

# **Investigación de excavaciones profundas en Lima Perú**

**Galván Oyague Andrea Del Pilar**

Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú, andreagalvan2011@hotmail.com

**Salazar Ramírez Juan Diego Iván**

Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú, diego2\_89@hotmail.com

**Cáceres Vila Juan Carlos**

Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú, jcsv73@hotmail.com

**Consejero de la Facultad;**

Dr. Arnaldo Carrillo Gil

Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú, Email: acsac01@speedy.com.pe

## **RESUMEN**

Investigar acerca de las excavaciones en los suelos granulares gruesos de Lima, adquiere fundamental importancia en muchas áreas de la ciudad, como es en el caso de los recientes derrumbes ocurridos con lamentables pérdidas humanas y materiales, donde debió efectuarse un adecuado diseño geotécnico de la excavación, de sus calzaduras y soportes, así como una supervisión experta en ingeniería civil. Es por ello que se ha logrado combinar los resultados de investigaciones de muchos años y estamos practicando diferentes métodos para la exploración profunda del suelo subyacente así como para la ejecución estable y económica considerando las limitaciones e inseguridades propias de los parámetros del suelo obtenidos, los costos y riesgos que representan la profundización de los sótanos, en excavaciones profundas ejecutadas en diferentes partes de la ciudad, lo que nos ha permitido cumplir el principal objetivo de brindar soluciones factibles para poder mejorar y obtener recomendaciones en el proceso constructivo de las excavaciones. Para ello se ha practicado diferentes métodos geofísicos y poco utilizados en nuestro medio, además de algunos sistemas sofisticados para sostener este tipo de materiales geotécnicos depositados en un área sísmica como es la ciudad de Lima y así tomar las precauciones pertinentes.

Palabras claves: excavaciones, taludes, geotecnia.

## **ABSTRACT**

Investigations about the excavations in granular soils of Lima have fundamental importance in many areas of the city, as in the case of recent landslides that occurred with appalling human and material losses, where there must have been an adequate geotechnical design of excavation, and a civil engineering expert supervision. That is why, we are managing to combine the results of research for many years and we are practicing different methods for deep exploration of the underlying soil and to stable economic performance considering the limitations and uncertainties inherent soil parameters obtained, and the costs and risks posed by the deepening of the basement on deep excavations carried out in different parts of the city, which has enabled us to achieve the main objective of providing workable solutions to improve and get recommendations in the construction process of the excavations. This has been practiced with different geophysical methods used in our environment, as well as some sophisticated systems to support this type of geotechnical materials deposited in a seismic area like the city of Lima in order to take appropriate precautions.

Keywords: excavations, slopes, geotechnical.

## 1. INTRODUCCION

Cualquier excavación que se practique en los suelos granulares gruesos de Lima (Fig. 1), causa disipación de esfuerzos concentrados en el terreno y su correspondiente expansión en el suelo adyacente, lo que redundará en asentamientos y formación de grietas de tensión que originan cuñas de deslizamiento que pueden ser activadas por efecto de sobrecargas estáticas o dinámicas generadas en el área de excavación y cuyo disparador casi siempre es el agua infiltrada en el medio poroso (Carrillo, 2010).

La repercusión o efectos que en las estructuras adyacentes puedan tener los trabajos de una excavación mayor de diez metros, tanto en su estabilidad como en futuros asentamientos, adquiere fundamental importancia en muchas áreas de la ciudad, como es el caso de los recientes derrumbes ocurridos con lamentables pérdidas humanas y materiales, donde debió efectuarse un adecuado diseño geotécnico de la excavación, de sus calzaduras y soportes, así como una supervisión experta en ingeniería civil.

## 2. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

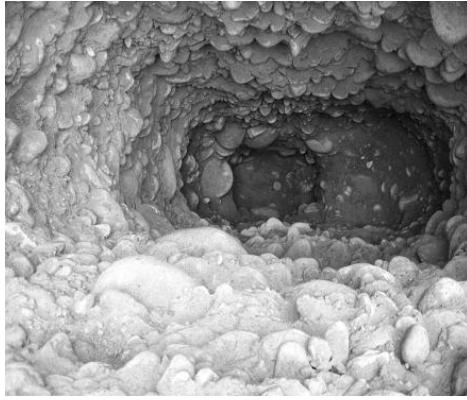
Para evitar problemas y adoptar criterios técnicos bien fundados, es recomendable tomar en consideración el probable comportamiento del suelo granular grueso de apoyo, que por encontrarse en estado compacto y estar conformado por piedras y grava empacada en arena, se ha confiado en el pasado demasiado en su resistencia y soporte lateral, sin estimar la magnitud de sus movimientos y las probables deformaciones que puede sufrir por la aplicación de apreciables cargas externas.

De los numerosos casos estudiados se establece que un gran número de factores interrelacionados influyen en la magnitud y distribución de los movimientos que acompañan a la ejecución de una excavación en el suelo granular grueso de Lima, éstos pueden deberse a una programación inadecuada del proceso y forma de excavación, a eventos sísmicos ocurridos durante las diferentes etapas de construcción, a falta de soporte o inconveniente colocación de puntales, y a rotura de tuberías de agua o desagüe durante el proceso constructivo (Carrillo, 2007).

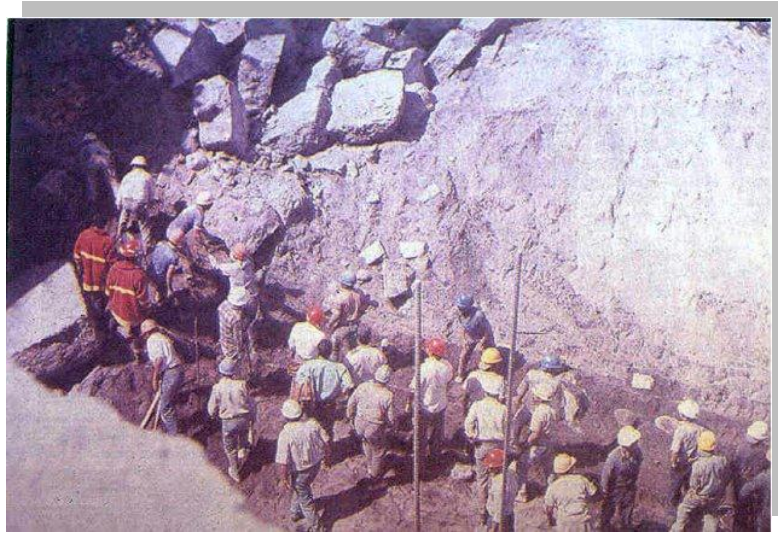
Por otro lado, podemos indicar que para los trabajos de excavación profunda para sótanos en los suelos granulares gruesos de Lima, se están practicando diferentes métodos para la exploración profunda del suelo subyacente así como para su ejecución estable y económica, considerando las limitaciones e inseguridades propias de los parámetros del suelo obtenidos y los costos y riesgo que representan la profundización de los sótanos. (Carrillo, 2008).

Para ello se están utilizando métodos geofísicos que transmiten ondas electro magnéticas que permiten establecer la real estratigrafía profunda con radar, así como diversas patentes para la excavación y construcción de pantallas ancladas, muros con pilotes, etc., o pantallas atirantadas o claveteadas (Soil Nailing Wall) que consideramos un método bastante bueno y poco utilizado en nuestro medio, además de algunos sistemas sofisticados para sostener este tipo de materiales geotécnicos depositados en un área sísmica como es la ciudad de Lima. (Carrillo, 2003).

En la práctica es recomendable que durante la ejecución de una excavación profunda se tomen en cuenta algunas precauciones. Así, se puede aumentar la altura de una excavación vertical no apuntalada siempre que no se sobrepase de una altura máxima de cinco metros para condiciones de equilibrio crítico de estabilidad y suelo con baja resistencia y presencia de humedad. Para las mismas condiciones anteriores y con presencia de grieta de tensión ya formada, se puede considerar que para cualquier calzadura el talud siempre será inestable.

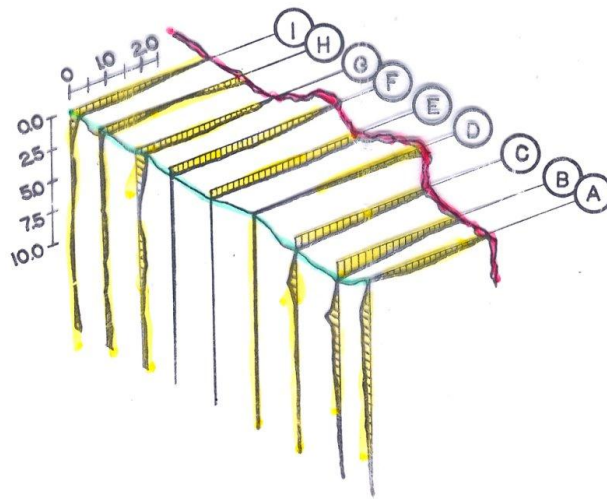


**Figura 1: Características del suelo de Lima, su excavación y determinación de estratigrafía con radar.**



**Figura. 2: Accidente por falla en el muro de la calzada debido a filtración de agua**

Debido a la naturaleza compleja de la redistribución de esfuerzos causados por una excavación en estos suelos, además de la presencia de variables inherentes al proceso constructivo tales como el uso inadecuado de máquinas y pericia de la mano de obra cuyos efectos son muy difíciles de predecir y controlar, se ha investigado con numerosas medidas del movimiento del talud y su resistencia en excavaciones profundas ejecutadas en diferentes partes de la ciudad, lo que nos ha permitido establecer que una determinada zona de las paredes de la excavación está sometida principalmente a deformaciones por esfuerzo cortante como consecuencia de la relación que existe entre la longitud y espesor de la zona de trabajo, así como por causa de las propiedades no-lineales del suelo, siendo secundarias y mínimas las deformaciones por flexión, condiciones que regulan un modelo de comportamiento con asentamientos en la parte superior y empujes hacia la excavación en la parte inferior.



**Figura 3: Deformaciones y desplazamientos originados por el movimiento del suelo.**

En todos los casos, se debe tomar en cuenta que antes de practicarse la excavación en todas sus secciones existía equilibrio de empujes y como consecuencia de la descarga se origina un déficit de tensiones, lo que causa pérdida de resistencia y graves deformaciones. Estos desplazamientos dependen de factores tales como rigidez del muro, dimensiones y profundidad de excavación, propiedades del suelo, tipo de apuntalamiento o anclaje a colocarse, además del procedimiento constructivo correspondiente.

Las investigaciones indican que hasta dos sótanos pueden utilizarse las calzaduras tradicionales, ejecutadas excavando zanjas de forma rectangular, o mucho mejor trapezoidal, a intervalos bajo la cimentación vecina, formando un muro de gravedad que se rellenan con concreto hasta la parte inferior de la cimentación, construyéndolo por paneles alternados hasta constituir una faja continua de apuntalamiento unida a la otra antigua y colocada a la profundidad requerida.

Las longitudes que queden sin apoyo por la formación de los paneles alternados se distribuyen por igual a lo largo de la zona de calzaduras y se recomienda que en ningún caso la suma de las longitudes sin apoyo exceda a un cuarto de la longitud total por calzar. Cuando el muro vecino está excesivamente cargado, es recomendable que la longitud sin apoyo en cualquier punto dado no debe exceder a un quinto o un sexto de la longitud total, además de tomarse la precaución de apuntalar adecuadamente la coronación del muro que conforma la calzadura.

En algunos casos, como fase final en la calzadura tradicional se suele llevar a cabo una inyección de lechada de cemento a presión en las líneas recurrentes entre la obra antigua y la nueva. Esto hace que el terreno bajo la nueva cimentación se vea sometido a esfuerzos previos, que en calzaduras pequeñas quizá no sean necesarios, pero puede resultar ventajoso en cimentaciones anchas o de formas irregulares en las que es difícil asegurar una distribución completa del concreto bajo la estructura, sin embargo, se considera siempre que un relleno de concreto prácticamente seco proporciona mayor solidez que uno blando o húmedo.

Entre los sistemas aplicados recientemente tenemos la implementación del “Método observacional” descrito por R. B. Peck, que se han utilizado para la excavación de sótanos profundos en suelos granulares gruesos inestables. Método que aplicado técnicamente ha permitido una adecuada secuencia de excavación y optimización de costos que comparado con los otros procedimientos de excavación resultó mucho menor, lográndose las modificaciones del proyecto efectuadas de acuerdo al progreso de la construcción.

Los cálculos y simulaciones por computadora y las decisiones técnicas tomadas oportunamente en base a la observación de comportamiento del suelo y uso de datos medidos, nos ha permitido que la excavación fuera llevada a cabo sin deslizamientos y eficientemente, retroanalizando las secciones de excavación para confirmar la revisión de los valores de diseño. Estos mejoramientos ahorraron tiempo manteniendo la seguridad, pues el Plan de Contingencia previsto no fue utilizado.



**Figura. 4 Aplicación del Método Observacional para el diseño y construcción de calzaduras en el suelo granular grueso de Lima.**

### **3. COMENTARIOS FINALES**

De los numerosos casos estudiados se establece que un gran número de factores interrelacionados influyen en la magnitud y distribución de los movimientos que acompañan a la ejecución de una excavación en los suelos de Lima. Los cálculos y simulaciones por computadora y las decisiones técnicas tomadas oportunamente en base a la observación de comportamiento del suelo y uso de métodos adecuados, nos permite que la excavación sea llevada a cabo sin deslizamientos y eficientemente, retro analizando las secciones de excavaciones para confirmar los valores de diseño.

Finalmente, se recomienda que durante la ejecución de una excavación profunda sea aconsejable tomar en cuenta algunas precauciones. Así, se puede aumentar la altura de una excavación vertical no apuntalada siempre que no se sobrepase de una altura máxima de cinco metros para condiciones de equilibrio crítico de estabilidad y suelo con baja resistencia y presencia de humedad. Para las mismas condiciones anteriores y con presencia de grieta de tensión ya formada, se puede considerar que para cualquier calzadura el talud siempre será inestable. En condiciones de humedad o saturación del cuerpo del talud se puede considerar, para alcanzar un factor de seguridad mínimo de 1.50, sólo se podría llegar a una altura teórica de 10.50 metros; pasada esta profundidad y en todos los casos mayor de 15.00 metros es necesario el apuntalamiento o el empleo de anclajes que se opongan a la formación de grietas de tensión que originan las potenciales cuñas de deslizamiento y la consiguiente inestabilidad de las edificaciones vecinas.

Adicionalmente, es conveniente considerar que el procedimiento constructivo, tanto de la excavación como de calzadura, debe tomar en cuenta dejar bermas o espaldones de tierra como soporte provisional de la excavación, los mismos que serán retirados posteriormente una vez terminada la calzadura o colocados los puntales apoyados en la estructura del sótano del edificio en construcción, es decir, empleando el método llamado “ascendente-descendente” que consiste en levantar la estructura en el centro de la excavación para actuar como soporte de los puntales, o en su defecto alojar columnas definitivas de la cimentación de los sótanos en perforaciones realizadas desde la superficie del terreno apoyadas en la parte inferior, lo que permite iniciar la construcción en forma ascendente al mismo tiempo que la excavación se practica de forma descendente, soportándose con los techos o puntales apoyados en ellos, procedimiento que ha sido ejecutado en nuestro medio con éxito en algunos casos de excavaciones mayores de 20.00 metros de profundidad con edificios adyacentes hasta de 15 a 25 pisos de altura.



## REFERENCIAS

- Carrillo Gil, A., (2003), “Casos de Cimentaciones Especiales”, Libro “*Geotecnia de los Suelos Peruanos*” 2da Edición, Lima, Perú.
- Carrillo Gil, A., (2007), “El método observacional en la excavación de sótanos” *Memorias del XIII Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica*” Isla Margarita, Venezuela.
- Carrillo Gil, A., (2008), “Excavaciones y Calzaduras en los Suelos de Lima Metropolitana”, *Conferencia Asocem Revista del Colegio de Arquitectos*, Lima – CAP, Lima, Perú.
- Carrillo Gil, A., (2010). “Excavaciones profundas en Lima”, *Conferencias Magistrales*, Facultad de Ingeniería, Universidad Ricardo Palma.
- Kort, I., Musante, H., Fahrenkrog, G., 1979, “*In situ mechanical properties measurement of Gravely Soil used in an interaction and foundation model for the Santiago Metro*”, VI PCSMF, Lima, Perú.
- Ortigosa, P., Retamal, E., Musante, H., 1987, “*Ensayos de Placa en Gravas*” Memorias del VIII CPMSIF, Cartagena, Colombia.
- Cesani, P.B., 1982, “*Análisis de Estabilidad de Taludes en la Grava de Santiago*”, Tesis Profesional, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Chile.

### ***Autorización y Renuncia***

*Los autores autorizan a LACCEI para publicar el escrito en las memorias de la conferencia. LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que esta expresado en el escrito*