

SIMULACIÓN DE PLACAS ANCLADAS EN SUELOS RESIDUALES DE MISIONES MEDIANTE EL ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS

Schmidgall Karen Paola²; Dos Santos Ayres Mauricio³; Bressan Daniel⁴; Reinert Hugo⁵; Bogado Gustavo⁶.

¹ Trabajo de Investigación, Proyecto de Investigación “Anclajes en suelos tropicales misioneros” Código 16/I109.

² Autor del Trabajo, Estudiante de Ingeniería Civil, karen.schmidgall@gmail.com.

³ Co-Autor del Trabajo, Estudiante de Ingeniería Civil, mauricio_ds_ayres@hotmail.com.

⁴ Director de Proyecto, Ingeniero Civil, bressanobe@gmail.com.

⁵ Co-Director de Proyecto, Ingeniero Civil, hugoreinert@gmail.com.

⁶ Integrante de Proyecto, Ingeniero Civil, gustavobogado7@hotmail.com.

Resumen:

El presente trabajo expone la temática de los llamados anclajes o tirantes, en el marco del proyecto de investigación denominado “Anclajes en suelos tropicales misioneros” Código 16/I109. Los anclajes son de gran utilidad cuando es necesario soportar esfuerzos de tracción, en especial en zonas de topografía accidentada, en las cuales muchas veces resulta práctico anclar elementos para soportar tales esfuerzos. Si bien la utilidad de los mismos no es difundida en el medio por la falta de datos para suelos residuales como los que poseemos en la región, es posible mediante un tendón de acero, con una placa rígida ubicada en su extremo, es posible recrear de manera sencilla un anclaje. Es por ello, que se tiene como objetivo la determinación del comportamiento del suelo frente a un sistema de placa anclada. La metodología planteada consistió básicamente en la simular, por medio del método de elementos finitos en el software PLAXIS 2D, el arrancamiento de placas horizontales de chapa de hierro de 5mm de espesor y variando la relación entre el ancho B y la profundidad H a la que están dispuestas. De las correlaciones realizadas se pudo concluir que un aumento en el ancho de placa implica un aumento de las deformaciones en el suelo, sin significar esto un aumento de su resistencia, por lo que resulta más conveniente la utilización de ancho de placas menores.

Palabras Clave: *Anclajes - Elementos Finitos – Suelos Residuales - Placas.*

Introducción:

Dadas las características topográficas presentes en la Provincia de Misiones, resulta habitual el uso de muros de sostenimiento de suelo, los cuales generalmente por cuestiones de estabilidad requieren de importante volumen en el caso de los muros de gravedad, o bien de mayores costos en el caso de muros de hormigón armado. Para reducir los costos asociados a la construcción de los mismos, es posible emplear anclajes o tirantes que soporten los esfuerzos traducidos al muro por el suelo.

No obstante, estos elementos son escasamente utilizados, por lo cual no existen datos que puedan simplificar su diseño para el caso de los suelos residuales presentes en nuestro medio.

Por ello resulta de interés el estudio del comportamiento del suelo ante distintos tipos de anclaje.

Un anclaje sencillo puede crearse mediante un tendón de acero, con una placa rígida ubicada en su extremo y perpendicular a su eje longitudinal. En este modelo estructural, el tendón de acero actúa soportando esfuerzos de tracción, mientras que la placa, que debe ser lo suficientemente rígida, comprime el suelo que la rodea, aportando una resistencia que con un adecuado diseño estructural podría absorber parte de las solicitaciones traducidas al muro. Para aplicar este modelo, es necesario evaluar las deformaciones del suelo frente a los distintos rangos de cargas, a diferentes tamaños de placas, y a varias profundidades. Con este fin, se realizaron modelaciones en software de elementos finitos del sistema descrito y se evaluaron las deformaciones del suelo para las distintas configuraciones.

En el presente trabajo se desarrollan diferentes variantes conforme lo planteado precedentemente, y se evalúan los resultados con el objeto de obtener correlaciones o curvas características que puedan simplificar el cálculo de este modelo estructural.

Metodología:

El estudio del comportamiento del suelo frente a un sistema de placa anclada se desarrolló mediante modelación digital en el software PLAXIS 2D, que se basa en el método de elementos finitos para el análisis de la deformación y la estabilidad de las estructuras del suelo. El modelo consiste en simular un entorno de suelo natural, sobre la cual se dispone la placa rígida, y sobre ello suelo residual regional compactado, es decir, remoldeado. Una imagen del modelo se da en la Figura 1.

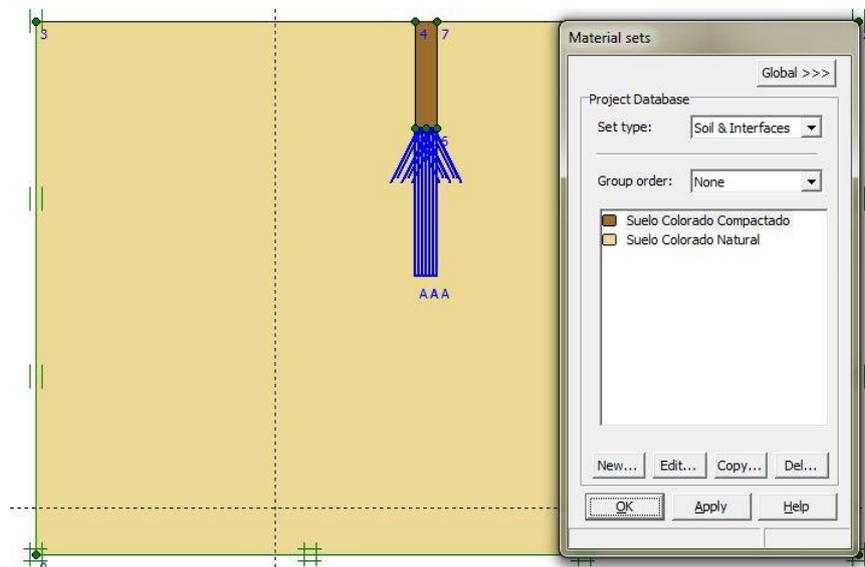


Figura 1: Imagen del modelo en estudio.

Al tamaño de placa se lo denomina con la letra 'D', haciendo referencia a la dimensión de sus lados. A la profundidad de disposición de la placa (medida desde la superficie) se la designa 'H'. Se analizaron las deformaciones para los distintos tamaños de placa propuestos, variando la relación H/D entre 2, 4, 6 y 8.

En primer lugar se trabajó con la placa de tamaño $D=30$ cm y una relación $H/D=2$, es decir, dispuesta a una profundidad de 60 cm. Para esta configuración se modeló el anclaje variando la carga en intervalos de 100 kPa, obteniendo la deformación correspondiente a cada valor de carga P , hasta hallar la carga de rotura definida como la carga para la cual se produce la falla en el suelo o bien las deformaciones son excesivas.

El procedimiento se repitió para relaciones $H/D=4$, $H/D=6$ y $H/D=8$, con tamaños de placa de $D=40$ cm, $D=50$ cm y $D=60$ cm para cada uno de los casos.

Para la definición de los modelos se asumieron los parámetros de referencia detallados en la Tabla 1 y 2, para los suelos y la placa de anclaje metálica, conforme requerimientos del software.

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. tomando valores medios de un total de 30 ensayos de caracterización y mecánicos en suelos naturales y compactados. Los valores de referencia se detallan en la Tabla 1.

Parámetro	Desig.	Ud.	Suelo Compactado	Suelo Natural
Modelo Material	-	-	Mohr - Coulomb	Mohr - Coulomb
Tipo de comportamiento	-	-	No Drenado	No Drenado
Peso unitario húmedo	γ_{Wet}	kN/m^3	19.10	17.10
Peso unitario saturado	γ_{Sat}	kN/m^3	20.00	18.50
Módulo de Elasticidad	E_{ref}	kN/m^2	24000	18000
Módulo de Poisson	ν	-	0.30	0.25
Cohesión	C_{ref}	kN/m^2	87.00	60.00
Angulo de fricción	ϕ	$^\circ$	13.50	10.00

Tabla 1: Parámetros geomecánicos empleados en los modelos.

Los parámetros mecánicos de la placa se adoptaron de manera tal que tenga la suficiente rigidez para no deformarse, con el fin de analizar solamente las deformaciones del suelo.

Para la modelación en software se deben definir las propiedades geométricas y mecánicas de placa. Con las rigideces axial y flexional se define un espesor equivalente que depende de una relación entre las mismas.

Parámetro	Desig.	Ud.	Chapa de aluminio
Modelo Material	-	-	Elástico
Rigidez Axial	EA	kN/m	2.00E+11
Rigidez Flexional	EI	kNm^2/m	3.00E+07
Módulo de Poisson	ν	-	0.30
Peso	w	$kN/m/m$	0.00
Espesor equivalente	d	m	0.042

Tabla 2: Parámetros geométricos y mecánicos empleados en los modelos.

El sistema propuesto consiste en una carga uniformemente distribuida aplicada sobre la placa, comprimiendo el suelo compactado. Para cada tamaño de placa se realizaron las corridas en software variando las cargas en intervalos de 100 kPa, hasta que se produjera la falla del suelo o bien las deformaciones son excesivas.

Resultados y Discusión:

Para cada corrida realizada teniendo en cuenta todas las variantes de tamaño de placa, relación H/D y carga aplicada, se tabularon los datos de desplazamiento del punto medio de la placa.

Estos resultados se muestran en la Tabla 3, donde se puede apreciar que para la relación H/D=2, sin importar el tamaño de placa, se produce la falla con una carga menor a 900 kPa. Para las demás configuraciones analizadas, con una carga de 900kPa, las deformaciones son mayores a 19mm, y en algunos casos alcanzan los 40mm. Estas deformaciones son consideradas excesivas para el tipo de estructura analizada, por lo cual se adoptó dicho valor como el límite de análisis en la serie de datos presentados.

CARGA	PU [kPa]	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
TAMAÑO [cm]		DEFORMACIONES [mm]									
D=30	H/D=2	0	1,74	3,62	5,60	7,71	10,09	13,53	22,77	53,95	FALLA
	H/D=4	0	1,47	3,02	4,67	6,42	8,24	10,47	13,24	17,63	26,77
	H/D=6	0	1,31	2,65	4,05	5,54	7,13	8,88	11,06	14,28	19,74
	H/D=8	0	1,21	2,45	3,71	5,04	6,47	8,08	10,17	13,51	19,20
D=40	H/D=2	0	2,04	4,24	6,59	9,07	12,01	16,64	30,53	85,16	FALLA
	H/D=4	0	1,69	3,00	5,32	7,33	9,47	12,09	15,49	21,17	33,38
	H/D=6	0	1,49	3,01	4,57	6,24	8,05	10,15	12,89	17,36	25,46
	H/D=8	0	1,35	2,73	4,13	5,57	7,11	8,86	11,00	15,00	22,32
D=50	H/D=2	0	2,28	4,72	7,35	10,14	13,50	18,84	35,69	104,86	FALLA
	H/D=4	0	1,85	3,75	5,77	7,97	10,31	13,26	17,16	23,88	38,30
	H/D=6	0	1,60	3,24	4,92	6,66	8,57	10,83	13,99	19,33	29,17
	H/D=8	0	1,41	2,85	4,33	5,84	7,44	9,25	11,90	16,46	24,64
D=60	H/D=2	0	1,42	5,11	6,03	11,00	11,07	15,78	34,28	112,68	FALLA
	H/D=4	0	1,97	3,99	6,10	8,38	10,90	14,08	18,39	25,98	42,42
	H/D=6	0	0,60	3,36	5,10	6,90	8,83	11,11	14,47	20,22	30,74
	H/D=8	0	1,39	2,82	4,28	5,79	7,39	9,18	12,10	17,20	25,40

Tabla 3: Resultados de desplazamientos obtenidos para los diferentes modelos.

En la Figura 2 se grafica el comportamiento carga deformación obtenido, donde se puede observar una respuesta prácticamente lineal para todos los tamaños de placa y para todas las relaciones H/D, hasta un valor aproximado de 600kPa. Apartir de este punto, se evidencia un importante incremento de deformaciones, para pequeños incrementos de carga.

Agrupando las curvas, es posible notar que las deformaciones crecen con el tamaño de placa y disminuyen con el aumento de la relación H/D.

En la Figura 2 se presentan las curvas agrupadas de manera tal que se puede comparar las variaciones para una misma relación H/D, distinguiéndose en color azul a H/D=4, en color rojo a H/D=6 y en color Negro la relación H/D=8.

Las curvas de relación H/D=2 se omitieron debido a que las deformaciones, como se observa en la Tabla 3, son notoriamente mayores que para las demás relaciones. Igual criterio se adopto para el tamaño de placa D=60 cm, dado que tambien presenta deformaciones muy superiores a los demas tamaños de placa.

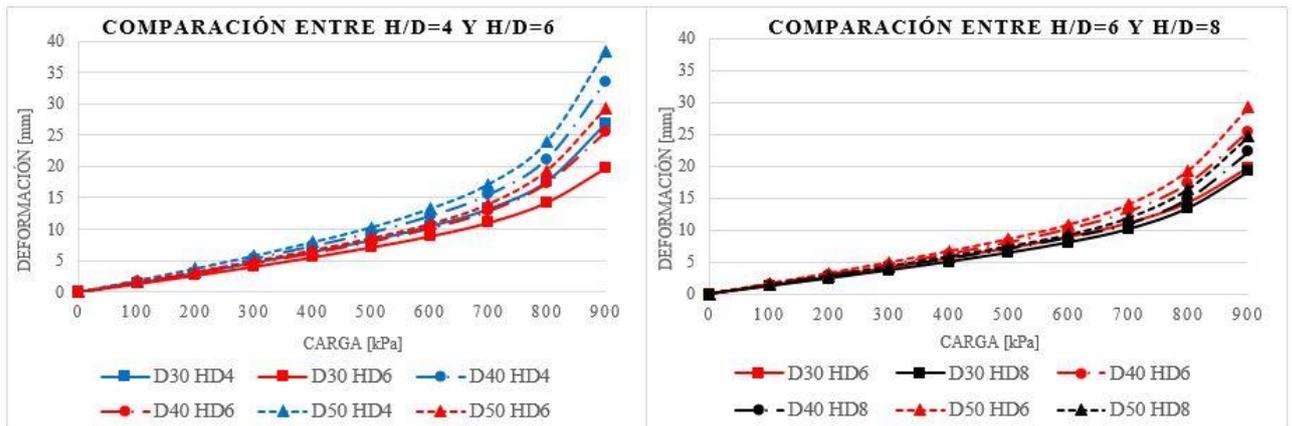


Figura 2: Resultados de carga-deformación obtenidos.

Conclusiones:

El análisis de la respuesta de los modelos planteados conforme los guarismos presentados en Tabla 3 y curvas presentadas en la Figura 2, permiten notar que la relación entre cargas y deformaciones es lineal hasta un valor límite de aproximadamente 600 kPa, a partir del cual las deformaciones resultan más sensibles al incremento de carga.

Se destaca que la respuesta para $H/D=6$ y $H/D=8$ resultan prácticamente alineadas, por lo que en principio no tendría mucho sentido aumentar la relación entre profundidad y ancho de placa, ya que no produce resultados muy diferentes.

Además, se observa que aumentar el ancho de placa, se incrementa las deformaciones en el suelo, sin aumentar su resistencia, por lo que se recomienda utilizar ancho de placa más reducidos, como el caso de la placa de 30 cm.

Finalmente se concluye que de los modelos desarrollados los mejores resultados se podrían asociar a tamaño de placa de 30 cm, con relación H/D de 4 a 6. Igualmente se pretende poder validar y/o calibrar los presentes modelos con algunos ensayos de campo.

Referencias:

- Bressan, Daniel A.; Reinert, Hugo O.; Avato, Marcelo E. (2014). *Investigación sobre capacidad de Anclajes en Suelos Misioneros. III Jornadas de Investigación en Ingeniería del NEA y Países Limítrofes – Nuevos escenarios para la ingeniería en el norte grande*. ISBN: 978-950-42-0157-1. Facultad Regional Resistencia. Universidad Tecnológica Nacional. Resistencia. Chaco. Argentina.
- De Salvo, O. E. (1990). *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.
- FOOKES, P. G. (2004). *Suelos Residuales Tropicales*. Hombre Nuevo Editores. Medellín, Colombia. p. 235.
- GIDIGASU, M. D. (1976). *Laterite Soil Engineering – Pedogenesis and Engineering Principles*. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam. p. 554.
- NAVARRO R.U. (2002). *Manual de Anclajes en Obras de Tierras*. Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes. Mérida. Venezuela. p. 214.