

## *Ciencia Nicolaita 87*

ISSN: 2007-7068



Universidad  
Michoacana  
de San Nicolás  
de Hidalgo

# Pilas helicoidales en suelos expansivos: caso de aplicación

## Helical piles in expansive soils: application case

Andrea Berenice Medina Ramírez,\* Teresa López Lara, Jaime Moisés Horta Rangel, Juan Bosco Hernández Zaragoza y Erika Elaine Bernal Dauben

**Para citar este artículo:** Medina Ramírez Andrea Berenice,\* López Lara Teresa, Horta Rangel Jaime Moisés, Hernández Zaragoza Juan Bosco y Bernal Dauben Erika Elaine, 2023. Pilas helicoidales en suelos expansivos: caso de aplicación. Ciencia Nicolaita no. 87, 159-174. DOI: <https://doi.org/10.35830/cn.vi87.668>



### **Historial del artículo:**

Recibido: 26 de mayo de 2022

Aceptado: 26 de septiembre de 2022

Publicado en línea: abril de 2023



**Ver material suplementario**



**Correspondencia de autor:** [andrea.medram22@gmail.com](mailto:andrea.medram22@gmail.com)



**Términos y condiciones de uso:** <https://www.cic.cn.umich.mx/cn/about/privacy>



**Envíe su manuscrito a esta revista:** <https://www.cic.cn.umich.mx/cn/about/submissions>

# Pilas helicoidales en suelos expansivos: caso de aplicación

## Helical piles in expansive soils: application case

Andrea Berenice Medina Ramírez,\* Teresa López Lara, Jaime Moisés Horta Rangel, Juan Bosco Hernández Zaragoza y Erika Elaine Bernal Dauben

Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería, División de Estudios de Posgrado

### Resumen

Este documento tiene como objetivo presentar una metodología de diseño e instalación de pilotes helicoidales en un suelo expansivo de Juriquilla, Querétaro. Este proceso es para trabajos de remediación de una estructura que presenta daños por cambio de volumen en el suelo, para lo cual se buscó hacer un proceso de recimentación a través de un sistema de pilas helicoidales, el cual ya tiene tiempo en el mercado, pero su uso no es tan común si se compara con otros (micropilotes). Se considera un sistema confiable que transmite las cargas al suelo, su procedimiento de colocación es rápido y es un método que genera pocos cambios en la estructura del suelo. Este procedimiento se recomienda para la reparación de cimentaciones y para la construcción de estructuras pequeñas. Se hicieron estudios geofísicos para conocer qué tipo de suelo era el que estaba generando los daños, determinándose que se trataba de un suelo expansivo que tenía filtraciones de agua. En este proyecto se favoreció el uso pilotes de gran capacidad para reducir la cantidad de piezas y evitar el posible daño a las líneas de instalación y así también alcanzar el torque de diseño requerido a menor profundidad. Esta aplicación tuvo un resultado positivo ya que ayudó a que la estructura tuviera un mejor soporte y que el cambio de volumen del suelo generado por las infiltraciones de agua de la zona, no originara más problemas en la construcción.

**Palabras clave:** recimentación, micropilote, hélice, tornillo

### Abstract

This document aims to present a design and installation methodology of helical piles in an expansive soil located in Juriquilla, Queretaro. This process is for the remediation work of a structure suffering from soil volume change and its underpinning by means of a helical piles system. Helical piles have been present on the market for some time, but their use is not as common when compared with similar solutions (micropiles), it is a very reliable system for load transfer to competent soil, a very fast installation procedure and it is a method that generates few changes into the soil's structure. This procedure is very good for foundation underpinning and the construction of small structures. Geophysical studies were performed to identify the problematic soil type, determining it to be an expansive soil with water infiltrations. This project was favored in the use of great capacity



piles to reduce their quantity, avoid any possible damage to underground utility lines and achieve the required design torque at lower depths. This application had a positive result as the helical piles helped the structure have a better support and avoid any further problems with the soil volume changes generated by the water infiltration.

**Keywords:** foundation, micropile, helix, screw

## Introducción

Los suelos expansivos suelen producir daños severos a distintos tipos de estructuras que se encuentren sobre ellos. La causa de la expansión del suelo puede entenderse de diversas formas, pero aún en la actualidad no se comprende totalmente este fenómeno que, a pesar de no ser un riesgo de vida preocupante como los desastres naturales, sí son causantes de grandes costos económicos (Jones & Jones, 1987).

El comportamiento que se desea, y con ello el éxito de una cimentación, se logra por medio de la interacción suelo-cimentación-estructura. Para que ello se logre, se requiere contar con el conocimiento de la estratigrafía y las propiedades mecánicas del subsuelo en el sitio de interés, así como el apego a los fundamentos y principios aplicados de la ingeniería civil para lograr que las cargas de la estructura se transfieran a la cimentación que le da soporte.

En Querétaro existe la problemática de que los suelos expansivos dañan las construcciones, siendo la principal causa de este problema el acelerado crecimiento de la mancha urbana y la inexistencia de medidas preventivas detalladas para el suelo que hay en esta área.

Debido a la constante demanda para reducir tiempos en la construcción, se han inventado varios tipos de procedimientos para evitar daños en las estructuras. Existen diversos métodos constructivos para impedir el contacto de la estructura con el suelo, con lo cual se busca proporcionar mayor estabilidad y durabilidad en las construcciones. De los métodos más usados en remediación de estructuras dañadas se encuentran los micropilotes, un tipo de estructura que presenta dimensiones menores a 0.30 metros de diámetro, comúnmente armado con acero de refuerzo e inyectado o colado con lechada de concreto (Sabatini *et al.*, 2005) y su colocación es mucho más fácil y rápida en construcciones ya existentes.

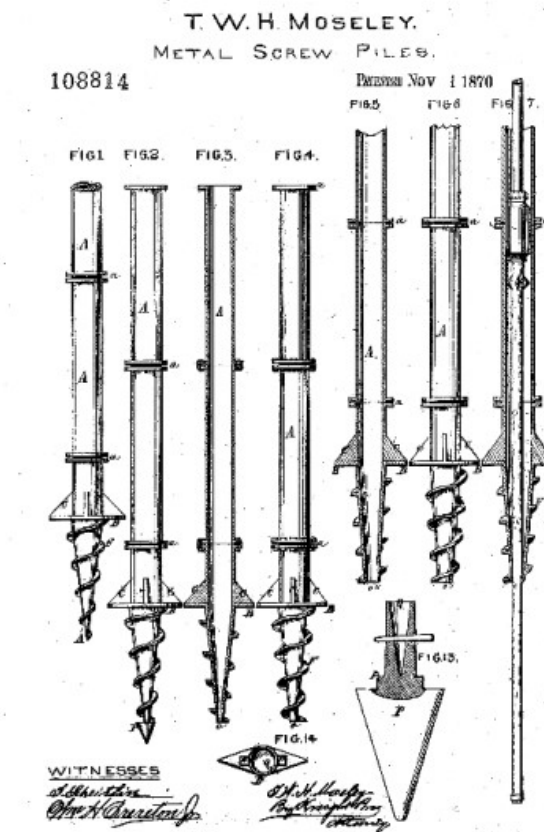
En el caso específico de este trabajo, se utilizaron pilas helicoidales que son muy parecidas a los micropilotes y que se encuentran aceptadas por el Código Internacional de Construcción desde el año 2009 (ICC, 2015). Las pilas helicoidales son utilizadas hoy en día como estructuras confiables para la transmisión de cargas al suelo, tanto a tracción como a compresión y son comúnmente usadas en Estados Unidos y Europa, en zonas de arenas y arcillas (Perko & Wiley, 2009).

Las pilas helicoidales fueron inventadas en 1836 por el ingeniero civil Alexander Mitchell, quien durante mucho tiempo tuvo problemas con las cimentaciones que realizaba en el mar, ya que en estos lugares se encuentran suelos débiles como las arenas. Mitchell, a los 52 años, encontró la solución: enterrar en el suelo la hélice de un barco como si fuera un tornillo. En 1833, patentó en Londres su invento con el nombre “screw pile” (pila de tornillo) (Pack, 2000). Otra de las primeras patentes fue realizada por T.W.H. Moseley (Figura 1), en la que describe secciones de tubos unidas que terminan en la punta con una espiral (Perko & Wiley, 2009).

Las pilas helicoidales son usualmente utilizadas por su facilidad y rapidez de instalación; además, también cuentan con características que las hacen llamativas, como la baja vibración y ruido a la hora de instalarlas, lo cual evita incomodidad para los habitantes de las construcciones vecinas (GBC Cimentaciones, 2015).

## Alcance

El alcance de este proyecto consiste en evitar que los cambios de volumen en el suelo continúen dañando una construcción ubicada en Juriquilla, Querétaro, utilizando para ello pilas helicoidales donde la estructura posará para evitar el contacto con el estrato activo. Como objetivo principal se busca reforzar la cimentación de la estructura que fue dañada por la presencia de arcilla expansiva y por la constante filtración de agua en el subsuelo.



**Figura 1.** Patente de T.W.H. Moseley de pilas helicoidales.

## Metodología

### Localización e inventario de daños en la estructura

El edificio se encuentra en Juriquilla, Querétaro. Se hizo un recorrido por sus instalaciones para revisar, principalmente, dónde se encontraban los daños más severos para determinar los lugares que requerían con mayor prioridad la colocación de los pilotes helicoidales.

### Estudios correspondientes para conocer el subsuelo y el asentamiento diferencial en la estructura

Se realizaron los estudios para revisar la estratigrafía del subsuelo y verificar la presencia de estratos saturados. Por lo antes mencionado, y con la finalidad de verificar las condiciones litológicas y estructurales del subsuelo, se llevaron a cabo los estudios geofísicos de Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE) y Sondeo Eléctrico Vertical (SEV), así como un estudio de hidrología de la zona.

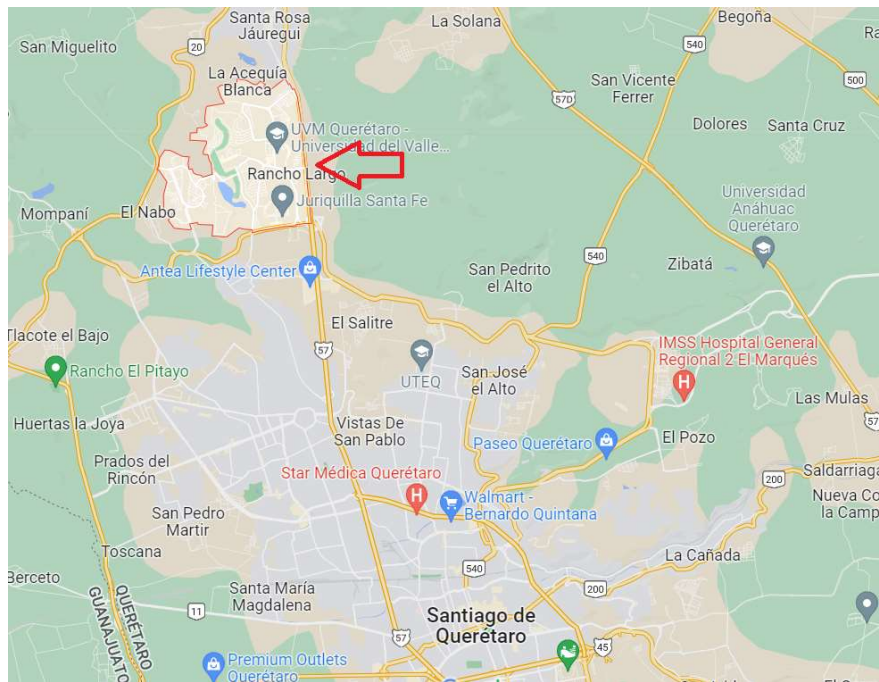
Para el estudio de TRE, el equipo que se utilizó para obtener los datos en campo fue un resistímetro Supersting marca Advanced Geosciences, Inc., modelo R-8, mientras que para el estudio de SEV el equipo utilizado para obtener los datos en campo fue un resistímetro GEOELEC, modelo Explorer 15. Finalmente, la investigación hidrológica y climatológica de la región se basó en datos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y de otras dependencias públicas.

### Diseño de pilas helicoidales

Para el diseño de pilas helicoidales se realizó una pila de prueba, la cual nos dio los resultados del torque y de la carga que se necesitaba en cada zona dañada de la estructura.

### Instalación de pilotes helicoidales

Para la instalación se optó por usar una retroexcavadora CAT a la cual se le colocó un brazo con la pila helicoidal para hacer la perforación y después poder unir la pila con la cimentación; finalmente, se hicieron los trabajos de relleno para dejar las áreas a nivel de la losa.



**Figura 2.** Mapa de zona de estudio e instalación para remediación de estructura con pilas helicoidales.

## Resultados

### Zona donde se encuentra el área de estudio

La zona donde se realizó la remediación se encuentra en Juriquilla, Querétaro (Figura 2), lugar en el que es muy común encontrar suelos expansivos.

### Inventario de daños

En el recorrido que se hizo se observaron diferentes tipos de grietas en columnas, losas y muros, así como daño a cancelería. Como hemos mencionado,

esto se debe a los cambios de volumen en el suelo generados por la introducción de agua en el terreno (Figuras 3, 4, 5).

Con el resultado del inventario de daños se propuso hacer un estudio de suelos más a fondo. Si bien es cierto que no se sabía con exactitud qué tipo de suelo había, con los daños observados se podía inferir que se trataba de un suelo expansivo.



**Figura 3.** Grieta en columna por efecto de expansión del suelo.



**Figura 4.** Efecto del cambio de volumen, daño en el muro de block con separación de 5.0 cm.



**Figura 5.** Deformación de la cancelería debido al efecto de cambio de volumen en el suelo.

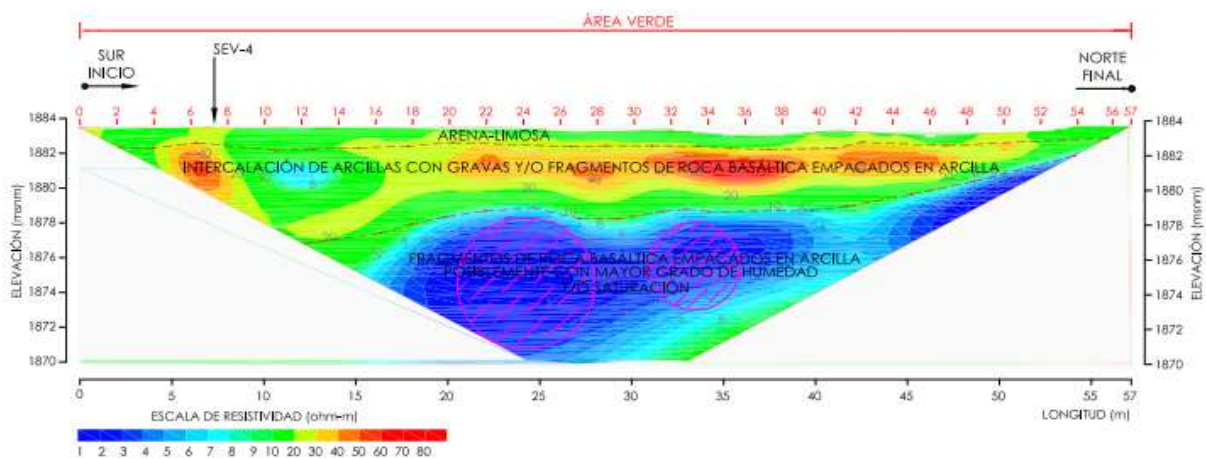
## Resultados de sondeos profundos (estudio geofísico e hidrológico)

### Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE)

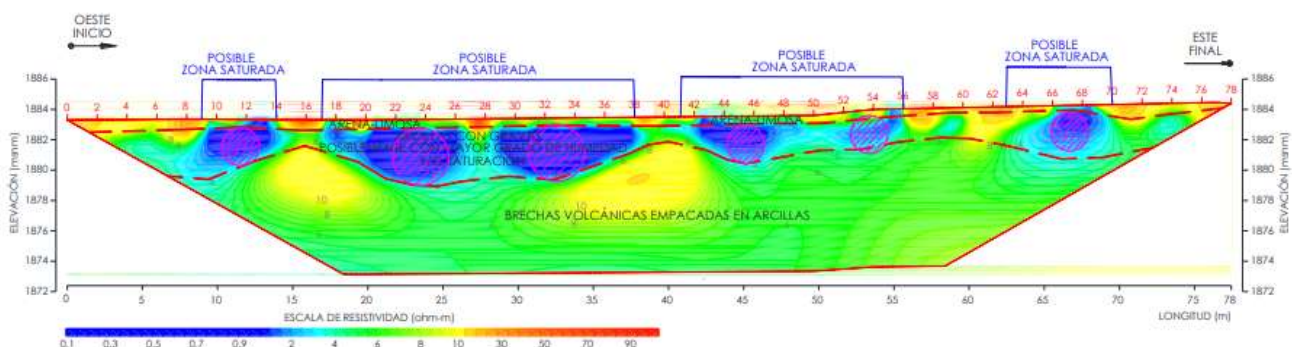
A partir del procesamiento e interpretación de los datos levantados en campo con el método de TRE — utilizando la técnica dipolo-dipolo, método de alta resolución que alcanzó profundidades de investigación de 11.4 a 13.8 m—, se obtuvieron varios perfiles de resistividad eléctrica (Figuras 6, 7, 8), los cuales permiten visualizar de manera objetiva la distribución y la estructura de los diferentes materiales geológicos que integran el subsuelo.

En el perfil 1 (Figura 6) se aprecia la presencia de agua en el subsuelo, lo que ocasionó el cambio de volumen y el daño a la estructura.

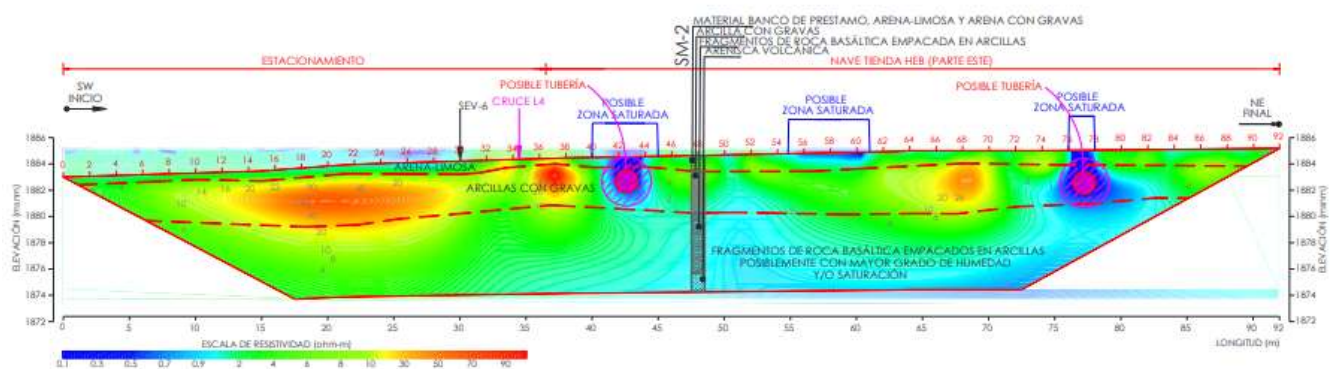
En los perfiles 2 y 3 (Figuras 7, 8) se detecta que el material más abundante es la arcilla y, debido a la humedad que se encuentra en el terreno, esta se expande y daña la construcción.



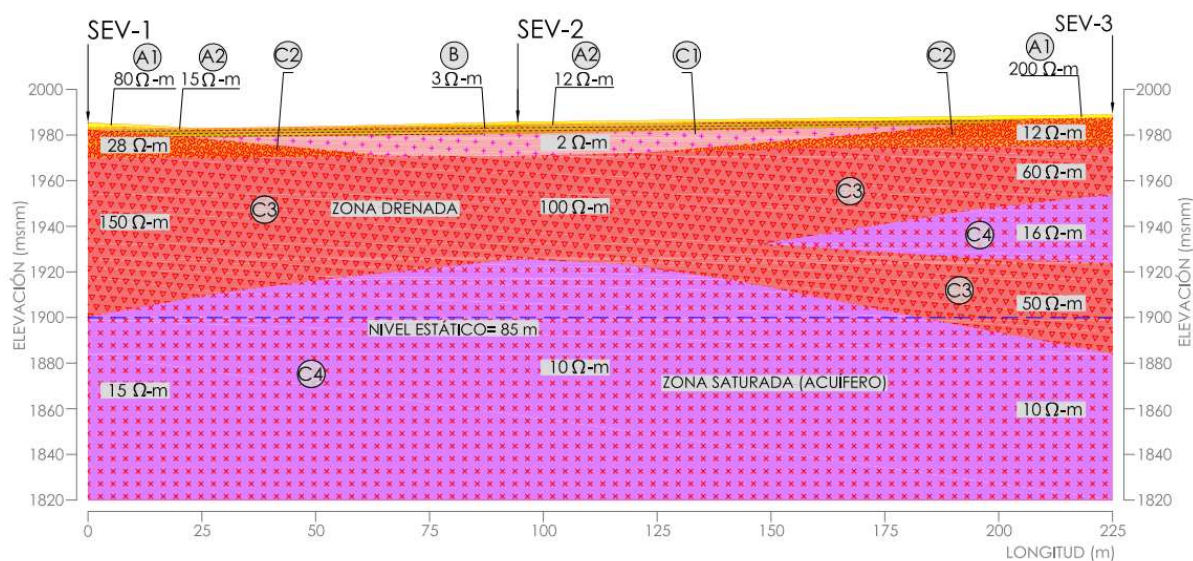
**Figura 6.** Perfil estratigráfico 1 (TRE).



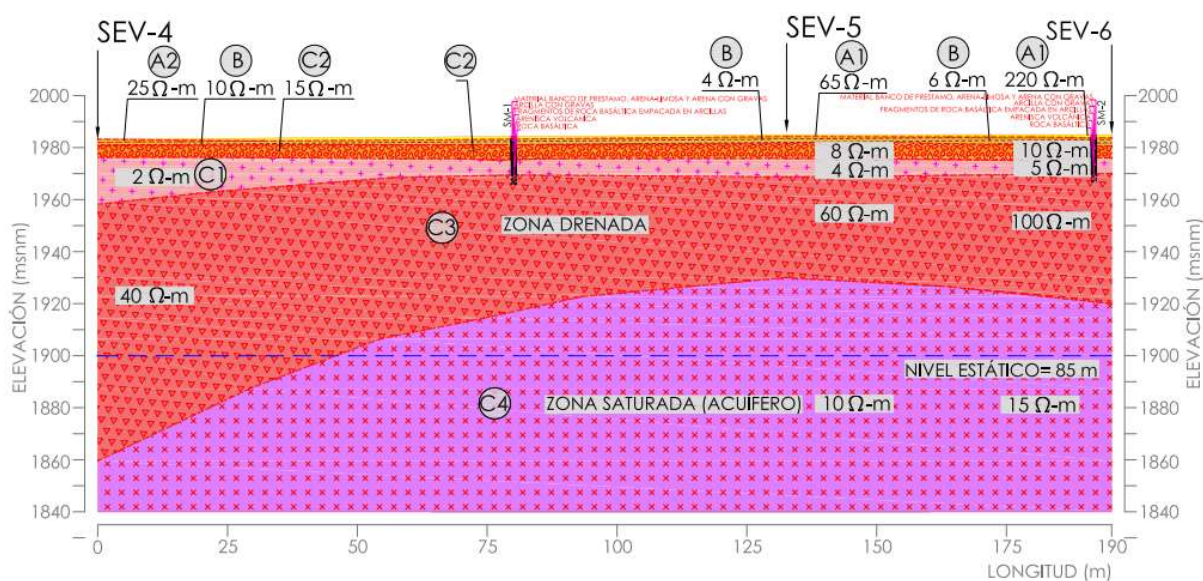
**Figura 7.** Perfil estratigráfico 2 (TRE).



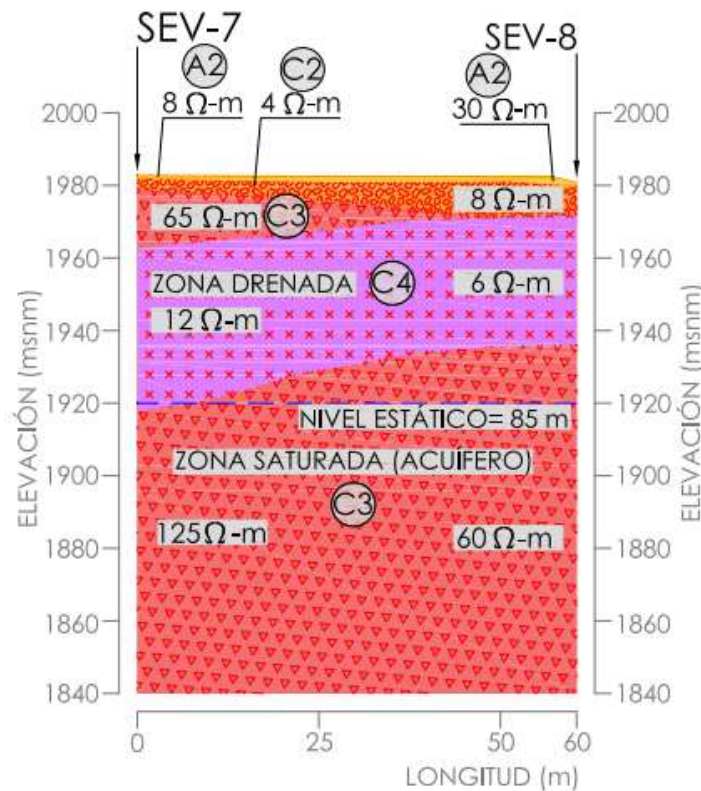
**Figura 8.** Perfil estratigráfico 3 (TRE).



**Figura 9.** Perfil estratigráfico 1 (SEV).



**Figura 10.** Perfil estratigráfico 2 (SEV).



**Figura 11.** Perfil estratigráfico 3 (SEV).

En general, los estudios nos dan tres tipos de litografías:

1. Colores verde-amarillo. Materiales de relleno (generalmente de banco para mejorar el suelo), arenas con gravas y arenas con arcillas (profundidad de 0 a 1 m).
2. Colores amarillo-naranja-rojo. Arcillas con gravas y fragmentos de roca basáltica con empaques de arcillas (profundidad de 1 a 6 m).
3. Colores azul-cian. Fragmentos de roca basáltica con arcilla y cierto grado de saturación (inclusión de agua) y arenisca volcánica (profundidad de 2 a 10 m).

### Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)

Mediante la interpretación cuantitativa de los ocho SEV, se realizaron tres modelos conceptuales denominados secciones geofísicas o geoeléctricas, aplicando el arreglo Schlumberger y aberturas de electrodos AB máximas de 400 m, donde se obtuvieron las propiedades de las diferentes capas y sus característi-

cas geohidrológicas a una profundidad de 160 m, obteniéndose los perfiles que se muestran en las figuras 9, 10 y 11.

En los perfiles 1, 2 y 3 (Figuras 9, 10, 11) se puede distinguir que en la parte de superior se encuentra una combinación de arenas con cierto porcentaje de arcillas, en las capas que le siguen se puede detectar un porcentaje más significativo de arcillas, mientras que en la parte más baja se encuentra una zona totalmente saturada que se puede considerar como acuífero.

Los estudios arrojaron la siguiente clasificación:

1. A1 y A2. Material de banco y/o depósito arenolimoso y arenas con arcillas.
2. B. Depósito de arcillas con gravas.
3. C1. Areniscas volcánicas.
4. C2. Brechas volcánicas empacadas en una matriz arcillosa.
5. C3. Basaltos con diferente grado de fracturamiento.
6. C4. Tobas riolíticas.

**Tabla 1**  
Estaciones climatológicas.

Clave	Nombre	Latitud	Longitud	Periodo de registro	Precipitación media (mm)
<b>22-045</b>	Juriquilla.	20°42'15.84"N	100°27'33.84"O	1979-2018	532.1
<b>22-013</b>	Querétaro.	20°34'59.88"N	100°22'10.92"O	1968-2017	474.3

## Hidrología

Las aguas superficiales del estado de Querétaro están distribuidas en dos regiones hidrológicas: RH12 “Lerma-Santiago” y RH26 “Pánuco”. La Región Hidrológica RH12 “Lerma-Santiago” cubre el 21.52% de la superficie estatal, drenando las aguas del suroeste de la entidad hacia el río Lerma, para posteriormente verter sus aguas al Océano Pacífico. Las cuencas de esta región hidrológica y la porción del territorio estatal que cobijan son: río Laja (19.42%) y río Lerma-Toluca (1.78%).

La región presenta un escurrimiento medio anual entre 50 y 100 mm, de acuerdo a las cartas hidrológicas del INEGI. En cuanto a las corrientes y cuerpos de agua, no existen cuerpos de agua naturales de consideración en la zona.

En la parte climatológica, como primera etapa, se obtuvo la información de las diferentes instancias pertenecientes a la CONAGUA, a través de sus medios de información disponibles, sitios y portales, así como de la Coordinación General del Servicio Meteorológico. Cabe mencionar que actualmente los portales electrónicos ofrecen información validada por los organismos correspondientes, por lo que se da preferencia a su utilización por su rapidez y grado de certidumbre.

En la Tabla 1 se observa la precipitación anual del estado de Querétaro, más específicamente de Juriquilla (datos otorgados por las dependencias públicas del estado).

Después de analizar los resultados de los estudios anteriores, se comprobó que se trataba de un suelo expansivo por los elevados cambios de volumen, lo que originó el daño en la cimentación de la construcción objeto de estudio. De igual forma, se pudo determinar que la introducción de agua en el terreno era lo que realmente estaba creando el problema, generándose el movimiento del suelo, mejor conocido como zona activa.

## Diseño de pilas

### Pilotes helicoidales

La capacidad del elemento de pilote helicoidal depende de la resistencia del suelo, del área proyectada de la placa de la hélice y de la profundidad de la misma por debajo del subsuelo. La resistencia del suelo puede evaluarse usando diversas técnicas de campo y laboratorio, mientras que el área proyectada es controlada por el tamaño y el número de las hélices.

Los pilotes helicoidales pueden usarse para diversas aplicaciones que involucran carga de tensión (anclajes helicoidales) y carga de compresión (pilotes helicoidales). Los pilotes y las anclas helicoidales se clasifican generalmente como “superficial” o “profunda”, dependiendo de la profundidad de la instalación de la hélice superior por debajo de la superficie del suelo, usualmente con respecto al diámetro de la hélice. Hay situaciones en las que la instalación podría considerarse el camino medio entre “superficial” y “profundo”, o “intermedia”.

En la Figura 12 se muestra un resumen de los escenarios más comunes de diseño que involucran pilotes y anclajes helicoidales.

### Metodología del cálculo

El método de soporte de placa individual establece que la capacidad para un ancla/pilote de hélice sencilla o multi-hélice, se determina sumando la capacidad de soporte de los elementos de la placa de hélice individual que son específicos para un pilote determinado (Ecuación 1):

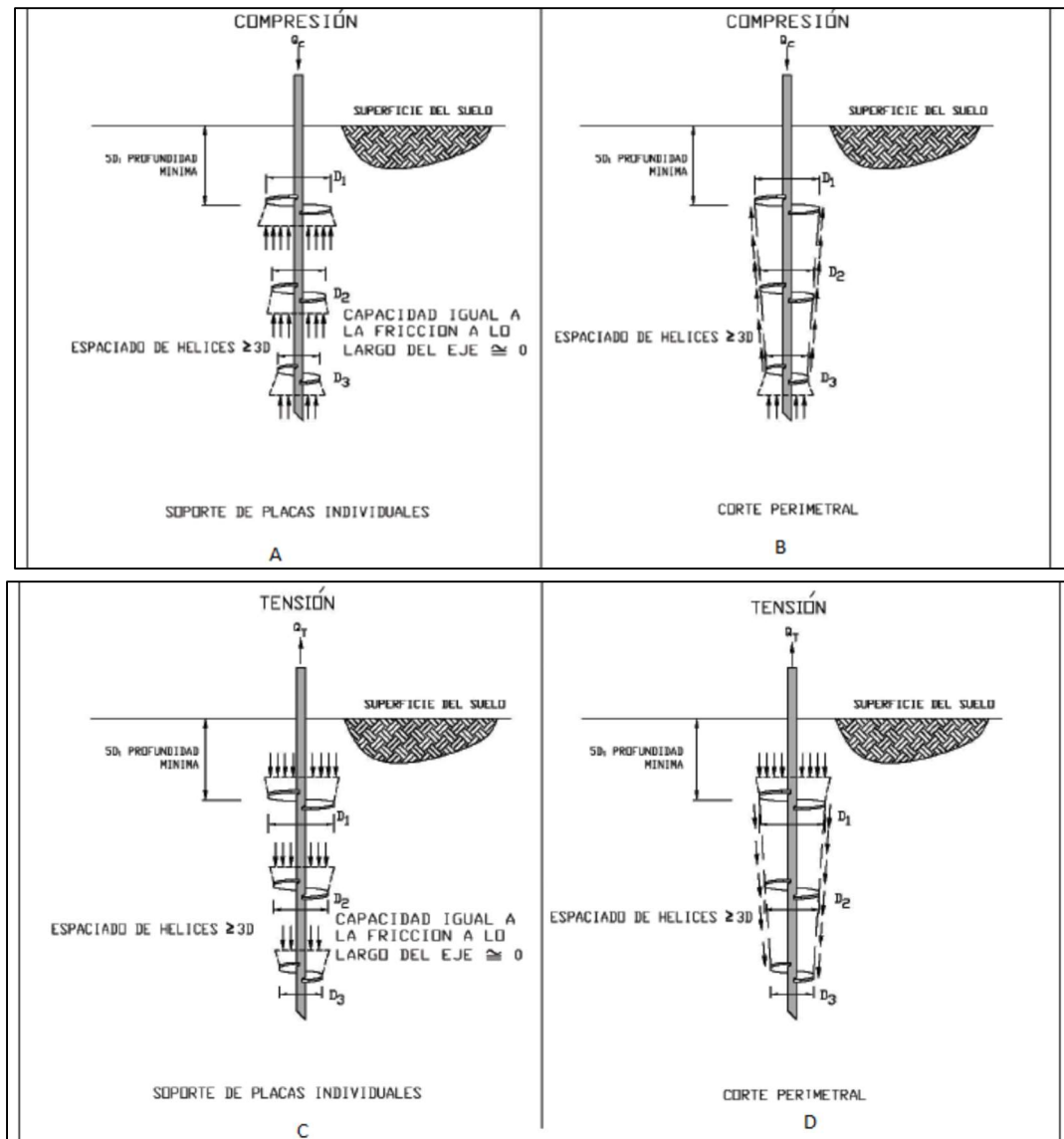
$$Q_t = \sum Q_h \quad (1)$$

Donde:

$Q_t$  Capacidad total final del ancla/pilote multi-hélice.

$Q_h$  Capacidad de la hélice individual.

Se determina la capacidad de soporte final de una hélice individual conforme a la Ecuación 2. Un límite



**Figura 12.** Diseños típicos para el modelado de pilas helicoidales.

superior para esta capacidad de carga se basa en la resistencia de la hélice que puede obtenerse del fabricante.

$$Q_h = A_h (cN_c + q'N_q) \leq Q_s \quad (2)$$

Donde:

$Q_h$  Capacidad de carga última.

$A_h$  Área proyectada para la hélice.

$Q_s$  Límite superior de capacidad, determinado por la resistencia mecánica de la hélice.

$N_c$  y  $N_q$  Factores de capacidad de carga.

$q'$  Esfuerzo efectivo a la profundidad de desplante.

$c$  Cohesión del suelo.

**Para suelos cohesivos de granos finos:  $\phi' = 0$ ;  $c' > 0$**

Se determina la capacidad de carga final en un suelo cohesivo o de grano fino con la Ecuación 3. El factor  $N_c$  es 9, asumiendo que la profundidad de la instalación está por debajo del nivel brocal que es mayor que cinco veces el diámetro de la hélice superior.

$$Q_h = A_h c N_c = A H 9 s_u \quad (3)$$

Donde:

$H$  = Altura

$A_h$  = Área proyectada de la hélice

$c$  = "cohesión"; para  $\phi' = 0$ ;  $c$  = Resistencia de corte no drenado =  $s_u$



$N_c$  = Factor de capacidad de soporte para Fallas Profundas = 9 (Profundidad mínima  $\geq 5D$ )

En caso de que los valores de cohesión o de resistencia de corte no drenado no estén disponibles, se usa la metodología del diseño presentado en la Ecuación 4.

$$c \text{ (ksf)} = N / 8 \text{ or } = 0.125(N) \quad (4)$$

$$c \text{ (kPa)} = 6N;$$

Donde:

$c$  = "cohesión"; para  $\phi' = 0$ ;  $c$  = resistencia de corte no drenado =  $s_u$

$N$  = Valor del número de golpes conforme a la Prueba de Penetración Estándar (ASTM D 1586).

### Obtención del peso volumétrico

Para obtener los valores estimados empleando los valores de golpes de las pruebas de Penetración Estándar (ASTM D 1586), se usan las siguientes ecuaciones:

Suelos cohesivos:

$N = 0$	$\gamma = 65 \text{ (libra/pie}^3\text{)}$
$N > 0 \text{ \& } N \leq 7$	$\gamma = 60 + 5N \text{ (libra/ pie}^3\text{)}$
$N \geq 8 \text{ \& } N \leq 10$	$\gamma = 100 \text{ (libra/ pie}^3\text{)}$
$N \geq 11 \text{ \& } N < 50$	$\gamma = 90 + N \text{ (libra/ pie}^3\text{)}$
$N \geq 50$	$\gamma = 140 \text{ (libra/ pie}^3\text{)}$

## Resultado del análisis

Tomando los datos anteriores y el pilote prueba, se obtuvieron los siguientes resultados:

1. Longitud del pilote = 4.00 m.
2. Torque mínimo de instalación = 3514 N-m (2592 ft-lb)
3. Capacidad de carga última (compresión) = 10.25 t
4. Factor de seguridad = 2
5. Capacidad de carga admisible (compresión) = 5.13 t

Haciendo los cálculos correspondientes se pudo sacar la capacidad de carga necesaria para cada pila, ya que inicialmente se había contemplado desplantar

los pilotes a 6.0 m; sin embargo, hubo la posibilidad de utilizar un pilote de mayor capacidad para llegar al torque requerido a menor profundidad, lo que permitió lograr mayor capacidad de carga y, al mismo tiempo, disminuir la cantidad de pilotes a instalar.

### Factor de seguridad

Después de haber obtenido los valores de torque efectivo, se aplicó un factor de seguridad apropiado para determinar una carga de diseño o una carga de trabajo segura. Un factor de seguridad debe basarse en la importancia o características de la estructura o las tolerancias aceptables, así como las consecuencias de la falla. Un factor de seguridad típico para las pilas helicoidales es de dos.

### Instalación de pilotes helicoidales

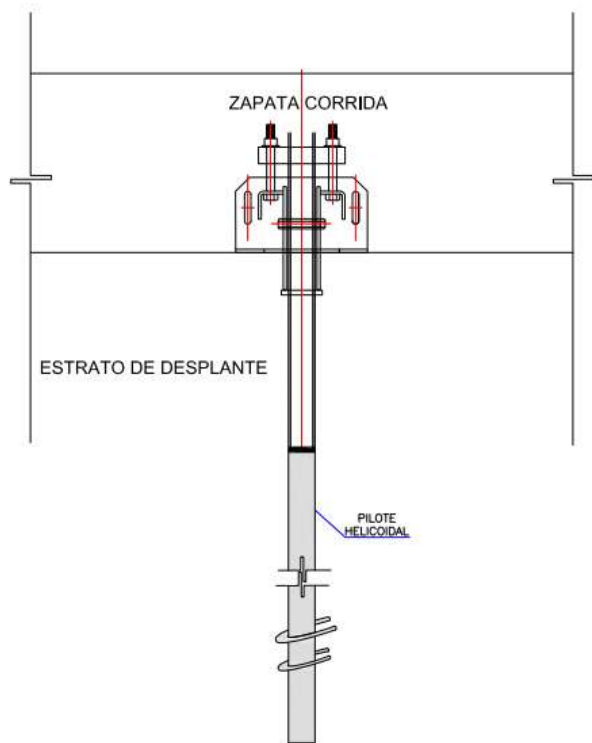
Para demostrar cómo se puede instalar un pilote helicoidal, se empleó un elemento con una sección de fuste cuadrado de 4.4 cm x 4.4 cm de acero macizo y de 2.00 m de longitud con hélices de 8 in (20 cm), 10 in (25 cm) y 12 in (30 cm) de diámetro, seguido por una transición de 9.00 cm de diámetro x 0.76 cm de pared x 2.00 m de largo. Se montó un motor Eskridge de torque de 12,000 ft-lb en una retroexcavadora CAT 420 para proporcionar el torque para instalar el pilote helicoidal. Un indicador de torque CHANCE midió el torque de instalación en intervalos de 1 pie (30 cm). La profundidad de instalación total osciló entre 3.0 y 4.0 m con valores de torque efectivo calculado para cada elemento instalado (torque promediado en las últimas tres lecturas en intervalos de 1 pie).

Se colocaron las pilas helicoidales en las zonas donde la estructura necesitaba más apoyo y, con base en los resultados de campo y laboratorio, fue necesario diseñar e instalar los pilotes helicoidales a una profundidad que osciló en un rango de 3.0 y 4.0m, con el fin de alcanzar la capacidad de carga mínima requerida.

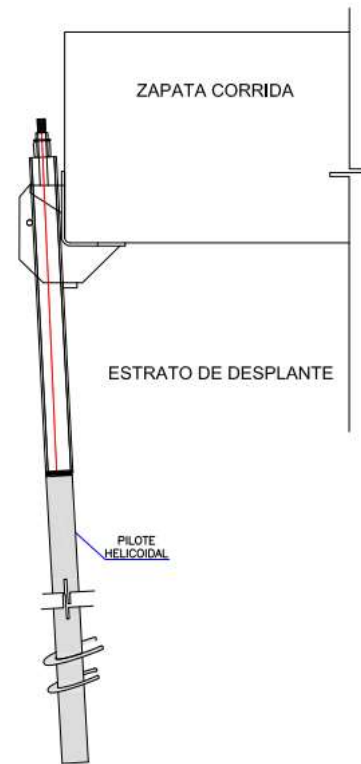
Basándonos en los datos anteriores, se hicieron los siguientes diseños para la colocación de los pilotes helicoidales (Figuras 13, 14, 15, 16).

En las Figuras 13 y 14 se observa la ubicación de las pilas en un lado de la cimentación existente, mientras que en las Figuras 15 y 16 se ve la colocación en trabes y su conexión con la estructura.





**Figura 15.** Detalle de recimentación en zapata corrida (Vista frontal).



**Figura 16.** Detalle de re-cimentación en zapata corrida (Vista lateral).

Con los resultados de análisis obtenidos, más el factor de seguridad, podemos dar las siguientes capacidades de carga y longitud para cada pila helicoidal (Tablas 2 y 3).

Con las dimensiones necesarias para cada pilote y la localización de las zonas donde se requerían, se hizo

la instalación. Después de revisar la resistencia del suelo y hacer los cálculos, se determinó que cada pila debía resistir por lo menos 4 t. En la Tabla 2 se muestra la capacidad de carga de cada pila (con el factor de seguridad), lo cual nos indica que la capacidad de las

**Tabla 2**  
Resumen de la capacidad de carga admisible de cada pila colocada.

Concepto	PH-1	PH-1AE	PH-1E	PH-2A	PH-2	PH-3	PH-4	PH-5	PH-6	PH-7	PH-8	PH-9	PH-10
Últimos 3 pies de torque	3.2	3.3	3.1	3.1	3	3.3	2.9	3.3	3.3	2.5	3	3.3	3.4
	3.4	3.5	3.3	3.2	3.3	3.3	3.2	3.4	3.4	3.1	3.1	3.2	3.5
	3.5	3.6	3.4	3.3	3.5	3.4	3.3	3.4	3.6	3.3	3.2	3.5	3.6
Torque promedio (ft-Kip)	3.4	3.5	3.3	3.2	3.3	3.3	3.1	3.4	3.4	3.0	3.1	3.3	3.5
Capacidad de carga última (lb)	23567	24267	22867	22400	22867	23310	21933	23567	24033	20767	21700	23333	24500
Capacidad de carga última (t)	10.7	11.0	10.4	10.2	10.4	10.6	10.0	10.7	10.9	9.4	9.9	10.6	11.1
Factor de Seguridad	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Capacidad de carga admisible (t)	5.3	5.5	5.2	5.1	5.2	5.3	5.0	5.3	5.5	4.7	4.9	5.3	5.6

**Tabla 3**  
Profundidad de cada uno de los pilotes.

RELACIÓN DE PILOTES	
IDENTIFICACIÓN	PROF. (m)
PH-1	3.10
PH-1AE	3.20
PH-1E	3.00
PH-2A	3.00
PH-2	3.30
PH-3	3.20
PH-4	3.00
PH-5	3.60
PH-6	3.40
PH-7	3.00
PH-8	3.00
PH-9	3.30
PH-10	3.30
PH-11	3.40

pilas instaladas está arriba de la requerida en el proyecto. En la Tabla 3 se muestra la profundidad de instalación, dándonos en total 14 pilas colocadas.

Para la instalación, en primer lugar, se hizo una pequeña excavación para colocar la retroexcavadora con el brazo y el pilote helicoidal; seguidamente, se inició con la perforación, la cual se hizo de forma casi vertical pegado a la cimentación. En cuanto se terminó de perforar, se hicieron las conexiones con la estructura para que tanto el pilote como la cimentación estuvie-



**Figura 17.** Instalación de pila helicoidal pegado a una trabe.

ran enlazadas. Finalmente, se hizo un relleno para dejar todo a nivel de la losa. En las Figuras 17, 18 y 19 se puede ver la instalación de cada pila.

#### Procedimiento de relleno

Para los trabajos de relleno de las zanjas sobre el lado de la trabe donde se instalaron los pilotes, se rellenaron los espacios abiertos con mortero o concreto



**Figura 18.** Perforación con pila helicoidal.



**Figura 19.** Conexión de la pila helicoidal con la estructura.



fluido hasta el nivel deseado en función de los requisitos del proyecto en cuanto al espesor de la losa de concreto y al nivel de proyecto terminado. Es importante mencionar que antes de este proceso, se ejecutaron los trabajos de aplicación del “grout” o mortero a los “brackets”.

Este procedimiento es una buena opción para todos los tipos de suelo, sobre todo para los expansivos como es en este caso, ya que da buen soporte a la cimentación y ayuda a que el movimiento generado por los cambios de volumen del suelo, se refleje menos en la estructura y no genere daños.

## Conclusiones

El resultado de los daños en la estructura hizo suponer que se trataba de un suelo expansivo, aunque no se sabía con exactitud; en esa zona ya se habían reportado daños y, generalmente, era como consecuencia de este tipo de suelos.

Después de analizar a profundidad los estudios geofísicos e hidrológicos que mostraron la presencia de agua y en su mayoría de los estratos la existencia de arcilla, se comprobó que se trataba de un suelo expansivo y que lo que realmente estaba generando los daños en la estructura de la construcción era la filtración de agua en el terreno, pues eso estaba ocasionando cambios de volumen.

Revisando la resistencia del suelo y haciendo los cálculos correspondientes de acuerdo con las cargas críticas esperadas en este tipo de estructura, se asume que la carga uniformemente distribuida no será mayor a 2 t/m, lo que implicaría una carga de 4 t por pilote, la cual estaría muy por debajo del promedio de 5.2 t (capacidad de carga admisible con el  $FS=2$ ). Con base en lo mencionado, es importante resaltar que se llevó a cabo una distribución de elementos de pilotes helicoidales a lo largo de la zona afectada empleando una distancia de 2 m.

Uno de los puntos relevantes de esta colocación es que se trata de un procedimiento rápido comparado con otros y, además, funciona muy bien para la remediación de estructuras dañadas y para pequeñas estructuras nuevas (no es apta para grandes construcciones), teniendo resultados positivos.

Es importante conocer el tipo de suelo en el que se está construyendo, ya que siempre se da por hecho que cambiando una capa superior por otro material

más estable el problema no resurgirá, pero no es así (no en todos los casos), hay estratos que son muy profundos y constantemente pueden sufrir cambios de volumen (suelo expansivo), por eso es importante tener un estudio de suelo detallado para así construir una cimentación adecuada y que posteriormente esto no genere daños a la estructura.

## Referencias

- Arcos Álvarez, J.L., Justo, J.L., De Justo Moscardo, E., Vázquez Boza, M., Durand Neyra, P., Morales-Esteban, A., Gil, R. and Martín, F., 2016, Refuerzo del contacto entre un pilote prefabricado y un terreno duro mediante su extensión con un micropilote interior coaxial: *Reconocimiento, tratamiento y mejora del terreno: 10º Simposio Nacional de Ingeniería Geotécnica*, A Coruña, 19, 20 y 21 de octubre de 2016, 651-658.
- Arango Sarmiento, M., 2016, Propiedades mecánicas de las pilas helicoidales en suelos residuales, específicamente en los suelos residuales de la EIA, Sede Palmas: Tesis de Licenciatura, *Universidad EIA, Ingeniería Civil Envigado*.
- ASTM, Designation D 1586-84, reapproved 1992, “Standard Test Method for Penetration Test and Split Barrel Sampling of Soils”.
- Castellanos Guerrero, W.M. and Rodríguez Rincón, E., 2021, Inclusión de micropilotes como elementos recuperadores de carga en cimentaciones: revisión del estado del conocimiento: *Revista Ingeniería*, 27(2). <https://doi.org/10.14483/23448393.16984>
- Chapoñan, P. and Justi, F., 2017, Alternativa de fundación con micropilotes helicoidales para torres de telecomunicación en suelos granulares: Tesis de Licenciatura, *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas*.
- GBC Cimentaciones, 2015, “GBC Cimentaciones. Retrieved from”. <http://www.cimentacionesgbc.com.mx/>
- Gómez, J.E. and Robinson, H.D., 2022, Capacity of connections between micropiles and existing footings: *5º Simposio Internacional de Cimentaciones Profundas*, Ciudad de México, 12 de mayo.
- ICC, 2015, “International code council. Retrieved from”. [http://www.iccsafe.org/search\\_gcse/?q=SearchHere](http://www.iccsafe.org/search_gcse/?q=SearchHere)
- Jones, D.E. and Jones, K.A., 1987, Treating expansive soils: *Civil Engineering—ASCE*, 57(8), 62-65.
- Mendoza López, M.J., 2022, Conferencia magistral: Perspectivas actuales sobre el diseño de cimentaciones

profundas en la Ciudad de México: 5° *Simposio Internacional de Cimentaciones Profundas*, Ciudad de México, 12 de mayo.

Nolasco, M., Aguirre, J.L., De la Fuente, H., 2022, Columnas/Pilas de Agregado Compactado para el apoyo de muros mecánicamente estabilizados (MME) para el Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles: 5° *Simposio Internacional de Cimentaciones Profundas*, Ciudad de México, 13 de mayo.

Pack, J.S., 2000, Design of Helical Piles for Heavily Loaded Structures: *Conference: New Technological and Design Developments in Deep Foundations*, Denver, Colorado.

Perko, H.A. and Wiley, J., 2009, Helical Piles. A Practical Guide to Design and Installation: *New Jersey, I. John Wiley & Sons, Ed.*

Sabatini, P.J., Tanyu, B., Armour, T., Groneck, P. and Keeley, J., 2005, Micropile design and construction: *Washington, D.C., US Department of Transportation, Federal Highway Administration, Report No. FHWA-NHI-05-03.*

Talamantes Carrillo, P.L., Rojas González, E., Verdín Montes, C.I. and Robles Marrón, D.B., 2022, Ensayos de resistencia a la tensión en micropilotes: 5° *Simposio Internacional de Cimentaciones Profundas*, Ciudad de México, 12 de mayo.