

ESCUELA DE GRADUADOS EN INGENIERIA PORTUARIA

CATEDRA

INGENIERIA DE DRAGADO

PROFESOR TITULAR

ING. RAÚL S. ESCALANTE

TEMA 3

INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS Y GEOTÉCNICAS

Marzo 2012

TEMA 3
INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS Y GEOTÉCNICAS

ÍNDICE

	Tema	Página
3	<u>INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS Y GEOTÉCNICAS</u>	
3.1	CONSIDERACIONES GENERALES	
3.2	OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA	
3.3	CLASIFICACIÓN DE SUELOS Y ROCAS	
3.4	ASPECTOS QUE DIFERENCIAN LA INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA	
3.5	ETAPAS	
3.6	MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA	
3.6.1	<u>Modelo Geológico/Geotécnico</u>	
3.6.2	<u>Muestras superficiales</u>	
3.6.3	<u>Elevamientos geofísicos</u>	
3.6.4	<u>Vibrocoring</u>	
3.6.5	<u>Perforaciones</u>	
3.6.6	<u>Dragado piloto</u>	
3.7	INTENSIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	
3.8	PRESENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN E INFORMES	
3.9	LINEAMIENTOS A SEGUIR AL REALIZAR INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS	
3.9.1	<u>Aspectos generales</u>	
3.9.2	<u>Ubicación área y cantidad</u>	
3.9.3	<u>Clasificación de materiales y propiedades físicas</u>	
3.10	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXO A	

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Calidad de la información suministrada al Contratista y valores típicos de reclamos
Tabla 3.2	Requerimientos para obras de dragado
Tabla 3.3	Incertidumbre de costos por variación en el tipo de suelo
Tabla 3.4	Parámetros geotécnicos básicos necesarios
Tabla 3.5	Parámetros geotécnicos adicionales
Tabla 3.6	Alcance de las investigaciones geofísicas
Tabla 3.7	Alcance de las investigaciones geotécnicas

INDICE DE FIGURAS

Figura 3.1	Estrategia para una investigación geotécnica
Figura 3.2	Vibrocorer
Figura 3.3	Plataforma tipo Jack up para realizar perforaciones
Figura 3.4	Registro fotográfico de una muestra de roca

3 INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS Y GEOTÉCNICAS

3.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Dentro de las investigaciones de campo, las investigaciones geológicas y geotécnicas son las más complicadas, las más caras y las que mayor efecto tienen sobre los costos de las obras dragado.

El aspecto principal del conocimiento de las características de los materiales a dragar es que permite realizar una adecuada selección del equipo de dragado a utilizar, los rendimientos que se van a tener con cada tipo de draga y por lo tanto es un aspecto decisivo en lo que hace a la definición de los costos de dragado.

Whiteley (2002) plantea la conveniencia del adecuado suministro de información geotécnica para evitar los reclamos posteriores en los contratos. La experiencia de obras de ingeniería civil en tierra muestra que hay una fuerte correlación entre la calidad de la información de campo suministrada a los Contratistas y el resultado del contrato. La Tabla 3.1 fue preparada en Australia en relación con grandes obras de construcción de caminos durante un periodo de 20 años donde el rubro excavación es uno de los ítems principales de la obra. En este caso el costo de investigaciones de campo es alrededor de 1% del valor de la obra

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 %

Tabla 3.1 – Calidad de información suministrada a los Contratistas y valores típicos de reclamos

La Tabla 3.1 muestra claramente que los reclamos para pagos adicionales pueden disminuirse significativamente si se suministra información geotécnica completa en la etapa de presentación de ofertas. Este aspecto les permite a los Contratistas tener una apreciación realística de las condiciones geotécnicas existentes y los riesgos geotécnicos asociados. También permite identificar con anterioridad condiciones no conocidas genuinas que pueden ser consideradas mejor en alguna cláusula del contrato que mediante disputas contractuales.

En opinión de Whiteley (2002) 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 si mismo sino un aporte fundamental tanto para las fases de proyecto y como de construcción de las obras.

En Septiembre 2005 la International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering presentó un Manual denominado “Geotechnical and Geophysical investigations for Offshore and Nearshore Developments” (Ref. 3.10.10) en el que

se incluye los requerimientos propios de las obras de dragado y que se considera una muy buena referencia para ampliar los conceptos que se presentan en este capítulo. El Manual es muy completo y específico y no hay muchas obras de referencia de estas características. Se puede obtener copia del Manual en la página de la EGIP.

3.2 OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA

Las propiedades del suelo tienen una gran influencia en las diferentes etapas del proceso de dragado que son:

- Excavación: comprende la disgregación, fragmentación o corte del suelo o roca
- Elevación: desde el fondo hasta la superficie mediante medios mecánicos o hidráulicos
- Transporte: del material excavado a un sitio de deposición o relleno en las cántaras de los buques, en barcazas o mediante tuberías como mezcla de agua y sedimentos (slurry)
- Disposición o Uso del material dragado

Cada etapa del proceso está afectada en forma significativa por la naturaleza y características de los materiales a dragar. Los principales requisitos de información pueden dividirse esencialmente en *información geológica* que corresponde a la forma de distribución, volúmenes y características geológicas de los materiales e *información geotécnica* que corresponde a las propiedades mecánicas de esos materiales.

Table 6.1: Summary of geological data requirements for dredging works

Basic Geological Data concerning volumes of material to be dredged	Identification of Main Geological Units in Dredging Area	
	SOIL	ROCK
Basic Geological Data concerning types of material	Identification of Soil Units	Identification of Rock Units
	Quantification Location, depth (level), thickness	Quantification Location, depth (level), thickness
	Description of Soil Units Principal Constituents Minor Constituents Homogeneity Colour Particular shape and angularity Structure: Bedding Fissuring Homogeneity	Description of Rock Units Rock Name Colour Weathering Homogeneity Bedding: Thickness and orientation Jointing: Spacing and orientation Fracturing: Spacing and orientation All structures: Infilling, openness etc.
Supplementary geotechnical information provided by visual description	Compactness/Strength Plasticity	Strength Degree of Cementation Mineralogy

Tabla 3.2 – Requerimientos para obras de dragado (PIANC 1984)

Por lo tanto el objeto de las investigaciones geológicas y geotécnicas es:

- i. Determinar volumen y distribución de los diferentes materiales existentes en el fondo: es necesario determinar los volúmenes a dragar absolutos y relativos, la estratigrafía de los materiales, el espesor de las capas a dragar.

El perfil de materiales a dragar, en muchos casos, está compuesto por materiales de diversos tipos, por ejemplo, arenas densas sobre fondos rocosos; limos sobre arenas densas, etc. La producción de los equipos de dragado varía mucho en función del tipo de material.

El espesor y el área en la que se encuentra un determinado material son muy importantes pues afectan directamente la producción de los equipos de dragado. En general, cuando el espesor de la capa a ser dragada es importante la producción de los equipos de dragado es mayor y por lo tanto más económica de dragar que capas de pequeño espesor. En casos de dragado de capas de pequeño espesor la variable crítica es el área en la que está distribuido el material más que el volumen y en ciertos casos, el tipo de material.

- ii. Mediante la ejecución de análisis in situ y en laboratorio establecer todas las propiedades físicas y mecánicas que puedan influenciar las operaciones de dragado y el transporte del material
- iii. Determinar las condiciones de los materiales en las cuatro situaciones: in situ, excavado, transportado, depositado
- iv. Establecer si el material es adecuado para utilizar en rellenos de playas o áreas para usos posteriores (reclamation)
- v. De acuerdo al tipo de material, principalmente su granulometría, se deben evaluar los eventuales efectos ambientales
- vi. Establecer las pendientes de los taludes de los canales o áreas a dragar
- vii. Determinar la dragabilidad del material

La lista anterior pretende evitar que se produzca algunos de los problemas más habituales de las obras de dragado relacionadas con el conocimiento de suelos y rocas. Algunos de esos problemas típicos son:

- Presencia de rocas o materiales duros, especialmente cuando estos materiales aparecen en una etapa muy avanzada del proyecto
- Suelos o rocas muy duros para el equipo de dragado seleccionado para el proyecto
- Suelos o rocas muy duros, muy densos o muy impermeables afectando seriamente las tasa de producción de los equipos de dragado
- Colapso de taludes por roturas no controladas, licuefacción o falla del círculo de fricción, causando daños a terrenos, estructuras o fundaciones
- Relleno muy rápido de trincheras o dársenas ya dragadas debido a regímenes de transporte de sedimentos, arenas o limos, muy intensos
- Que el suelo in situ no cumpla con las especificaciones requeridas para efectuar los rellenos previstos, en particular que el contenido de finos de arena sea demasiado alto. Esto puede llevar a que la arena no sea posible de densificar bajo agua y por lo tanto incrementando la sensibilidad a la licuefacción
- Partículas finas en suspensión cerca del área de dragado, o cerca del área de refulado produciendo turbidez excesiva en el agua

- Contaminación del medio ambiente acuático a partir del dragado de materiales contaminados

Seguramente que los problemas se van a poder resolver pero van a tener una incidencia importante en el incremento de costos de la obra.

3.3 CLASIFICACIÓN DE SUELOS Y ROCAS

PIANC tuvo siempre como tema importante la clasificación de los suelos a ser dragados. Así en 1972 a través de una International Study Commission produjo un Manual sobre la "Classification of Soils to be dredged" (Bulletin No 11, Vol1 ,1972). Dicho Manual incluía recomendaciones de procedimientos para la identificación, clasificación general, muestreo y ensayo de suelos y rocas. En 1984 se realizó una revisión del Manual de 1972 (Bulletin No 47, 1984). Este nuevo Manual presenta una clasificación basada en la British Standards (BS 5930),

El Manual se focaliza en el proceso de dragado, o sea, en la etapa de disgregación de suelos y rocas. La mayor parte de la información se presenta en tablas por lo que el Manual tiene solo 14 páginas y es un documento muy utilizado desde su aparición a la fecha

En Julio de 2009 PIANC estableció el MarCom WG 144 para actualizar los manuales anteriores con la denominación **Classification of soils and rocks for the maritime dredging process**. En este nuevo Manual se pretende tener en cuenta las características de los suelos en todo el proceso de dragado, o sea, no solamente en la etapa de disgregación sino también lo relativo a la etapa de transporte y durante el uso del material como relleno. Sin duda que el gran crecimiento de la industria del dragado requiere recomendaciones para el proceso de dragado completo así como un sistema internacional uniforme de clasificación de suelos y rocas por lo que la aparición de este Manual va a ser muy bienvenido

3.4 ASPECTOS QUE DIFERENCIAN LA INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA

Los siguientes aspectos diferencian la investigación geotécnica para dragado de las otras obras de ingeniería civil:

a. Relación directa entre tipo de suelo y costos de dragado

El tipo de suelo a ser dragado define el tipo de draga que debe utilizarse, los rendimientos a obtener con los equipos elegidos para realizar el dragado, las condiciones de transporte y otros aspectos fundamentales. Dado el alto valor de los equipos de dragado queda así definida la mayor parte de los costos de las obras.

b. Área a ser investigada muy grande: las obras de dragado se desarrollan en general en extensiones significativas. Si tomamos, por ejemplo, el caso del dragado de apertura de un canal de navegación, los estudios de suelos deben cubrir kilómetros de extensión.

c. Ambiente hostil que requiere técnicas especiales. Las obras de dragado se realizan en muchos casos en ambientes acuáticos fluviales o marítimos. En primer lugar las investigaciones se realizan desde una plataforma o desde un buque en un medio acuático y la distancia entre la superficie y el fondo puede ser importante. En la vía navegable troncal el fondo se encuentra 11 metros por debajo de la superficie del agua. En situaciones normales la variación de los niveles de agua, las corrientes y el oleaje ponen condiciones difíciles a las tareas de campo

d. Los datos de suelos que se obtienen se utilizan con diferente objetivo que en las obras habituales, o sea, el objetivo principal es determinar las condiciones de dragabilidad de los suelos y no, por ejemplo, su capacidad portante. El concepto de dragabilidad incluye tanto las características del suelo como las del equipo de dragado que se va a utilizar. En el caso de existir materiales de diferentes características en un mismo sitio el equipo elegido debe estar en condiciones de dragar adecuadamente esa diversidad de materiales. La dragabilidad de los suelos se estipula en grandes categorías, como ser, fácilmente dragable, normal, difícil, muy difícil

Los resultados de los estudios geotécnicos determinan la selección del tipo de draga a utilizar y los rendimientos a obtener con la utilización de la misma

Como consecuencia de los aspectos mencionados las investigaciones geotécnicas para las obras de dragado tienen un costo elevado. La situación que se presenta en el caso de no realizar investigaciones adecuadas es tener que pagar mayores precios por las obras de dragado por la incertidumbre que tienen los contratistas con respecto a la ejecución de los trabajos o tener que afrontar posteriormente reclamos por la aparición de situaciones imprevistas

3.5 ETAPAS

Para poder obtener un modelo geotécnico suficientemente detallado [PIANC (2002)] la investigación geológica y geotécnica se realiza en etapas sucesivas y de diferente profundidad 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 oportunidad de ejecutar la investigación la investigación geotécnica la realiza en primera instancia el Comitente por sí o por medio del Ingeniero cuando realiza un estudio de factibilidad de la obra y la profundiza cuando realiza el Proyecto de la misma y la elaboración de los pliegos de licitación. Los Oferentes pueden realizar estudios de suelos para estar en mejores condiciones de presentar sus ofertas y se pueden efectuar estudios complementarios previos a la ejecución de las obras

En lo que hace a etapas, es conveniente seguir una estrategia para realizar la investigación geotécnica de las características que se muestran en la Figura 3.1. Primero es importante realizar un detallado análisis de gabinete de todos los antecedentes y estudios existentes. Siempre existe mucha información procedente de estudios ya realizados con diferentes objetivos. Este primer análisis 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.

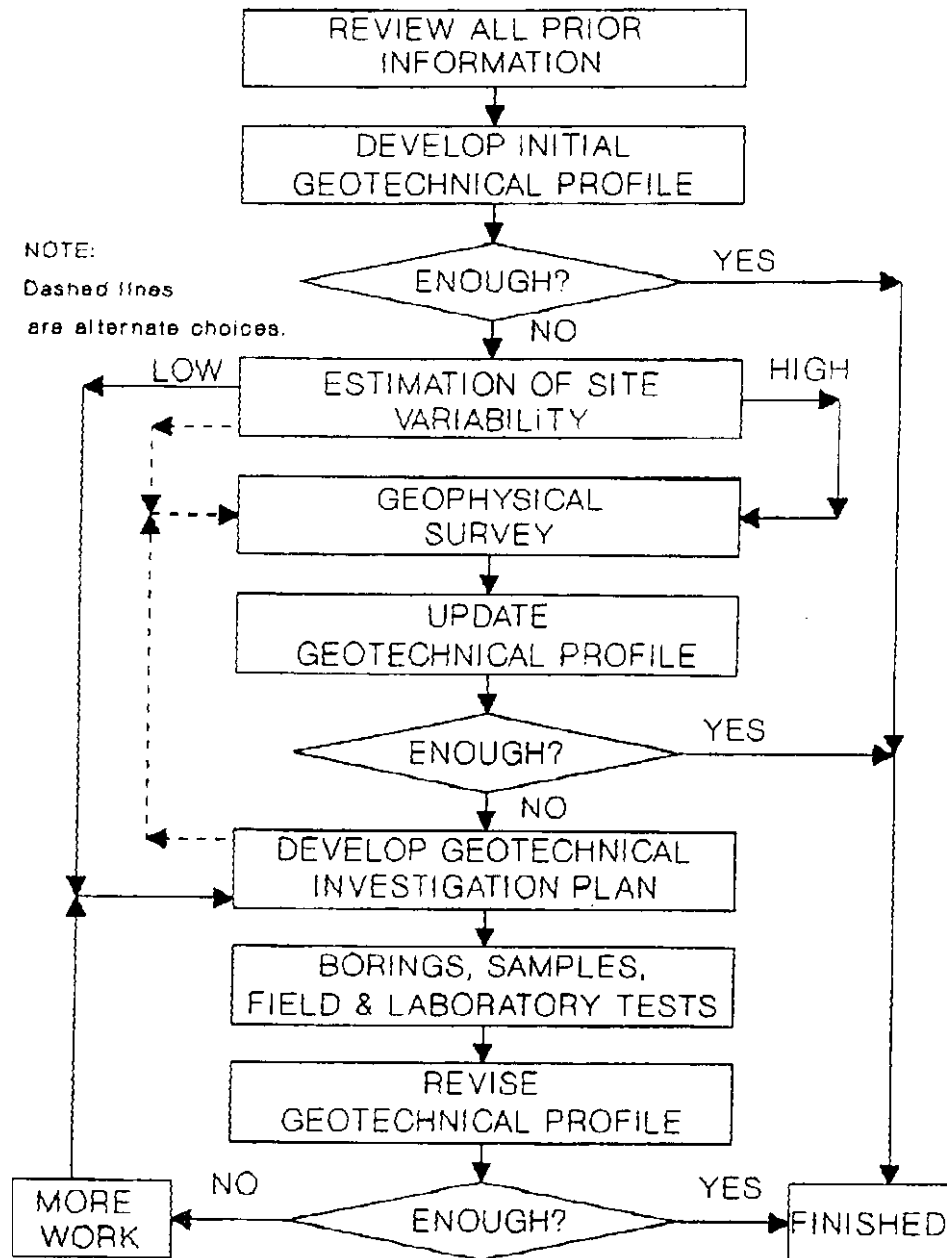


Figura 3.1 – Estrategia para una investigación geotécnica

En función de los resultados se actualiza el modelo geotécnico propuesto y se propone realizar vibrocorings en los lugares donde se tienen dudas acerca del material existentes. Se realiza una nueva actualización del modelo geotécnico y si fuera necesario se propone la realización de perforaciones controladas en sitios elegidos y los correspondientes análisis de laboratorio de las muestras obtenidas.

3.6 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA

Se efectúa una breve descripción de los métodos disponibles para efectuar la investigación. En PIANC (2000) "Site investigations requirements for dredging

Works” se indica específicamente a través de una serie de tablas el tipo de ensayos en el campo y en el laboratorio que son necesarios ejecutar sobre las muestras obtenidas de acuerdo al destino de los materiales. Asimismo mayor información puede obtenerse en Bray (1997). La norma ROM 0.5-94 presenta en castellano un desarrollo muy completo del tema. Se recomienda asimismo consultar Ref. 3.10.10

Un artículo particularmente interesante es Johnson (2005) donde se incluye un apartado denominado “Guidelines for geotechnical site investigations” que refleja la amplia experiencia del autor en el tema. Un resumen de esos comentarios se presenta en el párrafo 3.8

Hay una serie de procedimientos que se utilizan para la obtención de muestras o información de las características de suelo. Cada uno de estos procedimientos conlleva el uso de tiempos y recursos de diferente magnitud por lo que usualmente se van aplicando de manera sucesiva a medida que se va completando el conocimiento del modelo geotécnico del lugar.

Uno de los aspectos que encarece la ejecución de los relevamientos de campo es la necesidad de usar embarcaciones adecuadas que tienen un costo diario muy elevado.

3.5.1 Modelo Geológico/Geotécnico

Una forma de disminuir los riesgos provenientes de la información geotécnica es la construcción de un modelo geológico/geotécnico para el lugar. El modelo debe ser independiente del método de excavación y debe reflejar con precisión las condiciones del subsuelo marino. Inevitablemente la presencia del nivel de agua incrementa el costo de desarrollar este modelo si lo comparamos con la situación de obras en tierra firme y pone una gran presión en la interpretación de registros geofísicos marinos como uno de inputs al desarrollo del modelo. Cada tipo de información utilizada como dato de entrada debe ser considerada independientemente sin realizar ningún intento de ajustar o armonizar, por ejemplo, la interpretación geofísica con la información de perforaciones o de datos inferidos derivados de la observación de procesos costeros actuales. En muchas ocasiones discrepancias aparentes o inconsistencias entre diferentes grupos de datos lleva a descubrimientos y marca deficiencias en la información disponible que se utiliza para la construcción del modelo. Cuando una parte de los datos se utiliza para controlar el resto y las contradicciones son simplemente atribuidas a errores en los datos o en las interpretaciones se puede llegar a tener problemas importantes. [Whiteley (2002)]

3.5.2 Muestras superficiales

Las muestras superficiales son muy fáciles de obtener. Se obtienen en general al mismo tiempo que se realizan otras operaciones tales como relevamientos batimétricos o geofísicos. Se debe indicar claramente el sitio de obtención y de las muestras se efectúa una descripción visual y análisis de laboratorio, principalmente granulométrico.

Las muestras superficiales de fondo nos indican el tipo de material existente en superficie y en las primeras capas del fondo. Si bien la información suministrada se limita a esa parte superficial la obtención de información es rápida y económica.

3.5.3 Relevamientos geofísicos

Una buena forma de tener un perfil continuo del suelo es efectuar un relevamiento geofísico que se considera como un método indirecto pues no toma contacto directamente con el suelo. Los dos métodos más comunes de investigación geofísica utilizados para investigaciones para obras de dragado son reflexión sísmica y refracción sísmica. Se recomienda la lectura de la Ref. 3.10.10 Capítulo 4 para ampliar este tema

Para aguas de poca profundidad, que es el caso de la mayoría de las obras de dragado, la técnica más utilizada es la ejecución de un relevamiento mediante reflexión sísmica, especialmente cuando el área a investigar es muy extensa. El método suministra un perfil continuo hasta profundidades de 30 m o más dependiendo del tipo de equipo utilizado y las características del suelo principalmente de los horizontes reflectivos existentes. Los relevamientos sísmicos mediante reflexión pueden realizarse muy rápidamente y son por lo tanto muy útiles para extrapolar la interpretación entre registros de perforaciones alejadas entre sí.

Un aspecto de fundamental importancia al analizar los resultados de un relevamiento sísmico por reflexión es que el mismo no da información por sí mismo sino que los resultados deben ser calibrados contra muestras directamente obtenidas mediante vibrocoreo o perforaciones. Por lo tanto la utilización de relevamientos sísmicos por reflexión debe ser considerada siempre como una parte de un plan de relevamientos y no una acción aislada. Los relevamientos geofísicos son complementarios de los métodos directos y no una sustitución de los mismos.

Cuando se consideran en este sentido los relevamientos sísmicos por reflexión pueden proveer información muy valiosa y a un costo aceptable de las condiciones de suelo entre perforaciones.

Los relevamientos mediante refracción sísmica son más difíciles de ejecutar en el ambiente marino y son más lentos y más costosos. Sin embargo, suministran información cuantitativa sobre la velocidad de propagación a través de los materiales que se encuentran en el subsuelo y esta característica puede utilizarse para tener una indicación subjetiva de las características generales del material de fondo. No obstante ello, esto no significa que el método de refracción sísmica pueda ser utilizado en forma independiente como método de investigación.

Los relevamientos sísmicos suelen realizarse al mismo tiempo que los relevamientos batimétricos y los relevamientos ejecutados con sonares de barrido lateral.

3.5.4 Vibrocoreo

Obtener muestras directas de suelo mediante *vibrocoreo* es una técnica rápida y eficiente desde el punto de vista del costo. Se utiliza frecuentemente en el estudio de suelos de obras de dragado cuando los suelos son relativamente blandos. Este método es relativamente eficiente para ubicar, clasificar y muestrear materiales granulares y suelos blandos y para indicar las zonas donde la dureza del material produce el rechazo de muestreador indicando con esto el techo del material duro. Por otra parte las muestras obtenidas con este método **no** permiten determinar las

características geotécnicas del material in situ ni tampoco obtener muestras de suelos rocosos, cohesivos o duros.

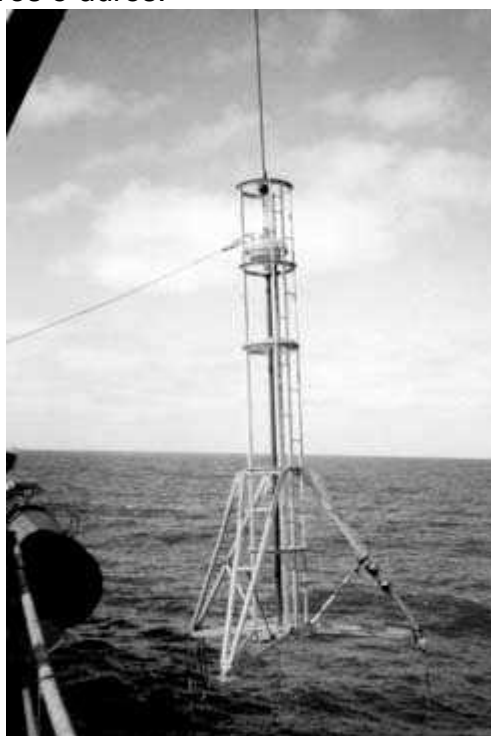


Figura 3.2 - Vibrocorer

Un marco que sostiene un tubo para la extracción de las muestras de 75mm o 100 mm de diámetro y hasta 6 m de longitud se coloca sobre el fondo con la ayuda de una grúa. Con la ayuda de un vibrador el tubo es hincado en el fondo. Finalizada la operación se recupera el tubo sacamuestras. La obtención de la muestra demanda un par de minutos y el tiempo total necesario para realizar la operación incluyendo el descenso del marco hasta el fondo, toma de la muestra, y recuperación del sistema puede llevar del orden de los 30 minutos por sitio.

Una ventaja del sistema vibrocoreing es que se puede trabajar desde una embarcación tipo "Supply vessel" con la ventaja de costos que implica comparado con la operación desde plataformas.

Por este motivo en el plan de muestreo se suele ser mas generoso con la cantidad de muestras a obtener mediante vibrocoreing que con las perforaciones.

Para ampliar este tema se puede consultar la página www.vibrocoreing.com

3.5.5 Perforaciones

La ejecución de perforaciones encamisadas mediante una máquina rotatoria es la manera más completa de obtener muestras continuas del perfil del suelo y a través de los análisis de laboratorio posteriores tener un conocimiento sin lugar a dudas del mismo. El hecho de tener que realizar las perforaciones desde una plataforma apoyada en el fondo, más los recursos humanos y materiales necesarios hace que el costo de realizar este tipo de investigación sea muy elevado. Por otra parte al tiempo que lleva realizar cada perforación debe agregársele el traslado entre los diferentes puntos de medición. En la Figura 3.3 se muestra una plataforma tipo Jack-up apta para realizar perforaciones

Estos aspectos hacen que a pesar de sus bondades la ejecución de perforaciones se efectúe solamente en el caso que la información suministrada por el resto de los procedimientos utilizados no permita definir satisfactoriamente el modelo geotécnico del lugar.

En la elección de los sitios donde perforar se utiliza la información ya obtenida mediante otros métodos para realizar la selección de ubicaciones de manera que suministren la información necesaria en los lugares con mayores dudas. Eso se denomina “targeted drilling”



Figura 3.3 – Plataforma tipo Jack-up para realizar perforaciones

La profundidad hasta donde se realizan las perforaciones debe ser tal que cubra todas las eventuales profundizaciones a las que se pueda llegar en el futuro. El costo de efectuar las perforaciones está principalmente en todo el operativo necesario para su ejecución por lo que el incremento de longitud de la perforación va a ser mucho menor que sus beneficios y la eventual necesidad de tener que volver al lugar a realizar una nueva perforación.

En base a estas consideraciones el número de perforaciones que se efectúan es relativamente reducido frente a las cantidades posibles de muestras a obtener mediante los otros tipos de muestreos si ellos son factibles. En los casos en que el material del fondo sea roca o arcillas consolidadas es el único método que se puede utilizar para obtener muestras directas.

3.5.6 Dragado piloto

Dentro de las posibilidades de realizar investigaciones de campo una de las herramientas más completas es la ejecución de un dragado piloto. Es utilizado en los casos en los que la estructura geotécnica es muy compleja, la factibilidad de realizar el dragado sin tratamiento previo del suelo está en discusión, los rendimientos de las dragas son muy difíciles de evaluar, la existencia de grandes cantos rodados u otras obstrucciones que producen demoras difíciles de cuantificar y otras situaciones similares.

Realizar un dragado piloto es caro y únicamente se justifica en proyectos importantes. Es conveniente utilizar para la ejecución del dragado piloto equipos similares a los que se van a utilizar en la obra definitiva.

La planificación del dragado piloto debe ser muy cuidadosa y elegir lugares realmente representativos del área a dragar. Asimismo la información obtenida del dragado piloto debe ser adecuadamente presentada en informes completos que incluyan tanto la información de suelos como la de los equipos utilizados, las condiciones ambientales durante el trabajo y los rendimientos obtenidos.

En algunas raras oportunidades como fue el caso del Estudio del Canal de Acceso al Puerto de Bahía Blanca [NEDECO (1982)] se utilizó el dragado piloto realizado para estudiar adicionalmente a lo largo de varios años los volúmenes de sedimentación esperados. En ese caso el lugar elegido así como las dimensiones del área a dragar fueron cuidadosamente estudiados para que el dragado no fuera simplemente un pozo en el fondo sino que representara las condiciones hidrodinámicas del futuro canal dragado. Con ello se podía suponer que las condiciones de sedimentación serían semejantes.

En el ejemplo de Bahía Blanca, Argentina, el dragado piloto tuvo las siguientes características:

- Dimensiones: 2000 m x 75 m
- Profundidad: 45 pies
- Volumen: 1.000.000 m³ aproximadamente
- Seguimiento: dos años con relevamientos batimétricos y toma de muestras trimestrales

Se utilizó una draga de succión por arrastre de 6,000 m³ de cántara, equipo muy similar al que se preveía utilizar en la etapa de construcción.

3.6 INTENSIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

No hay reglas fijas en lo que hace a la intensidad de la investigación como por ejemplo, el número de perforaciones a realizar o la separación entre líneas de relevamiento sísmico. El principio rector debería ser realizar la suficiente investigación que permita un buen conocimiento del modelo geotécnico del área bajo estudio en términos de los factores que tienen influencia en los procesos de dragado y transporte y consecuentemente, costos.

La intensidad con la cual un sitio en particular debe ser investigado depende principalmente de la complejidad geológica del lugar y de las distancias sobre las cual se producen la variación de condiciones.

Al margen de la cantidad de muestreos es importante que la profundidad a alcanzar exceda la profundidad de proyecto y que el área a relevar sea mayor a la de proyecto e incluya posibles alternativas de traza.

El detalle que se requiere va a depender en las propiedades de los materiales existentes. Si los materiales son semejantes desde el punto de vista de la dragabilidad de los mismos no tiene demasiado sentido insistir en una gran cantidad de perforaciones que van a mejorar el conocimiento académico del subsuelo mientras desde el punto de vista del dragado se van a ejecutar con el mismo equipo de dragado. Por otra parte, si la diversidad de materiales va a exigir diferentes equipos de dragado para su extracción o se va a producir una gran variación de rendimientos por la extracción de los mismos, está justificado realizar investigaciones mas detalladas.

3.7 PRESENTACION DE LA INFORMACION E INFORMES

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 se puede 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, etc. 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.

Por otra parte hay dos grupos de usuarios que van a utilizar los datos: el Comitente o el Ingeniero para el proyecto de las obras y el Contratista para presupuestar y programar los trabajos.

El Comitente para sus actividades de proyecto de las obras necesita toda la información incluyendo las interpretaciones realizadas. En lo que respecta al Contratista hay dos enfoques en cuanto a la cantidad y tipo de información que el Comitente tiene que poner a disposición del Contratista. La mayoría opina que al Contratista solo se le deben suministrar los datos objetivos de la investigación geotécnica y que el Contratista debe realizar la interpretación de los mismos. El otro enfoque sostiene que a los Contratistas se les debe suministrar toda la investigación realizada aprovechando el esfuerzo de interpretación ya realizado por aquellos que llevaron adelante la investigación geotécnica y por lo tanto estarían en las mejores condiciones para realizar una interpretación precisa de la información. Dado que hay claramente implicaciones contractuales vinculadas con la provisión de interpretaciones acerca de las condiciones de suelos debe efectuarse una evaluación de ventajas y desventajas antes de tomar una decisión.

3.8 LINEAMIENTOS A SEGUIR AL EJECUTAR INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS

Se presenta un resumen de las "Guidelines for geotechnical site investigations" presentada en un artículo por Johnson (2005) cuya lectura se recomienda. Cuando se mencione "perforaciones" se hace referencia tanto a vibrocorings como perforaciones.

3.8.1 Aspectos generales

- i. Ejecute perforaciones y vibrocorings dentro de las áreas donde se va a ejecutar el dragado y en los materiales que van a ser dragados en el proyecto en estudio

Aunque esta recomendación parezca obvia, hay muchos proyectos que se licitan con una gran parte de las perforaciones realizadas en zonas fuera de las áreas a dragar o en materiales que han sido dragados después de haber realizado la campaña de perforaciones.

El tráfico de buques, las corrientes y las mareas pueden hacer que realizar las perforaciones dentro del canal sea complicado por lo que en ciertas oportunidades estas perforaciones son efectuadas fuera de la zona del canal. En los puertos las perforaciones se efectúan en áreas donde se van a implantar obras civiles tales como muelles o edificios y no donde se va a efectuar el dragado. Asimismo las perforaciones pueden haber sido realizadas en áreas que posteriormente fueron dragadas y nuevamente rellenas por sedimentación.

- ii. Distribuya las perforaciones y vibrocorings en forma uniforme y cubriendo completamente las áreas donde se va a ejecutar el dragado

Distribuya y ubique las perforaciones a los efectos de suministrar información representativa de toda el área y no solamente de lugares específicos. Un lineamiento es ubicar perforaciones a una distancia máxima de 200 m dependiendo de la complejidad y variabilidad del fondo. En los casos de dragado de roca se recomienda que las perforaciones estén separadas aproximadamente 100 m. Es recomendable utilizar una grilla alternada para tener una mejor cobertura.

- iii. Realice un número adecuado de perforaciones y vibrocorings

Se puede realizar un cálculo del número de perforaciones necesarias (incluidos vibrocorings) con la fórmula de Verbeek

$$N = 3 + (A^{0.5})/40$$

donde

N = número de perforaciones

A = el área de dragado en metros cuadrados

Para proyectos de relleno de tierras con arena una relación de una perforación cada tres vibrocorings es una buena regla del arte. Para suelos cohesivos, materiales duros o rocas se deben realizar exclusivamente perforaciones ya que los vibrocorings no penetran lo suficiente.

- iv. Penetre y obtenga información de capas ubicadas a profundidades que superen bastante la profundidad de dragado prevista

Realice las perforaciones hasta por lo menos 5 pies por debajo de la profundidad de proyecto en suelos no rocosos y como mínimo 8 pies por debajo de la profundidad de proyecto cuando se prevea dragar roca. Para obtener el nivel mínimo de dragado las dragas tienen que dragar bastante más que la profundidad de proyecto. Las dragas de cortador

tienen que dragar mas profundo debido al material que no es captado por la succión (spillage) como se indica en la figura 3.xx Cuando se draga roca y se deben utilizar explosivos, los mismos deben colocarse en barrenos de longitud suficiente para lograr la fragmentación del material a dragar hasta la profundidad adecuada. Por lo tanto la información geotécnica debe cubrir también ese tramo a barrenar que es bastante mas profundo que la profundidad de proyecto.

Otra consideración a tener en cuenta es el eventual requerimiento futuro de profundización de una determinada obra, como es el caso del dragado de la vía navegable troncal en el Río de la Plata. Si bien se habla de profundizar a 36 pies en el futuro próximo se prevé incrementar esa profundidad hasta 40 o 42 pies más adelante. Es mucho más económico realizar todas las perforaciones en una sola oportunidad hasta la máxima profundidad posible que volver a realizar otra campaña.

- v. Realice todas las investigaciones geotécnicas, campañas de perforación, y ensayos geotécnicos de acuerdo a normas internacionalmente reconocidas sobre la materia
Para que la información obtenida en las campañas geotécnicas sea de utilidad para el Cliente, Contratistas o Consultores tanto las investigaciones de campo como los ensayos de laboratorio deben ser realizados de acuerdo a normas internacionalmente reconocidas. En los EEUU se utilizan las normas ASTM. Se puede consultar ASTM Annual Book of Standards Section 4, Construction, Volumen 4.08 y 4.09. Un excelente resumen para efectuar la investigación geotécnica y ensayos se puede consultar en PIANC (1984)
- vi. Almacene las muestras en forma adecuada para la ejecución de ensayos posteriores
La pérdida de la humedad natural de las muestras in situ puede alterar las propiedades de las muestras de suelo y roca. Almacene las muestras más pequeñas en contenedores estancos y envuelva los testigos de rocas en plástico para evitar la pérdida de humedad.
- vii. Provea a los futuros oferentes con informes geotécnicos completos
Las investigaciones geotécnicas se documentan con informes descriptivos que complementan los informes de las perforaciones y ensayos de laboratorio realizados. Habitualmente se hacen informes descriptivos y se suministran los datos de todo el equipamiento utilizado tanto en lo que se refiere a embarcaciones utilizadas, equipos de campaña y equipamiento de laboratorio. También se precisan los aspectos relacionados con sistemas de posicionamiento, planos de referencia, mediciones de profundidades, informes de las perforaciones, descripciones completas de los ensayos de laboratorio y resultados, notas de campo y de laboratorio y otros aspectos similares. Suministre estos informes a los oferentes para su evaluación.
- viii. Suministre un registro fotográfico en color de vibrocorings y muestras de suelo
Las fotografías color de los testigos obtenidos en las perforaciones suministran información cualitativa muy valiosa. Las fotografías deben tener la identificación de la perforación, profundidad de la muestra y una referencia métrica que permita determinar la longitud de los testigos. Toda la información disponible de las muestras debe incluirse en las

etiquetas que acompañan las muestras. Las fotografías deben tomarse en el lugar de muestreo de manera que evidencien el estado de la muestra con la mínima perturbación producido por el manejo posterior. La presencia de conchillas debe mostrarse en las fotos de las muestras individuales. Ver Figura 3.4



Figura 3.4 – Registro fotográfico de una muestra de roca - Fuente: Johnson (2005)

- ix. Almacene las muestras para inspección de los contratistas
La inspección física de los testigos suministra información cualitativa invaluable para los Contratistas

3.8.2 Ubicación, área y cantidad

- x. Tenga especial cuidado en el control vertical
La precisión de las distancias en el sentido vertical es crítica para la determinación y representación del techo de los materiales duros o materiales no aptos, interfases entre diferentes tipos de suelos y para la determinación de áreas y volúmenes de dragado. Las estimaciones de volúmenes de dragado son mucho más sensibles a los errores en el sentido vertical que a los errores en el sentido horizontal.

Dentro de los problemas que aparecen frecuentemente en este sentido se encuentra que no se haya tomado correctamente la influencia de la marea o se apliquen lecturas no precisas de alturas de marea a las indicaciones de profundidad de las perforaciones. Las nuevas tecnologías disponibles de posicionamiento electrónico pueden ayudar a resolver este problema.

Es importante incluir una estimación de la precisión lograda en el control vertical en el informe geotécnico.

- xi. Perforaciones y vibrocorings pueden ser complementados en forma eficiente con sondas con chorros de agua para determinar el techo de la roca o materiales duros

Las perforaciones y vibrocoreing proveen información relativa a la posición del techo del material duro solamente en el punto de ejecución de las mismas. Por otra parte, estas no pueden ser ejecutadas ni económica ni rápidamente para reflejar de una manera completa la posición del techo de la roca o superficie de material duro en toda el área de dragado. En muchos tipos de suelos, es factible utilizar sondas con chorros de agua a presión de una manera económica y expeditiva. Este procedimiento puede ser utilizado de manera confiable y práctica para documentar el techo del aroca o formación de material duro en toda el área de dragado o préstamo.

Cuando es factible utilizar este tipo de muestreo se lo debe emplear en forma abundante como un suplemento de las perforaciones para definir la superficie dura como se muestra en la Figura 10. Así como se indicó para la ejecución de perforaciones se debe ser muy cuidadoso en el control vertical ya que esta dimensión es crítica, requiere una atención especial y completa documentación.

- xii. Utilice las investigaciones geofísicas con precaución y, como mínimo, correlaciónelas con perforaciones

Los métodos de investigación geofísica tales como refracción sísmica y resistividad eléctrica se utilizan para proveer información relativa a la ubicación en planta, profundidad y posición de las interfases de suelos y rocas y su representación. Para que esta información resulte confiable se requiere una cuidadosa correlación y calibración con datos de perforaciones.

El autor del trabajo, Ing. K. Johnson, menciona experiencias personales donde la investigación geofísica utilizada por si sola suministró resultados engañosos, no conclusivos y/o no confiables.

3.8.3 Clasificación de materiales y propiedades físicas

- xiii. Realice ensayos in situ y en laboratorio de acuerdo a normas ASTM y en un número suficiente de muestras de cada perforación

- xiv. Incluya la descripción de las perforaciones y vibrocorings con una clasificación y descripción de los materiales de acuerdo con las normas ASTM e incluya los resultados de los ensayos realizados in situ y en laboratorio en el registro de los trabajos de campo

- xv. Investigue y documente el contenido de conchilla dentro de los materiales arenosos

La presencia de conchilla en materiales arenosos afecta en forma dramática y adversa el transporte hidráulico de los materiales dragados, Debe determinarse el porcentaje de conchilla en la muestra d arena y el tamaño de la misma

- xvi. Utilice las normas ASTM para los Ensayos de Penetración Standard (SPT)

- xvii. No continúe el Ensayo de Penetración Standard (SPT) mas allá del rechazo (50 golpes/6 pulgadas). Saque testigos de suelos rocosos

Un número de golpes superior a 50 en 6 pulgadas se define como rechazo y no puede ser correlacionado con resistencia del suelo o de la roca. Materiales más duros, por ejemplo, roca, deben ser perforados y obtener testigos para su ensayo.

- xviii. En los casos que esté obteniendo testigos de suelos rocosos, determine y registre en el informe de la perforación la longitud de testigo recuperado, la descripción de calidad de la roca y la fractura de la misma a los efectos de suministrar información sobre la calidad de la roca.

La relación entre la longitud de testigo de roca recuperado y la longitud total perforada nos da una indicación subjetiva de la calidad del testigo

Una mejor indicación de la calidad de la roca es la Designación de Calidad de la Roca (RQD). RQD se obtiene mediante la suma de las longitudes de pedazos mas largos que 4 pulgadas recuperados y se expresa como un porcentaje de la longitud total de la perforación.

RQD es 100% para rocas fuertes, masivas y es casi 0 para rocas muy fragmentadas.

PIANC(1984) propone obtener el Índice de Fractura de Roca. Este índice se obtiene contando el número de fracturas naturales en una longitud arbitraria, por ejemplo, fracturas por pie.

3.9 INCERTIDUMBRE DE COSTOS

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

La obra elegida es una terminal para buques LNG que está compuesta por:

- Dos sitios de atraque
- Viaducto de 2,5 km de longitud
- Rompeolas de 1200 m de longitud en 10 m de profundidad
- Dragado de 15 M m³

La inversión estimada para una obra de estas características es de alrededor de u\$s 1000 M.

El documento citado incluye una tabla que se reproduce como Tabla 3 que 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 caso base se eligió arena y se cálculo la variación de costos para otros materiales como se indica en la tabla. Se aprecia que las máximas variaciones se producen para el caso de la obra de dragado.

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 asignan los recursos disponibles para investigaciones geotécnicas por igual dentro de toda la obra. Visto los resultados en la Tabla 3.3 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 debido a una investigación insuficiente, entre ellos, principalmente a las obras de dragado.

Elemento	Arena	Arcilla blanda	Arcilla mediana	Arcilla dura	Roca blanda	Roca mediana	Roca muy dura
Plataforma operaciones	Caso base	+ 20%	+ 10 %	Igual	+10 %	+20%	+30 %
Sitio de atraque	Caso base	+ 20%	+10%	Igual	+10 %	+20 %	+30 %
Viaducto	Caso base	+ 20%	+10%	Igual	+10%	+20%	+30%
Rompeolas	Caso base	+50%	+10%	Igual	Igual	Igual	Igual
Dragado	Caso base	+5%	+10%	+20%	+100%	+300%	+500%
Protección de costas	Caso base	+30%	Igual	Igual	Igual	Igual	Igual

Tabla 3.3 - Incertidumbre de costos por variación en el tipo de suelo (Ref. 3.10.9)

3.10 BIBLIOGRAFÍA

- 3.10.1 Bray, R.N., Bates, A.D, and Land, J.M., (1997) “Dredging, a handbook for engineers”, Second edition, John Wiley and Sons
Chapter 6 par 6.5 “Geological and geotechnical investigations” pp 134 – 151
Chapter 8 par 8.4 pp250 – 268 Da para cada tipo de suelo el comportamiento de los diferentes tipos de draga y el comportamiento del material frente a diferentes condiciones de transporte
- 3.10.2 IHC (2007) Página web www.ihcholland.com Indica para cada draga la relación de dragabilidad entre cada tipo de suelo y draga
- 3.10.3 Johnson, Kyle D. (2005) “Geotechnical investigations for dredging projects” Proceedings of the Western Dredging Association (WEDA) – Kyle es Vice Presidente de la empresa norteamericana Great Lakes Dredge and Dock Company. Artículo donde puntualiza aspectos muy concretos de la problemática de la calidad de los datos geotécnicos
- 3.10.4 Lee, L.T.(2002) “Geotechnical characterization of dredged materials” ASCE Dredging 2002
- 3.10.5 PIANC (1984) “Clasificación of soils and rocks to be dredged” – PTC II – Supplement to Bulletin N° 47
- 3.10.6 PIANC (2000) “Site investigation requirements for dredging works” – PTC II – Report of working group 23 – Supplement to Bulletin N° 103 (2000) – pp16-26
- 3.10.7 PIANC (2007) “Facts about site investigations” An information update from the IADC – January 2007
- 3.10.8 ROM 0.5-94 Recomendaciones geotécnicas para el proyecto de obras marítimas y portuarias Puertos del estado, Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente, España – Capítulo 4.9 Dragados y

rellenos pp 422-438 Es una excelente referencia en castellano y vale la pena la lectura de toda la norma

- 3.10.9 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
- 3.10.10 International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (2005) "Geotechnical and Geophysical investigations for Offshore and Nearshore Developments"
- 3.10.11 Whiteley, B. (2002) "Integrating geophysical and geotechnical technologies for improved site assessments of port and harbours" PIANC Congress Sydney 2002 – Artículo muy interesante que presenta análisis de casos concretos

ANEXO A

De la Referencia 3.10.10 se adjuntan las tablas 3.4 a 3.7 que indican como referencia los parámetros a investigar y alcance de las investigaciones geotécnicas y geofísicas

Table 11.3-1 BASIC GEOTECHNICAL PARAMETERS REQUIRED FOR DREDGING

APPLICATION	CLAY	SAND, SILT OR GRAVEL	ROCK
Excavation (methods & production)	<ul style="list-style-type: none"> - General description - Grain size - Organic material content - Gas content - Total unit weight - Atterberg (plastic/liquid) limits - Water content - Undrained shear strength 	<ul style="list-style-type: none"> - General description - Grain size - Angularity - Carbonate content - Maximum and minimum densities 	<ul style="list-style-type: none"> - General description - RQD - Water absorption - Total unit weight - Unit weight of solid blocks - Unconfined compression strength - Mineralogy
Transport (methods & production)	<ul style="list-style-type: none"> - Organic material content - Gas content - Particle unit weight - Atterberg (plastic/liquid) limits - Water content - Undrained shear strength 	<ul style="list-style-type: none"> - Grain size - Maximum and minimum densities - Particle unit weight - Mineralogy 	<ul style="list-style-type: none"> - Unit weight of solid blocks - Unconfined compression strength - Mineralogy
Abrasion with excavation and transport	<ul style="list-style-type: none"> - Grain size of coarse-grained minor constituents - Mineralogy of coarse-grained minor constituents 	<ul style="list-style-type: none"> - Grain size - Angularity - Particle unit weight - Mineralogy 	<ul style="list-style-type: none"> - Unit weight of solid blocks - Unconfined compression strength - Mineralogy
Fill material	<ul style="list-style-type: none"> - Clay only for special purposes used as fill material; required parameters to be derived from special purpose 	<ul style="list-style-type: none"> - Grain size - Angularity - Organic material content - Max/Min density 	<ul style="list-style-type: none"> - Block size distribution - RQD - Water absorption - Unit weight of solid blocks - Mineralogy
Dredged slope stability and settlement and stability of future fill area	<ul style="list-style-type: none"> - Grain size - Organic material content - Mineralogy - Total unit weight - Atterberg (plastic/liquid) limits - Water content - Undrained shear strength 	<ul style="list-style-type: none"> - Grain size - Angularity - Carbonate content - Organic material content - Maximum and minimum densities 	<ul style="list-style-type: none"> - Block size distribution - RQD - Water absorption - Total unit weight - Unit weight of solid blocks - Unconfined compression strength - Mineralogy

Tabla 3.4 – Parámetros geotécnicos básicos necesarios (Ref. 3.10.10)

La Tabla 3.4 indica los parámetros geotécnicos básicos que es necesario determinar para proyectar una obra de dragado. Los diferentes parámetros están

indicados para cada tipo de suelo y para diferentes procesos, a saber: excavación, transporte, relleno y otras

Table 11.3-2 ADDITIONAL PARAMETERS FOR SPECIFIC DREDGING APPLICATIONS

APPLICATION	CLAY	SAND, SILT OR GRAVEL	ROCK
Excavation (methods & production)	– Rheological properties (very soft clays)	– Relative density – Permeability	– Elasticity
Transport (methods & production)	– Rheological properties (very soft clays)		
Abrasion with excavation and transport			
Fill material		– Compaction characteristics	– Compaction characteristics
Dredged slope stability	– Drained shear strength – Sensitivity – Over-consolidation ratio	– Relative density	– Drained shear strength of total mass
Settlement and stability of future fill area	– Consolidation parameters – Drained shear strength – Sensitivity – Over-consolidation ratio	– Relative density	

Tabla 3.5 – Parámetros geotécnicos adicionales (Ref. 3.10.10)

En la Tabla 3.5 se indican parámetros geotécnicos adicionales a los básicos indicados en la Tabla 3.4 que es necesario determinar en casos específicos

Table 11.4-1 TYPICAL SCOPE OF GEOPHYSICAL INVESTIGATIONS FOR DREDGING

Survey purpose	Minimum survey area	Minimum depth	Means of survey
Seabed topography	Slightly larger than plan area of works		Multibeam echosounder of appropriate operating frequency
Seabed features			Sidescan sonar, line spacing depending on water depth and reliability of positioning, minimum overlap of lines 20 - 30%
Sub-surface information		In excess of depth recommended for geotechnical data (see Table 11.4-2)	Sub-bottom profiler or high-resolution seismic survey. Line spacing: varying from 1 x maximum water depth to 200 m, depending on accuracy required and risks involved with ground variations. Seismic refraction may be favoured for complex sites (uneven rock within dredging depth); line or grid spacing depending on anticipated ground variations and associated risks.

Tabla 3.6 – Alcance de las investigaciones geofísicas (Ref. 3.10.10)

En la Tabla 3.6 se indica el alcance típico que deben tener las investigaciones geofísicas para diferentes objetivos y los métodos de relevamiento apropiados

Table 11.4-2 TYPICAL SCOPE OF GEOTECHNICAL INVESTIGATION FOR DREDGING

Application	Scope of work	Penetration (m)	Sample testing
Lowering sea bed	Number of boreholes strongly depends on risk involved with ground variations. Bates (1981) suggested $3 + A^{0.5} \cdot D^{0.33} / 50$, where A is area in m^2 and D is average thickness of material to be removed in metres. Samples & SPTs every 2 m with at least one in each layer. Some (P)CPTs if undrained shear strength (clay) and/or relative density (silt and sand) is relevant.	Slightly deeper than level of required lowering of sea bed	Classification tests to find the basic soil and rock parameters as mentioned in Table 11.3-1 Additional laboratory tests depending on the need for additional parameters as mentioned in Table 11.3-2.
Slope stability	1 borehole (samples & SPTs every 2 m, with at least one in each layer) or (P)CPT per 100 m. (P)CPT especially relevant in case of silt or sand and relatively steep slope	0.5 x the slope height below required level of lowering of sea bed	
Fill material	Number of boreholes strongly depends on expected ground variations, with a minimum of three required	To depth of potential fill material	
Settlement and stability of subsoil of reclamation area	Number of boreholes or (P)CPTs strongly depends on risk involved with ground variations, e.g. one borehole (samples & SPTs every 2 m, with at least one in each layer) or (P)CPT per $1000 m^2$ to a minimum of three per $10000 m^2$.	1 x to 3 x reclamation height depending on risk involved with influence of deeper layers	

Tabla 3.7 – Alcance de las investigaciones geotécnicas (Ref. 3.10.10)

En la Tabla 3.7 se indica el alcance usual que deben tener las investigaciones geotécnicas para diferentes tipos de actividades de dragado.