

# Retos geotécnicos para la construcción de un puerto

Ing. Fernando Estrada  
Departamento de Geotecnia, Gómez Cajiao.

Fotos: Cortesía de Gómez Cajiao



↑ Foto 1. Instalación de mechas drenantes (Wick Drains). Puerto Impala.

**La construcción de puertos** plantea una serie de retos geotécnicos particularmente complejos por la naturaleza de los terrenos en que se construyen, los tipos de rellenos que se emplean para adecuar las áreas, las estructuras de contención que se requieren para confinarlos y la magnitud de las cargas de operación y de los equipos que se utilizan para su manejo.

Los suelos de apoyo suelen variar de blandos a muy blandos; lodos, en muchos casos. La adecuación del lote a las cotas de proyecto apropiadas para la operación y seguras contra inundación, exige la ejecución de rellenos de gran volumen que deben ejecutarse bajo agua en la mayoría de los casos, dificultando o incluso imposibilitando la compactación durante su instalación; la falta de compactación acarrea problemas de asentamientos y, en el caso de suelos arenosos bajo agua en zonas sísmicas, riesgos de licuefacción. Las estructuras de contención deben permitir la construcción de los rellenos, adecuarse a los efectos asociados a su comportamiento y ofrecer, al final, unas condiciones apropiadas para el tipo de operación planeada para el puerto.



↑ Foto 2. Relleno hidráulico.  
Puerto Impala.

Aparte de los análisis generales de estabilidad de la orilla, de los rellenos y de las estructuras de contención, la ingeniería que requiere el plan de adecuación del terreno para el proyecto debe partir de los requisitos de capacidad global que se derivan del plan de operación del puerto, entendiendo por capacidad global la combinación de la capacidad estructural de los elementos de apoyo (cimientos, pavimentos, pisos) y de los asentamientos esperados. Entre los criterios que deben definirse en conjunto con el operador o dueño del puerto están los siguientes:

- Zonificación del puerto por usos de las áreas, cargas de operación y equipos para su manejo.
- Calidad de la operación deseada en las diferentes áreas de manejo de cargas.

Según el ROM 4.1 (*Recomendaciones para el proyecto y construcción de pavimentos portuarios*) de España, solo se recomienda construir pavimentos definitivos cuando los asentamientos esperados en los siguientes diez años sean inferiores a 10 cm. Si no se cumple esta condición, se recomienda construir pavimentos provisionales.

Para complicar aún más el panorama, se presentan con frecuencia situaciones como las siguientes:

- Falta de definición detallada de usos de áreas y, por lo tanto, de las cargas y equipos de operación.

- Necesidad de adecuar áreas de manera rápida y provisional para permitir una operación temprana del puerto.

Además de los patios de operación, un puerto incluye estructuras y edificaciones de varios tipos que deben ser cimentadas en o a través de los rellenos de adecuación. Dentro de ellas se destacan, por exigir apoyos que no se asienten o se asienten muy poco, los tanques de almacenamiento, especialmente de combustibles con todas las tuberías de conducción asociadas, y las bodegas de almacenamiento, en particular las de logística.

### Soluciones constructivas

Para lograr un adecuado comportamiento tanto de los patios como de las estructuras y edificaciones, existen diversas soluciones constructivas que buscan mejorar el desempeño del terreno, tanto de los suelos de apoyo como de los rellenos, o trasladar las cargas a estratos subyacentes competentes. Dentro de las soluciones, se destacan las siguientes:

- Precargas: producen asentamientos con anticipación (Foto 3), cuyo efecto puede acelerarse, en el caso de suelos finos, mediante la instalación de drenes verticales (Foto 1).
- Compactación y sustitución dinámicas: se realiza mediante caída de masas a gran altura, aplicable a suelos granulares.



- Vibroflotación: técnica que introduce un elemento vibrador dentro de un suelo granular para compactarlo.
- Inclusiones rígidas: técnica de reforzamiento de rellenos y de suelos de apoyo, compuesta por columnas de concreto vaciado in situ, sin refuerzo, que se construyen mediante diferentes técnicas, bien sea excavando el suelo o desplazándolo; pueden usarse para darle mayor capacidad de carga a un área en general o para apoyar estructuras individuales. En varios puertos del país se han usado recientemente con éxito para construir patios y bodegas sobre suelos blandos, incluso en sitios donde fue imposible remover los lodos de fondo.

↑ Foto 3. Sobrecarga. Puerto Impala.

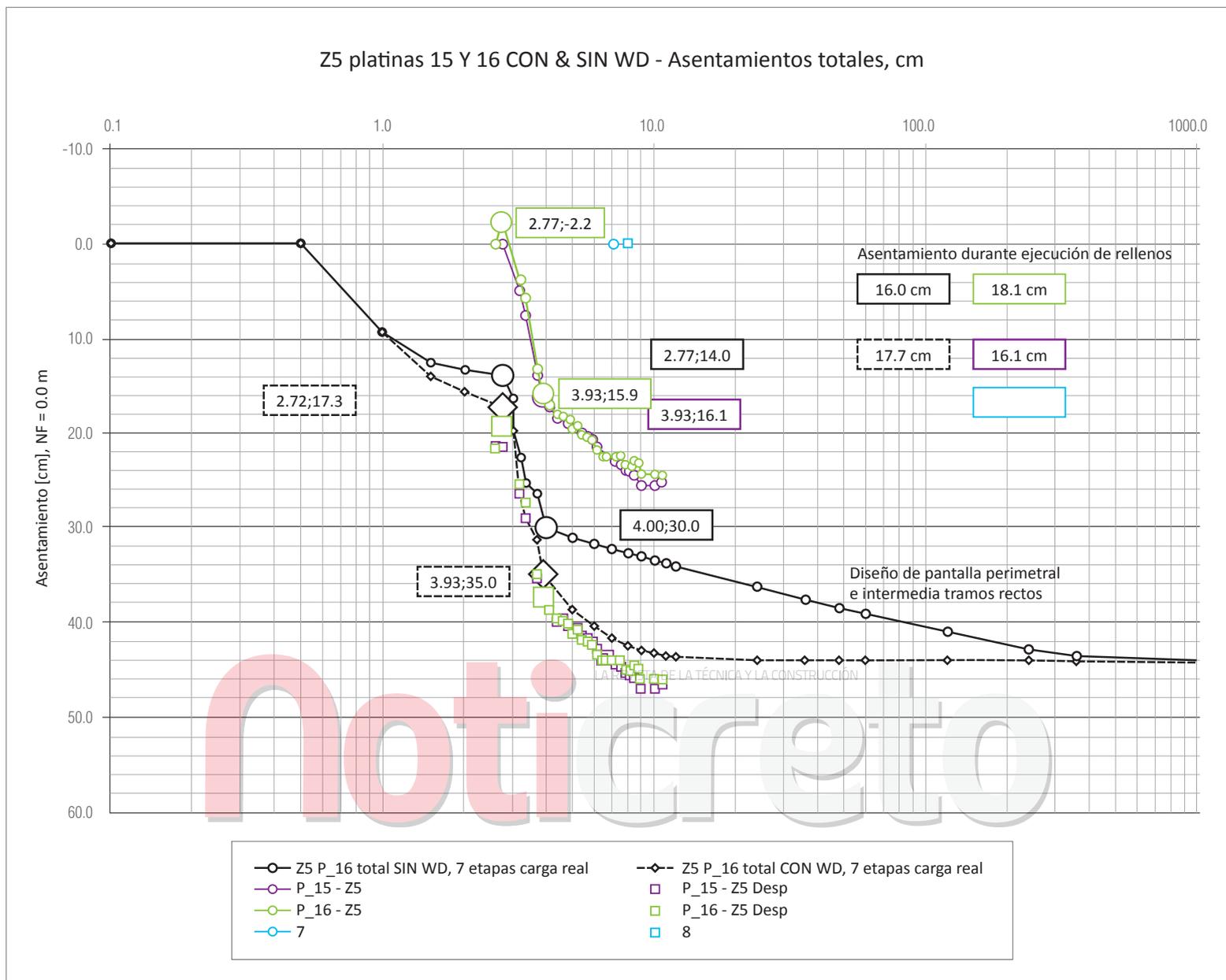
↓ Foto 4. Construcción de pilotes tornillo. Puerto Impala.



- Pilotes de grava: técnica de reforzamiento del relleno y de suelos de apoyo, consistente en introducir columnas de grava con o sin extracción de material; dependiendo del proceso constructivo, las gravas se pueden compactar durante su instalación. Al igual que las inclusiones rígidas, pueden usarse para dar mayor capacidad de carga a un área en general o para apoyar estructuras individuales.
- Pilotes de diferentes tipos, en concreto o en acero, dentro de los cuales vale la pena mencionar los denominados pilotes tornillo (Foto 4), usados recientemente con éxito para cimentar los tanques de combustible en el puerto fluvial de Impala, en Barrancabermeja. El éxito de estos pilotes en el proyecto se debió en gran medida al seguimiento detallado durante la construcción y las diferentes pruebas de carga ejecutadas (Foto 5), medidas que permitieron detectar y corregir dificultades constructivas asociadas a la estratigrafía específica del puerto que, en general, no aparecen descritas en la literatura especializada relacionada con esta metodología ni son del conocimiento típico de las firmas que ejecutan estos pilotes.

### Ingeniería de soporte

La selección e implementación de las soluciones más apropiadas para cada puerto y para cada zona dentro de él, debe contar con el soporte de una ingeniería geotécnica especializada, que debe acompañar al proyecto desde su misma concepción y continuar en todas sus fases de desarrollo: estudios de ingeniería básica e investigación del subsuelo, diseños detallados, instrumentación y seguimiento durante la construcción.



Como todo en un puerto es de grandes proporciones y requiere inversiones cuantiosas, la racionalidad en la selección de las soluciones constructivas para la adecuación del sitio es crucial.

En las etapas iniciales del proyecto, la ingeniería geotécnica debe detectar condiciones geotécnicas que puedan afectar o condicionar su concepción en aspectos tales como: tipo de muelle, tratamiento o estabilización de terrenos blandos, zonificación de áreas por capacidad de carga, fuentes de materiales disponibles. En el país se ha dado más de un caso en que, por no contar con un apoyo geotécnico inicial, en el presupuesto inicial no se consideró la necesidad de consolidar el terreno; esta omisión hizo que el estimativo inicial del costo del proyecto fuera erróneo. Aunque no fue el caso, una situación como éstas podría incluso poner en riesgo la ejecución del proyecto.

Respecto a la investigación del subsuelo, es fundamental determinar sus características de la manera más precisa posible, mediante técnicas modernas de exploración (piezocono, dilatómetro,

↑ Figura 1. Asentamientos: Comparación modelo teórico con asentamientos medidos. Puerto Impala.

presiómetro de Menard, ensayos geofísicos) y ensayos de laboratorio que midan directamente las propiedades de resistencia y compresibilidad (corte directo, triaxial, consolidación). La mayor parte de estos métodos están ya en el país o se pueden traer con facilidad, por lo que no se justifica depender solamente de ensayos indirectos y de estimación de parámetros por correlaciones imprecisas para tomar decisiones de tanta importancia y costo tan alto para el proyecto.

En las etapas de ingeniería básica e ingeniería de detalle, la ingeniería geotécnica debe proporcionar no solamente el dimensionamiento de las soluciones sino un pronóstico de su comportamiento. Por ejemplo, para el puerto de Impala, gracias a la detallada investigación del subsuelo y a la modelación precisa de los suelos y rellenos del sitio, se pudo estimar con razonable aproximación la evolución de los asentamientos con y sin la instalación de drenes verticales, lo cual permitió tomar decisiones informadas sobre las zonas donde era acertado

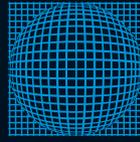


↑ Foto 5. Prueba de Carga Estática Pilotes Tornillo. Puerto Impala.

← Foto 6. Prueba Dinámica PDA. Puerto Aguadulce.



aplicar esa medida, cuyo costo era importante; posteriormente, la instrumentación que se instaló para medir el progreso de los asentamientos permitió ajustar los modelos teóricos y así establecer un plan de manejo detallado en secuencias y tiempos para todas las áreas del proyecto (Figura 1).



En general, uno de los mayores retos para la ingeniería geotécnica ha sido encontrar las metodologías de análisis apropiadas para dimensionar las soluciones y los criterios por emplear en ellas (hipótesis de análisis, criterios de aceptación, factores de seguridad, entre otros).

Para muchas soluciones de construcción, hasta hace poco se disponía de artículos técnicos aislados de recomendaciones particulares, en un extremo, o con planteamientos teóricos con poca validación experimental en otro.

La internacionalización que vive Colombia tanto en los puertos como en la ingeniería a todo nivel, nos ha permitido acercarnos a nuevas visiones y nuevas tecnologías que antes solo conocíamos de referencia. Dentro de éstas, se encuentran metodologías, códigos y herramientas de análisis particulares, apropiadas para cada tipo de solución.

El tema de códigos de diseño y metodologías asociadas toma especial relevancia ante firmas internacionales que hacen especial énfasis en su uso. Dentro de ese panorama, vale la pena destacar documentos y herramientas como las siguientes:

- EUROCODE 7 “*Geotechnical design*”, para análisis geotécnicos en general.
- Método ASIRI: ASIRI, 2012, *Amélioration des sols par inclusions rigides*.
- Software FOXTA (Terrasol) para análisis de cimentaciones de todo tipo, que involucra inclusiones rígidas.
- EAU 2012 (9th) “*Recommendations of the Committee for Waterfront Structures Harbours and Waterways*”, para muelles.
- Pfähle (2012) “*Recommendations of Piling*”, para pilotes.

Recurrir a estos documentos permite, por ejemplo, establecer, al amparo de códigos, la capacidad a tensión de pilotes a partir de pruebas dinámicas de compresión.

Finalmente, es fundamental verificar el comportamiento de las soluciones de ingeniería durante la construcción y dentro de las verificaciones, vale la pena mencionar las siguientes:

- Exploración del subsuelo con posterioridad a la ejecución de medidas de compactación para confirmar el grado de mejoramiento en las condiciones del suelo.
- Instalación de piezómetros para verificación de la evolución de las presiones de poros con el tiempo.
- Instalación de platinas y otros dispositivos para control de asentamientos.
- Pruebas de carga estáticas, tanto en pilotes como en columnas de grava e inclusiones (Foto 5).
- Pruebas de carga dinámicas para pilotes (Foto 6).

## Conclusión

La construcción de puertos plantea una serie de retos geotécnicos particularmente complejos, pero la ingeniería geotécnica cuenta hoy en día con herramientas apropiadas para enfrentarlos y ofrecer así las soluciones más apropiadas para cada proyecto. Y para que esto se haga realidad, surge otro reto para la geotecnia: hacer entender que invertir en esta tecnología (mejor investigación, ingeniería de análisis más detallada y con más herramientas) redundará al final en su propio beneficio.

## Soluciones costo - eficientes con Geosintéticos.



Revestimiento de canales con Formoleto Textil **COLCHACRETO® ARTICULADO**



Estructuras de contención con Geocontainer **HYDROBLOCK®**



Sistemas de Subdrenaje con Geodrén **PERMADRAIN®**

Pavimentos • Geotecnia • Hidráulica • Control de Erosión

Nuestro departamento Técnico y de Diseño está a su disposición:

(57-1) 424 99 99

Síguenos en:



GeomatrixSAS

[www.geomatrix.co](http://www.geomatrix.co)

# Noticreto

LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

Actualiza e informa sobre temas relacionados con construcción, tecnología, infraestructura, vivienda, materiales, diseño, arquitectura, entre otros.



Suscríbese AQUÍ 

\$135.000

12 Ediciones impresas

Encuentre nuestras ediciones en formato:

 Noticreto impresa

 Noticreto virtual

Por su suscripción reciba el plan de beneficios por formar parte del

 Club de Suscriptores

**Noticreto**  
LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

El **Club de Suscriptores Noticreto** ha sido diseñado para estrechar vínculos con sus clientes más importantes y recompensar su fidelidad. Para un suscriptor, el pertenecer al programa de fidelización, le permite disfrutar de manera preferencial y exclusiva los beneficios que promueve, facilita su compra y lo mantiene informado sobre todo su Portafolio de Productos y Servicios.

- **Tarifa preferencial** en eventos del Instituto del Concreto
- Hasta el **20% de descuento** en Publicaciones
- Hasta el **25% de descuento** en compras de las Normas ASTM Internacional en la Biblioteca del Concreto
- **Tarifa preferencial** en la inscripción a la Reunión del Concreto
- **Acceso exclusivo** al Banco de Artículos de la Revista Noticreto
- **Acceso exclusivo** al sitio de descargas desde nuestro portal web, donde encontrará información de interés en el sector de la construcción
- **Acceso exclusivo** a la Revista Noticreto Virtual

\*La vigencia de la membresía es por el tiempo que dura la suscripción. Los beneficios otorgados no son acumulables con otros ofrecidos en campañas especiales.