



PILAS HELICOIDALES PARA APOYOS DE UNA BANDA TRANSPORTADORA EN PRESA DE JALES: CASO DE APLICACIÓN.

Andrea Berenice MEDINA RAMÍREZ, Teresa LOPEZ LARA. Erika Elaine BERNAL DAUBEN.

Universidad Autónoma de Querétaro.

Soilsolution S.A. de C.V.

Resumen:

Este documento tiene como objetivo presentar una metodología de diseño e instalación de pilotes helicoidales en una presa de jales ubicada en Zacatecas, México. Este proceso es un trabajo para la colocación de apoyos de una banda transportadora para jales filtrados. En este proyecto se realizaron estudios para poder conocer la estratigrafía del suelo y su resistencia, dándonos como resultado de que se trataba de un suelo que tiende a la consolidación, esto provocado por los jales que se encuentran en la presa, por lo tanto, se decidió colocar pilas helicoidales, ya que son de fácil instalación y no generan cambios importantes en la estructura del suelo. Con base a los resultados del cálculo de las pilas y por cuestiones de seguridad, se requirió la modificación del proyecto recortando la banda transportadora, ya que el soporte que se encontraba dentro de la presa, posteriormente podría generar problemas por cuestiones de su renivelación constante. El resultado de esta instalación fue muy eficiente, ya que las pilas colocadas proporcionarían una cimentación resistente y no generarían problemas de asentamientos futuros.

Palabras clave: Pila helicoidal, jales, cimentación, presa.

1. Introducción.

México es uno de los países de Latinoamérica que se considera muy rico en minerales. Su motor central en el desarrollo industrial ha sido el sector minero.

Esto ha generado una gran cantidad de residuos mineros, mejor conocidos como jales, estos son generados durante los procesos mineros después de moler las rocas originales que los contienen y mezclar las partículas con agua y pequeñas cantidades de reactivos químicos esto facilitando la liberación de metales (Armienta y col., 2005). Su disposición final ocasiona muchos problemas ambientales, entre los que se encuentra la pérdida de vegetación, la creación de estructuras poco consolidadas que son susceptibles a la erosión eólica e hídrica, generación de acidez y liberación de Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT) (Ramos y col, 2004). La concentración de estos elementos tóxicos se cataloga como fuente de contaminación de suelo, agua y aire (Mendoza y col, 2006). Por lo anterior, antes de ser utilizados deben ser forzosamente estabilizados, es decir controlar las características que dañan la salud y al medio ambiente (Barrios, 2001).

En el 2004, fue aprobada la Norma Oficial Mexicana, NOM-141-SEMARNAT-2003, esta establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y post-operación de las presas de jales. La creación de la norma da a conocer el problema que genera la liberación de los jales mineros en el medio ambiente, ya que esto representa un problema de impacto ambiental, por lo que es necesario que el encargado del proyecto realice estudios a fondo en cuanto a la caracterización del sitio donde se pretenda colocar la presa y la disposición final de esta.

La presa de jales es una estructura que contiene o embalsa los jales y sus principales funciones son depositar los minerales sin valores que provienen de la planta en el fondo y re bombear el agua al proceso. La presa se construye en la forma de un terraplén o talud de rocas por lo general residuales del comienzo de la construcción de la mina,

esto dependerá de la topografía del terreno, los jales se canalizan por tuberías desde la planta y se depositan desde la cresta de este montículo donde los sólidos se precipitan al fondo formando un sedimento arenoso; contrario a lo que se podría pensar, estas estructuras están diseñadas para retener sólidos no líquidos (Figura 1).

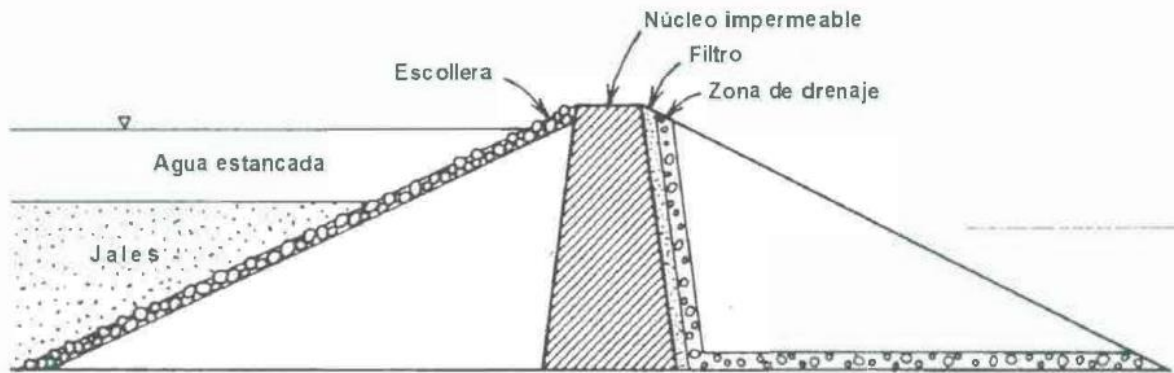


Figura 1. Presa tradicional para la retención de Jales (Vick, 1990).

En todo proyecto es importante conocer el suelo en el que está trabajando ya que para la colocación de cualquier estructura es necesario saber la resistencia del suelo o en este caso el proceso de consolidación que es generado por los jales. La recomendación para colocación de construcciones en este suelo fue utilizar cimentación profunda, ya que una cimentación superficial podría hacer que la estructura fallara.

Para este proyecto se decidieron utilizar pilas helicoidales ya que la estructura que se desea colocar no es muy grande y es un método que ya está aceptado por el Código Internacional De Construcción desde el año 2009 (ICC, 2015). Las pilas helicoidales son utilizadas hoy como estructuras confiables para la transmisión de cargas al suelo, tanto a tracción como a compresión y son comúnmente utilizadas en Estados Unidos y Europa, en arenas y arcillas (Howard a Perko & Wiley, 2009). Las pilas helicoidales fueron inventadas en 1836 por el ingeniero civil Alexander Mitchell, Mitchell a los 52 años, encontró la solución al problema de las cimentaciones en los suelos débiles, esta surgió de la idea de enterrar en el suelo la hélice de un barco como si fuera un tornillo.

Este método es usualmente utilizado, ya que es un procedimiento fácil de instalar, con poca maquinaria y genera muy poco cambio en la estructura del suelo.

2. Fundamentación Teórica.

Es importante saber en qué ocasiones se debe considerar una cimentación profunda, ya que no todos los estratos del suelo suelen tener la resistencia necesaria para el proyecto que se desea ejecutar. En este caso se consideraron las pilas helicoidales ya que en el suelo donde se desea desplantar la cimentación tiende a consolidarse debido a los jales de la presa.

Para estas situaciones donde se desea colocar estas pilas es necesario conocer su capacidad de carga y como calcularla, esto con el fin de diseñar una pila adecuada y que tenga la capacidad necesaria para la estructura.

2.1. Capacidad de Carga.

2.1.1. Capacidad de carga ultima.

- Capacidad de carga por punta.

La capacidad de carga por punta de un pilote, Q_u , desplantado en suelos predominantemente friccionantes está dada por la ecuación 1:

$$Q_u = \sum A_h(\sigma N_q) \quad (1)$$

Donde:

Q_u Capacidad de carga por punta, en kPa.

A_h Área de la hélice, en m².

$N_q = e^{\pi \tan \phi} \left(\tan 45 + \frac{\phi}{2} \right)^2$ factor de capacidad de carga.

Para suelos predominantemente cohesivos, la capacidad de carga por punta se calcula mediante la ecuación 2:

$$Q_u = \sum A_h(c_u N_u) \quad (2)$$

Donde:

c_u Resistencia no drenada media del suelo de apoyo, en kPa.

N_c Factor de capacidad de carga igual a 9.

2.1.2. Capacidad de carga admisible.

La capacidad de carga admisible está dada por la capacidad de carga última dividida entre el factor de seguridad correspondiente a cada componente según la ecuación 3:

$$Q_a = \frac{Q_u}{F_{sp}} \quad (3)$$

Donde:

Q_a Capacidad de carga admisible del elemento, en kN.

F_{sp} Factor de seguridad por punta.

3. Metodología.

3.1. Localización de zona donde se colocó la estructura.

La estructura se colocó en la presa de Jales ubicada en Zacatecas, México. Se hizo una visita de obra para conocer el área donde se colocaron las pilas.

3.2. Estudios correspondientes para conocer el subsuelo y saber que cimentación era la más adecuada.

Se realizaron los estudios para revisar la estratigrafía del subsuelo y así poder definir qué cimentación era la más adecuada. Por lo anteriormente mencionado y para conocer las características del subsuelo se hicieron estudios ejecutando de 2 sondeos mixtos y uno de Piezocono. La profundidad máxima que se alcanzó con ellos fue de 34.32m respecto al terreno natural.

3.3. Diseño de pilas helicoidales.

Para el diseño de pilas se hicieron varias revisiones, dado que el terreno que se trabajó tenía tendencia a consolidarse por los jales que se tenían en la presa.

3.4. Instalación de Pilotes Helicoidales.

Los trabajos se realizaron utilizando un motor rotatorio marca Pro-Dig, en conjunto con un torquímetro intelli-Tork de la misma marca, instalados en una maquinaria tipo excavadora marca JCB JS200LC, en esta se le colocó la pila helicoidal y se hizo la perforación hasta alcanzar el torque de diseño, posteriormente se dejó la conexión para colocar la estructura para la banda transportadora.

4. Resultados.

4.1. Zona donde se encuentra el área de estudio.

La zona donde se realizó la cimentación se encuentra en Zacatecas, Zacatecas, México (Figura 2).

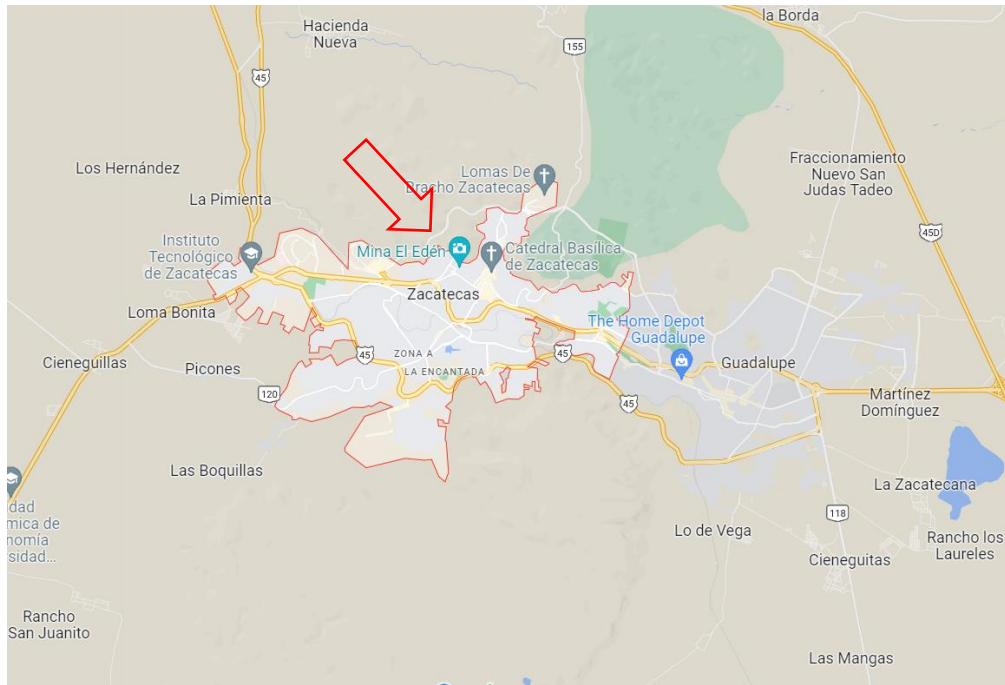


Figura 2. Mapa de zona de estudio e instalación de pilas helicoidales.

4.2. Estudios de Suelo.

En el cuerpo del estudio se presentó la estratigrafía del subsuelo, los resultados de los ensayos de laboratorio y el diseño geotécnico de la cimentación.

4.2.1. Inspección preliminar.

Personal de la empresa realiza un recorrido para observar la zona, tratando de detectar de manera superficial problemas que afecten a la estructura.

En las visitas se pudo observar que:

1. El terreno corresponde a la presa de jales de la mina.
2. En el sitio predominan los suelos de mediana plasticidad, medianamente deformables, los suelos mayormente están clasificados como limos y arenas.
3. Se observan grietas de tensión en la superficie de la presa.
4. No se observan fallas superficiales que puedan afectar las estructuras.

Para conocer la estratigrafía y propiedades de los materiales del subsuelo se realizaron tres sondeos, dos mixtos y uno solo de Piezocono se muestra la profundidad en la Tabla 1:

Tabla 1. Profundidad de los sondeos.

| SONDEO | PROFUNDIDAD (m) |
|----------|--------------------|
| Punto-01 | 20.30 |
| Punto-02 | 29.32 |
| Punto-03 | 34.32 |

4.2.2. Métodos de exploración.

El método de exploración realizado fue directo, fue exploración mixta por medio de la prueba de penetración estándar, avance sin recuperación de muestras e hincado de piezocono y no se realizó muestreo inalterado, debido a que no se pudieron extraer muestras por medio de tubos de pared delgada.

4.2.3. Aspectos generales de la exploración.

Todas las muestras que se recuperaron se empaquetaron y trasladaron cuidadosamente al laboratorio para su ensayo, análisis y clasificación. Las muestras obtenidas son principalmente arenas arcillosas, limos y arcillas. En el estudio no se detectó nivel de aguas freáticas, sin embargo, la minera proporciona información de niveles estacionales,

tomados de piezómetros cercanos a la zona, de donde podemos obtener niveles promedio con profundidades de 13.0 a 16.7 m.

4.2.4. Estratigrafía.

Utilizando los resultados del hincado de piezocono y sus parámetros obtenidos, podemos realizar el cálculo geotécnico, cabe mencionar que, de acuerdo a las clasificaciones, los suelos son mayormente arenas limosas, arcillas y limos, se tomaron en cuenta las profundidades, parámetros y el tipo de materiales encontrados.

A partir del resultado de los sondeos y del corte estratigráfico, se puede decir que se encontraron suelos heterogéneos que complican la cimentación de la estructura, pero que puede resolverse con pilas perforadas, además que se debe de tomar en cuenta las solicitaciones de las estructuras tensión/compresión, y la cimentación se tendrá que diseñar con una capacidad de carga admisible.

Los valores obtenidos del análisis de los datos del hincado de piezocono, fueron analizados por medio del software CPET IT, de Peter Robertson.

Para este apoyo, estamos considerando un nivel de desplante de 10.00 m, posterior al nivel de amarre de zapatas, considerado a 2.00 m, además, se consideraron los parámetros obtenidos y las necesidades de la estructura.

4.3. Diseño de Banda Transportadora.

La banda transportadora que se colocara es de 42" de ancho y su estructura será a base de perfiles de acero, bastidores y celosías, entre otros. Su longitud será de 138.7 m.

En el soporte 3 se incluyó el empuje activo que el jal acumulado ejerce sobre las columnas, estimado de 24.3 t considerando un peso volumétrico del material de 2.2 t/m³ (Figura 3).

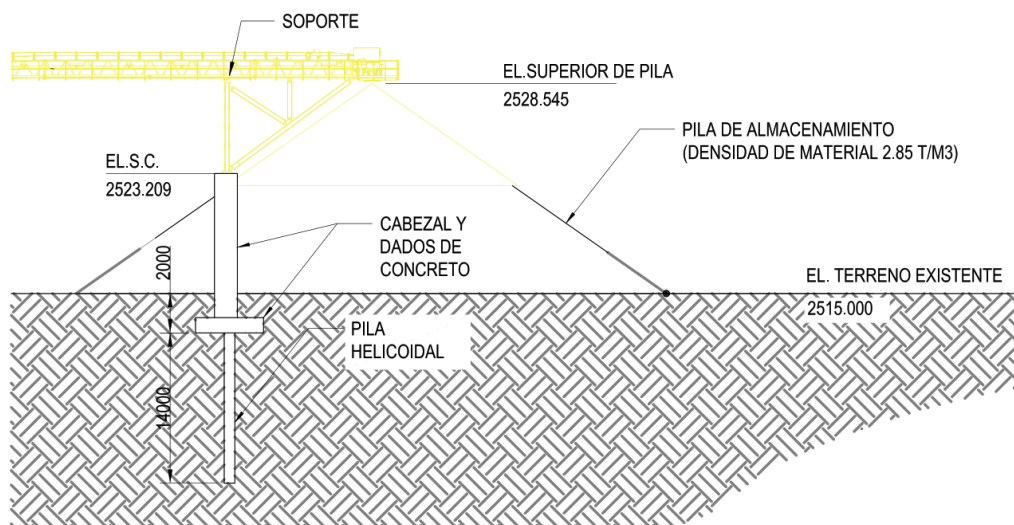


Figura 3. Esquema del empuje activo ejercido sobre las columnas del soporte 3.

4.4. Diseño de Pilas.

4.4.1. Capacidad de Carga.

La capacidad de carga depende de muchos factores como las propiedades del suelo, características del diseño de las hélices, parámetros de instalación y tipo de carga (tensión, compresión, cortante).

En el diseño se considera el aporte de cada hélice de la pila helicoidal, para ello la distancia entre cada hélice debe ser igual a tres veces el diámetro del helicoidal anterior. Así mismo, la distancia entre el ultimo plato y el nivel de terreno natural debe ser 6 veces su propio diámetro como se muestra en la figura 4.

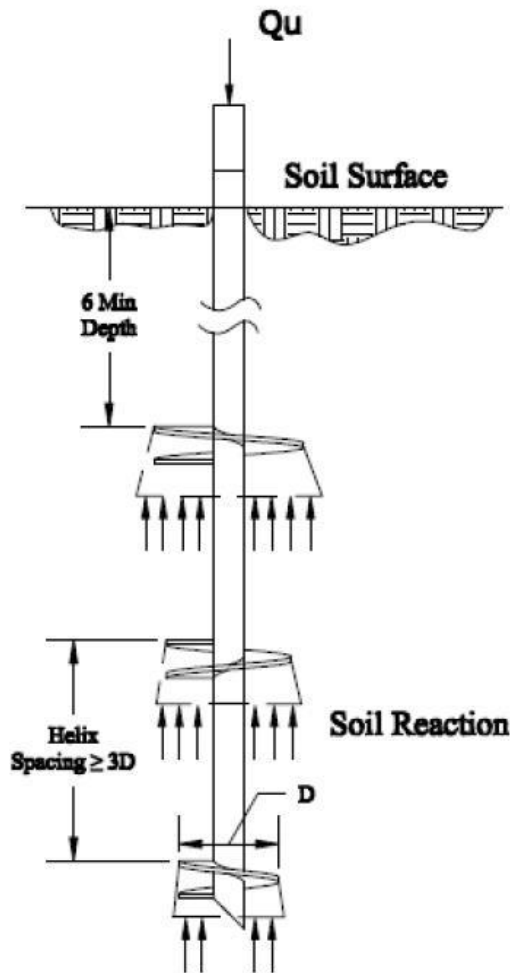


Figura 4. Esquema de capacidad de carga de un pilote helicoidal.

4.4.2. Análisis Geotécnicos.

4.4.2.1. Modelo Geotécnico.

En la figura 5 se muestran los apoyos 1, 2 y 3 que se requieren cimentar estos corresponden a los soportes 9, 10 y 11, respectivamente.

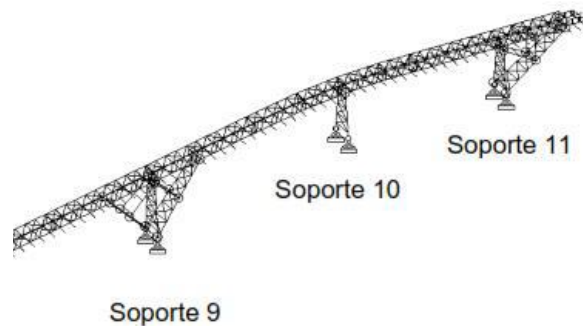


Figura 5. Soportes de la banda transportadora de jales filtrados.

En la información previamente proporcionada se observó una variación estratigráfica entre los apoyos 1 y 2, y el apoyo 3, ya que este último se encuentra en la zona del embalse de la presa de almacenamiento de jales. Con lo anterior se definieron dos zonas geotécnicas y se integraron sus modelos geotécnicos correspondientes.

En la zona-1 se usó el MG-01 y para la zona-2 se utilizó el MG-02, mismos que se presentan en la Tabla 2 y la Tabla 3, respectivamente.

Tabla 2. Modelo geotécnico MG-01.

| Profundidad (m) | | Descripción | SUCS |
|-----------------|-------|---|---------|
| De | A | | |
| 0.00 | 5.60 | Mezcla de fragmentos de roca, arena y limo. | Relleno |
| 5.60 | 11.20 | Jal | ML |
| 11.20 | 13.30 | Arena Limosa | SM |
| 13.30 | 13.60 | Limo | ML |
| 13.60 | 20.20 | Arena Limosa | SM |
| 20.20 | 24.00 | Arena Limosa | SM |
| 24.00 | 25.50 | Arena Limosa | SM |

Tabla 3. Modelo geotécnico MG-02.

| Profundidad (m) | | Descripción | SUCS |
|-----------------|-------|--------------|------|
| De | A | | |
| 0.00 | 4.80 | Arena Limosa | SM |
| 4.80 | 16.60 | Arena Limosa | SM |
| 16.60 | 18.00 | Limo | ML |
| 18.00 | 22.20 | Arena Limosa | SM |
| 22.20 | 23.70 | Limo | ML |
| 23.70 | 29.80 | Arena Limosa | SM |
| 29.80 | 35.00 | Limo | ML |

Las propiedades mecánicas se estimaron a partir de correlaciones con las propiedades índice y número de golpes y por recomendación del estudio de suelos se tiene que desplantar a mínimo 12 m de profundidad.

El nivel de agua freática reportado en los trabajos de exploración geotécnica en el estudio de mecánica de suelos proporcionada nos marca que se encuentra a una profundidad de 13.0 m.

4.4.3. Análisis por Capacidad de Carga para los apoyos.

Para el proyecto en cuestión se propuso una configuración de pilote helicoidal con tres hélices de diámetros 10", 12" y 14" y eje tubular de 3.5" de diámetro. Para el caso del soporte no. 3, el cual tiene una fuerza adicional debida al empuje activo del jal, el eje tendrá una sección más ancha, de 4.5" de diámetro, en la parte superior para incrementar la resistencia a la flexión del pilote helicoidal (figura 6).

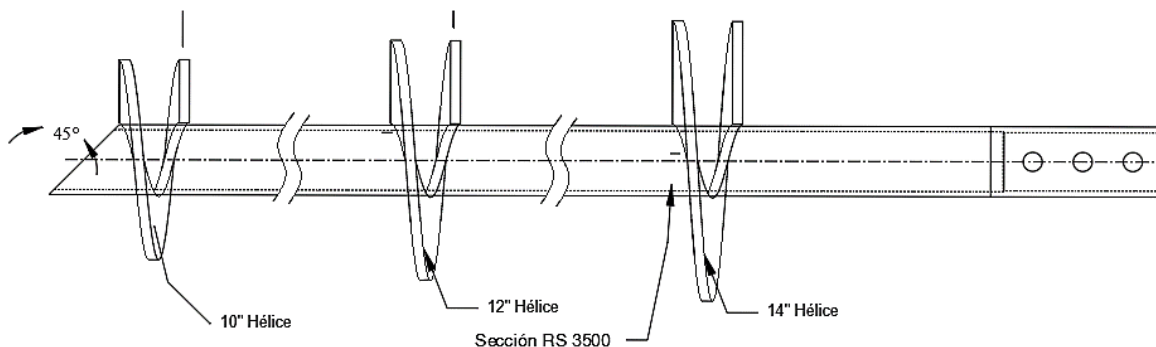


Figura 6. Sección con hélices del pilote helicoidal.

- Apoyos 1 y 2.

Para los apoyos 1 y 2 se obtuvo la capacidad de carga del pilote helicoidal empleando el modelo geotécnico MG-01. En la Tabla 4 se muestran los resultados a los que se llegaron considerando un factor de seguridad FS=2.0.

Tabla 4. Capacidad de carga del pilote helicoidal con el MG-01.

| Sección del Eje | Profundidad de desplante (m) | Capacidad de carga última (kN) | | Capacidad de Carga admisible (kN) | |
|-----------------|------------------------------|--------------------------------|------------|-----------------------------------|------------|
| | | Tensión | Compresión | Tensión | Compresión |
| RS3500 | 14 | 535.9 | 437.3 | 267.95 | 218.65 |

- **Apoyo 3.**

Para el apoyo 3 se hicieron los cálculos para conocer la capacidad de carga del pilote helicoidal empleando el modelo geotécnico MG-02. En la Tabla 5 se muestran los resultados obtenidos considerando un factor de seguridad FS=2.0.

Tabla 5. Capacidad de carga del pilote helicoidal con MG-02.

| Sección del Eje | Profundidad de desplante (m) | Capacidad de carga última (kN) | | Capacidad de Carga admisible (kN) | |
|-----------------|------------------------------|--------------------------------|------------|-----------------------------------|------------|
| | | Tensión | Compresión | Tensión | Compresión |
| RS4500 + RS3500 | 14 | 415.7 | 370.9 | 207.85 | 185.45 |

Con base en las capacidades de carga obtenidas para la configuración propuesta del pilote helicoidal con los modelos geotécnicos MG-01 y MG-02, que corresponden a los apoyos 1 y 2, y el apoyo 3, respectivamente, se formó un grupo de pilotes para cada apoyo.

En este proyecto se tuvo que hacer el análisis de carga en grupo, para esto se hicieron 4 revisiones de cada soporte para ver la capacidad de carga de los grupos de pilotes helicoidales y esta se realizó mediante modelado numérico en el software HelixPile del desarrollador DeepFoundation.

En este caso, sin embargo, para evitar realizar renivelaciones constantes derivado del proceso de consolidación de los jales, se decidió reducir la longitud de la banda a 119.7 m y así quitar el apoyo ubicado en la zona de almacenamiento de la presa (Apoyo 3).

4.4.4. Capacidad de carga para los apoyos 1 y 2.

Esta última revisión se realizó para los cabezales con cuatro pilotes propuestos para los soportes 1 y 2 empleando las descargas estructurales de la banda transportadora de 119.7 m de longitud y tomando en cuenta el peso propio de los elementos de concreto de la Tabla 6.

Tabla 6. Peso propio de concreto de zapatas, columnas y vigas por apoyo de la banda transportadora.

| Apoyo No. | Zapata de concreto | | | Dado de concreto | | | Viga de concreto | | | Peso |
|-----------|--------------------|-----------|------------|------------------|-----------|------------|------------------|-----------|------------|--------------|
| | Ancho (m) | Largo (m) | Altura (m) | Ancho (m) | Largo (m) | Altura (m) | Ancho (m) | Largo (m) | Altura (m) | Concreto (t) |
| 1 | 4.5 | 2 | 0.6 | 1.4 | 0.7 | 2.6 | 0.8 | 1.8 | 0.7 | 20.6 |
| 2 | 2.5 | 6.8 | 0.6 | 1.4 | 0.7 | 2.9 | 0.8 | 1.8 | 0.7 | 31.8 |

- **Apoyo 1.**

Los resultados indican que el factor de seguridad de 1.5 está bien para el apoyo en cuestión, por lo que no es necesario añadir pilotes para incrementar su capacidad de carga, ya que las descargas estructurales incrementaron

ligeramente su valor con respecto a las descargas obtenidas para el diseño de la banda transportadora con mayor longitud (Tabla 7) (Figura 7).

Tabla 7. Capacidad de carga del arreglo de 4 pilotes helicoidales del apoyo 1.

| Capacidad de Carga última (kN) | | | Capacidad de carga admisible (kN) | | | Descarga vertical máxima en el cabezal (kN) | Cortante Máximo (kN) |
|--------------------------------|------------|----------|-----------------------------------|------------|----------|---|----------------------|
| Tensión | Compresión | Cortante | Tensión | Compresión | Cortante | | |
| 1666.7 | 1689.5 | 240 | 1111.1 | 1126.3 | 160 | 947.9 | 115.5 |

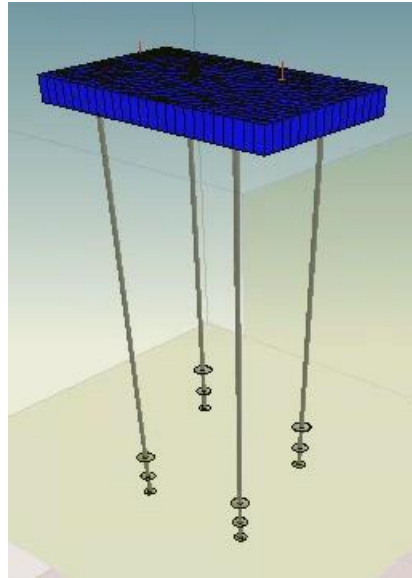


Figura 7. Modelo numérico del grupo de 4 pilotes para el apoyo 1.

- **Apoyo 2.**

La revisión realizada al cabezal con cuatro pilotes del apoyo 2 indica que estos no proporcionan la capacidad de carga suficiente para soportar las nuevas descargas estructurales, por lo que se propone añadir 4 pilotes más para formar un grupo de 8 pilotes helicoidales en total, tal como se muestra en la Figura 8.

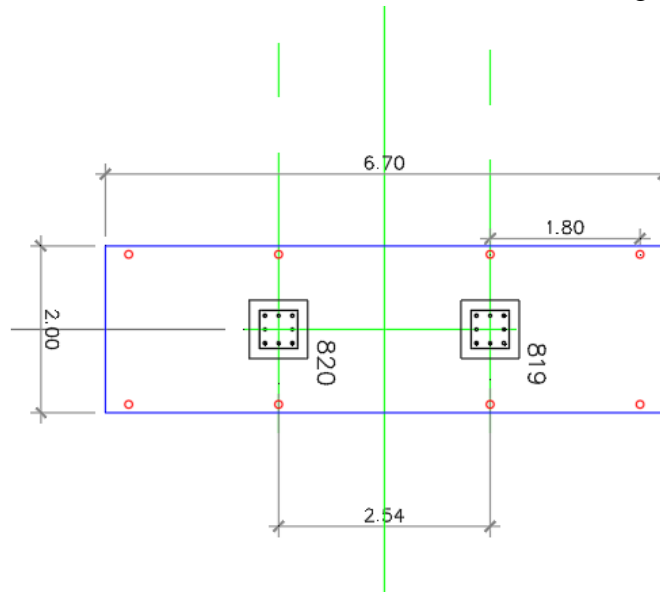


Figura 8. Cabezal con ocho pilotes helicoidales para el apoyo 2.

En la Tabla 8 se muestran las capacidades de carga tanto últimas como admisibles para el grupo de 8 pilotes helicoidales del apoyo 2 (figura 9) considerando las descargas estructurales de la banda transportadoras de 119.7 m de longitud.

Tabla 8. Capacidad de carga del grupo de 8 pilotes helicoidales del apoyo 2.

| Capacidad de Carga última (kN) | | | Capacidad de carga admisible (kN) | | | Descarga vertical máxima en el cabezal (kN) | Cortante Máximo (kN) |
|--------------------------------|------------|----------|-----------------------------------|------------|----------|---|----------------------|
| Tensión | Compresión | Cortante | Tensión | Compresión | Cortante | | |
| 3900.2 | 3792.1 | 810 | 2166.8 | 2106.7 | 450 | 1242 | 45.1 |

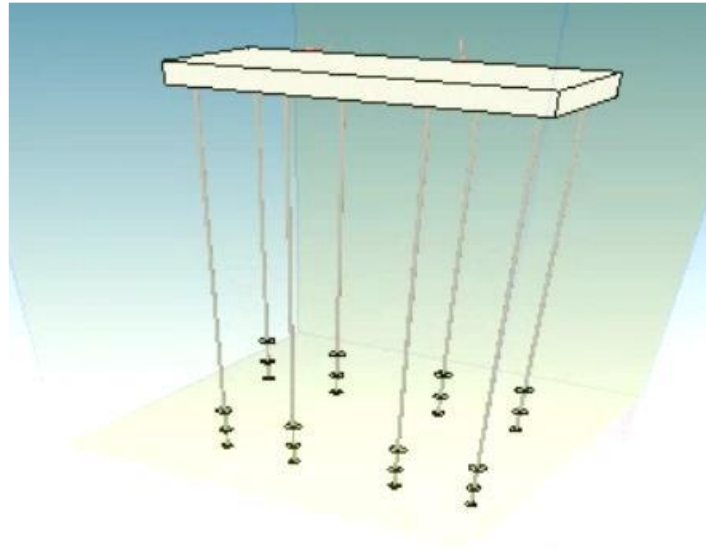


Figura 9. Modelo numérico del grupo de 8 pilotes para el apoyo 2.

El factor de seguridad recomendado para evaluar la falla por capacidad de carga de cimentaciones es de 2.0, el cual se utilizó en la primera revisión. Sin embargo; bajo las condiciones evaluadas en esta revisión, se acepta un factor de seguridad mínimo de 1.5 con base en las descargas actuales de la estructura. En caso de que dichas condiciones se modifiquen, será necesario realizar otra revisión de los grupos de pilotes propuestos para cada apoyo y así asegurar su correcto desempeño.

4.5. Instalación de Pilotes Helicoidales.

Cada pilote es instalado por secciones, acoplando las piezas mediante tornillería hasta alcanzar el torque de diseño, el torque es inducido por el motor rotatorio marca Pro-Dig, controlado y mostrado por el torquímetro intelli-Tork, del cual se toman los valores para el llenado del formato de control y registro de instalación. En las siguientes imágenes (Figuras 10, 11, 12 y 13) se muestra el proceso de instalación de cada pila.



Figura 10. Instalación de sección principal con 3 hélices.



Figura 11. Nivelación de sección principal para su hincado.



Figura 12. Acople de piezas lisas subsiguientes mediante tornillería.



Figura 13. Instalación de conector de cabeza cuadrada.

4.5.1. Particularidades de la instalación.

Después del arribo de la maquinaria, se solicitó ubicar los puntos de instalación de los pilotes helicoidales y sus niveles de desplante, se informó a SOILSOLUTION que se requería realizar excavaciones promedio de 2.0 m en las áreas correspondientes a los 3 apoyos, así como que se incrementaría la excavación 75cm para colocar una plantilla de material mejorado por el cliente.



Figura 14. Excavación extra para la colocación de las pilas helicoidales.

Así mismo, una vez entregada el área de trabajo, el proceso de instalación de los pilotes se realizó de manera adecuada sin presentarse ningún problema de ejecución. La ubicación de pilotes fue ejecutada de acuerdo a lo establecido en los planos y los niveles de desplante fueron proporcionados por el cliente, conforme a su diseño.

5. Conclusiones.

Los resultados del estudio de mecánica de suelos indicaban que en el área predominaban los depósitos artificiales medianamente consolidados, por lo tanto, era necesario la colocación de una cimentación profunda con una profundidad de desplante de mínima de 12 m tomando en cuenta el nivel de terreno.

Principalmente se propuso una banda transportadora mucho más larga, esto implicaba colocar 3 soportes. El soporte 1 y 2 solo tendrían 4 pilotes cada uno y para el soporte 3 se le colocarían 10 pilotes, pero se identificó que el soporte 3 era susceptible a presentar deformaciones debido a que se ubica dentro de la zona de almacenamiento de la presa, lo que afecta la funcionalidad de la banda transportadora y que requiere la ejecución de renivelaciones constantes a lo largo de la vida útil de la estructura, así que se tuvo que quitar este soporte del proyecto y en cambio se consideró colocar un cono de derrape en esta zona, por lo tanto, esto provoco un cambio e hizo que se reconsideraran las cargas del soporte 2, ya que a este se le incrementaría peso, dando como resultado la colocación

de 6 pilas más a este, así que la instalación final fue de 14 pilas helicoidales en total (4 en el soporte 1 y 10 en el soporte 2).

Los pilotes colocados no requieren conexión estructural; sin embargo, el cabezal de apoyo debe ser lo suficientemente rígido para soportar los esfuerzos transmitidos por la estructura en cuestión y distribuirlos uniformemente a los pilotes helicoidales.

Es importante siempre conocer el suelo donde se colocará una estructura, ya que puede ser que el proceso o cambio que tenga o haya tenido el suelo no sea suficientemente resistente para la cimentación, aun cuando se consideren cimentaciones profundas (como es en este caso), a veces es mejor modificar el proyecto que poner en riesgo a la estructura posteriormente.

Referencias.

1. Armienta María Aurora., Villaseñor Cabral G., y Romero Francisco Martin, (2005). Propuesta de estrategia metodológica para la evaluación de la peligrosidad de jales mineros en México. AIMMGM XXVI Convención Internacional de Minería, Veracruz, Ver.
2. Barrios J. A., (2001). Quality of Sludge generated in wastewater treatment plants in México: meeting the proposed regulation. IWA Specialized Conference on Sludge Management: regulation, treatment, utilization and disposal. Acapulco, México, pp 54-61.
3. ICC. (2015). International code council. Retrieved from http://www.iccsafe.org/search_gcse/?q=Search Here.
4. Mendoza Amézquita E., Armienta María A., Ayora Carlos, Soler Albert y Ramos Estela, (2006). Potencial lixiviación de elementos traza en jales de las minas La Asunción y Las Torres, en el distrito minero de Guanajuato, México, Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 23, núm. 1. 75-83.
5. Perko, H. a, & Wiley, J. (2009). *Helical Piles*. (I. Jhon Wiley & Sons, Ed.).
6. Ramos-Arroyo Y.R., Prol Ledesma R.M. y Siebe Grabach C., (2004). Características geológicas y mineralógicas e historia de extracción del Distrito de Guanajuato, México. Posibles escenarios geoquímicos para los residuos mineros. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 23, núm. 2. 268-284.
7. Vick, SG (1990). Planificación, diseño y análisis de presas de relaves. BiTech Publishers Ltd.