



Columnas/Pilas de Grava Compactada: una alternativa con buena relación costo-beneficio para construir cimentaciones junto a edificios históricos.

Rammed Aggregate Columns: a cost-effective option to construct foundations next to historical buildings.

José Luis AGUIRRE¹, Mayra NOLASCO² y Héctor DE LA FUENTE³

¹SOILSOLUTION S.A. DE C.V., ²SOILSOLUTION S.A. DE C.V. y ³SOILSOLUTION S.A. DE C.V.

RESUMEN: La existencia de edificios históricos ubicados en zonas de construcciones modernas dificulta los procesos constructivos de cimentación debido a las vibraciones y ruidos generados, ocasionando a su vez daños a las estructuras históricas aledañas. Una alternativa costo efectiva para el apoyo de cimentaciones colindantes a edificios históricos es el uso de Pilas de Grava Compactada construidas con métodos de compactación de alto impacto, generando vibraciones de alta frecuencia y baja amplitud, ayudando a evitar el riesgo de daños en las edificaciones colindantes.

ABSTRACT: Historical buildings located among modern constructions makes difficult to construct foundations due to the sound and vibrations that it produces, and in some cases, it can make nearby structures to collapse. A cost-effective alternative to bring support to foundations next to historical buildings are rammed aggregate columns, which are constructed using high energy compaction methods that generate high frequency vibrations with low amplitude, helping to avoid damaging adjacent structures.

PALABRAS CLAVE. MEJORAMIENTO DE SUELOS, PILAS/COLUMNAS DE GRAVA COMPACTADA, VIBRACION.

1 INSTRUCCIONES GENERALES

Los sistemas de mejoramiento de suelos han surgido como alternativas para la construcción de cimentaciones que modifican las propiedades de resistencia y deformación del suelo mediante acciones físicas o inclusiones, que aumentan la capacidad de carga del suelo y disminuyen los asentamientos provocados por las estructuras.

Por otro lado, el crecimiento urbano en las ciudades conlleva a un aumento en las actividades constructivas y, por lo tanto, incrementa la producción de vibraciones durante la construcción, mismas que causan incomodidad a las personas o que pueden dañar estructuralmente a edificaciones aledañas, que van desde pequeñas fisuras hasta colapsos.

El mejoramiento del terreno a base de Columnas/Pilas de Grava Compactada genera vibraciones de alta frecuencia y baja amplitud de onda durante su instalación, lo que hace poco probable que estructuras aledañas sufran daños por dicha actividad.

Esta alternativa cuenta con un proceso constructivo mucho más limpio, de rápida ejecución, con buen desempeño y menos costoso que una cimentación profunda o cualquier otro método de mejoramiento de suelos, disminuyendo

considerablemente las molestias que se puedan ocasionar a los vecinos, incluso en áreas de trabajo limitadas.

2 MEJORAMIENTO DE SUELOS MEDIANTE PILAS DE GRAVA COMPACTADA

El sistema constructivo de Columnas/Pilas de Grava Compactada surgió en la década de los 80's; fue desarrollado por el Dr. Nathaniel con el objetivo de brindar una solución costo efectiva y rápida para el apoyo de cimentaciones en comparación con las alternativas de cimentaciones tradicionales.

La Pila o Columna de Grava compactada puede definirse como un elemento semirrígido vertical conformado por capas de grava triturada sin finos de tamaño máximo de 3/4" a 1 1/2", que se introducen en el suelo por reemplazo o por desplazamiento lateral y que se apisonan hasta compactarlas con la finalidad de que alcancen una alta rigidez.

2.1 Sistema Constructivo GP3

Este sistema constructivo permite mejorar hasta 8.0 m de profundidad. Es bastante eficiente, ya que se pueden obtener rendimientos de hasta 200-300 m

lineales de pila de grava compactada por jornada de 8 hr.

Las cuadrillas de trabajo están integradas por una perforadora, un cargador de grava y el martillo vibro compactador patentado, lo que requiere de una cuadrilla de 3 operadores y un ayudante.

El rendimiento de construcción varía con las condiciones de trabajo, siendo máximo cuando estas son las óptimas, donde se realice el mínimo de maniobras entre cada punto a mejorar, el material a excavar sea tipo A, y se cuente con espacio suficiente para que las máquinas realicen maniobras sin dificultad u obstrucciones.

El procedimiento constructivo se detalla a continuación:

- Se realiza una perforación de diámetro de 24" (0.61 m).
- Se deposita una primera capa de agregado (grava limpia angulosa de tamaño máximo de 3/4" a 1 1/2") en el fondo de la perforación. Se apisona lo suficiente para formar un bulbo estabilizado en la parte inferior de las pilas de grava compactada. De esta manera se pre-esfuerzan los suelos hasta una profundidad de al menos un diámetro debajo de la profundidad de perforación.
- Tras la primera capa estabilizada en el fondo de la perforación, se compactan capas sucesivas de un espesor aproximado de 0.3 metros hasta llegar a la cota de coronamiento. Cada capa de grava se compacta mediante el uso de un apisonador biselado patentado que aplica una alta energía de compactación con alta frecuencia (Fig. 1).

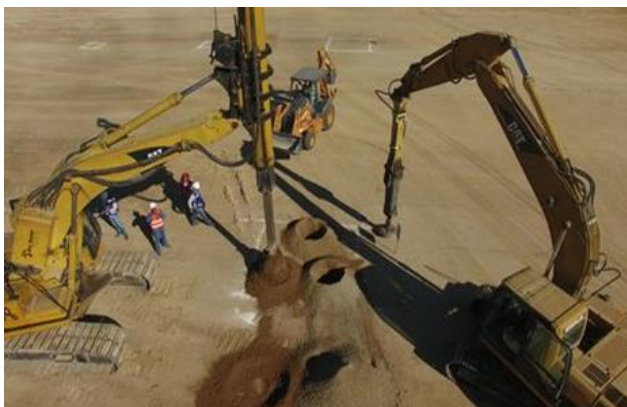


Figura 1. Construcción de Columna de Agregado Compactado GP3.

El resultado de este proceso es una pila de agregado compactado de alta densidad que incrementa la capacidad de carga del suelo a nivel de desplante de las zapatas; además, produce un desplazamiento lateral del suelo circundante,

disminuyendo su relación de vacíos y aumentando el esfuerzo horizontal.

2.2 Vibraciones y Ruido del Sistema Constructivo GP3

Durante el proceso de construcción del sistema GP3, las velocidades pico de las partículas normalmente rondan valores por debajo de las 2 pulgadas por segundo, las cuales se encuentran dentro del rango aceptable para no producir daños estructurales (Wiss, 1981). Esto se atribuye a las vibraciones de alta frecuencia y baja amplitud que se generan debido a los martillos de compactación patentados empleados durante la construcción de las Pilas de Grava Compactada (Figuras 2 y 3).

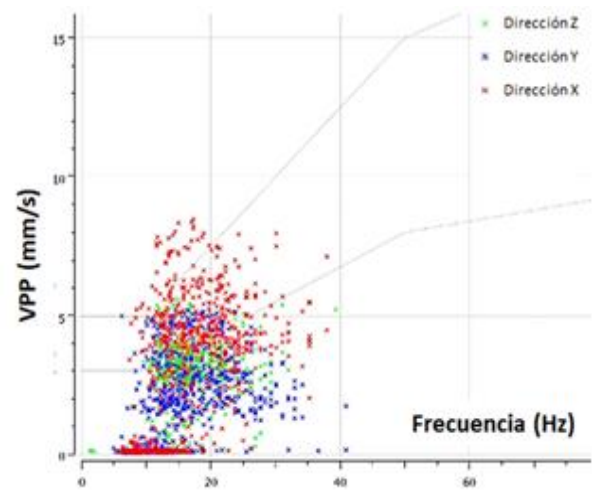


Figura 2. Velocidades pico de partícula producidas por el hincado de pilotes con martillo de caída libre (modificado de Brzakala & Baca, 2017).

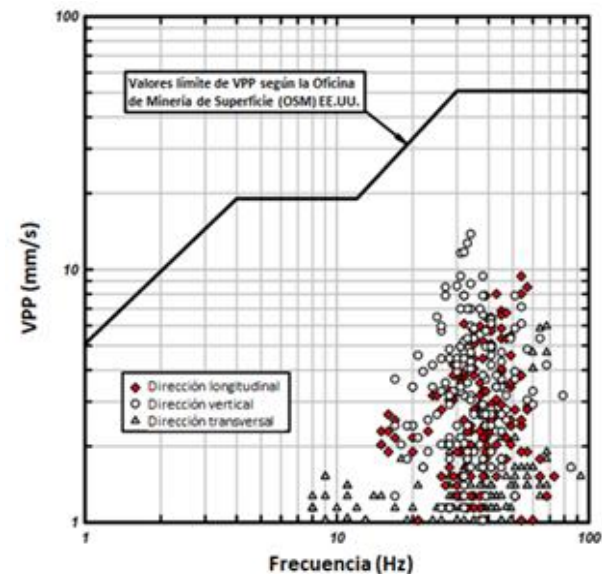


Figura 3. Velocidades pico de partícula producidas por la instalación de Pilas de Grava Compactada GP3 (modificado de Fiegel & Farrell, 2008).

3 MEJORAMIENTO DE SUELOS PARA UN EDIFICIO DE 6 NIVELES

3.1 Condición estratigráfica inicial

El subsuelo en el predio, donde se proyectó la construcción de un edificio, está conformado principalmente por arena limosa en estado suelto hasta 8.0 metros de profundidad y, por debajo de ese nivel, se tiene arena limosa compacta; asimismo, hay presencia de nivel freático a -4.0 m con respecto al nivel de terreno natural.

De acuerdo con los análisis geotécnicos de capacidad de carga y de asentamientos, la cimentación del edificio debía transmitir las descargas estructurales, cuyas magnitudes se encuentran entre 200 t y 250 t para sus apoyos más cargados, hasta el estrato de arena limosa compacta, por lo que se diseñaron pilas de cimentación de diámetros variables entre 0.8 y 1.2 m, desplantadas de 9.0 a 13.0 m de profundidad (Fig. 4).

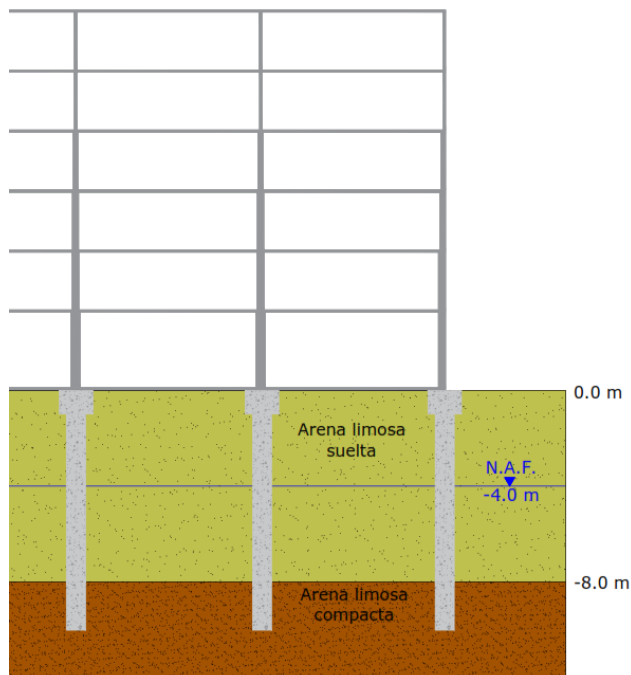


Figura 4. Propuesta de cimentación empleando pilas de cimentación.

3.2 Condición con mejoramiento

Con el sistema GP3 para la instalación de Columnas/Pilas de Grava Compactada se redujo la profundidad de desplante de la cimentación hasta -1.5 m con asentamientos totales teóricos que están dentro del rango permisible, mejorando las propiedades de la arena limosa suelta hasta -5.5 m. En total se proyectó la construcción de 72 elementos de 4.0 m de longitud (Fig. 5).

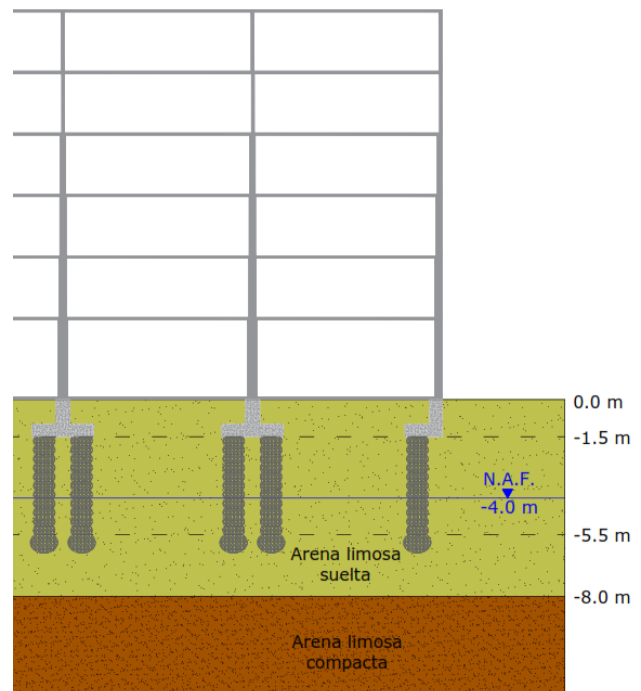


Figura 5. Propuesta de cimentación empleando un mejoramiento de suelos mediante Pilas de Grava Compactada GP3.

4 RETOS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN

4.1 Área de trabajo reducida

El mejoramiento del terreno con Columnas/Pilas de Grava Compactada GP3 fue la mejor opción para esta estructura de 6 niveles, ya que la cuadrilla de construcción de la tecnología GP3 la conforman sólo cuatro personas y tres máquinas. A pesar de que las dimensiones del predio son de 18.0 x 50.0 m, no se tuvieron inconvenientes durante la ejecución de las actividades.

El rendimiento máximo en la construcción de Columnas/Pilas de Grava Compactada con la tecnología GP3 es de 200-300 metros lineales diarios aproximadamente, de tal forma que el tiempo de construcción de la cimentación se reduce significativamente comparada con pilas, pilotes u otros tipos de mejoramiento de suelos como el suelo

cemento o la excavación y reemplazo; además, los costos del proyecto también se ven reducidos.

Otra ventaja es que las excavaciones no superan los 8.0 m de profundidad y eso las hace estables en la mayoría de los casos, siempre y cuando no haya nivel de agua freática somero; además, no permanecen abiertas mucho tiempo ya que inmediatamente después de que se perfora hasta la profundidad deseada, la grava es introducida en la perforación y comienza el proceso de compactación de la misma, debido a esto, el procedimiento no requiere el uso de fluidos de perforación, lo que lo hace un sistema limpio.

Para este edificio, la instalación de las pilas de grava compactada se realizó en 4 días considerando el poco espacio, las maniobras y las colindancias; generando ahorros en costos directos del 64% en comparación con la alternativa tradicional de pilas de concreto.

4.2 Cimentación existente

Durante los trabajos de mejoramiento de suelos con el sistema GP3 se identificaron restos de una cimentación. Se tomaron acciones de demolición y retiro del escombro producido, actividades que afectaron el rendimiento final de construcción de Pilas/Columnas de Grava Compactada por jornada laboral, sin embargo, el tiempo total no fue para nada extenso comparado con otras alternativas, y el cliente quedó satisfecho.

4.3 Colindancias

Una de las estructuras que colinda con el predio es una iglesia del siglo XX a base de muros de adobe, (Fig. 6), situación que representaba gran preocupación, ya que las vibraciones producidas por procedimientos constructivos de cimentaciones profundas, como el hincado de pilotes usando martillos de caída libre, pueden causar daños

significativos a estructuras colindantes.

Figura 6. Construcción de pila de grava compactada en colindancia con muros de adobe pertenecientes a una iglesia antigua.

Pese a que la tecnología de Pilas de Agregado Compactado GP3 genera vibraciones producto del apisonado del material granular que conforma la Columna/Pila de Grava Compactada, las frecuencias dominantes de dichas vibraciones oscilan entre 30 y 40 Hz mientras que, para el hincado de pilotes a percusión, las frecuencias dominantes se encuentran entre 10 y 15 Hz, mismas que tienen más probabilidad de generar daños a las estructuras por sus largos periodos de vibración (Figs. 3-4).

5 CONCLUSIONES

Durante el proceso constructivo de pilas de grava compactada se generan vibraciones de alta frecuencia y baja amplitud, las cuales se encuentran dentro de un rango permisible para no ocasionar daños estructurales a las colindancias. Además, se generan ahorros significativos en costos directos y tiempos de construcción con respecto a las soluciones tradicionales de cimentación.

El tiempo de ejecución total fue de 4 días, considerando el poco espacio, las maniobras y las colindancias. Se instalaron 72 Columnas/Pilas de Grava Compactada de 4.0 m de longitud con el método constructivo GP3. Después del mejoramiento del terreno se desplantaron zapatas a 1.5 m de profundidad, obteniéndose un ahorro cercano al 64% del presupuesto inicial de la cimentación comparada con la construcción de pilas. Posterior a la construcción de este proyecto, el edificio colindante no sufrió ningún tipo de daño estructural.

REFERENCIAS

- Brzakala, W., & Baca, M. (2017). "The measurement and control of building vibrations in course of sheet pile wall and franki pile driving", *17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. SGEM*. Vienna, Austria: 929-936.
- Fiegel, G., & Farrell, T. (2008). "Measurement of vibration and noise during the instalation of rammed aggregate piers". *6th International Convergence on Case Histories in Geotechnical Engineering*. Arlington, VA: 11-16.
- Wissmann, K., FitzPatrick, B., & White, D. "Vibration and noise levels". *Technical Bulletin No. 9. Geopier®*.



Wiss, J.F. (1981). "Construction Vibrations: State of the Art". *ASCE Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 107: 167-181