

FACTS ABOUT

Mejora del suelo

ACTUALIZACIÓN DE INFORMACIÓN DE LA IADC - NÚMERO 5 - 2008

¿QUÉ ES LA MEJORA DEL SUELO?

En la industria de dragado, la mejora del suelo se implementa normalmente:

- Para evitar el asentamiento excesivo de tierras recuperadas cuando se utilizan con fines de construcción (carreteras, aeropuertos, puentes y otras cimentaciones);
- Para mejorar la rigidez del suelo con el fin de evitar la licuefacción y los daños subsiguientes a las estructuras en regiones sensibles a la actividad sísmica;
- Para mejorar la resistencia a la cizalladura del suelo con el fin de evitar fallas de desplazamiento;
- Para mejorar la capacidad de soporte del suelo; y/o
- Para inmovilizar o estabilizar los contaminantes en suelos dragados con el fin de eliminar impactos ambientales.

Las técnicas de mejora del suelo varían en función de las características del mismo. Unas técnicas se aplican para consolidar subsuelo suelto natural y otras se aplican específicamente para la compactación de suelo recientemente recuperado.

¿CUÁL ES LA DIFERENCIA ENTRE COMPACTACIÓN Y CONSOLIDACIÓN?

Debe diferenciarse entre técnicas de compactación para terreno nuevo y técnicas de consolidación para suelo suelto. La compactación se usa para suelos granulares gruesos (arena) y se puede realizar con rodillos lisos, HEIC, compactadores de impacto dinámico o de impacto rápido, o mediante vibroflotación. Cuando el suelo es demasiado fino o demasiado limoso, se utilizan métodos de sustitución. Entre ellos se encuentran las columnas de arena y de materia molida y la mezcla con cemento u otros materiales apropiados que hacen que el suelo esté listo para utilizarse casi de inmediato. Otras técnicas se usan exclusivamente para acelerar la consolidación de suelos sueltos. Entre ellas se incluyen los drenajes verticales, los drenajes de arena y un sistema que recibe denominaciones diversas tales como BeauDrain, IFCO o PTD, así como la consolidación por vacío. Todos ellos son métodos en los que la mejora del suelo tarda más tiempo en conseguirse.

¿POR QUÉ SE USA LA CONSOLIDACIÓN PARA LA MEJORA DEL SUELO DURANTE LA RECUPERACIÓN DE TIERRAS?

La recuperación de tierras en las costas es una de las actividades más significativas de la industria de dragado. En la mayoría de los países, los terrenos costeros ya están densamente poblados por motivos residenciales y de actividades de recreo. Por consiguiente, con el aumento de la población mundial, el suelo libre a lo largo de las costas se ha vuelto escaso, provocando la escalada de los precios.

La creación de terreno nuevo suele ser una solución menos cara. Normalmente, las tierras elegidas como posibles sitios de recuperación son áreas costeras poco profundas o tierras bajas pantanosas. El suelo de estas áreas suele estar formado por capas gruesas de arcillas blandas o de lodos. Los trabajos de recuperación aumentan la carga en estas capas blandas, produciendo un asentamiento amplio. La espera para el asentamiento natural de estas tierras es una opción que conlleva mucho tiempo y que, por lo tanto, es cara. Para acelerar el proceso de asentamiento, la industria de dragado ha invertido en una amplia investigación tecnológica sobre la consolidación de estos suelos blandos. Además, el estado del suelo recientemente recuperado suele ser suelto y es necesaria su compactación.

¿CÓMO SE USA LA MEJORA DEL SUELO PARA REDUCIR IMPACTOS AMBIENTALES?

La mejora del suelo también se aplica para mejorar las características mecánicas del suelo blando contaminado mediante la inmovilización de metales pesados y otros contaminantes del mismo. Se han desarrollado muchas técnicas para consolidar los sedimentos contaminados, como su deshidratación para reducir la cantidad de material, o la combinación de los sedimentos con aditivos, como la mezcla con cemento, lo que permite su reciclaje para usarlos como material de construcción y/o recuperación.

¿CÓMO AYUDA LA MEJORA DEL SUELO EN REGIONES EXPUESTAS A MOVIMIENTOS SÍSMICOS?

En determinadas regiones del mundo como Japón y California, la frecuencia de la actividad sísmica puede ser una amenaza para las construcciones marítimas. Esto puede ser un grave problema a la hora de instalar equipos mar adentro y construir otras estructuras marinas como túneles, muelles, puertos, aeropuertos en el mar, etc. También en este caso, las tecnologías avanzadas han realizado firmes avances en el desarrollo de contramedidas para hacer frente a la amenaza de la inestabilidad sísmica mediante la limitación de posibilidades para la licuefacción del suelo.

¿QUÉ ES LA LICUEFACCIÓN DEL SUELO?

La licuefacción se produce en suelos saturados, es decir, suelos en los que el espacio entre sus partículas individuales está totalmente lleno de agua. El agua ejerce una presión sobre las partículas del suelo que influye en el grado en que dichas partículas se comprimen entre sí. En general, la presión de agua en el suelo es relativamente baja. Sin embargo, cuando tiene lugar un movimiento sísmico, el temblor puede producir un aumento tal de la presión de agua que hace que las partículas del suelo empiecen a desplazarse y creen una situación de inestabilidad. El aumento de la presión de agua también lo pueden provocar actividades relacionadas con la construcción, como por ejemplo las voladuras. La licuefacción disminuye la resistencia del suelo y reduce su capacidad para soportar los cimientos de edificios, puentes y otras estructuras. Este fenómeno puede producirse tanto en suelos sueltos existentes como en tierras recuperadas.

¿ES SIEMPRE NECESARIA LA MEJORA DEL SUELO?

En el caso de tierras recuperadas, la consolidación dejada a su curso natural puede durar diez años o más. Dada la necesidad urgente de ocupación, no es posible esperar tanto tiempo para poder construir. De hecho, si el terreno nuevo no se puede utilizar para la edificación en un período de tiempo razonable y la construcción de las instalaciones se retrasa hasta que el asentamiento del terreno sea apropiado para soportar edificios, un aeropuerto o viviendas, el proyecto puede verse en peligro. Un plazo prolongado puede tener implicaciones sociales y financieras de vital importancia y, por estas razones, la disponibilidad de terreno nuevo normalmente es necesaria lo antes posible.

Las técnicas de mejora del suelo que se utilizan en la actualidad han acortado sensiblemente el tiempo necesario para preparar el terreno nuevo y, por lo tanto, han

garantizado la viabilidad económica de muchos proyectos. La fase de consolidación se ha convertido en parte esencial de la mejora del suelo y se han desarrollado nuevas técnicas para estabilizar el terreno nuevo. Entre ellas se encuentran los drenajes verticales prefabricados (PVD) y los métodos de mezcla de suelo in situ o mezcla profunda de cemento. La compactación por impacto de alta energía (HEIC) se usa para compactar los dos o tres metros superiores de terreno nuevo.

¿QUÉ SON LOS DRENAJES VERTICALES O DRENAJES WICK?

La estabilización del suelo mediante drenajes verticales prefabricados (PVD) o drenajes wick se aplica en áreas con suelos sueltos, compresibles y saturados de agua, como suelos arcillosos y arcillo-limosos. Estos suelos se caracterizan por un esqueleto de material muy débil y un gran espacio poroso, normalmente lleno de agua (agua de poros). Cuando una carga, como el terraplén de una carretera, un relleno hidráulico o un dique, se sitúa en suelos compresibles blandos, pueden producirse asentamientos significativos. Estos asentamientos pueden crear problemas graves. Un aumento de la carga puede dar lugar a un aumento de la presión del agua de poros. En suelos impermeables, esta agua se disipa muy lentamente y circula saliendo gradualmente de la zona sometida a dicha carga. El aumento de la presión de poros también puede provocar la inestabilidad del suelo y dar lugar a deslizamientos.

Un sistema de drenaje vertical, en que los drenajes se colocan generalmente en una red cuadrada o triangular separados de 1 a 3 metros, permite una eliminación más rápida del exceso de agua de poros, con lo que se reduce el riesgo de falla planar de desplazamiento. La consolidación de suelos cohesivos blandos mediante drenajes verticales puede reducir el tiempo de asentamiento de años a meses, lo que garantiza una capacidad de soporte adecuada y la posibilidad de comenzar rápidamente la construcción.

¿QUÉ ES LA CONSOLIDACIÓN POR VACÍO?

La consolidación por vacío es un proceso mediante el cual la presión de vacío se aplica a un área que ya tiene instalados drenajes PVD para aumentar potencialmente la eficacia del drenaje. En general, esta técnica requiere la aplicación de una sobrecarga adicional para extraer el agua de los suelos de arcillas blandas. Dicha sobrecarga debe ser igual o superior a la carga de servicio a la que estará sometido el suelo desarrollado. En la consolidación por vacío, la presión de vacío aplicada contribuye a la sobrecarga adicional y, por lo tanto, se reducen las alturas reales de sobrecarga. Otra ventaja importante del vacío es la



El sistema de drenaje wick es un método que se utiliza para acelerar la eliminación de agua del suelo. En este caso se usan placas de anclaje para marcar la ubicación de cada drenaje wick antes de la instalación.

naturaleza isotrópica de la presión por vacío y la mejora correlacionada de la estabilidad en condiciones de precarga, reduciéndose considerablemente el riesgo de falla de taludes derivada de la sobrecarga.

¿QUÉ SON LOS SISTEMAS BEAUDRAIN, IFCO Y PTD?

Recientemente se han desarrollado varios sistemas nuevos para la consolidación forzada consistentes en extraer el agua del suelo mediante una bomba. Las variaciones (distintas aplicaciones) de esta técnica reciben el nombre de IFCO, PTD y BeauDrain. El concepto BeauDrain-IFCO-PTD combina métodos probados existentes, como el drenaje vertical (drenajes wick), la carga atmosférica (consolidación por vacío) y la posibilidad de aplicar una sobrecarga adicional para acelerar el proceso de consolidación de los suelos compresibles blandos. Los sistemas IFCO y PTD consisten en ranuras practicadas en la arena a una corta distancia entre sí y a una profundidad de unos 7 metros, con un drenaje en el fondo. El exceso de agua de suelo sale de la tierra adyacente a través de este drenaje a un ritmo más rápido. El sistema BeauDrain funciona con filas de drenajes wick verticales situadas a muy poca distancia entre sí que están conectadas a un drenaje colector horizontal. Este drenaje está instalado a una profundidad de aproximadamente 1 a 2 metros por debajo de la parte superior de los estratos compresibles y está conectado a una bomba de vacío que, mediante presión, elimina el exceso de agua.

¿HAY OTROS MÉTODOS PARA MEJORAR, REFORZAR O ESTABILIZAR SUELOS?

Para reducir el asentamiento y mejorar la resistencia a la cizalladura y la rigidez, con lo que se produce una mejora del suelo, otros métodos incluyen columnas de piedra, pilotaje del suelo, diversas técnicas de mezcla local de suelos o mezcla de suelos en una rejilla. Cuando se usa una red de columnas, pilotes o combinaciones de columnas in situ, puede que sea necesario tender un colchón de relleno en el sitio para transferir las cargas superficiales a unos soportes instalados del suelo. Estas técnicas requieren un sobrecarga poco significativa o incluso ninguna y, en general, proporcionan un considerable ahorro de tiempo. Normalmente, estos tratamientos son más caros.

¿QUÉ ES LA COMPACTACIÓN POR IMPACTO DE ALTA ENERGÍA (HEIC)?

La compactación por impacto de alta energía, que se usa para compactar los dos o tres metros superiores de terreno recientemente recuperado, consta de un módulo compactador asimétrico no circular remolcado a lo largo del terreno por un tractor. En cada rotación, el módulo se eleva sobre su punto de contacto con el terreno y desciende para crear una energía de impacto que proporciona la compactación. El mecanismo de compactación por impacto permite que la energía de compactación llegue a niveles más profundos que los que se alcanzan con bulldozers estáticos normales o con métodos de compactación por vibración.

¿QUÉ ES EL SISTEMA DE MEZCLA DE SUELO IN SITU O MEZCLA DE CEMENTO?

En muchos lugares del mundo el subsuelo blando supone un grave problema para las construcciones marítimas. En estos casos, suele implementarse la mezcla de suelo in situ. Este método también se conoce como método de mezcla profunda de cemento, pilotes/columnas de suelo cemento, mezcla auger, mezcla de suelo cemento, mezcla giratoria o simplemente mezcla de suelo. La base de estos sistemas de mezcla es que el endurecedor de cemento se mezcla primero con agua formando una lechada que, a continuación, se inyecta en el suelo mediante bombas de gran potencia. A la vez que se realiza este proceso de inyección, el suelo se remueve intensamente con palas mezcladoras giratorias. El cemento reacciona con el agua de poros del suelo dando lugar a un proceso de endurecimiento in situ. De este modo, se logra la mejora del suelo en lugares específicos alcanzándose los estándares necesarios en el menor tiempo posible y en las mejores condiciones económicas.

Estos métodos de mezcla de cemento se utilizan para las aplicaciones siguientes: cimentación de rompeolas, revestimientos y muelles, refuerzos antisísmicos de estructuras marinas existentes, cimentación de pilares de puentes, tanques, vías férreas, carreteras, diques y construcciones fluviales, pantallas de impermeabilización y muros de sujeción, y contramedidas para la licuefacción.

¿QUÉ ES LA VIBROFLOTACIÓN?

Determinados tipos de vibración pueden producir un cambio en las características de suelos sueltos y sin cohesión convirtiéndolos en suelos excesivamente densos. Esta compactación es permanente y aumenta la densidad de soporte del suelo, reduciendo las posibilidades de asentamiento o de licuefacción en casos de fenómenos sísmicos. La vibroflotación es especialmente eficaz en suelos con un contenido de lodo de hasta un 20 %.

¿QUÉ ES EL SISTEMA DE DRENAJE DE ARENA?

El sistema de drenaje de arena permite la mezcla de componentes para la mejora del suelo, como cemento y agentes antiseparación, con la arena que queda en un revestimiento. Cuando se seca, se forman pilotes o pilares de arena que proporcionan una mayor capacidad de soporte en los suelos submarinos para satisfacer las necesidades del proyecto.

Existe un buque de drenaje de arena con un diseño especial y equipado con revestimientos que utiliza este sistema. Este buque puede mezclar los componentes para mejora del suelo con la arena que lleva a bordo para formar pilotes de arena en los emplazamientos deseados. Estos revestimientos se hincan en el lecho marino a la profundidad requerida. La mejora del suelo tiene lugar después en el interior de los revestimientos en forma de pilotes de arena in situ de gran calidad.

¿CÓMO SE UTILIZAN LOS GEOTEXILES PARA LA MEJORA DEL SUELO?

Los geotextiles tienen muchas aplicaciones entre las que se incluyen la filtración y el drenaje. También se pueden usar tipos concretos de geotextiles para la estabilización de terraplenes y la mejora de la capacidad de soporte de cimientos de suelo blando en proyectos marinos. Debe prestarse atención a la composición del geotextil en situaciones específicas. El uso de un geotextil apropiado puede aumentar la seguridad frente a fallas subterráneas y reducir el asentamiento de la cimentación del subsuelo.

¿QUÉ OTRAS VENTAJAS TIENE LA MEJORA DEL SUELO?

Algunos métodos de mejora del suelo también pueden proporcionar una solución rentable para reducir su contaminación.

La deshidratación del suelo contaminado tiene un doble efecto. Una parte del suelo mejorado se puede volver a utilizar para proyectos de construcción, eliminando la necesidad de extraer arena de cantera. La cantidad de sedimento restante inutilizable se reduce, disminuyendo también la cantidad de espacio necesario para el almacenamiento, que siempre supone un problema en términos económico y de medio ambiente. Además, cuando se usan aditivos como el cemento durante la mejora del suelo, aumenta la capacidad de soporte de los suelos para trabajos de construcción y también se inmovilizan los sedimentos marinos contaminados.

¿MERECE LA PENA EL ESFUERZO DE MEJORAR EL SUELO?

En proyectos de creación de terreno, los costes de las operaciones de dragado y relleno, incluidas la mejora del suelo y la construcción de defensas costeras, siguen siendo menores que los precios por metro cuadrado de tierra existente en el frente de costa. Estudios recientes han comparado las propiedades del frente costero en Róterdam, Singapur, Dubái y Tokio con terreno recientemente recuperado. En todos los casos, los costes de obtención de terreno y mejora del suelo comparados con el uso de suelo urbano en litorales de precio elevado hace atractivo y viable en términos financieros el terreno nuevo. Además, las ventajas ambientales de la mejora del suelo se pueden apreciar en la atenuación de inestabilidades durante fenómenos sísmicos con la consiguiente limitación del posible colapso catastrófico del subsuelo y las obras de infraestructuras construidas en él. Desde el punto de vista medioambiental, el uso de suelo dragado estabilizado mejorado reduce la necesidad de extracción de arena.

¿EXISTEN PREFERENCIAS ENTRE LOS SISTEMAS DE MEJORA DEL SUELO?

Si se revisan los numerosos ensayos y pruebas, debe llegarse a la conclusión de que existen muchas opciones que pueden acelerar satisfactoriamente la consolidación de suelos y sedimentos dragados para desarrollar terreno recientemente recuperado o métodos de compactación para estabilizar subsuelos en áreas de vulnerabilidad sísmica. Cada técnica tiene sus propias ventajas e inconvenientes en cuanto a tiempo, coste y rendimiento. El mejor método consiste siempre en considerar las necesidades específicas de un proyecto y ponerse en contacto con contratistas



International Association of Dredging Companies, PO Box 80521, 2508 GM The Hague, The Netherlands
tel. +31 (0)70 352 3334, fax +31 (0)70 351 2654, e-mail: info@iadc-dredging.com, www.iadc-dredging.com

especializados para evaluar las necesidades del proyecto. Aunque esta fase de evaluación puede conllevar costes adicionales, la preparación correcta, ya sea a través de la realización de ensayos o pruebas en campo y de laboratorio y mediante un control intenso del rendimiento, permitirá su recuperación definitiva gracias a la mayor eficiencia del terreno en términos de seguridad. Un sistema de mejora del suelo bien gestionado y apropiado al sitio mejorará las posibilidades de una entrega segura y en el plazo establecido del proyecto.

LECTURA E INFORMACIÓN COMPLEMENTARIAS

Jay Ameratunga, Cynthia De Bok, Peter Boyle, Bill Tranberg (2007). "Planning for the Future - Ground Improvement Trials at the Port of Brisbane", *Terra et Aqua*, Number 108, September.

J. Ameratunga, P. Shaw and P. Boyle. (2003). *Challenging Geotechnical Conditions at the Seawall Project in Brisbane*, Coasts and Ports Conference (PIANC) 2003, Auckland, NZ.

M. Andrews, P. Boyle, J. Ameratunga and K. Jordan (2005). *Sophisticated and Interactive Design Process Delivers Success for Brisbane's Seawall Project*, Coasts and Ports Conference, Adelaide, Australia.

Sina Avsar, Mark Bakker, Gert Bartholomeeusen and Jan VanMechelen (2006). "Six Sigma Quality Improvement of Compaction at the New Doha International Airport Project", *Terra et Aqua*, Number 103 June.

Frederic Gladstone Bell (1993). *Engineering Treatment of Soils*. Taylor & Francis Publishers, UK.

C.J. Dykstra and A.H. Nooy van der Kolf (2003). "Recent Innovations in the Design and Construction of Railway Embankments", *Terra et Aqua*, Number 93, December.

H.A. de Leeuw, E.P.T. Smits, F.A.J.M. Mathijssen and A.L.Ph. Estourgie (2002). "Reclamation on Soft Subsoil by Spraying Thin Layers of Sand: The "IJburg" Project near Amsterdam". *Terra et Aqua*, Number 89, December, pp. 9-30

J. Van Mieghem, F. Aerts, G.J.L. Thues, H. De Vlioger and S. Vandycke (1999). "Building on Soft Soils", *Terra et Aqua*, nr 75, June.

Raj Purushothama (2005). *Ground Improvement Techniques*. Firewall Media Publishing.

J. Spelt (2007). "TechNote: Vertical drainage installed from pontoons in Bremerhaven storage depot", *Terra et Aqua*, nr. 106, March, pp. 26-28.

En www.iadc-dredging.com encontrará otros enlaces a literatura relevante sobre dragado. Haga clic en IADC Activities.

Este folleto lo presenta la Asociación Internacional de Empresas de Dragado IADC (International Association of Dredging Companies), cuyos miembros ofrecen la máxima calidad y profesionalidad en operaciones de dragado y obras marítimas. La información presentada en este folleto forma parte del esfuerzo continuo por ayudar a clientes y otras instancias a comprender los principios fundamentales de las operaciones de dragado y las obras marítimas.