

ESCUELA DE GRADUADOS EN INGENIERIA PORTUARIA

CATEDRA
INGENIERIA DE DRAGADO

PROFESOR TITULAR
ING. RAUL S. ESCALANTE

TEMA 4
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS SUELOS

Marzo 2015

TEMA 4

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS SUELOS

INDICE

4	<u>CARACTERISTICAS FÍSICAS DE LOS SUELOS</u>
4.1	GENERALIDADES
4.2	ROCAS
4.2.1	<u>Uso del material dragado – Rocas</u>
4.2.2	<u>Rocas - Ensayos</u>
4.2.3	<u>Rocas – Dragas</u>
4.3	SUELOS NO COHESIVOS
4.3.1	<u>Cantos rodados</u>
4.3.1.1	Generalidades
4.3.1.2	Cantos rodados – Dragas
4.3.2	<u>Gravas</u>
4.3.2.1	Gravas – Dragas
4.3.3	<u>Arenas</u>
4.3.4	<u>Limos</u>
4.3.5	<u>Uso de gravas y arenas dragadas</u>
4.3.6	<u>Uso de limos dragados</u>
4.4	SUELOS COHESIVOS
4.5	SUELOS ORGÁNICOS
4.6	MATERIALES INTERMEDIOS
4.6.1	<u>Origen y tipo de materiales</u>
4.6.2	<u>Problemas asociados con tareas de dragado</u>
4.7	INFLUENCIA DE LA PRESENCIA DE CONCHILLA
4.8	DETERMINACIONES A REALIZAR
4.9	ESPONJAMIENTO DEL SUELO
4.10	MEJORAMIENTO DEL SUELO
4.11	BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1	Forma de las partículas
Figura 4.2	Ejemplos de formas de granos de arena
Figura 4.3	Influencia de las características de la arena en la producción de una draga de cortador

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1	Ensayos de laboratorio para rocas
Tabla 4.2	Ensayos de laboratorio para suelos no cohesivos
Tabla 4.3	Ensayos de laboratorio para suelos cohesivos
Tabla 4.4	Datos geotécnicos
Tabla 4.5	Factor de esponjamiento del suelo excavado por dragas mecánicas

4 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS SUELOS

4.1 GENERALIDADES

Como resultado de la investigación geológica y geotécnica descrita en el Tema 3 se obtienen muestras de suelos que deben clasificarse adecuadamente. A estos efectos una excelente referencia bibliográfica es PIANC (1984) "Classification of soils and rocks to be dredged" que ha sido recientemente actualizada con PIANC (2014) "Classification of soils and rocks for the Maritime Dredging process"

Desde el punto de vista de la dragabilidad los materiales se pueden clasificar en

- rocas
- suelos
 - o granulares o no cohesivos
 - o plásticos o cohesivos
- material orgánico

Hay una zona gris difícil de determinar entre rocas blandas (weak rock) y suelos duros (hard soil). Este tipo de materiales se denomina como **Materiales Intermedios** y se lo describe en el Capítulo 5 de PIANC (2014)

También se presenta la necesidad de dragar **Otros Materiales** que no son suelos o rocas. Entre ellos pueden mencionarse: bloques de hormigón, elementos de hormigón armado, tuberías, cables, restos náufragos, basura portuaria, UXO, madera, objetos arqueológicos, sedimentos con contenido de gas. La presencia de este tipo de elementos puede tener un impacto importante en la eficiencia operativa, costos y/o seguridad de las operaciones de dragado.

En la práctica se encuentran raramente materiales que caigan precisamente dentro de una de las clases específicas de una clasificación, por lo que se usan combinaciones de tipos de materiales para hacer una descripción lo mas precisa posible. Para llegar a esta caracterización se utilizan observaciones visuales, ensayos de campo y ensayos de laboratorio de acuerdo al tipo de material en consideración

Es muy importante que todos los procedimientos que se mencionen indiquen la norma bajo la cual han sido realizados para garantizar la correcta interpretación de la información. Hay ciertas normas como ASTM, DIN, British Standards que suelen usarse internacionalmente

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 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**” que efectuó una publicación preliminar del informe en 2014. 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

4.2 ROCAS

El objeto de describir correctamente la roca a dragar es poder efectuar una estrategia eficiente para su remoción. Por ello se realiza una descripción geológica de la roca, sus propiedades geotécnicas y además el estado en que se encuentra: meteorización, fallas, diaclasas, etc. Ver PIANC (1984) “In situ and laboratory testing procedures of rocks for dredging purposes” y PIANC (2014)

Desde un punto de vista geológico las rocas se clasifican en ígneas, metamórficas, y sedimentarias

La roca puede ser muy dura como basaltos o granitos o menos dura como rocas sedimentarias tipo areniscas o corales (ver 4.2.1). Cada una de ellas va a requerir un enfoque distinto al momento del dragado. En nuestro medio aparecen algunas toscas con mucha dureza, muy difíciles de dragar y también basaltos.

Cuando la roca tiene una dureza superior a la que puede romperse con equipos de dragado es necesario realizar una fragmentación previa del material. Este pre tratamiento puede realizarse mediante la utilización de explosivos para fragmentar el material en los casos de mayor dureza. El uso de explosivos genera mucho rechazo de las ONGs ambientalistas. En el caso del dragado del Puerto de Miami (2012) estos grupos lograron imponer, a través de denuncias judiciales, limitaciones a las horas de trabajo con explosivos y la constitución de un fondo de dinero para realizar acciones de mitigación ambiental. Esto a pesar de que el trabajo lo realizaba el Corps of Engineers y contaba con todos los permisos ambientales.

Otra posibilidad para disgregar la roca es utilizar equipos de percusión mecánica. A partir de una determinada calidad de rocas se pueden utilizar dragas de cortador de gran potencia y escalera reforzada u otros tipos de dragas a medida que la dureza de la roca disminuye.

Puede decirse que materiales con resistencias equivalentes a las de un hormigón pobre pueden ser dragados como suelos. Materiales más duros requieren equipos y técnicas especiales.

4.2.1 Uso del material dragado – Rocas

A los efectos de utilizar las rocas una vez dragadas en un segundo uso en forma económica (Ver Tema 1 Par. 1.4) depende de la cantidad que se dispone y su tamaño. La roca es un material de construcción valioso y puede ser utilizado en diversos usos. Habitualmente, la roca dragada no es un material contaminado.

4.2.2 Rocas – Ensayos

En la Tabla 4.1 se reproduce la Tabla 6.8 de PIANC (1984) donde se indican los ensayos de laboratorio sugeridos para la identificación de las rocas

Table 6.8: Summary of laboratory test requirements for rocks			
MATERIAL CHARACTERISTICS	TYPES OF TEST	PRIORITY	REMARKS
Sieving	Unconfined compressive strength	1	Most widely used measure of strength Unusual, weak rock only Must be supported by compressive strengths Must be supported by compressive strengths
	Triaxial test	3	
	Brazilian splitting test	2	
	Point load test	2	
	Protodyakonov test	3	
Elasticity	Youngs modulus	2	
Density	Natural bulk density	1	
Particle Specific Gravity	Specific gravity	2	
Porosity	Porosity	3	
Mineralogy	Carbonate content	2	Carbonate rich rocks only Petrographic analysis may be necessary
	Visual examination	2	

See text for explanation of Priority Rating

Tabla 4.1 – Ensayos de laboratorio para rocas (PIANC – 1984)

4.2.3 Rocas – Dragas

Draga de cangilones: puede dragar rocas sedimentarias blandas a medianamente duras

Draga de cucharas: no es apta

Draga tipo retroexcavadora: Pueden dragar rocas sedimentarias moderadamente duras

Draga de succión por arrastre: pueden dragar rocas blandas o muy blandas. Se utilizan cuando ese tipo de material representa una proporción pequeña del total a dragar o en ubicaciones muy expuestas donde no es posible operar con otro tipo de dragas en forma eficiente

Draga Dustpan: no es apta

Draga de succión con cortador: es la draga mas apta para dragar roca sobre todo si se presenta en grandes volúmenes.

4.3 SUELOS NO COHESIVOS

Para los suelos no cohesivos, es decir, cantos rodados, gravas, arenas y limos, es necesario definir su granulometría, la forma de las partículas y la textura. En la Tabla 4.2 se reproduce de PIANC (1984) la Tabla 6.7 con la indicación de los ensayos de laboratorio sugeridos para la identificación de suelos no cohesivos

En lo que hace a forma de las partículas las mismas pueden ser:

- Redondeadas
- Irregulares
- Angulares
- Escamosas
- Alargadas
- Escamosas y alargadas

En lo que se refiere a la textura de las partículas las mismas pueden ser:

Rugosas
Suaves
Pulidas

Table 6.7: Summary of laboratory test requirements for non-cohesive soils

MATERIAL CHARACTERISTICS	TYPES OF TEST	PRIORITY	REMARKS
Particle Size Distribution	Sieving	1	
Particle Size Distribution	Sedimentation	1	Only if significant fine fraction present
Density	Natural bulk density	1	
	Dry bulk density	2	
Compaction Characteristics	Compaction tests	1	Only if significant fine fraction present
Particle Specific Gravity	Specific gravity	2	
Angularity/Roundness	Visual examination	1	
Permeability	Laboratory permeability	2	More usually established by field tests
Organic Content	Organic content	2	Priority(1) if organic content greater than 5%
Mineralogy	Visual examination	2	Petrographic analysis may be necessary
	Carbonate content	2	Only in carbonate-rich soils

See text for explanation of Priority Rating

Tabla 4.2 – Ensayos de laboratorio para suelos no cohesivos

4.3.1 Cantos rodados

4.3.1.1 Generalidades

Los cantos rodados no se presentan habitualmente en grandes cantidades como material independiente. Son difíciles de dragar y son reconocidos como un riesgo para las operaciones de dragado ya sea porque se presentan en cantidades no esperadas o son de dimensiones superiores a las previstas.

Los métodos de succión no son apropiados para los tamaños menores y directamente no pueden dragar los tamaños mayores. Todas las dragas mecánicas experimentan alguna dificultad dependiendo del tamaño y frecuencia de los cantos rodados. Un problema importante es el tamaño: las dragas cortadoras no pueden dragar partículas mayores de 300 mm

Cuando las cantidades de cantos rodados que se encuentran son pequeñas una alternativa es dragar a los costados para producir su enterramiento. Otra posibilidad es usar dos equipos diferentes para el dragado

La granulometría que define los cantos rodados es:

Cantos rodados grandes >200 mm

Cantos rodados medianos: Entre 60 mm y 200 mm

4.3.1.2 Cantos rodados – Dragas

Draga de cangilones: Son adecuadas para materiales compuestos de dimensiones reducidas. Los grandes son empujados a un costado o se traban en la escalera

Draga de cucharas: son muy adecuadas para los tamaños pequeños. Los tamaños grandes se agarran mejor con grampas especiales. Por lo tanto hay que tener al menos dos tipos de cucharas

Draga tipo retroexcavadora: Son las mas adecuadas cuando los cantos rodados están enterrados en otros materiales, particularmente si son de grandes dimensiones. Están limitadas por el tamaño de la cuchara o cangilón

Draga de succión por arrastre: no es adecuada

Draga Dustpan: no es adecuada

Draga de succión con cortador: no es adecuada para este tipo de material. Cantos rodados mayores de 300mm no pueden ser dragados

4.3.2 Gravas

Los rangos de granulometría que definen los distintos tipos de gravas son:

Gravas gruesas; entre 20 mm y 60 mm

Gravas medianas; entre 6 mm y 20 mm

Gravas finas; entre 2 mm y 6 mm

Se suelen encontrar capas de gravas cementadas que parecen rocas conglomeradas blandas. Asimismo pueden aparecer gravas arenosas muy compactas

4.3.2.1 Gravas – Dragas

Draga de cangilones: draga con relativa facilidad. El desgaste puede ser muy alto dependiendo de la mineralogía y angularidad de las gravas

Draga de cucharas: son adecuadas utilizando cucharas con dientes. El desgaste y rotura de las cucharas puede ser importante

Draga tipo retroexcavadora: draga gravas con relativa facilidad

Draga de succión por arrastre: tiene dificultad para dragar gravas; en gravas densas bien graduadas se presentan dificultades para erosionar el material

Draga Dustpan: no es apta

Draga de succión con cortador: dragan con relativa facilidad. El desgaste puede ser muy alto dependiendo de la mineralogía y angularidad de las gravas

4.3.3 Arenas

Los depósitos de arena presentan muy diferente dragabilidad de acuerdo a la compacidad del suelo. Pueden ser arenas sueltas, arenas compactadas, arenas cementadas. La estructura del suelo puede ser homogénea o puede estar intermezclada con capas de limos o arcillas. En este caso se pueden producir depósitos muy compactos.

Es importante determinar la forma de las partículas (redondeadas, irregulares, angulares) y la textura (rugosa, suave, pulida)

De acuerdo a la granulometría las arenas pueden clasificarse como:

Arenas gruesas: 2 - 0,6 mm

Arenas medianas: 0,6 – 0,2 mm

Arenas finas: 0,2 – 0,06 mm

La forma de las partículas se puede determinar utilizando el método de clasificación de Russel y Taylor que se muestra en la Figura 4.1






5 4 3 2 1	Names of classes	Degree of roundness	Description
	E Angular	0 - 0.15	Sharp corners sharply defined. Large embayments with numerous equally sharply defined embayments
	D sub-angular	0.15 - 0.25	Incipient rounding of corners. Large embayments preserved, small embayments smoother and less numerous.
	C sub-rounded	0.25 - 0.40	Corners well rounded, large embayments weakly defined, small embayments few in number and gently rounded
	B rounded	0.40 - 0.60	Original corners are gently rounded, large embayments are only suggested, small embayments absent
	A well-rounded	0.60 - 1.00	Original corners and large embayments are no longer recognizable. Uniformly convex outline (subordinate planar sections possible)

Figura 4.1 – Forma de las partículas

En la Figura 4.2 se puede apreciar un ejemplo que muestra dos tipos de arena con diferente forma

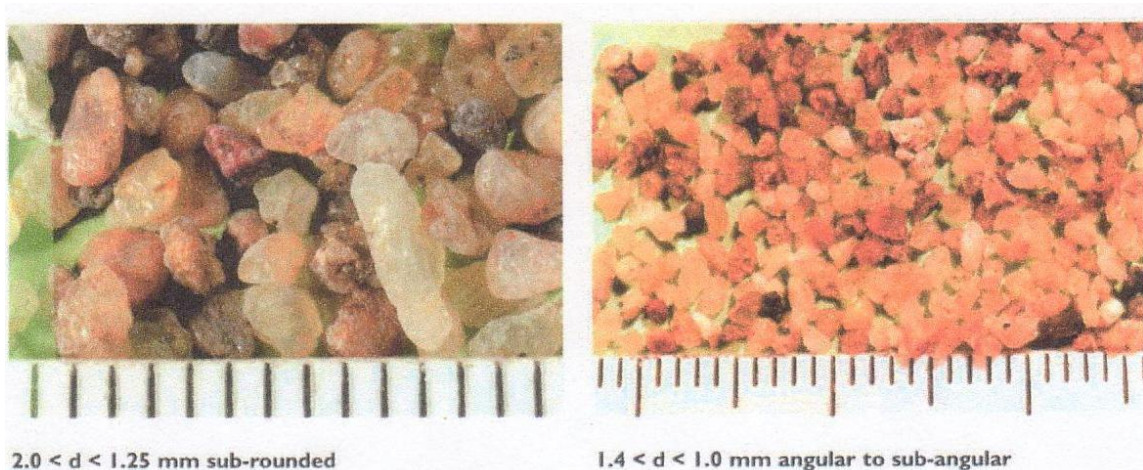


Figura 4.2 – Ejemplos de formas de granos de arena

En la Figura 4.3 obtenida de Kinlan (2010) se muestra la producción esperada de una draga de cortador en función de las características de la arena indicando arena suelta, arena densa y arena cementada. Se evidencia la importancia de caracterizar adecuadamente el material para poder estimar posteriormente la producción de la draga.

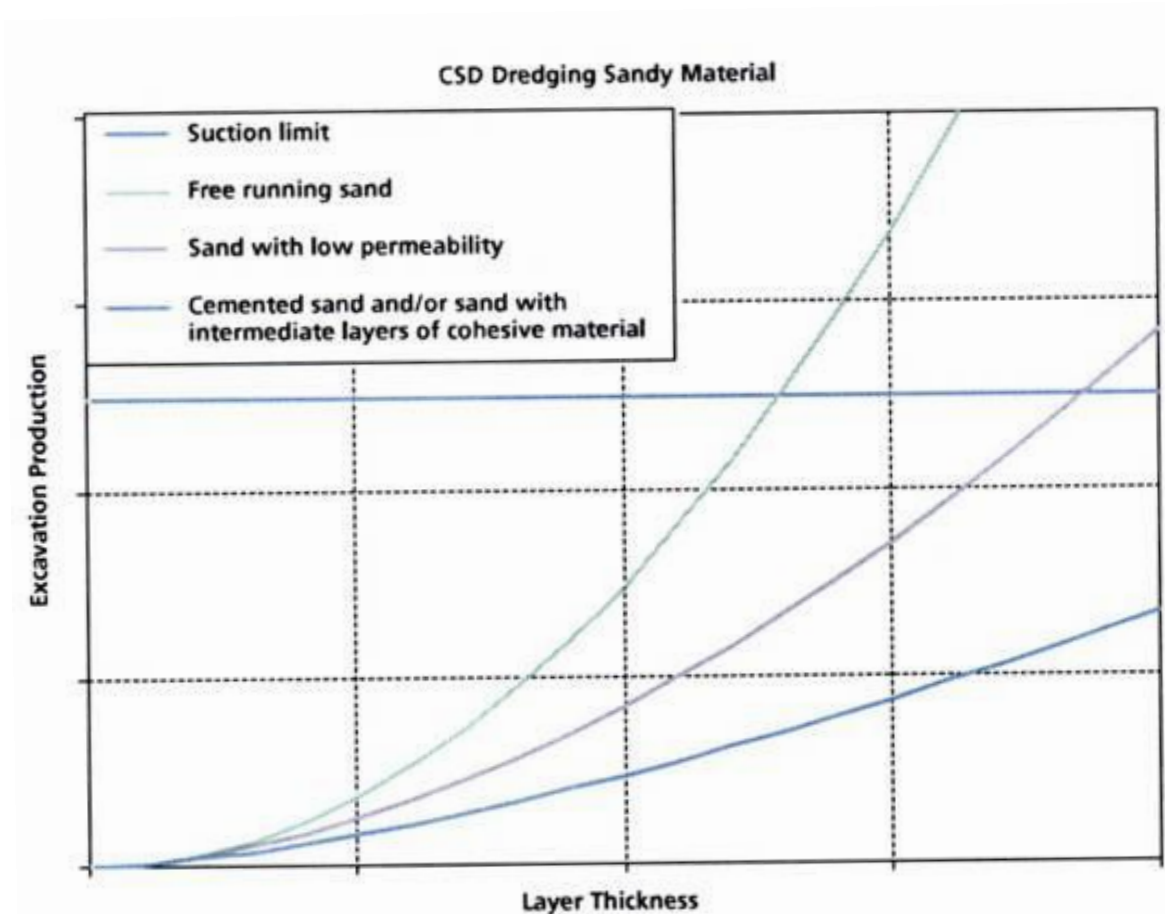


Figura 4.3 – Influencia de las características de la arena en la producción de una draga de cortador

4.3.4 Limos

La rangos de granulometría que definen los tipos de limos son:

Limos gruesos: 0,06 – 0,02 mm

Limos medianos: 0,02 – 0,006 mm

Limos finos: 0,006 – 0,002 mm

Salvo los limos gruesos, las partículas son invisibles a simple vista. Se caracterizan por no tener cohesión por lo que una vez secos se vuelven polvo en los dedos. Igualmente los terrones secos se disgregan con presión. La consistencia puede variar entre limo fluido y muy duro. La roca sedimentaria generada a partir de limos se denomina limolita

4.3.5 Uso de gravas y arenas dragados

Los materiales granulares se consideran los más valiosos a los efectos de su utilización siendo los requieren el mínimo esfuerzo de acondicionamiento o limpieza. Las gravas y arenas son los materiales mas adecuados para la mayoría de los usos para obras de ingeniería. Pueden utilizarse para relleno de playas y muchas otras aplicaciones. Los materiales granulares dragados habitualmente no se encuentran contaminados.

4.3.6 Uso de limos dragados

Los limos se encuentran en muchos casos mezclados con alguna proporción de arcillas blandas y son el producto del dragado de mantenimiento de ríos, canales, estuarios e interior de puertos. Estos materiales son muy adecuados para utilizar como suelos de reemplazo en agricultura y en todas las formas de desarrollo de habitas para especies silvestres.

Dependiendo de las normativas de cada país los suelos de estas características ligeramente contaminados pueden utilizarse para la fabricación de ladrillos y elementos cerámicos dado que este tipo de procesos liga los contaminantes con los granos en forma definitiva. Habitualmente los limos y arcillas dragados contienen un elevado porcentaje de agua por lo que deben ser secados antes de utilizar en cualquier proceso industrial. Este secado puede ser realizado por medios naturales, lo que requiere mucho tiempo para efectuarlo y grandes extensiones de terreno. Hay técnicas que pueden aplicarse para acelerar este proceso o utilizar elementos mecánicos que requieren menos tiempo y espacio pero son más costosos.

4.4 SUELOS COHESIVOS

Los suelos cohesivos están constituidos por arcillas. Desde el punto de vista de la resistencia pueden ser de muy blandos a muy duros. En la Tabla 4.3 se reproduce de PIANC (1984) la Tabla 6.6 donde se indican los ensayos de laboratorio sugeridos para la identificación de suelos cohesivos.

MATERIAL CHARACTERISTICS	TYPES OF TEST	PRIORITY	REMARKS
Particle Size Distribution	Sieving	1	Only if coarse fraction present
	Sedimentation	1	
Strength	Laboratory vane	3	In very soft clays only Usually only for slope design
	Unconfined compressive strength	1	
	Triaxial test	2	
Plasticity/Water Content	Water content	1	
	Atterberg limits	1	
Density	Natural bulk density	1	
	Dry bulk density	2	
Particle Specific Gravity	Particle Specific Gravity	2	Coarse components only
Mineralogy	Visual examination	2	
Rheological Properties	Viscosity test	2	Very soft/semi-fluid soils only
Organic Content	Organic Content	2	

See text for explanation of Priority Rating

Tabla 4.3 – Ensayos de laboratorio para suelos cohesivos – PIANC (1984)

Desde el punto de vista de la granulometría de las partículas las arcillas tienen dimensiones menores a 0,002 mm.

Las arcillas presentan fuerte cohesión y plasticidad. Las muestras húmedas son pegajosas al tacto. Una característica que las define es que los terrones secos no se pulverizan con presión.

Desde el punto de vista de la resistencia las arcillas pueden ser de muy blandas a muy duras. En el subsuelo es frecuente que se presenten como estratos de arcilla en presencia de otros materiales

4.4.1 Uso de arcillas consolidadas dragadas

Las arcillas consolidadas dragadas se obtienen habitualmente de los dragados de apertura. El material se obtiene en forma de trozos o como una mezcla homogénea de agua y arcilla., dependiendo del tipo de material que se esté dragando y el equipo de dragado que se utilice. Cuando el contenido de agua es bajo se puede utilizar en la construcción de ladrillos o elementos cerámicos o en obras de ingeniería como obras de endicamiento. Las arcillas consolidadas dragadas habitualmente no se encuentran contaminadas.

4.5 SUELOS ORGÁNICOS

Generalmente con color marrón o negro, con olor a materia orgánica y presencia de materiales leñosos o fibrosos. Pueden ser firmes o esponjosos. Puede detectarse presencia de gases.

Analizado desde el punto de vista de las aplicaciones este material no es apto para rellenos

4.6 MATERIALES INTERMEDIOS

PIANC (2014) Capítulo 5 incorpora la categoría de “Materiales intermedios” que son aquellos materiales que tienen propiedades que están en un rango intermedio entre suelos y rocas. Se han llamado en la literatura en forma frecuente “suelos duros (hard soils)” o como “rocas blandas (extremely weak rocks)”

Estos materiales intermedios son difíciles de describir y son frecuentemente el origen de conflictos entre el Cliente y el Contratista.

4.6.1 Origen y tipo de materiales

Dentro de los materiales intermedios se pueden mencionar tres tipos principales:

- Rocas muy meteorizadas o desintegradas. El proceso de meteorización transforma progresivamente las rocas en suelos residuales, consistiendo típicamente limos arenosos oxidizados de color rojizo y arcilla mezclado con fragmentos de roca. La transición de roca a material intermedio y a suelo residual es un proceso continuo a lo largo del tiempo. Sin embargo, la zona de transición de roca sana, roca meteorizada y suelo residual que puede llegar a encontrarse puede ser muy irregular. En el perfil meteorizado algunos suelos pueden revertir a materiales mas duros por procesos de cementación.
- Sedimentos cementados. Algunos suelos granulares gruesos o superficies de discontinuidad pueden cementarse con diversas substancias. Los elementos que pueden cementar los suelos son el carbonato de calcio, los hidróxidos de hierro y la sílice. En zonas costeras de climas cálidos la cementación de la arena por la precipitación de carbonato de calcio es un fenómeno que se encuentra de manera frecuente. También suelen encontrarse capas mezcladas de material cementado con otras no

cementadas. Puede encontrarse también capas de arena suelta por debajo de una capa cementada que se denomina “caprock”

- Material sedimentario fuertemente consolidado como depósitos glaciales, depósitos aluvionales de arcilla y cantos rodados, arenas muy compactadas

4.6.2 Problemas asociados con tareas de dragado

Además de la relación obvia entre la dureza del material y su dragabilidad, juega un papel principal la variación lateral rápida en dureza, que es una característica típica de los materiales intermedios. Por ejemplo, al operar una draga de succión con cortador en un suelo o roca que es de baja dureza en general el hecho que el cortador encuentre una zona más dura como puede provocar un daño significativo en el cortador. Esa zona más dura puede estar representada, por ejemplo, por un banco de arenisca fuertemente cementada.

Asimismo cuando se realiza pre tratamiento de masas rocosas compactas mediante perforaciones y voladuras a los efectos de su fracturación, la presencia de rocas meteorizadas dentro de la masa rocosa causa problemas durante la carga del explosivo por eventual derrumbe del agujero y disipación de energía durante la voladura.

Incluso los materiales apenas cementados pueden tener una gran influencia en la producción durante el dragado ya que la cementación puede dificultar el flujo de la arena hacia el cabezal de succión. Es de notar que una cementación leve puede fácilmente ser ignorada durante los relevamientos de campo. Si se realiza obtención de muestras mediante vibrocoreing estas pueden estar disturbadas de tal manera que la eventual cementación sea difícil de observar.

4.7 INFLUENCIA DE LA PRESENCIA DE CONCHILLA

Las arenas contienen, de manera bastante usual, una cierta proporción de conchillas, en inglés, “shell”. Este material compuesto “arena – conchilla” tiene un comportamiento diferente al que presentan las arenas sin conchilla, sobre todo en lo que se refiere a los procesos de sedimentación y erosión.

Miedema, S (2011) presenta resultados interesantes en sus estudios sobre velocidades críticas para este tipo de materiales. Cuando se bombea este material a través de una tubería se debe considerar que las conchillas no son esféricas sino más bien con forma de plato. Cuando las conchillas tienden a sedimentar en la columna de agua caen como hojas donde la sección mayor está expuesta a la fuerza de arrastre (drag). Pero cuando llegan al fondo se depositan con la misma orientación, o sea, apoyadas sobre el fondo de manera que queda expuesto el borde de la conchilla al flujo horizontal en la tubería.

Dado que la sección transversal es mucho menor que la sección horizontal se necesita una velocidad mucho mayor para erosionarlas y volverlas al estado de suspensión.

La velocidad de caída es mucho menor a causa de la gran área horizontal. Aún cuando la velocidad de la mezcla de agua y sedimento (slurry) exceda la velocidad de caída, algunas conchillas se van a depositar en el fondo de la tubería debido a la combinación de velocidad de caída y turbulencia. Una vez que estas conchillas

están en la parte superior de los sedimentos del fondo son difíciles de remover por erosión debido a que están colocadas de manera plana sobre el fondo y solo una pequeña sección transversal está expuesta al flujo comparada con el peso de la conchilla.

De manera que a pesar de que la velocidad de caída de las conchillas es mucho menor que la de las partículas de arena equivalentes, la velocidad de erosión es mucho mayor. En una playa cubierta por conchillas, las conchillas son siempre visibles en la parte superior de la arena. De hecho, estas conchillas están protegiendo (shielding) la arena de la erosión. Las conchillas de mayor tamaño protegen asimismo a las conchillas de menor tamaño dado que estas se depositan con mayor velocidad. En el caso de las tuberías las conchillas sedimentan mas lentamente que los granos de arena , de manera que quedan en la parte superior del lecho de igual manera que en la playa.

Estas conchillas son difíciles de erosionar, de hecho, protegen el lecho de la erosión aun cuando se aumente la velocidad de la tubería. La combinación de alta velocidad de erosión y la protección que hacen las conchillas del fondo significa que aún una pequeña proporción de conchillas en la mezcla “conchillas – arena” puede llevar a una sedimentación importante, de mucho espesor, en la tubería. De todas maneras siempre va a haber una velocidad que erosione las conchillas del fondo.

Un incremento del espesor de material en el fondo de la tubería puede resultar en el taponamiento de la tubería.

Mientras el espesor del lecho no se incrementa no se presentan problemas. Pero dado que el transporte hidráulico no es un proceso estacionario simple, hay momentos en los que el flujo disminuye y momentos en los que la densidad aumenta, llevando a un incremento del espesor del lecho. Al estar las conchillas protegiendo el lecho de la erosión no va a haber una disminución del espesor del lecho cuando el flujo aumente o la densidad disminuya, lo que ocurriría si el material fuera solamente arena. Este fenómeno implica el peligro de tener un lecho en progresivo aumento que al final tapone la tubería.

Debe resaltarse entonces la importancia de determinar el porcentaje de conchilla en las arenas a dragar como lo puntualiza K. Johnson. Ver 3.8.3 (xv) de estos apuntes

4.8 DETERMINACIONES A REALIZAR

Para las determinaciones a realizar “in situ” y en laboratorio para los diferentes materiales se reproduce en la Tabla 4.4 la Tabla 6.2 de PIANC (1984)

Las determinaciones tienden a determinar, según el material que se trate los siguientes aspectos:

- Análisis granulométrico
- Forma de la partícula
- Densidad in situ (Bulk density)
- Peso específico de las partículas
- Compacidad
- Humedad natural
- Índices de plasticidad
- Tensión de corte

Contenido de limos
Contenido de materia orgánica

Table 6.2: Summary of geotechnical data requirements for dredging works

	IN SITU MATERIAL CHARACTERISTICS (Note 1)	DATA REQUIREMENT				
		Excavation methods & production	Transport methods & production	Abrasion (Excavation and transport wear costs)	Use as general fill	Dredged slope stability
COHESIVE SOILS	Particle Size Distribution	✓		✓ Note 3	Note 2	
	Strength	✓	✓		Note 2	✓
	Plasticity/water content	✓	✓		Note 2	
	In Situ Density	✓			Note 2	✓
	Mineralogy			✓ Note 3	Note 2	
	Particle Specific Gravity		✓		Note 2	
	Gas content	✓	✓		Note 2	
	Rheological Properties	✓ (Soft soils)	✓ (Soft soils)		Note 2	
NON-COHESIVE SOILS	Organic Content	✓	✓		Note 2	
	Particle Size Distribution	✓	✓	✓	✓	
	Relative Density	✓				✓
	Compaction Characteristics				✓	
	In Situ Density	✓	✓			
	Mineralogy		✓	✓		
	Particle Specific Gravity		✓	✓		
	Angularity/Roundness	✓		✓		
ROCK	Permeability	✓				
	Organic Content				✓	
	Material Strength	✓ (Note 4)	✓	✓		✓
	Mass Strength	✓ (Note 4)				✓
	Elasticity	✓ (Note 4)				
	Mineralogy	✓ (Note 4)	✓	✓		
	Structure	✓ (Note 4)	✓	✓		✓
Density	✓ (Note 4)	✓	✓			

Notes: 1) The in-situ (field and laboratory tests which may be used to determine the material characteristics are described in Sections 6.4 and 6.5 respectively. 2) Dredged cohesive soils are not generally used as fill material. 3) Coarse-grained minor constituents may be important with respect to abrasion. 4) Also required to determine need for pre-treatment, e.g. drilling and blasting

Tabla 4.4 – Datos geotécnicos

De acuerdo a lo expresado en 4.6 es importante determinar el contenido de conchillas en las muestras de suelos no cohesivos.

Costaras (2011) menciona que los ensayos sobre las muestras deben reflejar la sensibilidad de los métodos de dragado a los cambios en las características de los suelos o rocas. Por ejemplo, los tamices utilizados en forma standard para la elaboración de curvas granulométricas no son necesariamente los más adecuados para ensayar materiales granulares sueltos, particularmente cuando se van a utilizar métodos de excavación hidráulicos. La forma de la curva granulométrica entre 80 y 200 micrones influye mucho para determinar las pérdidas por vertedero y los tamaños por debajo de los 20 micrones son muy importantes para determinar las características cuando se van a utilizar los materiales como relleno y la permeabilidad que va a afectar la consolidación del relleno

Cuando los suelos o rocas son particularmente débiles puede ser necesario realizar ensayos específicos para determinar la posible degradación de los materiales dragados durante el proceso de dragado o transporte.

4.9 ESPONJAMIENTO DEL SUELO

Una característica de los suelos es que cambian de volumen cuando son sacados de su lugar en el subsuelo. Se denomina “factor de esponjamiento”, B, a la relación entre el volumen dragado en relación con el volumen “in situ”. En la Tabla 4.5 se

indican factores de esponjamiento para los suelos mas usuales. El factor de esponjamiento es un aspecto muy importante en el análisis de los volúmenes de transporte y deposición del material

Tipo de suelo	B
Roca dura (volada)	1,50 – 2,00
Roca mediana (volada)	1,40 – 1,80
Roca blanda (volada)	1,25 – 1,40
Grava, compacta	1,35
Grava, suelta	1,10
Arena, compacta	1,25 – 1,35
Arena, mediana a dura	1,15 – 1,25
Arena, blanda	1,05 – 1,15
Limos, recién depositados	1,00 – 1,10
Limos, consolidados	1,10 – 1,40
Arcillas, muy duras	1,15 – 1,25
Arcillas, medianas a duras	1,10 – 1,15
Arcillas, blandas	1,00 – 1,10
Mezclas de arenas/gravas/arcillas	1,15 – 1,35

Tabla 4.5 - Factor de esponjamiento del suelo excavado por dragas mecánicas

4.10 MEJORAMIENTO DEL SUELO

Uno de los estados del suelo que necesitamos conocer es cuando el material dragado ha sido depositado en lugar para utilizarlo como relleno de terrenos que se utilizaran posteriormente con diferentes usos: aeropuertos, parques temáticos, urbanizaciones, terraplenes camineros o ferroviarios. . En estos casos es de fundamental importancia reducir los tiempos a partir de los cuales esos nuevos terrenos pueden ser utilizados para su destino final. Entre los objetivos a cumplir se cuenta con que debe mejorarse las características del suelo para evitar

asentamientos excesivos, prevenir la licuefacción, incrementar la capacidad portante y en algunas casos estabilizar la presencia de suelos contaminados.

El paso del tiempo y la colocación de sobrecargas estáticas hace que se produzca una consolidación natural de los suelos de relleno pero esta consolidación es muy lenta sobre todo en el caso de sedimentos finos. Para lograr en forma rápida la consolidación de estos nuevos terrenos existen una serie de técnicas entre las que se cuenta la compactación mediante diversas técnicas, drenajes verticales y horizontales para eliminar el agua de los suelos y otras. Se recomienda leer “Facts about soil improvement” donde se indican en forma sucinta las diferentes técnicas disponibles a este efecto.

4.11 BIBLIOGRAFÍA

Bray, R.N., Bates, A.D, and Land, J.M., (1997) “Dredging, a handbook for engineers”, Second edition, John Wiley and Sons. Cap 8.4 – Excavation – pp 250 - 260 - Hay una buena descripción de los materiales y su dragabilidad y además, la utilidad de cada tipo de draga frente a ese material.

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

IADC (2007) “Facts about site investigations” – January 2007 – 4 pp

IADC (2008) “Facts about soil improvement”

Kinlan, D. and Roukema, D. (2010) “Adverse physical conditions and the experienced contractor test” Terra et Aqua, Number 119, June 2010, pp 3 - 13

Miedema, S. and Ramsdell, R. (2011) “Hydraulics transport of sand/shell mixtures in relation with the critical velocity” – Terra et Aqua - Number 122 - March 2011

PIANC (2000) “Site investigation requirements for dredging works” – PTC II – Report of working group 23 – Supplement to Bulletin N° 103 (2000) – pp9-10

PIANC (1984) “Classification of soils and rocks to be dredged” – PTC II – Supplement to Bulletin N° 47

PIANC (2014) “Classification of soils and rocks for the maritime dredging process” Report N° 144 - 2014

Puertos del Estado ROM 0.5-94 “Recomendaciones geotécnicas para el proyecto de obras marítimas y portuarias” - Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente, España – Capítulo 4.9 Dragados y Rellenos pp 422-438