	-0.0067	-0.0055	-0.0079	-0.0058	-0.0076	-0.0066	-0.0059	-0.0048	-0.0032

Tabla 4: Evolución de la deformación en el tiempo por efecto de la consolidación en los puntos característicos.

Por otro lado, los valores mostrados en la [Figura 8](#) indican que para el análisis elastoplástico ([Figura 8a](#)) la máxima compresión alcanzada en el suelo es de  $10.61 \text{ kN/m}^2$ , mientras que para el análisis de consolidación ([Figura 8b](#)) el valor se incrementa a  $16.33 \text{ kN/m}^2$ , lo cual sucede en proximidad al punto P03.

Como se observa, los valores de tensión transmitidos al suelo resultan ciertamente reducidos, dado que los valores indicados resultan los máximos actuantes en los niveles detallados, siendo menores en todos los demás puntos de la platea.

Asimismo, el análisis de los guarismos presentados, indica la importante reducción de las tensiones que se producen desde el borde superior de la capa de suelo compactado (cota  $-0.05$  metros), al borde inferior del mismo (cota  $-0.50$  metros), ya que el nivel de tensiones se redujo a prácticamente la mitad para el caso de análisis de consolidación.

En el caso de análisis elastoplástico, no se detallan cambios significativos en los valores de tensión, dado que la capa de suelo compactado, resiste un estado tensional uniforme con la platea de hormigón armado, que justamente es uno de los objetivos de la realización de la platea natural de suelo compactado.

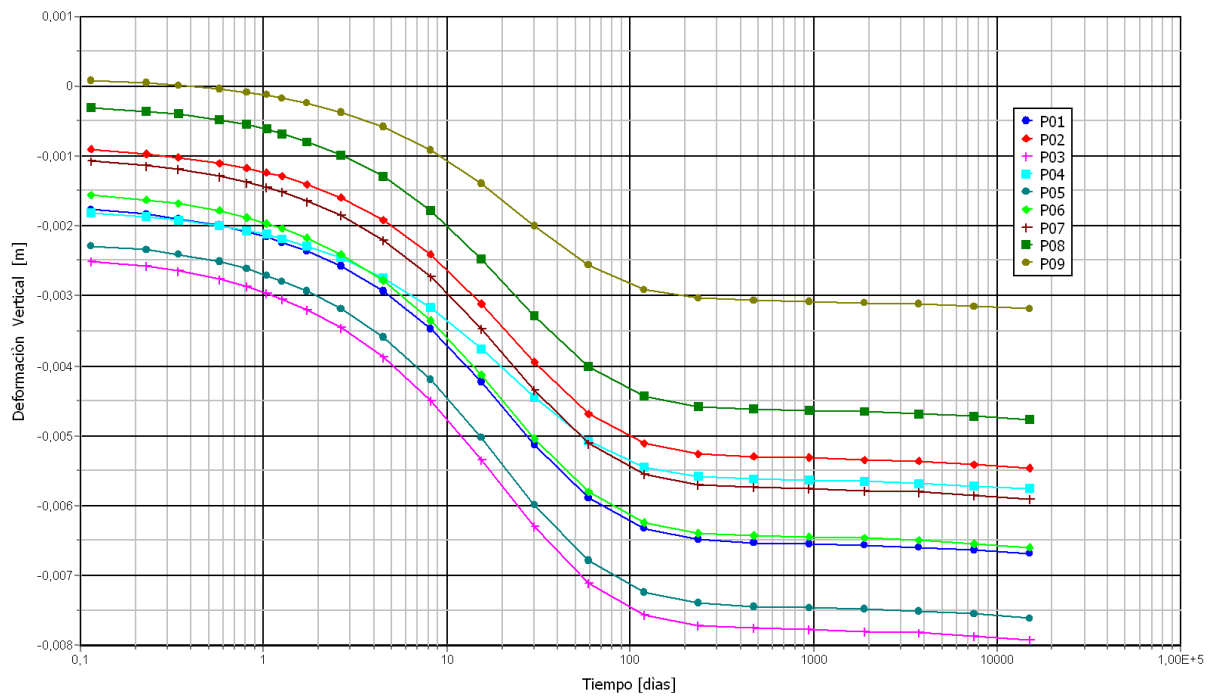


Figura 6: Curvas de consolidación (deformación - tiempo) en etapa IV para los puntos de análisis.

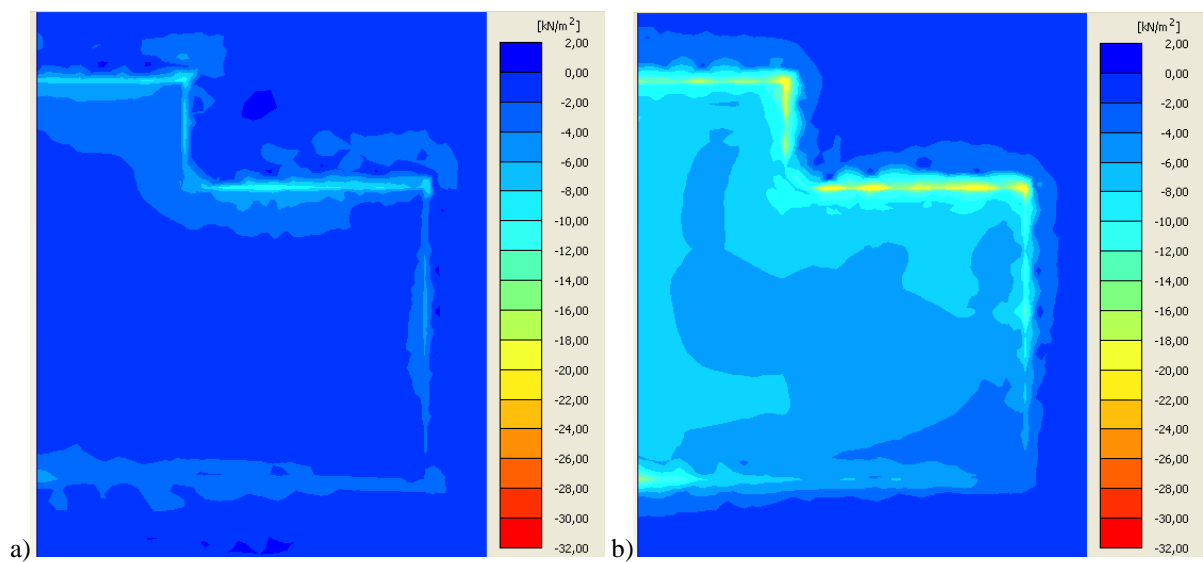


Figura 7: Tensiones verticales efectivas en cota -0.05 m; a) Etapa III elastoplástico; b) Etapa IV consolidación

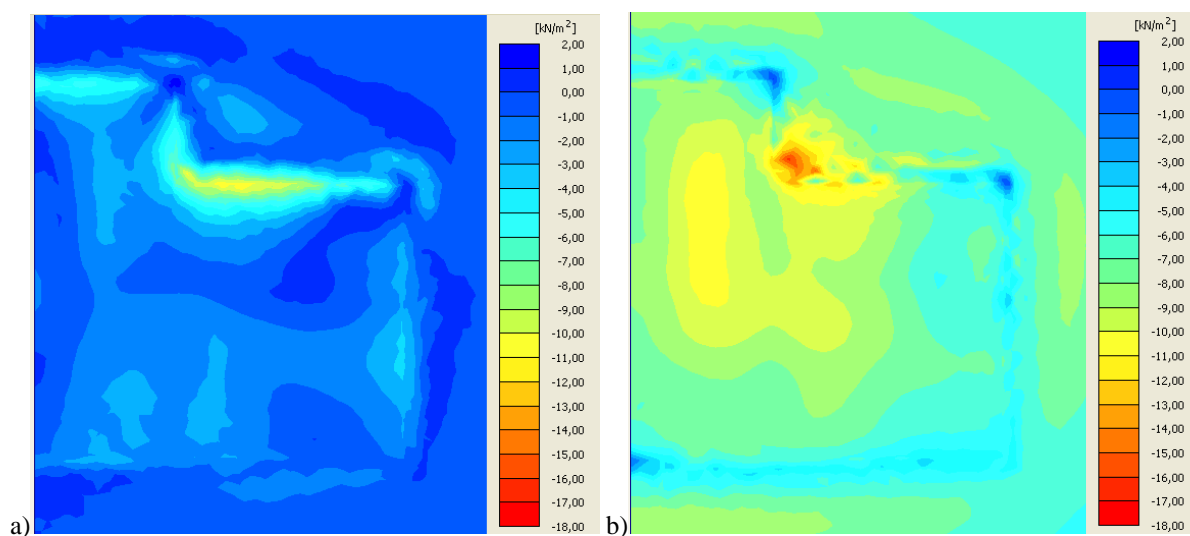


Figura 8: Tensiones verticales efectivas en cota -0.50 m; a) Etapa III elastoplástico; b) Etapa IV consolidación

#### 4 CONCLUSIONES

En el presente trabajo se desarrollaron comparaciones numéricas y conceptuales de los resultados obtenidos mediante la modelación en un programa de elementos finitos que permite el análisis de problemas geotécnicos, de una vivienda social cimentada mediante platea sobre un manto de suelo compresible.

Se empleó el análisis de construcción por etapas, el cual permitió simular las instancias constructivas y con ello la incorporación de los componentes estructurales y las cargas en correspondencia, asimilándose en mejor medida el proceso de construcción real en campo.

Se utilizaron en forma progresiva el análisis elastoplástico de Mohr-Coulomb, y el correspondiente análisis de consolidación de suelos blandos.

Se analiza la respuesta del modelo planteado, definiéndose los órdenes de magnitud de los asentamientos en diferentes etapas constructivas, y las tensiones de trabajo en dos niveles característicos del perfil de suelo propuesto.

El análisis de deformaciones muestra que la etapa IV de consolidación es la que mayores deformaciones ha acusado, con valores extremos próximos a los 8.00 milímetros en algunos de los puntos considerados, lo cual confirma la relevancia de la compresibilidad del manto de suelo gris inferior.

Asimismo, se muestra la coincidencia existente en cuanto al desarrollo temporal de las deformaciones por consolidación en los diferentes puntos analizados, dado que en todos ellos para el nivel de cargas inducidas por la vivienda, se ha alcanzado el 90% de consolidación en un período próximo a los 100 días.

Se presenta el análisis de tensiones efectivas en dos niveles de referencia, el primero a cota -0.05 metros a fin de verificar el estado de tensiones en proximidad a la platea y dentro del manto de suelo colorado compactado, y el segundo a cota -0.50 metros con el objeto de estudiar las tensiones a nivel del manto de suelo gris compresible. Los resultados muestran la importancia de ejecución de la platea natural de suelo compactado no solo por necesidad constructiva para acceder y transitar en el predio, sino también por la redistribución de tensiones que genera a nivel del manto compresible.



Se prevé continuar en el futuro con estos análisis utilizando el modelo para suelos denominado "*Soft - Soil*", que describe de manera más precisa el comportamiento de los suelos grises típicos en nuestro medio.

Por otro lado, no se ha verificado en el presente trabajo el estudio de las deformaciones de las vigas de refuerzo, las cuales se analizarán en trabajos futuros a fin de evaluar el estado de deformaciones de las estructuras de hormigón armado, controlando el nivel de flechas máximas, deformaciones diferenciales, y distorsión angular, a fin de poder comparar con los límites propuestos por la bibliografía para el inicio de fisuras en mampostería.

Finalmente, y si bien hasta el momento ha resultado complicado trabajar en conjunto con las empresas del medio, se espera poder validar los resultados del modelo con mediciones experimentales de campo, a fin de proseguir con la presente línea de trabajo en el ámbito de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones.

## REFERENCIAS

- Brinkgreve R.B.J., Broere W. Plaxis 3D Foundation. *Delft University of Technology & Plaxis* bv. Netherlands. 2006.
- 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, pp. 33-46, Asunción, Paraguay, Octubre 1990.
- Díaz Díaz. Y. A., López Alvarado E. F. Plaxis como herramienta de modelación para la solución de algunos problemas geotécnicos reales en la ciudad de punta arenas. Chile. p.192. 2008.
- IProDHa. Pliego de Especificaciones Técnicas Generales, Prototipo "D/10". *Instituto Provincial de Desarrollo Habitacional de la Provincia de Misiones*, p.20, 2010.
- 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*, pp. 17-25, Asunción, Paraguay, 2005.
- Reglamento CIRSOC 201, Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón, *Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios*, 2005.
- Reinert H. O., Terzariol R., Redolfi, E., Parámetros Mecánicos e Hidráulicos de arcillas grises del Departamento de Oberá - Misiones. *XIX Congreso Argentino de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica 2008*, 10 p., La Plata, Argentina, 2008.
- Reinert H. O., Terzariol R., Clasificación Geotécnica de suelos grises compactados del Departamento de Oberá - Misiones, *Memorias del III Conferencia Latinoamericana de Ingenieros Geotécnicos Jóvenes*, pp: 235-238, Córdoba, Argentina, 2009.
- Reinert H. O., Duarte J. A., Evaluación de esfuerzos y asentamientos diferenciales en platea de cimentación de viviendas sociales - Importancia del modelo de análisis empleado, *XX Congreso sobre Métodos Numéricos y sus aplicaciones*, pp. 3597-3615, Mendoza, Argentina, 2013.

Reinert H. O., Duarte J. A., Evaluación de solicitaciones en elementos estructurales de hormigón armado - Importancia del modelo de análisis empleado, *XX Congreso sobre Métodos Numéricos y sus aplicaciones*, pp. 3617-3637, Mendoza, Argentina, 2013.

Silva M. A., Reinert H. O., Duarte J. A., Modelación numérica de cimentaciones en suelos residuales de misiones, *III Jornadas de Investigación en Ingeniería del NEA y países limítrofes*, pp. 17-24, Resistencia, Chaco, Argentina, 2014.