



MODELO NÚMÉRICO 3D PRUEBA DE EXTRACCIÓN DE ANCLAS HELICOIDALES

Proyecto: Torres Brasilia en Guadalajara, México

Reporte N° 2022.IGM.012.002

JULIO 2022

CONTENIDO

1. OBJETIVO.....	3
2. ESTRATIGRAFÍA.....	3
3. MÉTODO ANALÍTICO	3
3.1. Geometría.....	3
4. MODELO NUMÉRICO 3D.....	4
4.1. Geometría.....	4
4.2. Pruebas de extracción.....	5
4.3. Resultados	6
5. CONCLUSIONES	11
ANEXO I	12

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Modelo Geotécnico de Diseño	3
Tabla 2. Capacidad de anclas helicoidales	4
Tabla 3. Comparación de capacidad última por ambos métodos	11

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de anclas helicoidales analizado.....	4
Figura 2. Modelo 3D del sistema de anclas.....	5
Figura 3. Predicción de carga última utilizando el método Chin-Kondner (después de Chin, 1970) .	6
Figura 4. Curvas cargas-desplazamiento obtenidas para cada nivel de anclas.....	7
Figura 5. Curvas cargas-desplazamiento obtenidas para el Nivel 1	7
Figura 6. Curvas cargas-desplazamiento obtenidas para el Nivel 2.....	8
Figura 7. Curvas cargas-desplazamiento obtenidas para el Nivel 3	8
Figura 8. Contornos de desplazamientos horizontales (m) en el eje de anclas 3A-3C para cargas de extracción en todo el sistema	9
Figura 9. Curvas cargas-desplazamiento obtenidas para el ancla 3B (individual y grupo).....	10
Figura 10. Contornos de desplazamientos horizontales (m) en el eje de anclas 1B-3B para cargas de extracción en ancla 3B únicamente	10

1. OBJETIVO

En el Reporte 2022.IGM.012.001 se calculó la capacidad de carga última mediante métodos analíticos de un sistema de anclas helicoidales. El objetivo de este reporte es presentar los resultados de la comparación entre la capacidad obtenida con métodos analíticos y la que procede de pruebas de extracción simuladas mediante un modelo numérico 3D.

2. ESTRATIGRAFÍA

Se retoman las propiedades del modelo geotécnico desarrollado en el Reporte 2022.IGM.012.001.

Tabla 1. Modelo Geotécnico de Diseño

Profundidad, m		Descripción	γ' kN/m ³	c kPa	ϕ °	E MPa	ν -
De	A						
0	1	Arena limosa	14.3	35	28	5	0.3
1	10	Arena limosa	14.5	35	36	13	0.3
10	14	Arena limosa	15	35	36	15	0.3
14	15	Arena limosa	5	35	34	15	0.3
15	20	Arena limosa	5.6	35	32	13	0.3
20	25	Arena limosa	6	35	32	13	0.3
25	30	Arena limosa	6	35	35	16	0.3

donde: γ' = peso volumétrico sumergido; c = cohesión; ϕ = ángulo de fricción interna; E = módulo de Young; y ν = relación de Poisson.

3. MÉTODO ANALÍTICO

3.1. Geometría

Con la envolvente de superficie de falla previamente determinada, se propuso el siguiente sistema de anclas helicoidales:

Longitud de anclas, m (ver Figura 1)	Variable
Producto	CHANCE SS225
Número de hélices	3
Arreglo de hélices	203 mm (8"), 254 mm (10"), 305 mm (12")
Ángulo respecto a la horizontal, °	20
Espaciamiento horizontal y vertical, m	3

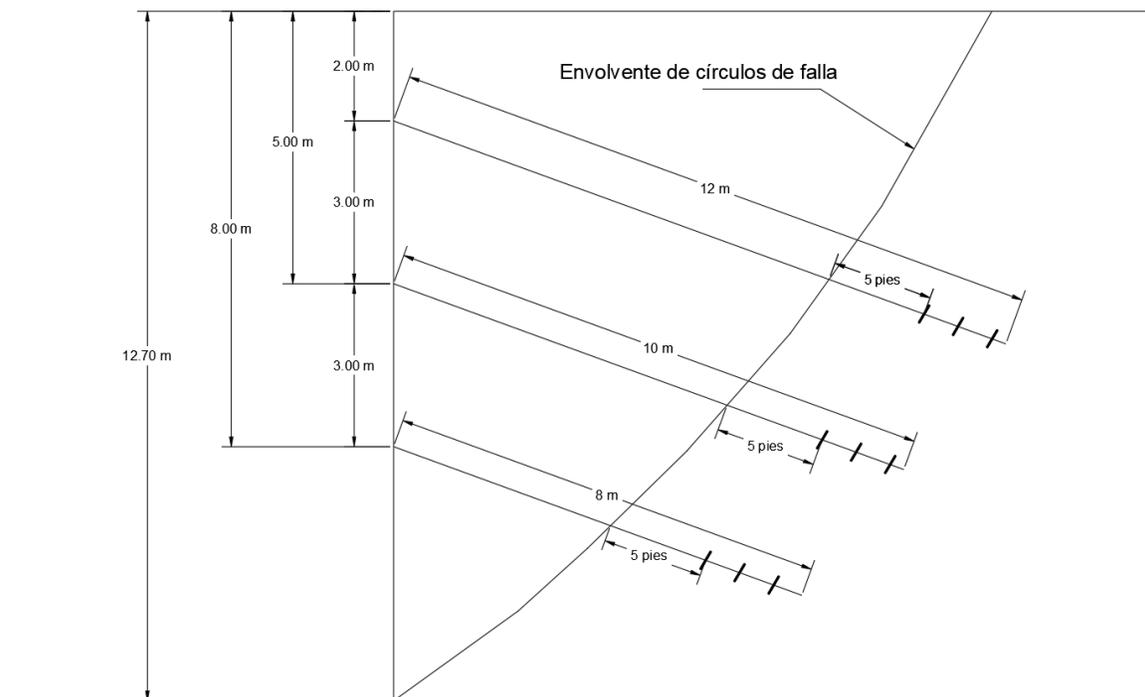


Figura 1. Sistema de anclas helicoidales analizado

De acuerdo con las características del sistema de anclas a analizar y de los parámetros del modelo geotécnico de diseño, se calculó la resistencia de las anclas utilizando el programa HeliCAP que utiliza un método analítico. Las resistencias obtenidas se presentan en la Tabla 2, donde se verificó que la capacidad geotécnica última (Q_u) no sobrepasara la capacidad nominal de las anclas (Q_s) y que el torque requerido de instalación no fuera superior al torque que soportan las anclas.

Tabla 2. Capacidad de anclas helicoidales

Producto	SQUARE SHAFT (SS225)									
Arreglo	203,254,305									
L (m)	Shaft size in (mm)	No.	Q_u (kN)	Q_s (kN)	$Q_u < Q_s$	FS	Q_{adm} (kN)	Installation Torque (Nm)	Effective Torque (Nm)	Torque rating (Nm)
12	2.125 (57)	1	174.1	2140	OK	2	87	5336	5266	28475
10	2.125 (57)	2	225.5	2140	OK	2	113	6896	6826	28475
8	2.125 (57)	3	689.7	2140	OK	2	345	21076	20876	28475

4. MODELO NUMÉRICO 3D

4.1. Geometría

En la Figura 2 se muestra la malla de elementos del modelo numérico analizado, donde se agregaron tres líneas en sentido horizontal espaciadas 3 m como se consideró en la revisión anterior (Reporte 2022.IGM.012.001). El arreglo del modelo considera una configuración en “tresbolillo”.

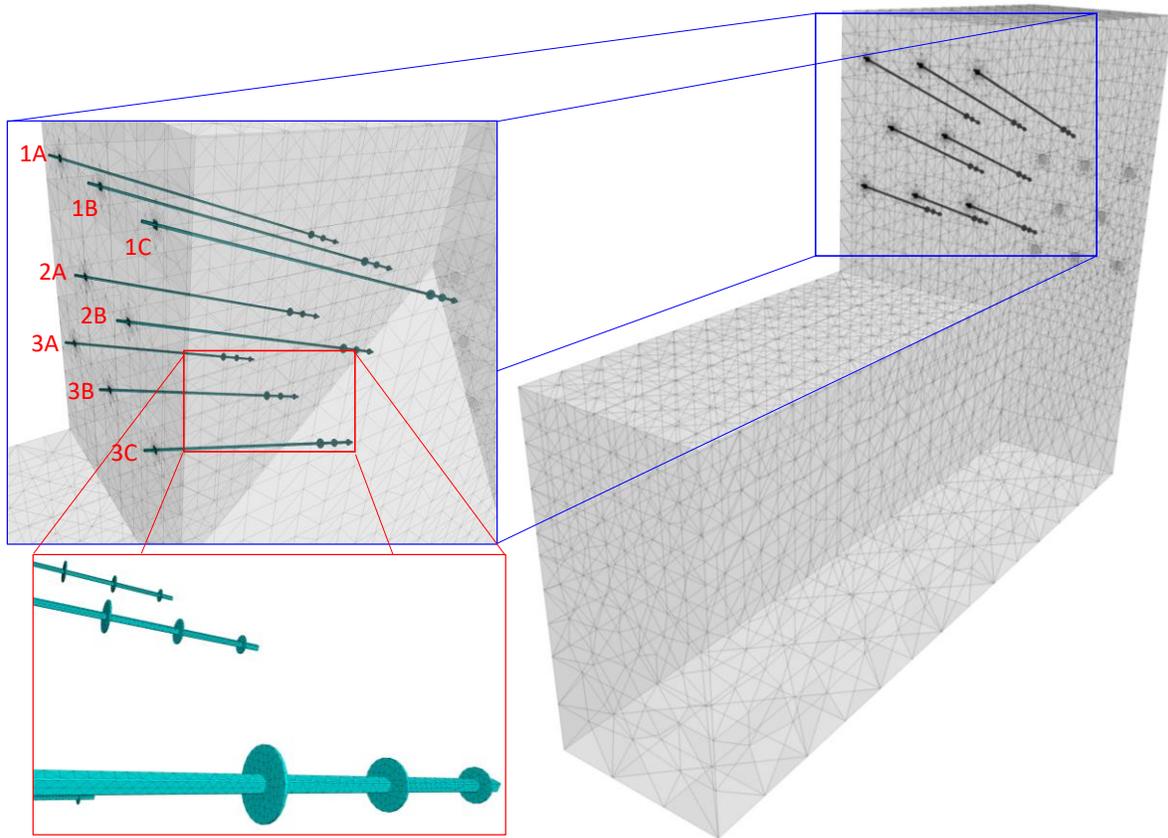


Figura 2. Modelo 3D del sistema de anclas

Las siguientes etapas fueron analizadas (ver detalle en el Anexo I):

1. Asignación de fronteras
2. Excavación hasta el nivel de proyecto (-12.7 m)
3. Instalación del sistema de anclas helicoidales
4. Aplicación de cargas de extensión

A las anclas se les fue asignado el modelo constitutivo lineal elástico y se programaron las siguientes propiedades típicas del acero:

Peso volumétrico = 78 kN/m^3 ;

Módulo de Young = $200,000 \text{ MPa}$;

Relación de Poisson = 0.30 .

4.2. Pruebas de extracción

Las pruebas de extracción consisten en aplicar cargas de extracción en las anclas instaladas, considerando ciclos de carga y descarga. Para el caso del modelo numérico analizado en este trabajo

se aplicaron cargas consecutivas hasta obtener desplazamientos de la cabeza del ancla cercanos a 30 cm, lo cual se considera como un movimiento crítico.

Como resultado de estas pruebas se obtiene una curva carga – desplazamiento y existen diversos métodos para obtener la capacidad última de los elementos a partir de los puntos de la curva cuando la falla no es evidente. Para este trabajo se utilizó el método de Chin-Kondner, el cual se basa en la suposición de que la relación entre la carga aplicada (Q) y el desplazamiento del ancla (s) es una relación hiperbólica, y de que la gráfica (s/Q) contra (s) es lineal. Entonces, se puede obtener una línea recta si se grafican los desplazamientos obtenidos en la cabeza del ancla divididos por su correspondiente carga en el eje de las ordenadas y el desplazamiento de la cabeza del ancla en el eje de las abscisas. La inversa de la pendiente de la línea recta es la capacidad de carga última a la falla del ancla (ver Figura 3).

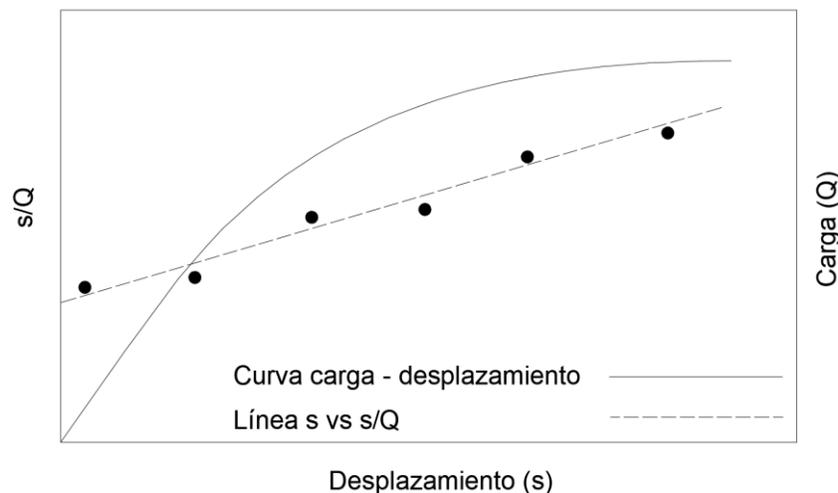


Figura 3. Predicción de carga última utilizando el método Chin-Kondner (después de Chin, 1970)

En el modelo numérico se aplicaron 13 ciclos de carga para cada una de las anclas al mismo tiempo con el objetivo de revisar si existe algún efecto de grupo como en el caso de grupos de pilotes. Éstas cargas fueron asignadas a partir de las capacidades de carga última y admisible calculadas por el método analítico previamente. En el Anexo I se presentan los detalles de las cargas de extensión aplicadas al sistema de anclas helicoidales.

4.3. Resultados

En la Figura 4 se muestran las curvas carga-desplazamiento obtenidas de la simulación de las pruebas de extracción para los tres niveles de anclas del modelo (Nivel 1, 2 y 3). En la Figura 2 se define la nomenclatura de cada ancla. Como se puede observar, las anclas de cada nivel se desplazan prácticamente de la misma manera por lo que las curvas se traslapan (e.g., curvas del nivel 1, anclas 1A, 2A y 3A). En esta misma gráfica se colocó la resistencia nominal de las anclas (2140 kN) la cual no debe ser sobrepasada por la capacidad geotécnica del ancla; se aprecia que en ningún caso las curvas carga-desplazamiento pasan este límite.

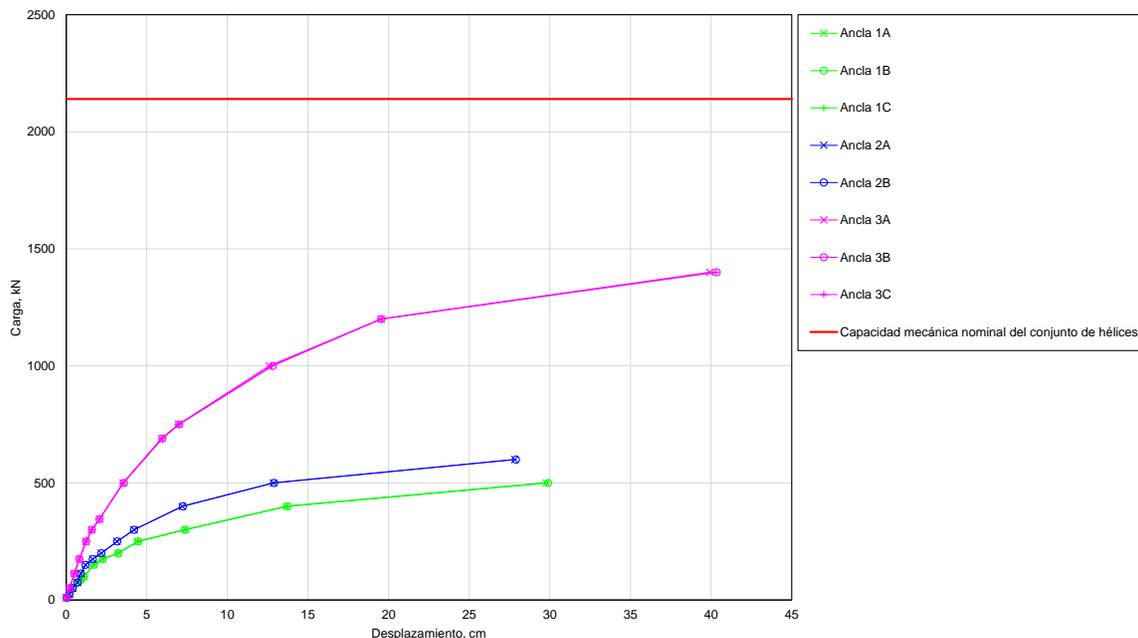


Figura 4. Curvas cargas-desplazamiento obtenidas para cada nivel de anclas

Para revisar más a detalle cada curva, a continuación, se presentan las curvas por nivel de anclas, donde se indican los puntos de la curva donde fue calculada la capacidad geotécnica última y admisible mediante HELICAP (i.e., método analítico), así como una regresión lineal para calcular la inversa de la pendiente obteniendo la capacidad de carga última del ancla de acuerdo con el método de Chin-Kondner.

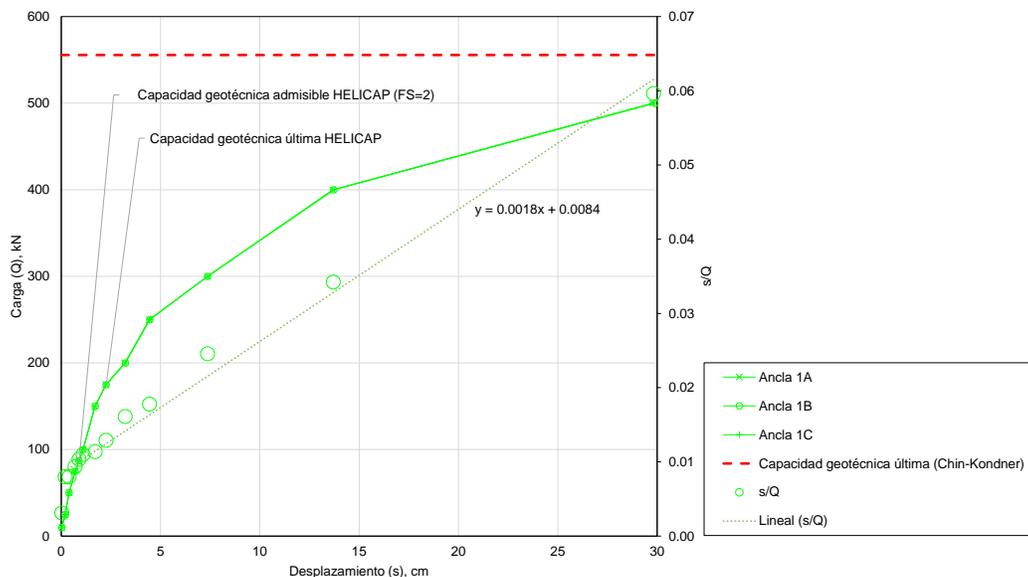


Figura 5. Curvas cargas-desplazamiento obtenidas para el Nivel 1

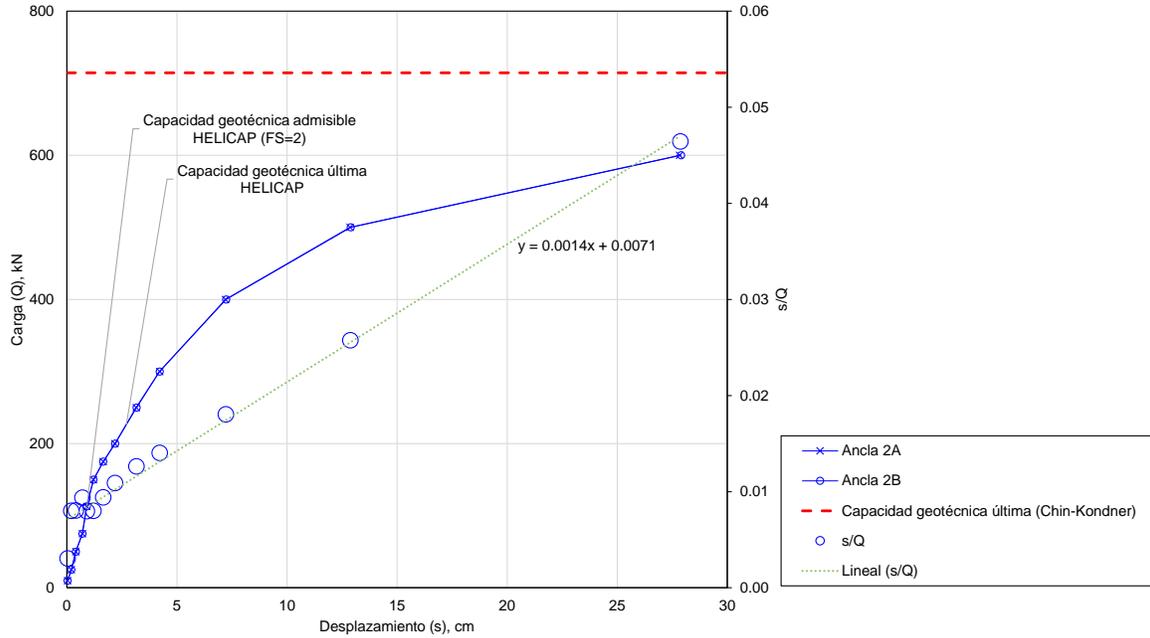


Figura 6. Curvas cargas-desplazamiento obtenidas para el Nivel 2

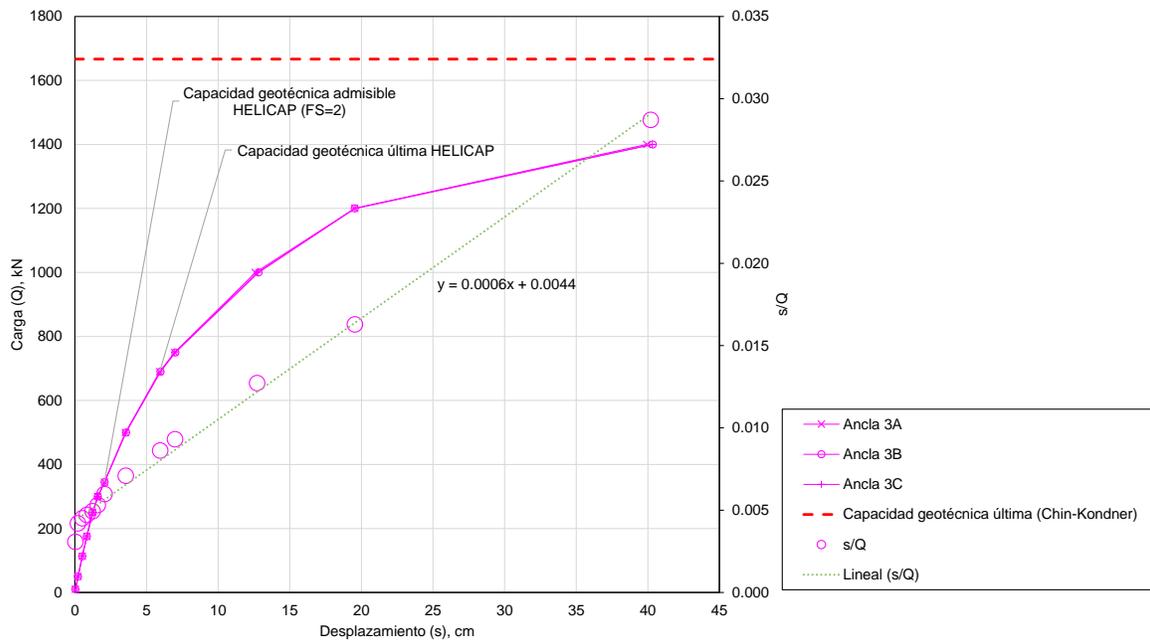


Figura 7. Curvas cargas-desplazamiento obtenidas para el Nivel 3

De manera general los siguientes aspectos son evidentes:

- La capacidad de carga última determinada de la simulación de pruebas de extracción es considerablemente mayor que la capacidad de carga última calculada por métodos analíticos;
- La capacidad de carga última y por ende la admisible calculada por métodos analíticos se encuentra en el tramo lineal de las curvas carga-desplazamiento, por lo que el utilizar estos métodos es adecuado y conservador;
- La capacidad de carga última incrementa con la profundidad de las anclas.

Además, para la última carga de extracción aplicada, se logro observar que la masa de suelo completa se moviliza por la actuación de las anclas en un corte que pasa por las anclas 3A y 3C (Figura 8). Esto implica a que la capacidad de las anclas registrada en las curvas carga-desplazamiento está influida por el conjunto de anclas siendo extraídas al mismo tiempo, por tanto, se generó una prueba de extracción solo en el ancla 3B para revisar el efecto individual en la capacidad de carga.

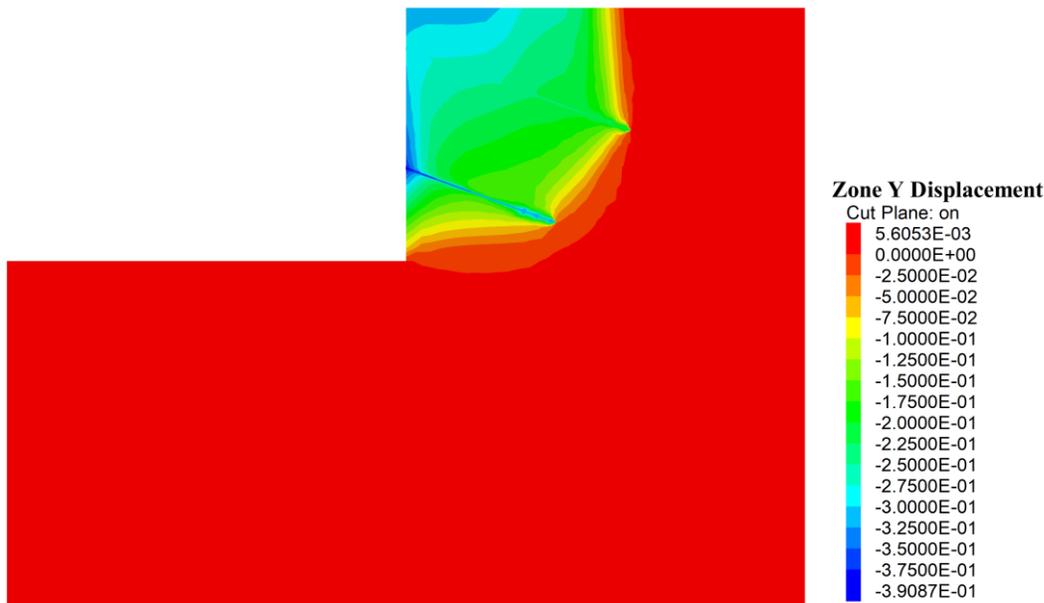


Figura 8. Contornos de desplazamientos horizontales (m) en el eje de anclas 3A-3C para cargas de extracción en todo el sistema

En la Figura 9 se presentan las curvas carga-desplazamiento para el ancla 3B actuando en grupo o en forma individual. Como se puede observar, la curva para la condición individual presenta un desplazamiento menor para cada incremento de carga, sin embargo, al calcular la capacidad de carga última por el método de Chin-Kondner, la pendiente es la misma que para el caso de la extracción de anclas en grupo. Esto implica que la capacidad última del ancla es la misma, pero ésta se da a diferentes desplazamientos del ancla dependiendo si se extrae de forma individual o como parte del grupo. La Figura 10 muestra los desplazamientos horizontales que sufre el suelo por la extracción individual del ancla 3B, como se puede observar, la masa de suelo afectada se desarrolla alrededor del ancla afectada solamente.

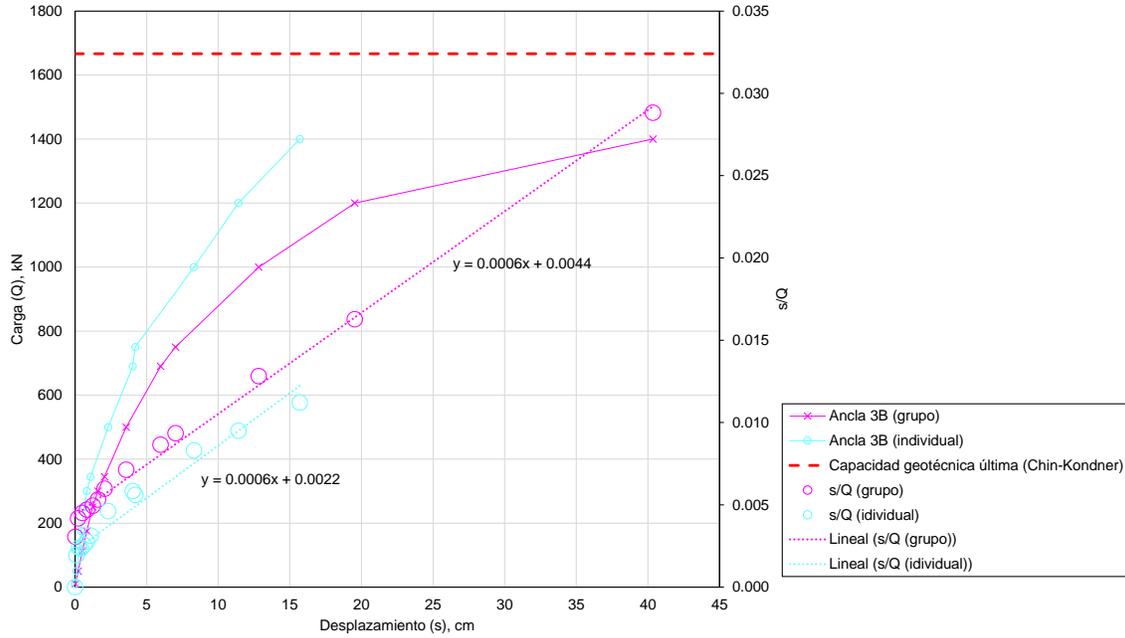


Figura 9. Curvas cargas-desplazamiento obtenidas para el ancla 3B (individual y grupo)

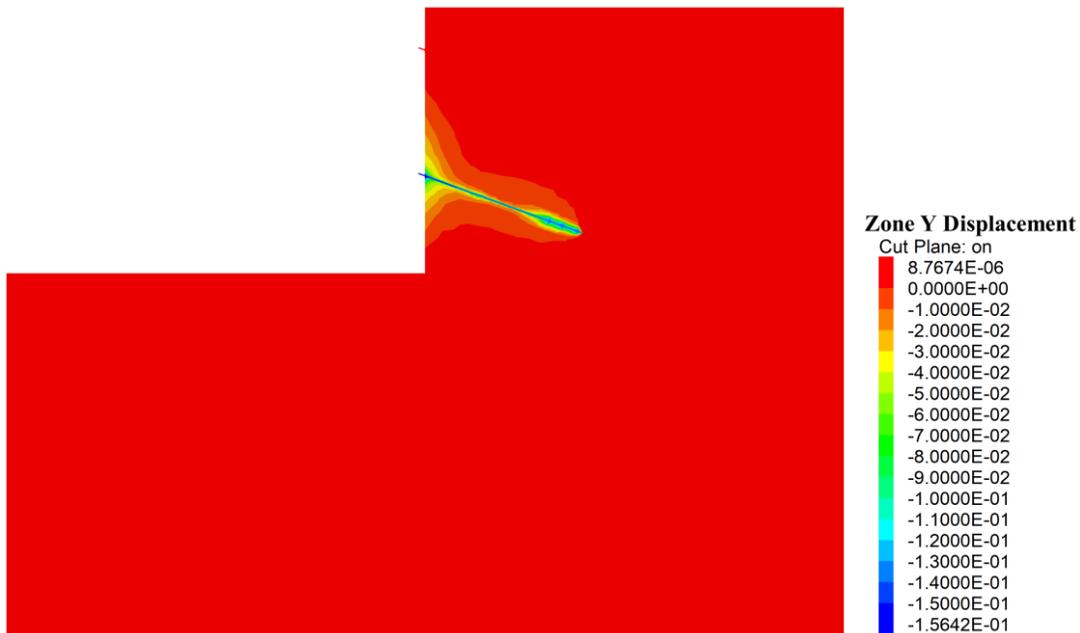


Figura 10. Contornos de desplazamientos horizontales (m) en el eje de anclas 1B-3B para cargas de extracción en ancla 3B únicamente

5. CONCLUSIONES

Se ejecutó un modelo numérico 3D mediante el Método de las Diferencias Finitas, con el objetivo de comparar la capacidad de carga última analítica y de la simulación de pruebas de extracción en un sistema de anclas helicoidales para estabilizar una excavación vertical.

En la Tabla 3 se presenta un resumen de las capacidades de carga obtenidas mediante el método analítico y el numérico. Se puede observar que la capacidad última calculada mediante las pruebas de extracción simuladas en el modelo numérico utilizando el criterio de Chin-Kondner es considerablemente mayor que la obtenida mediante el método analítico.

Tabla 3. Comparación de capacidad última por ambos métodos

Nivel	L (m)	Q _{última} analítica (kN)	Q _{última} modelo numérico (kN)
1	12	174	556
2	10	226	714
3	8	690	1667

Observando el comportamiento de las curvas carga-desplazamiento de las pruebas de extracción simuladas, fue posible observar también, que las capacidades de carga última y admisible calculadas analíticamente se mantienen en el rango lineal-elástico, por lo que su uso en la práctica es conservador.

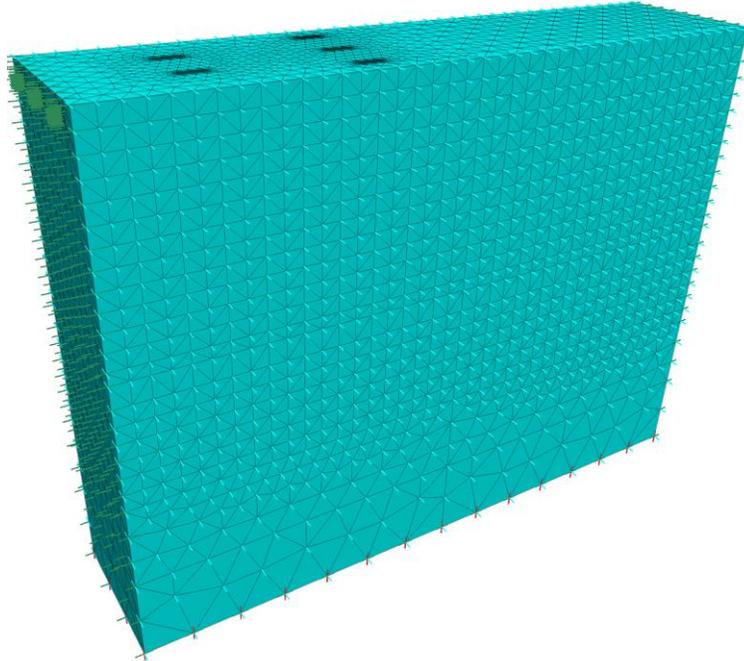
Finalmente se ejecutó una prueba de extracción individual, para revisar el comportamiento del grupo de anclas, concluyendo que, si existe una interacción importante debido a la masa de suelo desplazada por intentar extraer todo el sistema en el mismo momento, sin embargo, aún en este caso, la capacidad de las anclas derivada de las pruebas de extracción es mayor que la calculada analíticamente.



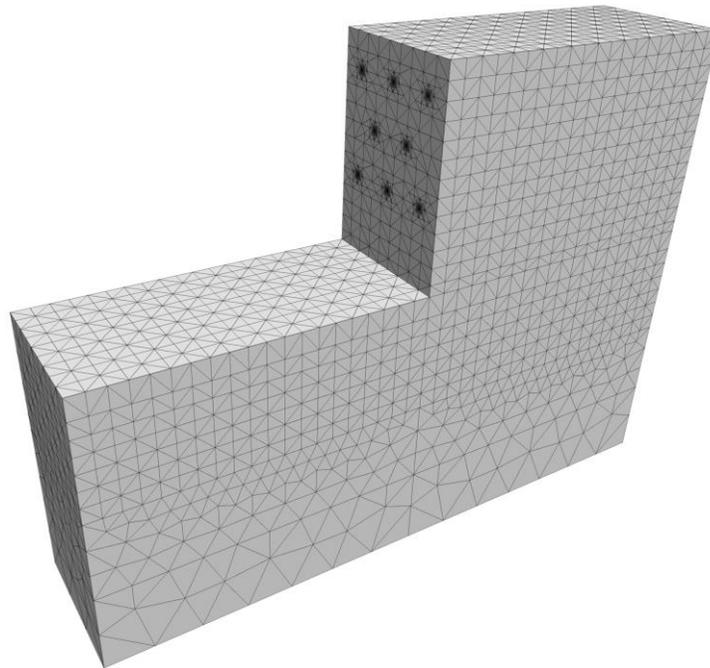
ANEXO I

MODELO NUMÉRICO 3D

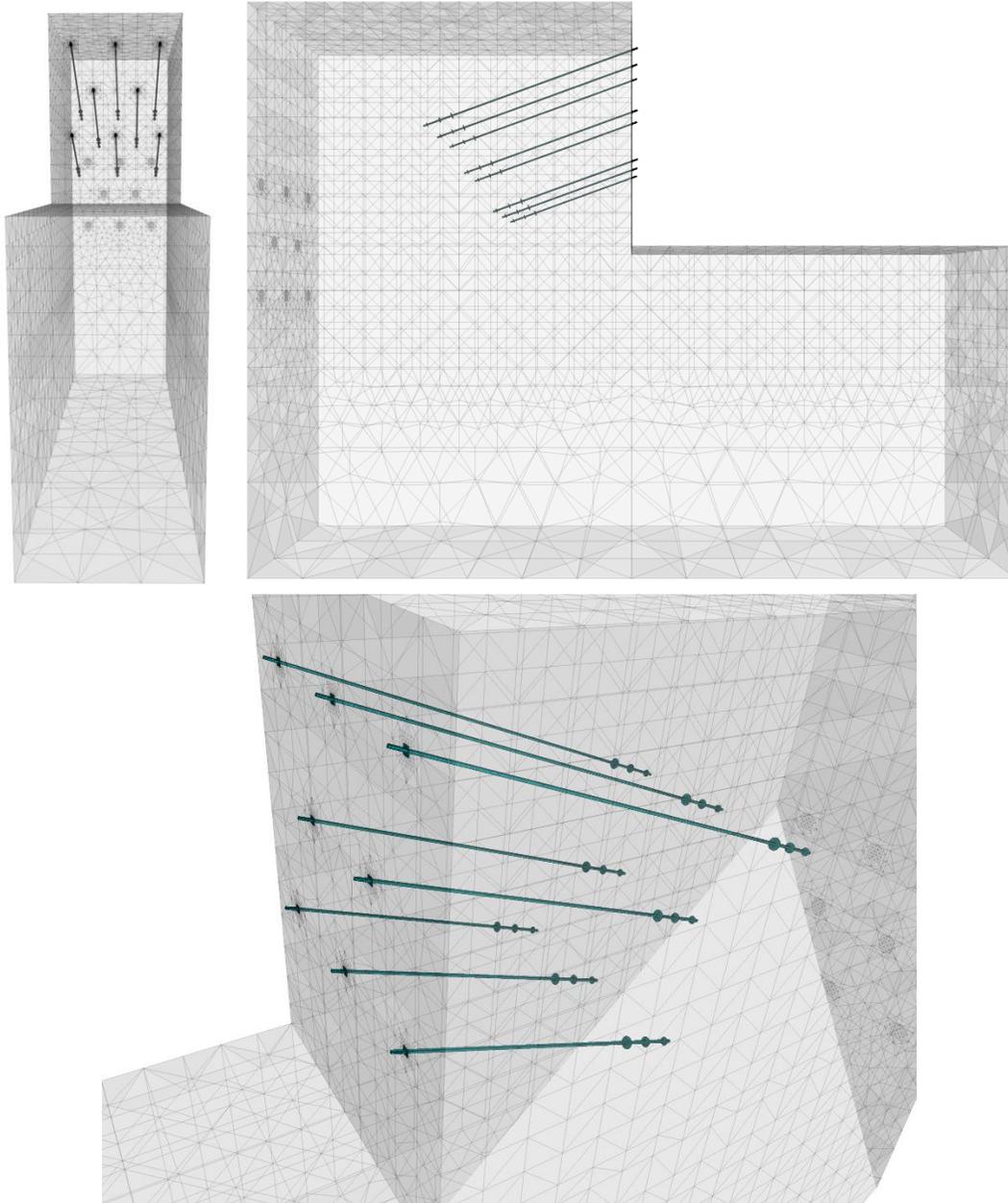
Asignación de fronteras



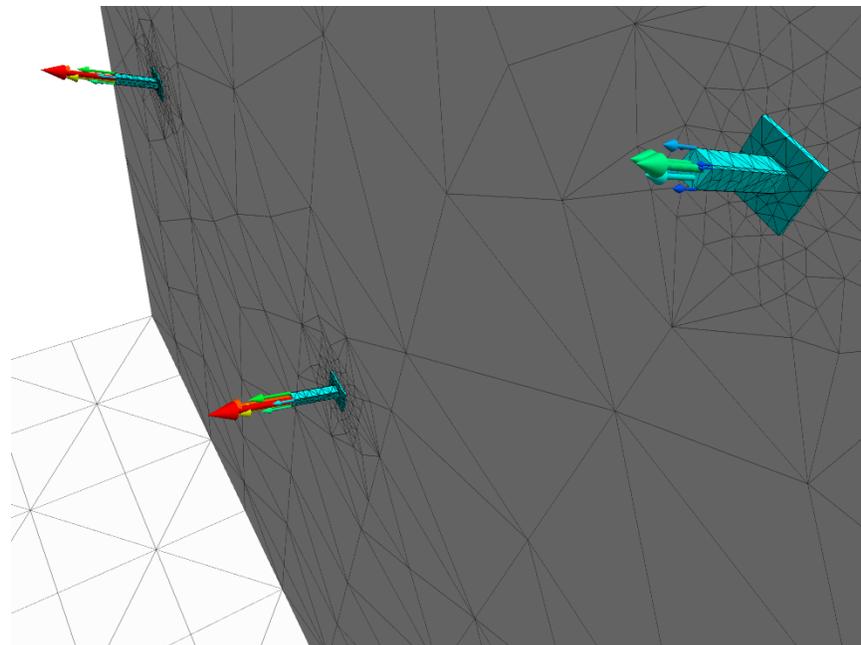
Excavación hasta nivel de proyecto (-12.7 m)



Instalación del sistema de anclas helicoidales



Aplicación de cargas de extensión



Ciclo	Carga (kN)		
	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
1	10	10	10
2	25	25	50
3	50	50	113
4	75	75	175
5	87	113	250
6	100	150	300
7	150	175	345
8	175	200	500
9	200	250	690
10	250	300	750
11	300	400	1000
12	400	500	1200
13	500	600	1400