

APLICACIÓN DE
LAS COMUNAS
DE GRAVA



■ Las dimensiones del país y lo heterogéneo que llegan a ser sus condiciones de suelo, obligan a un mayor conocimiento de este cuando se prevé la construcción de un nuevo proyecto. La industria ha desarrollado una serie de soluciones para responder a las necesidades de mejoramiento. Estas, junto con un profundo estudio del terreno donde se quiere construir, son las claves para que la estructura no presente problemas en todo su ciclo de vida.

ALEJANDRO PAVEZ V.
PERIODISTA REVISTA BIT



MEJORAMIENTO DE SUELOS

TIERRA FIRME



EL MEJORAMIENTO de suelos es una solución que se aplica desde la antigüedad. Y es que, al menos desde la época del imperio romano, se tiene registro de una consciencia antigua de cómo solucionar las fundaciones dependiendo del tipo de suelo. Se tienen antecedentes de cómo se desarrollaban las faenas para fortalecer los suelos en pos de la construcción de sus ya complejas estructuras. “Que los cimientos de esas obras se excaven en un sitio sólido y una base sólida si se puede encontrar, tanto como puedan ser proporcionales al tamaño de la obra; y que en todo el sitio se trabaje en una estructura tan sólida como sea posible”, rezaban las instrucciones para los incipientes ingenieros del imperio que desarrollaban obras en un vasto territorio, con diversas características de suelo.

Así también, “si no se encuentra una fundación sólida y el suelo bajo el sitio es tierra suelta o pantanosa, entonces debe excavar, despejarse y rehacerse con pilotes de aliso o de oliva o de roble carbonizado y los pilotes deben ser hincados muy cercanos por las máquinas, y los intervalos entre pilotes han de cubrirse con carbón. A continuación, las fundaciones deben llenarse con estructuras muy sólidas”, continuaba la instrucción. De esta

manera, ilustró Abelardo Julio, Director y Tesorero de la Sociedad Chilena de Geotécnica, Sochige, la relevancia y el desarrollo del tratamiento de suelos en la industria. Todo esto, en el marco del Segundo Seminario de Mejoramiento de Suelos y Cimentaciones Especiales, organizado en abril pasado por la Corporación de Desarrollo Tecnológico, CDT.

Como es ya sabido, los proyectos de construcción se fundan sobre suelo o roca. Por lo tanto, el estudio sobre las características del terreno resulta fundamental para erigir nuevas estructuras, sobre todo hoy, en un contexto en el que crece la población y las ciudades se expanden cada vez más, por lo menos en las grandes urbes como Santiago, por ejemplo. Y es que, “con el gran crecimiento urbano que experimentan las ciudades, cada vez es mayor el uso de terrenos de baja competencia geotécnica, que requieren ya sea un mejoramiento de suelos y/o el uso de cimentaciones especiales. También el desarrollo de nueva infraestructura vial de mayor complejidad, está requiriendo de soluciones innovadoras en materia de estabilización y mejoramiento de suelos”, indica Ramón Verdugo, ingeniero civil estructural e ingeniero senior de la consultora CMGI Ltda.

Dicho de otro modo, este escenario generaría la construcción de proyectos de mayor volumen sobre terrenos de reducida capaci-

dad portante. Razón por la cual se deben conocer las propiedades mecánicas, hidráulicas e ingenieriles de los materiales provenientes de la tierra para diseñar cimentaciones relacionadas con estructuras como edificios, puentes, estabilizar taludes, túneles y carreteras, entre otros.

“Los principales desafíos que presenta Chile, radican justamente, en las dimensiones del país y lo heterogéneo que llegan a ser sus condiciones de suelo, ya que para cada zona se debe tener presente su orogénesis. En este aspecto, no es lo mismo hablar de un mejoramiento de suelos en el norte, que uno en el sur, donde los problemas que debemos resolver son completamente distintos y obviamente la metodología de cálculo (diseño) y la ejecución de la solución (construcción), hacen de cada proyecto un desafío distinto. A mi juicio este es el mayor reto que tenemos hoy quienes desarrollamos esta materia”, indica Marcelo Garrido, Ingeniero de Proyectos de EMIN Sistemas Geotécnicos.

En esta línea, sostiene Juan Manuel Fernández, Gerente Técnico Regional de Pilotes Terratest, sería necesario conocer las técnicas que hoy presenta la industria y es que “las excavaciones urbanas actuales no son las mismas que hace diez años. Se han incorporado tecnologías en los pilotes y mejorado sus procesos”, afirma.

FACTOR ELEMENTAL

Un elemento importante a considerar, a juicio de los expertos, es la actividad sísmica a la que está expuesto el país. Y es que, gracias a ello, se presentaría una potencial problemática de la que hay que hacerse cargo. “Chile presenta una alta sismicidad, tan alta que ciu-



GENTILEZA PILOTES TERRATEST

dades como Concepción, han sido sometidas a dos megaterremotos en una ventana de tiempo de 50 años (terremoto de Valdivia en 1960 de magnitud 9,5 y terremoto de El Maule en 2010 de magnitud 8,8). Por tanto, el desafío al que nos enfrentamos, es que en la situación probable de un megaterremoto, el terreno responda de manera estable y con un nivel de deformación compatible con las estructuras emplazadas sobre estos”, indica Verdugo.

Por su parte, desde Pilotes Terratest, agregan que en gran parte de las situaciones es necesario diseñar y ejecutar “soluciones de mitigación previas para poder construir estructuras a costos razonables”. Para ello, se debe buscar el tratamiento adecuado de los suelos a edificar, mediante una mejora, lo que resultaría más económico y de menor plazo que cualquier otro tipo de solución, como lo sería el cambio de suelos o fundaciones profundas. Mediante la mejora del suelo, indican, “se modifican sus propiedades, incrementando la capacidad portante, su módulo de deformación (reduciendo futuros asentamientos) y se mitiga la licuación”, añaden.

Para ejecutar lo anterior, sostiene Ramón Verdugo, “es necesario que el país entienda que es fundamental que los proyectos desarrollen en la ingeniería básica una completa exploración geotécnica acompañada de mediciones de terreno y ensayos de laboratorio. Sobre una base sólida de conocimiento del terreno, es posible plantear la solución óptima desde un punto de vista técnico-económico”.

Si bien la experiencia ha permitido que, sal-

vo excepciones, los proyectos desarrollados por la industria respondan correctamente a los sismos, los especialistas coinciden en que éstos podrían generar ciertos efectos en algunos tipos particulares de suelo, por lo que resulta clave realizar estudios de monitoreo para que el movimiento no repercuta sobre las estructuras. Las consecuencias más comunes que pueden presentar los terrenos tras un sismo son:

■ **LICUACIÓN.** Fenómeno que puede ocurrir en suelos no-cohesivos sueltos y saturados. Frente a un sismo, estos suelos se comportan aumentando significativamente las presiones del agua existente en los intersticios, lo cual puede generar una significativa pérdida de resistencia (falla fluida) o una significativa degradación de rigidez (movilidad cíclica). Ambos fenómenos deben ser evitados por sus severos efectos en obras de tierra y estructuras. Los expertos indican que, para determinar la ocurrencia de la licuación, se deben hacer exploraciones, además de buscar efectos secundarios que den indicios de su ocurrencia.

■ **AMPLIFICACIÓN SÍSMICA.** Las ondas sísmicas viajan desde la roca hacia la superficie. Al atravesar los diferentes estratos de suelo, la amplitud y frecuencia del movimiento es modificado, amplificándose aquellas que coinciden con la frecuencia fundamental del depósito de suelos. Este fenómeno es conocido como amplificación sísmica y podría modificar substancialmente el movimiento de la superficie del suelo entre puntos relativamente cercanos con diferente tipología de estratos de suelo.

■ **DENSIFICACIÓN.** Las arenas sueltas o medianamente densas tienden a compactarse (densificarse) durante un sismo, produciendo asentamientos o giros en las edificaciones que se apoyan en ella.

En esta línea, respecto del nivel de soluciones aplicadas en Chile, para Marcelo Garrido se ha “puesto un énfasis prioritario en desarrollar soluciones que puedan darnos tranquilidad a la hora de afrontar fenómenos presentes en el suelo, para ello, la comunidad ingenieril ha tenido que desarrollar un conocimiento enorme para poder llevarlos a cabo, teniendo como experiencia nuestro propio laboratorio de terremotos, de donde se ha obtenido una gran data de información”. Adicionalmente, Ramón Verdugo advierte que, de todas formas, se debe tener en cuenta que muchas de las opciones de mejoramiento de suelos y de cimentaciones especiales han sido desarrolladas por países de menor actividad sísmica; por tanto, sería “relevante que Chile realice investigación aplicada de forma de garantizar la adecuada respuesta sísmica de estas”, agrega.

ESTUDIOS

Antes de aplicar la solución correspondiente al mejoramiento del suelo, existe un paso previo que tiene que ver con la exploración y el estudio del mismo para, por una parte, establecer si corresponde efectivamente ejecutar un proceso de mejoramiento y, por otra, determinar cuál es la técnica ideal para responder a la necesidad identificada. “Es importante realizar una campaña de exploración y caracterización adecuada, para optimizar el mejoramiento de suelo. El monitoreo entrega información del comportamiento del terreno, antes y/o después de la construcción”, advirtió Lenart González, ingeniero geotécnico senior del IDIEM de la Universidad de Chile, en el Segundo Seminario de Mejoramiento de Suelos y Cimentaciones Especiales de la CDT.

El monitoreo es empleado para chequear y controlar el diseño realizado para el proyecto. De este modo, se pueden obtener alertas de algún potencial problema, minimizar daños, conocer incertidumbres o mejorar el estado de la ingeniería. Dicho de otro modo, se hace un seguimiento a la obra para corregir elementos que puedan haber faltado. Se trata de la medición, control y evolución de una serie de variables en el tiempo. Entre ellas, por ejemplo, deformaciones, presiones intersticiales, estado tensional, etcétera. “La solución de mejoramiento y/o de fundaciones que se adoptan resulta fuertemente dependiente de

las condiciones particulares de cada proyecto. Por esto es fundamental contar con información suficiente de las condiciones geotécnicas del terreno y de la estructura a desarrollar sobre este”, acota Hidalgo.

Adicionalmente, como ya se ha mencionado, resulta clave el monitoreo sísmico, de manera de conocer la intensidad y la respuesta de la estructura ante estos fenómenos y verificar que se cumplan las medidas tomadas en su concepción. Este proceso se puede ejecutar durante las etapas de construcción, operación y cierre del proyecto. El objetivo es confirmar que los parámetros empleados son los que se utilizaron y de esta forma optimizar el diseño. Por tanto, “el monitoreo puede y debe ser usado como un beneficio técnico y económico para el proyecto”, comentó Lenart González. Claro, y es que según coinciden los especialistas, resulta fundamental evaluar y resguardar la seguridad global de las estructuras, durante toda su vida útil, con ello se obtiene información valiosa sobre su comportamiento que, de ser necesario, permitiría ajustar ciertos aspectos en su diseño. En efec-

to, señala el experto de la consultora CMGI Ltda., “primero se apoya en una efectiva caracterización geomecánica del terreno y a continuación en la modelación numérica de distintas alternativas técnicamente viables. De acuerdo a condicionantes como tiempo de implementación, constructividad y costo, se propone la solución óptima”.

Respecto de la clasificación de suelos, tras el terremoto de febrero de 2010, se desarrollaron una serie de modificaciones en la normativa de diseño sísmico de edificios (Nch433) mediante el decreto supremo 117 y posteriormente el decreto supremo 61.

En resumen, lo que hizo el D.S. 117 fue generar una de las grandes modificaciones en la clasificación de suelos. En la práctica, esto significó, tal como se consignó en la Edición N°84 de Revista BiT, “que algunas estructuras clasificadas en suelo tipo II, con bajas demandas, fueran clasificadas en suelo tipo III. Es decir, el mismo edificio, en el mismo lugar, aumentaría su demanda en relación a la norma del 2009 (...) El decreto 117 recogió la preocupación por el tema de los suelos, pero sim-

plemente subió el nivel de exigencia en cuanto a velocidades de onda de corte para aquellos suelos que clasificaban como II, con la clara intención de que solo clasificaran como suelo II las gravas fluviales densas de Santiago. El resto de los suelos, que podían ser clasificados como buenos, eran catalogados como suelo II, como las arenas sobre mantos rocosos o arenas densas y zonas donde el comportamiento fue extraordinario. Es decir, se clasificaron igual a todas las arenas”.

En 2011, el D.S. 61 reemplazó al 117 y estableció una tabla de clasificación que generó un suelo nuevo llamado C, intermedio entre el II y el III. Así, surgió una denominación más exigente para todos los tipos de suelo, en una escala que va desde el mejor comportamiento (roca: suelo tipo A) al de mayor exigencia sísmica (suelos muy blandos y de mala calidad: suelo tipo E).

Por último, en cuanto a normativas relacionadas directamente con la aplicación de técnicas de mejoramiento de suelos, uno de los grandes desafíos, a juicio de Juan Manuel Fernández, es “lograr una normativa nacional



KELLER
keller.com

Columnas de Grava en Parques Eólicos (CHILE)

CONCLUSIONES

La expansión de las ciudades decantaría en un mayor el uso de terrenos de baja competencia geotécnica. Esto, obligaría la ejecución de más soluciones relacionadas con el mejoramiento de suelos o el uso de cimentaciones especiales.

Uno de los grandes desafíos para la industria es que frente a una situación probable de un terremoto de gran escala, el terreno responda de manera estable y con un nivel de deformación compatible con las estructuras emplazadas sobre él.

Resulta clave que los proyectos desarrollen en la ingeniería básica, una completa exploración geotécnica acompañada de mediciones de terreno y ensayos de laboratorio. Y es que sobre una base sólida de conocimiento del terreno, es posible plantear la solución óptima

La solución de mejoramiento y/o de fundaciones dependen de las condiciones particulares de cada proyecto. Contar con información de las condiciones geotécnicas del terreno y de la estructura a desarrollar sobre éste, es fundamental.

El desarrollo e implementación de nuevas soluciones de mejoramiento de suelos debe tender a la innovación, a la creación de nuevas técnicas que logren optimizar los recursos con que cuenta el proyecto.

que fije un marco de referencia de trabajo respecto de lo que es aceptado en forma consensuada por los profesionales del ramo. Esto se hace actualmente tomando normativa de referencia extranjera, pero finalmente la misma, no es de obligado cumplimiento, lo cual deja la puerta abierta a que existan ciertas deficiencias en el diseño o control del producto y, por lo tanto, de su aptitud o calidad final".

En la línea del riesgo sísmico, agrega el gerente técnico regional de Pilotes Terrates, respecto del tema de la licuación, "es necesario alertar a la comunidad profesional sobre la validez de algunos métodos de diseño que están siendo fuertemente cuestionados en publicaciones internacionales para mitigar el potencial de licuación. Tratándose de un tema muy sensible y de casi imposible verificación mediante pruebas o ensayos de campo, es imprescindible normalizar los métodos que se deben emplear", puntualiza.

SOLUCIONES

Tal como ya se ha señalado, Chile cuenta con suelos que requieren ser tratados de manera distinta, según los proyectos que se desarrollan sobre ellos, por lo que las necesidades de mejora, dependen, obviamente, de cada obra.

De las distintas técnicas de tratamiento, indican en Pilotes Terrates, destacan el jet grouting, mechas drenantes, compactación diná-

mica y el mejoramiento por vibración. De esta última, las más empleadas son las técnicas de vibrocompactación y vibrosustitución (columnas de grava). "La ventaja de estas técnicas, es que luego de aplicarlas, permiten fundar en forma simple sobre el terreno mejorado. En general, como resultado del tratamiento, es posible fundar las estructuras a construir en forma directa (superficialmente), similares a los casos de los suelos naturales con suficiente capacidad de carga. Mediante un mejoramiento adecuado es posible reducir o eliminar los efectos a considerar debido a la licuación en caso sísmico", continúan en Pilotes Terrates.

"Uno de los grandes problemas del mundo inmobiliario es la licuación, que, por ejemplo, puede ser afrontado con pilas de grava compactada tipo Geopier®, puesto que, además de dar un soporte a la superestructura, logran mitigar de manera eficiente este fenómeno por su capacidad de drenaje intrínseco en su composición", agrega Marcelo Garrido de EMIN Sistemas Geotécnicos.

En términos generales, las pilas de grava compactada tipo Geopier®, corresponden a un sistema de columnas de agregado compactado, aplicable en suelos con una cierta cohesión (CH, CL, MH y ML) en los cuales la perforación se mantiene estable el tiempo suficiente para verter el agregado. De esta forma facilita

un control de calidad por medio de la inspección visual del material excavado. Este permite la posibilidad de ejecución de columnas de grava compactada de hasta 8 metros y trabajar con nivel freático en superficie. Además de los elementos rígidos y de alta resistencia, contaría con un correcto control de asentamientos y un aumento en la capacidad de carga admisible hasta 49 ton/m² en algunos casos.

Por su parte, la vibrocompactación y vibrosustitución corresponden a soluciones de mejoramiento de suelo gracias a vibración profunda que garantizarían un mayor alcance en el terreno circundante al punto de tratamiento.

De acuerdo a lo que se consigna en la web de Pilotes Terrates, la vibrocompactación sería aplicable en suelos granulares (generalmente con un contenido en finos inferior al 10%). La mejora del terreno se conseguiría por la reducción de huecos entre partículas gracias a la vibración producida por el vibrador. Durante el tratamiento, que se ejecuta en forma de grilla (en planta), se obtiene una compactación del terreno que genera una disminución del espesor de la capa tratada, que depende de la densidad inicial, distancia entre puntos de tratamiento y profundidad del estrato compactado.

Por su parte, las columnas de grava se ejecutan normalmente con vibradores profundos, que consisten en una pieza cilíndrica equipada con un motor eléctrico o hidráulico y una masa excéntrica. Este posee un amortiguador de la vibración en su extremo superior, que se conecta a los tubos de extensión, los cuales se agregan hasta alcanzar la profundidad de tratamiento necesaria. El vibrador profundo genera una potente vibración en un plano horizontal que produce la compactación de la grava y, en caso de terrenos granulares, también la compactación del suelo circundante. En la actualidad existen dos metodologías diferentes para ejecutar columnas de grava con vibradores profundos:

■ **Vía húmeda o "Top Feed" (Alimentación en cabeza):** El proceso de ejecución consiste en hincar el vibrador con barrido simultáneo de agua, mientras la grava se vierte desde la superficie durante el proceso de compactación (extracción del vibrador). Este método también se denomina "vibrosustitución", ya que la fracción más fina del suelo es extraída por el barrido con agua. En este caso, se utiliza grava con granulometría entre 20 y 80 mm aproximadamente.

■ **Vía seca o "Bottom Feed" (Alimentación en el fondo):** Consiste en la hincada del vibrador y un tubo de conducción de la grava, desplazando el terreno, sin extracción de ma-

terial. En este caso se utiliza aire comprimido como medio de barrido y ayuda para la conducción de la grava desde una tolva superior hasta la descarga por el extremo inferior del equipo, en la punta del vibrador. En este método, el rango granulométrico de la grava es habitualmente entre 10 y 35 milímetros.

Por otro lado, Juan Manuel Fernández, sobre la demanda de soluciones indica que “las tecnologías más solicitadas por el mercado son las fundaciones profundas y las estructuras de contención para excavaciones urbanas. En ese sentido, la industria ha ido adoptando y mejorando las soluciones a lo largo del tiempo en un proceso de evolución de la mano de la tecnología y un mejor conocimiento de estas soluciones”.

El ejecutivo destaca dos proyectos que han desarrollado empleando estas tecnologías. El primero de ellos corresponde a las obras de ampliación del Aeropuerto Internacional de Santiago, donde se han incorporado soluciones para ejecutar pilotes de hélice continua de gran diámetro. En este caso corresponden a pilotes de 1 m de diámetro, a 22 metros de profundidad. “Esta innovación tecnológica

(maquinaria, mezcla hormigón) repercute en una mayor producción de pilotes por día por equipo, haciendo más eficiente económicamente esta solución”, comenta Fernández.

Otro proyecto que destaca el experto, es la estructura de contención permanente en Iquique para un instituto profesional. En esta obra se estudiaron tres soluciones distintas de contención y, finalmente, se optó por un muro de soil nailing con inyección de consolidación previa en la zona superior de arena suelta. “La solución adoptada tenía en cuenta tanto la factibilidad constructiva como la economía de la misma. Aquí resaltamos este factor (factibilidad constructiva) que muchas veces condiciona la solución elegida y que existe más de una solución para cada problema”, puntualiza el gerente técnico regional de Pilotes Terratest.

Finalmente, los expertos coinciden en que el desarrollo e implementación de nuevas soluciones de mejoramiento de suelos debe tender a la innovación, a la creación de nuevas técnicas, que “logren optimizar los recursos con los que contamos. Veo un futuro más prometedor respecto de cambios en el paradigma de soluciones. Fue un poco lo que ocu-

rió las columnas de grava compactada tipo Geopier®, ya que es una metodología relativamente nueva (30 años), distinta a la que se conocía antiguamente y que resulta una excelente alternativa de mejoramiento de suelo. Considero que hoy los profesionales que estamos dentro de este mundo contamos con una apertura mental que nos permite adaptarnos al cambio y entender que hay más soluciones de las que se usaban hace 40 años”, concluye Marcelo Garrido.

Por último el gran desafío en este tema, a juicio de Ramón Verdugo, pasaría por la formación. Y es que si bien en Chile se encuentran disponibles soluciones tecnológicamente avanzadas de mejoramiento de suelos y cimentaciones especiales que permitirían solucionar situaciones complejas de suelos inestables frente a los megaterremotos que ocurren en nuestro territorio; “es de gran importancia que las universidades desarrollen cursos de reciclaje, postítulo o postgrado, donde sea posible que profesionales del área ingeniería y construcción estudien en detalle estas nuevas metodologías de manera de optimizar su utilización”, finaliza. ■



Build on us

La oferta geotécnica más completa en beneficio de sus proyectos.



SOLETANCHE BACHY

www.soletanche-bachy.cl

Rheem, líder mundial en agua caliente ahora en Chile



El nuevo grado de confort

CALEFONES

Línea PRESTIGE Tiro Natural



Marca americana con Tecnología Japonesa



Único con 3 años de garantía



Calefones con temperatura constante

www.rheemchile.cl
contacto@rheemchile.cl
(562) 2870 5002



Más luz
Más vida

Túnel solar residencial

- Ingeniería, calidad y diseño danés
- Solución para ser instalada en cubiertas inclinadas o planas
- Disponible en versión rígida o flexible
- 35 cm de diámetro
- 5 años de garantía

Producto: túnel solar modelo TWR OK14. Imagen referencial. No incluye cielo falso.

velux.cl



VELUX®