

## Paper CA1103 - IMPORTANCIA DE LOS ESTUDIOS DE INVESTIGACIÓN, PREVIOS, DURANTE Y POSTERIOR A LA VIDA ÚTIL DE LAS OBRAS PORTUARIAS

Pitton Straface, Leandro Cristian  
*Egresado EGIP UBA*  
Email: leapitton@gmail.com

**ABSTRACT:** El presente trabajo pretende enfatizar la importancia de los estudios de investigación y seguimiento de las obras enmarcadas en la Ingeniería Portuaria. En reiteradas oportunidades nos encontramos con proyectos portuarios que carecen de la totalidad de los estudios de campo fundamentales, con los cuales se pretende la realización de la correspondiente ingeniería de detalle, definitiva para la construcción, desencadenando el hecho suscitado en interminables idas y vueltas entre el Comitente y el Contratista.

En el caso de la explotación de una terminal portuaria y/o una vía navegable, podría suceder que no se realicen los trabajos de mantenimiento básicos necesarios, los cuales desde el punto de vista de la Ingeniería Portuaria se consideran fundamentales para el usufructo de cualquier impacto antrópico, entendiéndose que la mayoría, por no decir todas las fallas estructurales y de fundación podrían ser tomadas a tiempo antes de que ocurran, evitándose daños a diferente escala, implicando los mismos desde víctimas humanas hasta pérdidas constructivas y también, disminuyendo los costos de mantenimiento emanados de las reparaciones a realizar a posteriori.

En otros casos, se podría inferir que se desconoce de la importancia de estos estudios, por el hecho de no disponer del asesoramiento técnico adecuado en esta especialidad de la Ingeniería Portuaria, disciplina que incluye en su estudio diversos aspectos de naturaleza cambiante, como ser, las variaciones de los niveles del agua, la morfología variable del río, oleaje, viento, movimiento de suelos, arrastre, suspensión y transporte de sedimentos, licuefacción, elevación de napas freáticas, embarcaciones de mayor porte, con hélices transversales y aumentos de velocidad, entre muchos otros más, como así también aspectos relacionados con cuestiones legales y económicas

En conclusión, se busca concientizar a los lectores de la importancia de realizar los trabajos de investigación tanto en forma previa a la realización de cualquier obra de Ingeniería Portuaria, como en forma posterior,, durante el periodo de explotación de la misma. Tomando en cuenta que los hechos ocurridos, puedan al menos, ser de utilidad para otras construcciones de similares características

### 1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este informe es dirigir al lector hacia la información relacionada con un determinado topico o problema mediante la bibliografía referenciada. Además, la misma puede ser de fácil acceso para una búsqueda más amplia de temas complementarios.

La mayoría de los contratos de obras portuarias siguen las condiciones del contrato (internacional) Obras de Construcción de Ingeniería Civil preparadas por FIDC (Federación Internacional de Ingenieros Consultores) y FIEC (Federación Europa de la Construcción) y están

aprobados por diversas asociaciones internacionales de construcción. Estos son apoyados, por ejemplo, por el ICE (Institución de Ingenieros Civiles) con condiciones del contrato para las investigaciones terrestres y, para canales navegables marinos, recomendaciones de PIANC (Asociación Internacional Permanente de Congresos de Navegación).

Normalmente, dichos contratos reconocen que no todas las condiciones geológicas y/o geotécnicas pueden ser completamente especificadas, es decir, aceptan la existencia de elementos de riesgo geotécnico asociados. Estos

contratos normalmente contendrán disposiciones para el caso que, cuando existen condiciones físicas que no podrían ser previstas razonablemente por un profesional o grupo de profesionales experimentados y, por lo tanto, el contratista haya incurrido en gastos adicionales, el mismo posea la potestad de reclamar la cantidad adicional correspondiente.

La amplia experiencia de la construcción civil en tierra ha demostrado que existe una fuerte relación entre la calidad de la información disponible del sitio y el resultado contractual.

En opinión de muchos autores, la mayoría de los ahorros se logran integrando la caracterización del sitio con el diseño y especificación a lo largo de la vida del proyecto. Con este tipo de enfoque, la investigación no se ve como un fin en sí mismo, sino como un insumo vital tanto para el diseño como para las fases de construcción y mantenimiento del proyecto.

### 1.1 Principales causas del daño y degradación del material

Es de conocimiento que los componentes de una estructura comenzarán a deteriorarse tan pronto como se haya materializado su construcción. El patrón y el ritmo de el deterioro dependerá del diseño, características y calidad de los materiales constituyentes, calidad de la mano de obra, uso, factores ambientales (como zona climática, salinidad, contaminación, hidrológica y condiciones hidráulicas, subsuelo o aguas subterráneas agresivas), y calidad y regularidad del mantenimiento.

Una estructura también puede sufrir daños originados en factores ajenos a las condiciones regulares de construcción y/o operación, como por ejemplo, sobrecargas no previstas, cargas dinámicas de impacto de barcos y equipos, condiciones excepcionales de clima adverso, erosión y terremotos.

### 1.2 Etapas

Para poder obtener un modelo geotécnico lo suficientemente detallado, la investigación geológica y geotécnica se realiza en etapas sucesivas y de creciente nivel de definición en cada oportunidad. Esto es apropiado para mantener los costos de la investigación acotados y para poder atender a la complejidad que presenta el problema.

Primero se realiza un detallado análisis de gabinete de todos los antecedentes y estudios existentes.

Después se programa una primera campaña de mediciones de campo y análisis de muestras y posteriormente se realiza una segunda campaña de mayor extensión y detalle

En lo que hace a la oportunidad de ejecutar la investigación geotécnica, la misma es confeccionada en una primera instancia por el Comitente, por sí o por medio de un Ingeniero cuando se trata de un estudio de factibilidad de la obra. Dicha investigación es profundizada en la etapa de proyecto licitatorio con la elaboración de los pliegos de licitación. A su vez, los distintos Oferentes interesados pueden llevar a cabo las prospecciones que consideren necesarios para estar en mejores condiciones de presentar sus ofertas. Una vez adjudicada la obra, quien resulte Contratista podrá optar por dotar de una mayor profundidad a las investigaciones ya realizadas, por medio de la ejecución de estudios complementarios, que permitan reducir el grado de incertidumbre asociado.

### 1.3 Base de datos y Programa de Inspecciones

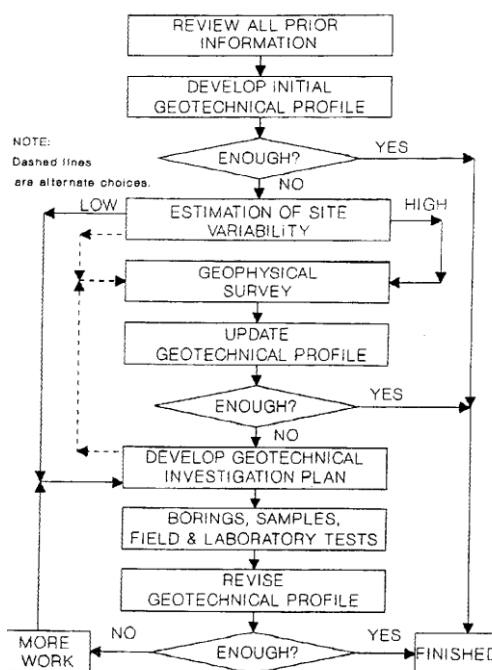


Figura 1: Programa de base de datos e inspecciones.

Se quiere mencionar, brevemente, la base de datos y el programa de inspección recomendada para las estructuras portuarias, los cuales deberían cubrir:

- La capacidad de la estructura para realizar la función para la cual fue diseñada;
- La necesidad de mantenimiento;
- Su vida útil restante.

El intervalo de tiempo entre inspecciones es asunto del propietario (Comitente) de la obra, y dependerá de la edad, material y condición de la estructura. Se recomienda que el mismo no exceda los cinco años (5 años). Por lo tanto, la

inspección debe diseñarse para proporcionar la siguiente información:

- a) El estado actual de la estructura, incluida la información sobre el deterioro y el efecto del medio ambiente;
- b) La tasa futura de deterioro y efecto en el medio ambiente y vida útil probable;
- c) El mantenimiento necesario para conservar el diseño o vida de diseño modificada.

Es de mucha utilidad la obtención de la mayor cantidad de información histórica posible sobre la estructura y la ejecución de registros para aumentar la información de la inspección. Esto debería incluir, si es posible:

- a) Planos;
- b) Información sobre los materiales utilizados;
- c) El entorno en el que se encuentra;
- d) Su propósito operacional y funcional;
- e) Detalles de la inspección anterior;
- f) Su vida útil de diseño.

#### 1.4 Recopilación de información

Primeramente es importante realizar un detallado análisis de gabinete de todos los antecedentes y estudios existentes. Siempre es de gran utilidad considerar la información procedente de estudios ya realizados con diferentes objetivos.

Entre la información a recopilar se puede mencionar:

- a) Estudios de obras anteriores;
- b) Estudios geofísicos realizados por otros organismos como, por ejemplo, Servicio de Hidrografía Naval (SHN);
- c) Cartas geológicas producidas por la Secretaría de Minería de la Nación o Provinciales;
- d) Perforaciones en tierra para obras viales;
- e) Canteras;
- f) Perforaciones realizadas para investigar el área petrolera. En general en estas investigaciones los primeros metros no son de importancia y tienen poca definición.

#### 1.5 Visita al sitio

Previo a la presentación de las ofertas, el Contratista generalmente tiene la obligación (por Pliego) de inspeccionar el sitio a los efectos de evaluar la influencia que las condiciones locales van a tener sobre los trabajos a realizar.

La inspección del sitio y de los alrededores es una parte vital del proceso de licitación para los Contratistas.

La pregunta es cómo se puede realizar una inspección cuando el sitio consiste en una

extensión de agua y el fondo se encuentra muchos metros por debajo, como es el caso en la mayoría de las obras portuarias.

En general, la única alternativa que tienen los Oferentes en la visita al sitio es realizar una inspección visual de la geología y geomorfología de los alrededores. La información del lado tierra que puede observarse en las paredes de roca, excavaciones para préstamos viales, o canteras cercanas al emprendimiento pueden suministrar una guía útil.

Una cláusula del contrato FIDIC tipo, enunciada en la introducción, establece que el Contratista debe haber realizado la inspección del sitio, sus alrededores y la información disponible en lo relativo a la naturaleza del suelo.

Esto nos indica que la mencionada visita de obra, además de ser conveniente y en algunos casos de gran utilidad, de no haber sido realizada puede ser invocada en contra en caso de conflicto por ser contrario a las buenas prácticas.

## 2 Metodología

En general se observa una falta de recursos financieros y humanos para abastecer la necesidad de prolongar la vida útil de las estructuras, en comparación con la duración original de diseño, las cuales se encuentran, a menudo, en condiciones deterioradas.

### 2.1 Estrategia de la investigación geotécnica

Este primer análisis en base a la información recopilada y la visita al sitio permite tener una buena comprensión del problema, suficiente como para poder proponer un modelo geotécnico del área en estudio. En función de los resultados obtenidos, se programa una primera campaña de mediciones que incluya un relevamiento geofísico y toma de muestras de superficie.

En función de los resultados de la primera campaña se actualiza el modelo geotécnico propuesto y es común proponer realizar vibrocorings (perforaciones independiente entre 3 a 5 metros de profundidad) en los lugares donde se tienen dudas acerca del material existente, como ser variaciones de datos entre las perforaciones. Luego, se realiza una nueva actualización del modelo geotécnico y, si fuera necesario, se propone la realización de perforaciones controladas en sitios elegidos que podrían ser de interés. Al disponer de todas las muestras extraídas, se procede a los correspondientes análisis de laboratorio.

Lo anteriormente mencionado depende del tipo de estructura portuaria a construir, pudiendo variar los estudios a considerar.

## 2.2 Métodos de Inspección

La inspección tanto en tierra como en agua debe ser realizada de forma regular, preferiblemente como parte de un programa planificado bajo la gestión del ciclo de vida (Life Cycle Management - LCM).

Hay tres formas básicas de inspección:

- a) Inspecciones periódicas suelen llevarse a cabo a intervalos regulares de acuerdo con un programa predeterminado y con el objetivo tanto de observar y registrar el estado de las estructuras portuarias como de detectar en forma prematura cualquier cambio adverso que justificaría alguna intervención para restaurar las condiciones funcionales. La inspección de elementos representativos puede ser suficiente cuando las estructuras son repetitivas.
- b) Inspecciones ampliadas deben realizarse siempre que las inspecciones periódicas indiquen la necesidad. Se espera que la misma incluya todos los elementos estructurales. En los primeros años de una estructura, éstas inspecciones ampliadas podrían ser relativamente poco frecuente, sin embargo, a medida que la edad aumenta o con inspecciones previas a la necesidad que lo indiquen, se debe aumentar la frecuencia.
- c) Inspecciones especiales: normalmente se realizan antes y después de trabajos de reparaciones importantes y cuando se produzcan daños después de eventos anormales, como colisiones de barcos, tormentas e incendios, entre otros.

## 2.3 Investigaciones de campo

Las investigaciones del sitio se basan en técnicas modernas e investigaciones de emplazamientos informatizadas, siendo parte integral de cualquier proyecto de Ingeniería Portuaria.

Esto se justifica en que los riesgos de encontrarse con materiales "imprevistos" persisten y no sólo son inconvenientes, sino también incrementan a lo largo del tiempo invariablemente los costos. La preparación precisa ayudará a definir el diseño del proyecto, el tipo de equipos necesarios que limitarán, en la medida de lo posible, conflictos que surjan en condiciones imprevistas, convirtiéndose en un objetivo fundamental.

Una exhaustiva investigación del sitio diseñada con anterioridad logrará informar a todas las partes: el contratista, el cliente y las partes interesadas, y reduciría los riesgos de

incertidumbres. Así, la misma integra el primer paso hacia un proyecto exitoso.

Aunque una investigación exhaustiva del emplazamiento es el ideal, ésta no siempre puede ser financieramente posible ya que estos trabajos no siempre son económicos. Dados los fondos limitados, la recopilación de datos debe ser priorizada y una investigación del sitio se puede hacer en fases necesarias.

Sin embargo, cuando sea posible, para la recopilación de datos se recomiendan tres aspectos bases:

- a) evaluaciones geológicas y geotécnicas;
- b) estudios batimétricos;
- c) evaluaciones medioambientales.

## 2.4 Investigaciones Geológicas y Geotécnicas

Dentro de las investigaciones de campo, las investigaciones geológicas y geotécnicas resultan las más complicadas, y onerosas, siendo las que mayor efecto tienen sobre los costos de las obras portuarias, magnificándose preponderantemente dicho costo en el caso de las obras dedragado.

Por tal motivo, el conocimiento de las características de los materiales a dragar es el aspecto principal que permite realizar una adecuada selección del equipo de dragado a utilizar, permitiendo estimar los rendimientos que se van a obtener con cada tipo de draga, siendo un aspecto decisivo en lo que hace a la definición de los costos de dragado.

Muchos autores plantean la conveniencia del adecuado suministro de información geotécnica para evitar los reclamos posteriores en los contratos. La siguiente tabla, preparada por la Autoridad de Caminos y Tránsito del Estado de Australiano Nuevo Sur de Gales (Roads and Traffic Authority of NSW), muestra que, en relación a grandes obras de construcción de caminos, el costo de investigaciones de campo es alrededor de 1% del valor de la obra.

La misma fue elaborada mediante la recopilación de información durante un periodo de 20 años, tomando como referencia obras donde el rubro excavación es uno de los ítems principales.

Calidad de información suministrada al Contratista	Valor medio del reclamo/Valor del Contrato
Información mínima	15 - 25 %
Información escasa - Comentarios interpretativos limitados	10 - 12 %
Investigación completa - Información del proyecto - Comentarios interpretativos limitados	2 - 2,5 %
Investigación completa - Información del proyecto - Comentarios interpretativos amplios	< 0,1 %

Figura 2: Calidad de Información suministrada a los Contratistas y valores típicos de reclamos.



Así, la Figura 2 indica claramente que los reclamos por pagos adicionales pueden disminuirse significativamente si se suministra información geotécnica completa en la etapa de presentación de las ofertas. Este aspecto les permite a los Contratistas tener una apreciación realista de las condiciones geotécnicas existentes y los riesgos asociados. También facilita identificar con anterioridad condiciones no conocidas que pueden ser consideradas mejor en alguna cláusula del contrato evitándose disputas contractuales innecesarias.

Los especialistas del caso aseguran que los mayores ahorros se logran integrando la caracterización del lugar, el proyecto y las especificaciones técnicas durante toda la vida útil de la obra. Con este enfoque las investigaciones de campo no son consideradas un fin en sí mismo, sino un aporte fundamental tanto para las fases de proyecto como de construcción y mantenimiento de las obras.

### 2.5 Calidad Geotécnica

Los datos geotécnicos se adquieren para una parte de la fase específica de un proyecto de construcción. Para asegurar eso, los mismos están debidamente incorporados en todo el proyecto, siendo importante asegurar un hilo continuo de responsabilidad por la información geotécnica desde el estudio de factibilidad hasta la finalización del proyecto. Establecer la designación de responsabilidad por dichos aspectos ayuda a evitar malas interpretaciones de los datos por parte de profesionales del diseño y la construcción.

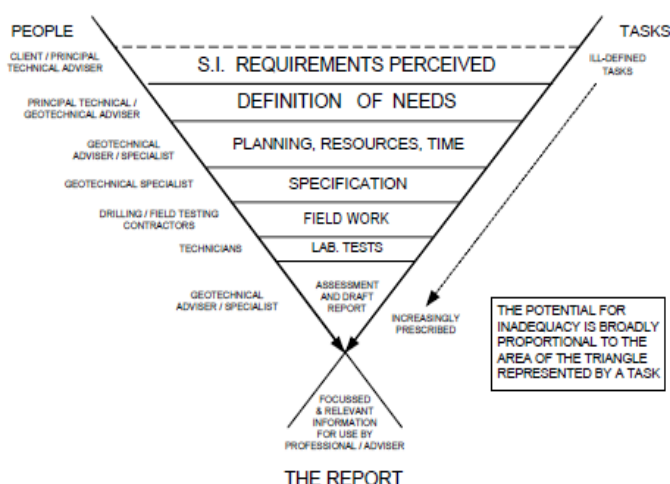


Figura 3: Calidad geotécnica para la investigación del sitio (SIG).

En el diagrama anterior, se puede observar que el potencial de adquirir datos inadecuados es mayor cuando se cometen errores en la fase inicial de la investigación, y de gran importancia

para la definición de requisitos y necesidades, planificación, recursos y tiempo a emplear. Es importante que el diseño de una investigación (o un programa de monitoreo) se adapte a las condiciones reales del sitio y a las características constructivas. El programa de investigación debe ser flexible para que los ajustes se programen cuando sea necesario. El costo asociado con rehacer parte de la investigación en una etapa posterior, o el diseño de métodos de construcción alternativos, es generalmente mucho mayor que el costo de la investigación original.

### 2.6 Adquisición y evaluación de datos geotécnicos

Una investigación geotécnica solo proporciona información en el lugar de prueba específico. Con conocimiento y experiencia en la materia, la misma puede extrapolarse entre ubicaciones de prueba. Sin embargo, las interfaces entre los materiales del suelo puede ser más abrupto o gradual de lo esperado y las condiciones reales en áreas no probadas, diferir de las predicciones.

Por lo tanto, no es realista esperar que una investigación geotécnica pueda predecir completamente las condiciones del suelo. No obstante, si se planifica y realiza correctamente, puede reducir el riesgo residual asociado con condiciones imprevistas a un nivel aceptable. Los datos geotécnicos deben evaluarse cuidadosamente, siendo que con frecuencia, habrá algunos datos que pueden no ser representativos de las condiciones del suelo. Los problemas con los datos, por ejemplo, podrían estar relacionados con la alteración de muestras, o partes de una muestra, o en el mal funcionamiento del equipo de adquisición de datos. Se quiere remarcar que los incidentes durante las operaciones offshore podrían afectar los datos, debiéndose registrar y contabilizar en la evaluación.

Para un diseño seguro y económico de una estructura, es necesario comprender el comportamiento del suelo para el cual está destinada la estructura o la vía navegable. También es importante tener en cuenta que el terreno puede ser complejo y puede ser modificado por fuerzas naturales como terremotos, inundaciones, socavación del lecho marino y fluctuaciones del agua subterránea, entre otros. Además, la construcción cerca del sitio puede afectar las condiciones preexistentes del terreno. En general, los datos adquiridos durante una investigación son válidos por un período de aproximadamente 2 años después de la adquisición. Luego de este período, los mismos podrían volverse inexactos o poco fiables, dependiendo el caso en estudio.

## 2.7. Muestreos y Pruebas

Los siguientes puntos son particularmente relevantes al considerar el muestreo:

- a) Los suelos débiles deben recolectarse con perturbación mínima. Por lo tanto, se debe evitar "lavarlos" ya que alteraría la muestra, no siendo particularmente representativa. Idealmente, se recomienda utilizar métodos tradicionales de perforación con barrenos, ya que permiten la identificación de cada cambio de estratos, siendo generalmente representativos del material a la profundidad de muestreo.
- b) Vibrocoring es un método alternativo para obtener información sobre material débil, pero hay que reconocer que la profundidad de la investigación puede verse limitada por longitud máxima de profundidad o por la presencia de material que es demasiado fuerte para ser penetrado.
- c) Los suelos débiles necesitan ser muestreados y analizados frecuentemente. Casi siempre resulta el caso que no hay suficientes muestras o las pruebas realizadas han sido limitadas. Los ingenieros geotécnicos requieren conocer cómo la fuerza y las características de tamaño varían en todo el sitio en estudio.
- d) Detectar la variabilidad de los materiales en el sitio es uno de los más importantes objetivos de la investigación del sitio.
- e) El registro correcto de núcleos de rocas es vital. La calidad de la roca es tan importante como su fuerza. Por lo tanto, la recuperación de núcleos, Designación de la Calidad de Roca (RQD) y el índice de fractura debe registrarse en todos los casos.

## 2.8 Modelo Geológico / Geotécnico

Una parte esencial de la reducción del riesgo geotécnico es la provisión de un modelo geológico / geotécnico para el sitio. Este modelo debe ser independiente de cualquier estructura propuesta o método de prospección y debe reflejar con precisión las condiciones del suelo y del subsuelo.

Inevitablemente la presencia de agua aumenta el costo del desarrollo de este modelo, en comparación con el entorno terrestre. Cada componente de entrada debe verse de forma independiente sin ningún intento de ajuste o "armonización", como por ejemplo, la interpretación geofísica con la información de

perforación o de inferencias derivadas de la observación de los procesos costeros actuales. A menudo aparecen discrepancias o inconsistencias entre diferentes conjuntos de datos que conducen a conocimientos y destacan deficiencias en la información disponible que se utiliza para construir el modelo, trayendo a colación graves problemas cuando una parte de los datos de entrada se utilizan para controlar el resto y las contradicciones son simplemente asignadas a errores en los datos o en la interpretación.

## 3. Mantenimiento

Generalmente, un puerto contiene varios tipos diferentes de estructuras, compuestas de varios materiales diferentes y con diferentes patrones de ciclo de vida. Por ejemplo, una escollera de materiales sueltos (rocas) puede servir fácilmente a su propósito con poca necesidad de ajustes o mantenimiento durante 50 años o más, a comparación de un muelle de tablestacas de acero, que en menos de 20 años puede quedar fuera de uso en base a los requisitos operativos actuales y sustancialmente deteriorado por falta de mantenimiento.

Independientemente de sus ciclos de vida, todas las estructuras portuarias constituyen activos que merecen la pena mantenerse en condiciones óptimas y seguras durante toda su vida útil prevista. Sin embargo, actualmente las estructuras portuarias presentes en muchos puertos, requieren rehabilitación a gran escala, medidas debidas a un mantenimiento periódico descuidado.

Las principales razones que suelen mencionar las autoridades portuarias para esta negligencia incluyen presupuestos inadecuados e intentos de ahorrar dinero aplazando el mantenimiento.

Los esfuerzos de las rutinas de inspección y la planificación del mantenimiento a menudo se consideran muy costosas y laboriosas, y se postergan hasta que se requieran reparaciones con un estado de situación peligrosa. La consecuencia del poco o nulo mantenimiento preventivo, puede ser de gran alcance con respecto a accidentes, pérdida de uso de las instalaciones y aumentos de costos de reparación y/o reconstrucción. Por lo tanto, es fundamental un conocimiento de las causas de degradación y daño, los métodos de monitoreo, mantenimiento y reparación necesarios para la vida de la gestión del ciclo.

Se recomienda que la inspección de todas las estructuras portuarias sujetas a degradación y daño se realice anualmente o, en algunos casos, con mayor frecuencia, dejando toda la información debidamente registrada y al alcance de todos los actores.

La inspección, el mantenimiento y la reparación deben ser realizados por personal experimentado o capacitado. El mantenimiento periódico es el mejor método para prolongar la vida de estructuras portuarias y para evitar el cierre de un puerto. Tal mantenimiento incluye asegurar que los sistemas de mantenimiento y las estructuras a proteger estén funcionando en la forma acorde a la cual fueron diseñadas.

### 3.1 Mantenimiento preventivo/correctivo

Al aplicar las diferentes estrategias de mantenimiento, es importante encontrar un equilibrio entre el mantenimiento preventivo y correctivo. Debe entenderse que el uso de mantenimiento correctivo puede provocar restricciones en la utilización de la estructura portuaria y del tráfico de navegación a intervenir. También hay influencias significativas en los niveles de costo y mantenimiento.

A menudo no hay datos suficientes a la hora de determinar la estrategia de mantenimiento más adecuada que se aplicará. La extrapolación de datos basada en una historia relativamente corta de las estructuras típicas, generalmente lleva a la conclusión de que estos son válidos solo para un caso individual y no pueden generalizarse.

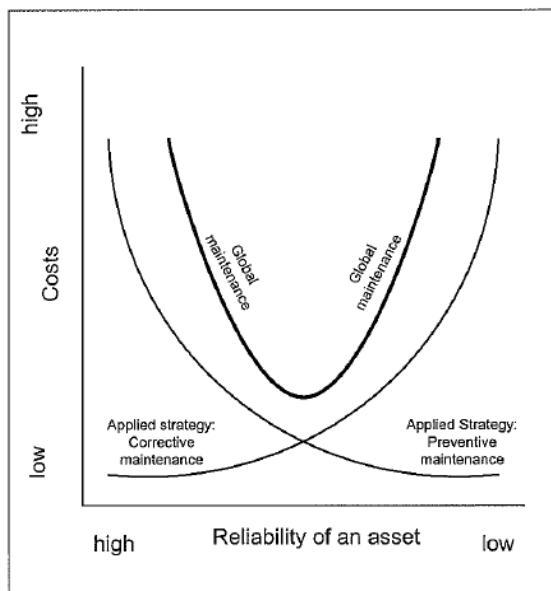


Figura 4: Mantenimiento Preventivo / Correctivo.

### 3.2. Gestión del ciclo de vida

Se considera esencial un inventario correcto de herramientas para la toma de decisiones, habida cuenta que se identifican muy comúnmente los siguientes problemas:

- una falta general de recursos financieros y humanos;

- la necesidad de una mayor vida útil de las obras en comparación con la vida útil del diseño original;
- una condición de la infraestructura que a menudo se deteriora rápidamente.

Existe la necesidad de efectivos procesos para asegurar que los recursos se dirijan con un propósito y con el mejor efecto posible. Estos procesos están respaldados por:

- La inspección de las obras y la valoración comparable de su estado como base fundamental para toda decisión sobre recursos.
- Debido a la insuficiencia de recursos, no siempre es posible realizar todos los trabajos de mantenimiento necesarios al mismo tiempo o incluso en el momento más adecuado. Por lo tanto, es imperativa una priorización planificada de todas las acciones, utilizando criterios comunes y prácticos.

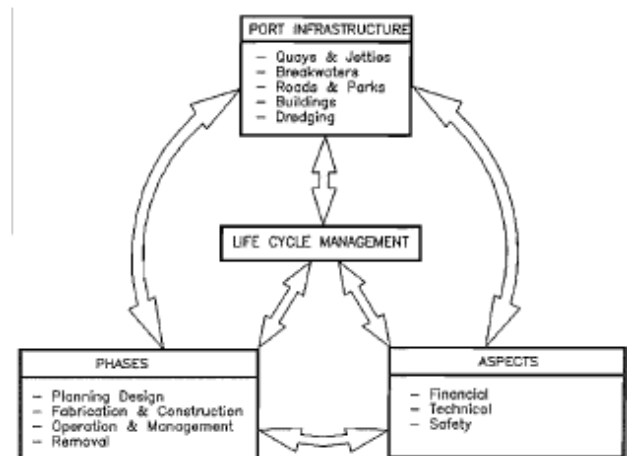


Figura 5: Gestión del ciclo de vida de las obras.

### 3.3 Estrategias de mantenimiento aplicadas

Para recopilar información confiable sobre cómo las autoridades de navegación en todo el mundo tratan estos temas, desde uno de los grupos de PIANC se realizó una encuesta a todos los miembros para que respondieran un cuestionario, cual doce autoridades de diferentes países respondieron..

Las preguntas no se limitaron a la elección de las herramientas de toma de decisiones, el grado de aplicación y los resultados, sino que también se plantearon para determinar hasta qué punto las organizaciones estaban restringidas por los recursos y el grado de deterioro de sus portuarias y vías navegables. El objetivo era obtener evidencia integral de cómo la disponibilidad de recursos determina la

aplicación de técnicas avanzadas de toma de decisiones.

Para determinar la estrategia de mantenimiento óptima, se consideran varias opciones. Diferentes estrategias idealizadas para el mantenimiento de estructuras, se muestran esquemáticamente en la siguiente figura 6

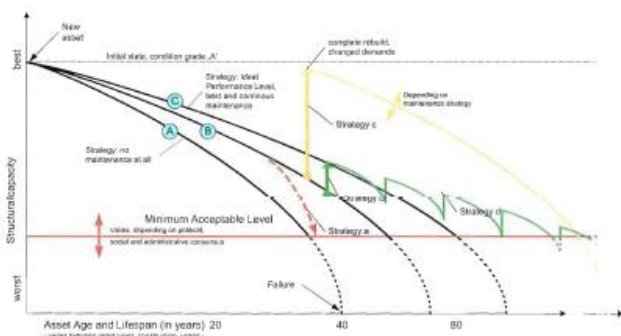


Figura 6: Mantenimiento según capacidad estructural relacionada a la vida útil.

Los dos gráficos (A y C) describen los niveles teóricos de mantenimiento, mientras que (B) describe la probable situación de la "vida real":

El gráfico A representa un activo que se opera sin mantenimiento a un nivel mínimo aceptable de seguridad después de una vida útil relativamente corta. Al llegar a ese punto el activo debe ser reforzado, reemplazado o restringido operativamente hasta que se puedan realizar los trabajos de sustitución necesarios.

El gráfico C muestra el ciclo de vida extendido de una estructura perfectamente construida y activamente mantenida. En realidad, hay poca evidencia que estas situaciones existen para las infraestructuras en el caso de navegación.

El gráfico B muestra el ciclo de vida de estructuras adecuadas, que ofrecen varias opciones para trabajos de mantenimiento durante su vida. Por ejemplo:

- La estructura podría quedar sin el mantenimiento adecuado, y luego llegaría al gráfico del activo A (línea roja de puntos, estrategia a) relativamente rápido.
- La estructura podría fortalecerse específicamente (flecha verde) alcanzar su nivel de rendimiento ideal según el edad real de los estructuras (estrategia b).
- Después de llegar al estado ideal, podría mejorarse aún más (flecha naranja) para alcanzar un estado que cumpla con el nivel de desempeño del conjunto y necesidades de la estructura (estrategia c).
- La estructura podría fortalecerse repetidamente, ya que el verde muestra un gráfico de dientes de sierra, para mantener un nivel aceptable de

rendimiento durante un tiempo prolongado (estrategia d).

## 4. Informes

### 4.1 Ajuste del programa de encuestas

Es necesaria una interpretación preliminar de los resultados de la encuesta casi en tiempo real para identificar resultados dudosos o singularidades geológicas, y definir cualquier ajuste necesario al programa de levantamiento.

### 4.2 Estudio sobre incertidumbre de Costos

Respecto a una obra portuaria característica, Costaras y Bray (2011) plantean una problemática muy interesante al determinar el efecto de un escaso conocimiento de las características de los suelos a dragar sobre los costos de los diferentes componentes.

En la figura 7 se indica la sensibilidad del costo de cada uno de los componentes de la obra a cambios en las características del suelo con respecto a un caso base. Para el mismo se eligió el amterial arena y se calculó la variación de costos para otros materiales en función del tipo de estructura. Se puede observar cómo las máximas variaciones se producen para el caso de la obra de dragado, llegando a aumentar en un 500% en el caso que el suelo sea de roca dura, en lugar de arena.

Debe tenerse en cuenta asimismo que en muchas oportunidades la obra de dragado es uno de los ítems de mayor valor en la obra total. Por estos motivos debe revisarse un criterio bastante extendido donde se asignen los recursos disponibles para investigaciones geotécnicas por igual dentro de toda la obra.

Item	Sand	Soft Clay	Medium Clay	Stiff Clay	WK Rock	MS Rock	VS Rock
Marine operations platform	Base Case	+20%	+10%	same	+10%	+20%	+30%
Berth	Base Case	+20%	+10%	same	+10%	+20%	+30%
Trestle	Base Case	+20%	+10%	same	+10%	+20%	+30%
Breakwater	Base Case	+50%	+10%	same	same	same	same
Construction Dock	Base Case	+30%	+10%	same	+5%	+10%	+20%
Dredging	Base Case	+5%	+10%	+20%	+100%	+300%	+500%
Shoreline protection	Base Case	+30%	same	same	same	same	same

Figura 7: Porcentajes de aumento de obra según el tipo de suelo y obra.

En consecuencia, es más recomendable asignar una porción mayor de los recursos disponibles a la investigación de los suelos para



los ítems que pueden tener una mayor variabilidad de costos debidos a una investigación insuficiente, entre ellos, principalmente a las obras de dragado.

Debido a que la ingeniería geotécnica requiere un juicio y una opinión experimentada, por consiguiente es menos exacta que otras disciplinas de diseño. El informe de la operación de campo, pruebas "in situ", de laboratorio e interpretación de los resultados de la prueba deben incluir un nivel de detalle que permita al lector seguir cada paso de la interpretación. La interpretación debe basarse, además de en los datos geotécnicos, en los geológicos y geofísicos. Los datos notificados deben estar en formato digital para facilitar su uso e interpretación.

### 4.3 Presentación de la información

Es de destacar que la presentación de la información obtenida a todo lo largo de la investigación geológica y geotécnica y los informes asociados a la misma son de fundamental importancia. La información se puede presentar de dos maneras que no son excluyentes. Por un lado, es factible presentar la información obtenida de las investigaciones de campo y análisis de laboratorio y los correspondientes informes operativos tal como fueron realizados. En este tipo de información se incluyen los informes descriptivos de cómo se realizaron las campañas con la indicación de embarcaciones, equipos utilizados, registros de las perforaciones efectuadas, entre otros.

Por otra parte, se puede efectuar una interpretación de los datos incluyendo un modelo geotécnico de la zona y definición de las características de los materiales encontrados.

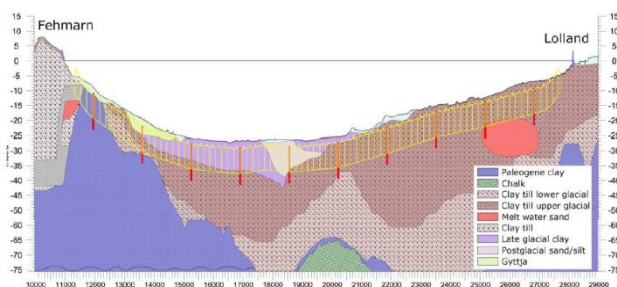


Figura 8: Perfil longitudinal obra Femern Sund Baelt – túnel de vinculación entre Alemania y Dinamarca.

## 5 Buenas Prácticas

Las buenas prácticas comienzan con la supervisión del director de proyecto. Es fundamental para el éxito de una investigación geotécnica que los trabajos de campo sean supervisados y dirigidos por geotécnicos

experimentados y calificados ingenieros. No seguir este simple consejo conducirá inevitablemente a desastres costosos.

A fin de garantizar que la calidad del trabajo sea suficiente, es fundamental la selección de muestras para las pruebas de laboratorio, y ajustar el programa de pruebas de suelo cuando sea necesario por intermedio de un ingeniero geotécnico experimentado. La experiencia en la calidad es particularmente importante cuando el contexto geológico del sitio no es bien conocido y/o cuando los datos existentes sean deficientes.

### 5.1 Calidad del trabajo

El propósito aquí es asegurar la relevancia, suficiencia y confiabilidad de los datos adquiridos e integrar con los datos recopilados durante otras inspecciones del sitio. El supervisor geotécnico debe garantizar que todos los datos constituirán un punto de partida satisfactorio para el desarrollo de una base segura y optimizada de diseño para el análisis de todos los riesgos geológicos identificados y, posiblemente, la definición del equipo apropiado que permita la construcción/instalación de cualquier tipo de estructuras. Se deben realizar perforaciones, muestreos y pruebas "in situ" de acuerdo con las buenas prácticas y los estándares de la industria. Es vital que se disponga de las herramientas de muestreo adecuada en función del tipo de suelo, la densidad y la consistencia presentes en un sitio.

### 5.2 Pruebas de laboratorio

El supervisor a cargo debe:

- Seleccionar muestras representativas para las pruebas de laboratorio y validar el programa del laboratorio (teniendo en cuenta la homogeneidad del suelo encontrado).
- Asegurarse de que la calidad de la recuperación de la muestra sea suficiente para las pruebas propuestas (muestreo sin perturbaciones requeridas para las pruebas mecánicas), y garantizar la calidad del acondicionamiento para el transporte.
- Definir el programa de pruebas de laboratorio teniendo debidamente en cuenta los objetivos del ensayo.
- Debe prestarse especial atención a la selección de muestras representativas.
- Definir el ajuste pertinente y apropiado a los procedimientos de prueba habituales (como los niveles de resistencia).
- Definir el calendario de pruebas para asegurar que todo el programa previsto se desarrolle sin retrasos inaceptables,

sabiendo que el proceso de pruebas de laboratorio está en el camino crítico para la elaboración del informe interpretativo final.

### 5.3 Evaluaciones Ambientales

En las últimas décadas, las Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA) se han convertido en una parte indispensable de las investigaciones sobre el terreno.

Las evaluaciones ambientales determinarán:

- a) La presencia de contaminantes en el lugar o en sus alrededores las zonas de préstamo y/o recuperación;
- b) La existencia de flora y fauna que puedan verse afectadas en el caso de la obra en gran escala;
- c) Los efectos potenciales de la extracción del material de relleno en el medio ambiente.

### 6 Importancia de las investigaciones

Concluyendo, las principales objeciones a los estudios disponibles son las siguientes:

- a) Desafortunadamente, todavía no existe ningún método probado empíricamente para calcular qué proporción de construcción de infraestructura, mantenimiento y costos de operación deben atribuirse al transporte de bienes y pasajeros u otros fines.
- b) Los estudios existentes sobre el tema se refieren principalmente a la cuestión de cómo se debe cobrar a los usuarios por su uso de la infraestructura de transporte (peajes). La mayoría de estos estudios tienden a utilizar cifras medias de los últimos años para determinar costos de construcción y mantenimiento. Generalmente se ignora las fluctuaciones propias a la sobreinversión o subinversión temporal, mantenimiento inapropiado, dimensiones de las carreteras, ferrocarriles, puertos y vías navegables, la topografía, condiciones especiales en zonas urbanas, condiciones especiales para el transporte de los bienes, entre otros. Además, los costos fijos (costos de infraestructura existente, que son independientes del volumen de tráfico) a veces se consideran costos irre recuperables e irrelevante para los precios. Por ejemplo, un estudio del Servicio de Navegación del río Sena sugiere que solo el 18% de los costos totales de infraestructura del río debe ser atribuido al transporte de agua. Por lo tanto, utilizar cifras promedio para tomar decisiones de inversión puede conducir a

conclusiones falsas, especialmente en relación con las áreas montañosas, o cuando se dispone de un canal natural.

- c) Los diversos informes muestran una enorme variación en tipos de costos externos y su valoración. Un informe por ejemplo, afirmó con respecto a la contaminación que solo se tuvieron en cuenta los costos de la enfermedad. Otro informe advirtió que el calentamiento global y sus efectos sobre la vegetación también deberían incluirse, pero no se puede poner un valor en el costo. La base teórica de los métodos (excepto para la seguridad del tráfico) parece débil.

Por consiguiente, se recomienda de forma imperiosa promover la adquisición de conocimientos teóricos y empíricos de la atribución de costos internos y externos, sobre el tema marítimo, fluvial, vial, ferroviario, medioambiental y económico, en el cual se reúnan a los expertos en las diferentes materias.

### 7 CONCLUSIÓN

La conservación y el uso prolongado de las instalaciones existentes dependen de la operación, el mantenimiento, la reparación y la renovación eficientes de estas estructuras

La necesidad de prolongar la vida útil de las infraestructuras más allá del diseño original, requiere el conocimiento de la misma y su importancia sobre la base de regímenes eficaces de inspección de estado, el registro riguroso de los datos y la presentación de los resultados en una forma que sea pertinente para los responsables de la toma de decisiones.

### 8 REFERENCIAS

Escuela de Graduados en Ingeniería Portuaria (EGIP), marzo 2020, Cátedra Ingeniería de Dragado, "Investigaciones Geológicas y Geotécnicas", Universidad de Buenos Aires, Argentina.

Whiteley, B. (2002) "Integrating geophysical and geotechnical technologies for improved site assessments of port and harbours" PIANC Congress Sydney 2002.

International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering [ISSMGI (2005)], "Geotechnical and Geophysical investigations for Offshore and Nearshore Developments".

PIANC (2006), InCom WG 25, "Maintenance and Renovation of Navigation Infrastructure", PIANC, Brussels.

Costaras, M.P; Bray, R.N. et al (2011) "The importance of bed material characterization in planning dredging projects" Terra et Aqua, Number 123, June 2011.

David Kinlan, Dirk Roukema et al (2010) "Adverse Physical Conditions and the Experienced Contractor", Terra et Aqua, Number 119, June 2010.

Holger Weilbeer. et al (2015) "Contractor vs Client\_ Who Pays for Overdredging?", Terra et Aqua, Number 139, June 2015.

WG 17 MarCom (1990), PIANC "Inspection, Maintenance and Repair of Maritime Structures Exposed to Damage and Material Degradation caused by a Salt Water Environment".

WG 21 InCom (2005), PIANC, "Economic Aspects of Inland Waterways".

WG 23 InCom (2000), "Site investigation requirements for dredging works"

WG 25 InCom (2006), "Maintenance and Renovation of Navigation Infrastructure".

WG 31 InCom (1998), "Life Cycle Management of Port Structures General Principles".

WG 103 MarCom (2008), "Life Cycle Management of Port Structures Recommended Practice for Implementation".

WG 123 MarCom (2014), "Countries in Transition (CIT): Coastal Erosion Mitigation".

## 9 ANEXO

<b>Comparación de las técnicas de investigación del sitio</b>		
	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Métodos sísmicos y geofísicos:</b> (perfilador de fondo, ecosonda)	Útil para establecer la geología probable sobre un área grande. Ayudará a establecer una red de perforación y espacios en detalle entre perforaciones.	Se necesita un experto para elegir la mejor combinación de sistemas disponibles para el trabajo en cuestión. Se necesita una cuidadosa interpretación de los datos. Esto a menudo puede llevar a la discusión. Especialmente vulnerable si sólo se producen cambios leves en los estratos (sin límite determinado entre las capas).
<b>Sonar de barrido lateral</b>	Detección de superficies y objetos del fondo.	No apto para evaluar las propiedades del suelo.
<b>Jet a presión</b>	Método relativamente fácil y rápido para establecer lecturas puntuales para la parte superior de la roca.	Ningún otro propósito. Precisión dudosa: puede identificar rocas en lugar de la parte superior de la roca.
<b>Perforación rotativa</b>	El mejor método para obtener muestras de núcleos de rocas intactas en condiciones in situ.	Operado desde plataforma. Retraso meteorológico durante el reposicionamiento. Costoso. La evaluación de conglomerados o rocas erosionadas es fundamental.
<b>Perforación con barreno y sacamuestra</b>	Método empleado para obtener muestras representativas y sin perturbaciones.	Generalmente se opera desde la plataforma, de lo contrario, es propenso a los movimientos del barco. No aplica para rocas o conglomerados.
<b>Vibrocores</b>	Bastidor bajado al lecho marino. Costos relativamente bajos.	Penetración máxima de 3 a 5 metros. Solo apto para suelos arcillosos arenosos. Muestras levemente perturbadas.
<b>Cone Penetration Testing (CPTs)</b>	Lectura continua de la presión del cono y el corte a lo largo de la longitud de penetración. Indicación del tipo de suelo en suelos cohesivos y arenosos.	No aplica para rocas o conglomerados. Sin muestras.
<b>Standard Penetration Tests (SPTs)</b>	De uso común en todo el mundo, da una indicación de densidad relativa. Combinación con muestreo.	La ejecución precisa de acuerdo con la prueba estándar a menudo se ve comprometida. Gran dispersión en relación con la densidad relativa a SPT. No utilizar en arenas cementadas.
<b>Muestreo de Van Veen</b>	Bajo costo.	Muestra perturbada, de la parte superior del fondo marino.
<b>Prueba de laboratorio</b>	Establecer los valores de ingeniería requeridos (ya sea parámetros mecánicos de suelos clásicos o indicadores especiales de dragado). Un programa de laboratorio bien redactado aumenta enormemente el valor de las investigaciones in situ.	A menudo consume mucho tiempo. Selección de muestras que no deben subestimarse. Lo mismo ocurre con los informes adecuados.