

ESCUELA DE GRADUADOS EN INGENIERIA PORTUARIA

CATEDRA
INGENIERIA DE DRAGADO

PROFESOR TITULAR
ING. RAUL S. ESCALANTE

TEMA 12
TÉCNICAS DE DRAGADO HIDRODINAMICO

Mayo 2017

TEMA 12
TÉCNICAS DE DRAGADO HIDRODINÁMICO

INDICE

12	<u>TECNICAS DE DRAGADO HIDRODINAMICO (TDH)</u>
12.1	CONSIDERACIONES GENERALES
12.1.1	<u>Definiciones</u>
12.1.2	<u>Aspectos físicos</u>
12.1.3	<u>Materiales dragables por TDH</u>
12.1.4	<u>Áreas de aplicación</u>
12.1.5	<u>Ventajas y desventajas</u>
12.2	DRAGADO POR INYECCIÓN DE AGUA
12.2.1	<u>Consideraciones generales</u>
12.2.2	<u>Dragas existentes</u>
12.2.3	<u>Ventajas y desventajas</u>
12.2.3.1	Ventajas
12.2.3.2	Desventajas
12.2.4	<u>Materiales que dragas</u>
12.2.5	<u>Tipo de contrato</u>
12.2.6	<u>Aspectos ambientales</u>
12.2.7	<u>Estudio de casos</u>
12.2.7.1	Puerto de Hamburgo
12.2.7.2	Den Burg, Texel, The Netherlands
12.2.7.3	Puerto de Calais – France
12.2.7.4	Puerto de Bahía Blanca - Argentina
12.3	DRAGADO CON TÉCNICAS DE ARRASTRE DE FONDO
12.3.1	Rastra de fondo - Bed leveller
12.3.2	Arado
12.4	TÉCNICAS POR EROSION CON CHORROS DE AGUA
12.5	TDH CON DRAGAS DE SUCCIÓN POR ARRASTRE
12.5.1	<u>Rebalse por vertedero - Overflowing</u>
12.5.2	<u>Vertido lateral – Sidecasting</u>
12.5.2.1	Dragas de succión por arrastre convencionales
12.5.2.2	Dragas especialmente diseñadas para vertido lateral
12.6	TDH CON DRAGAS DECORTADOR
12.7	DRAGADO POR EFECTO DE HELICES – Propeller dredging
12.7.1	<u>Equipos especiales</u>
12.7.1.1	Estudio de caso – Devon (UK)
12.7.2	<u>Efecto de la navegación de buques</u>
12.8	BIBLIOGRAFÍA

INDICE DE FIGURAS

Figura 12.1	Esquematzación de procesos de dragado hidrodinámico
Figura 12.2	Procesos principales en el dragado por inyección de agua
Figura 12.3	Mecanismo de WID
Figura 12.4	Draga por inyección de agua Jetsed
Figura 12.5	Ambientes de alta y baja energía en la zona marítima
Figura 12.6	Ambientes de alta y baja energía en la zona fluvial
Figura 12.7	Draga por inyección de agua
Figura 12.8	Pontón DN28 equipado como draga por inyección de agua
Figura 12.9	Rastra de fondo

Figura 12.10	Descarga lateral
Figura 12.11	Draga Niña – Descarga lateral
Figura 12.12	Draga con pórtico para vertido lateral
Figura 12.13	Profundización en el eje del canal por efecto de la navegación de buques

INDICE DE TABLAS

Tabla 12.1	Presentación esquemática de los procesos básicos
Tabla 12.2	Valores típicos de producción – Dragado por inyección de agua
Tabla 12.3	Características de dragas por inyección de agua
Tabla 12.4	Características de las dragas por inyección de agua
Tabla 12.5	Rendimientos estimados dragados por WID en Bahía Blanca

12 TÉCNICAS DE DRAGADO HIDRODINÁMICO

12.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Dragado hidrodinámico es una denominación relativamente reciente que describe todas aquellas técnicas de dragado que utiliza la resuspensión de sedimentos y el transporte de los mismos mediante procesos hidrodinámicos naturales. Esta situación se produce cuando se utilizan equipos especiales o equipos convencionales pero que la operación de dragado no contempla el transporte del material dragado a otro sitio. El flujo de agua es el que se utiliza para efectuar el transporte de los sedimentos movilizados

Esta denominación abarca:

- El dragado por inyección de agua, técnica que consiste en mezclar agua con sedimentos para crear una corriente de densidad
- El dragado por arrastre de fondo de arados y rastrillos que consiste en poner en suspensión el material del fondo mediante la remoción mecánica de sedimentos
- El dragado con técnicas de erosión mediante chorros de agua
- La descarga por vertedero y el volcado lateral (sidecasting) en las dragas de succión por arrastre, y otras técnicas que consisten en el volcado del agua con sedimentos en el curso de agua
- La movilización de sedimentos por efecto de hélices ya sea con equipos especiales o por efecto de la navegación de buques.

Esta denominación fue propuesta por CEDA (1998). Buenas referencias sobre el tema son USACE (1983) y Van Raalte (1999)

El dragado hidrodinámico se utiliza principalmente en el mantenimiento de puertos y vías navegables. Es un aporte adicional importante para los métodos convencionales de dragado

El dragado hidrodinámico incluye el llamado “dragado por agitación” y los métodos de “dragado por inyección de agua”. Su aplicación requiere condiciones especiales del medio ambiente. Estos procesos utilizan principalmente las corrientes naturales de agua de los ríos y vías navegables para transportar los sedimentos. Una vez que los sedimentos han sido movilizados las posibilidades de controlar su movimiento es muy limitada. De todas maneras, debido al bajo costo y facilidad de uso, estos procesos representan una alternativa muy interesante frente a los métodos tradicionales de dragado.

A continuación, se presentan los principios básicos del dragado hidrodinámico y se discuten opciones para su aplicación con sus efectos positivos y negativos. Asimismo, se dan ejemplos de las técnicas adecuadas. De esta forma se pretende clarificar el rol y la posición del dragado hidrodinámico en el mundo del dragado

12.1.1 Definiciones

El dragado hidrodinámico es la (re)suspensión deliberada de la fracción fina de los sedimentos del fondo con el propósito de remover ese material del área a dragar utilizando procesos naturales para su transporte. El flujo natural del agua se utiliza como el medio primario de transporte del material dragado, en lugar de tuberías, barcazas o cántaras como se realiza en las técnicas de dragado convencionales.

Se pueden identificar cuatro procesos básicos diferentes de dragado hidrodinámico de los que tres se ilustran en la Figura 12.1

- a) El primer proceso está basado en la mezcla o dilución del material de fondo con agua produciendo una corriente de densidad la cual, (dependiendo de las condiciones locales) transporta el material a una ubicación adecuada.
- b) El segundo proceso está basado en una agitación hidráulica o mecánica vigorosa del material de manera que una vez puesto en suspensión pueda ser transportado por la corriente.
- c) El tercer proceso es mediante el uso de alguno de los métodos de dragado convencionales el que a continuación descarga el material en el agua para que sea transportado por el flujo natural
- d) El cuarto proceso consiste en utilizar hélices de embarcaciones para producir la remoción de la fracción fina de los sedimentos de fondo

Los procesos b) y c) se conocen habitualmente como “dragado por agitación” mientras que el primer procedimiento es un procedimiento patentado que se conoce como “dragado por inyección de agua”. Al proceso indicado en d) se lo denomina “propeller dredging”

El transporte hidrodinámico del material dragado constituye, como consecuencia de la turbulencia, una parte integral de la mayoría de las operaciones de dragado convencional. Ocurre alrededor de cabezales cortadores de dragas de cortador, cabezales de dragas de succión, etc. Las pérdidas normales de material de las operaciones de dragado convencionales son también una forma de dragado hidrodinámico

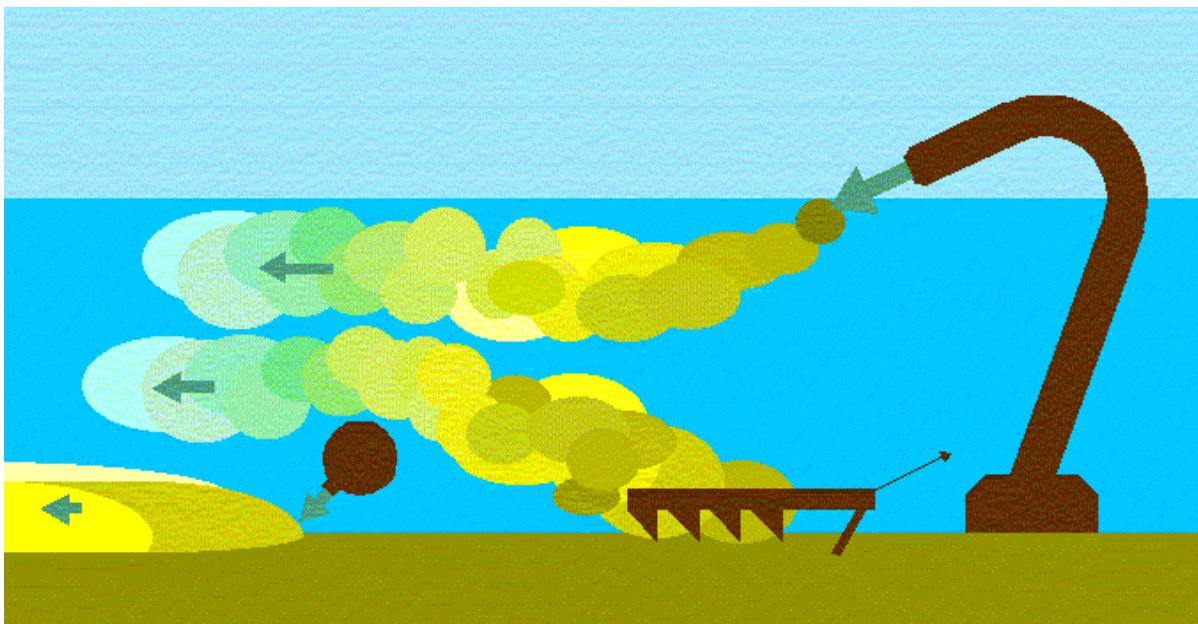


Figura 12.1 – Esquemización de procesos de dragado hidrodinámico (Van Raalte, 1999)

Procesos	(a)	(b)	©	(d)
Métodos	Inyección	Agitación Erosión	Elevación	Hélices
Técnicas	Dragado por Inyección de agua	Viga de arrastre Arado Chorros de agua	Vertido lateral Descarga por vertedero	Navegación

Tabla 12.1 – Presentación esquemática de los procesos básicos

12.1.2 Aspectos físicos

El grado de transporte que puede efectuar una columna de agua en movimiento depende de las propiedades de las partículas de sedimento y de las de la corriente de agua. La propiedad más importante es la velocidad de caída de las partículas.

La velocidad de caída se define como la velocidad terminal a la que una partícula llega cuando se la coloca en un fluido en reposo. La partícula llega a esta velocidad final cuando las fuerzas actuantes sobre la partícula están en equilibrio.

La resistencia al movimiento depende del tamaño de la partícula, velocidad y características del fluido, tales como, viscosidad, densidad y turbulencia. La velocidad de caída aumenta hasta que las fuerzas resistentes equilibran la fuerza gravitacional y la partícula alcanza su velocidad de caída final. La turbulencia juega un factor importante para mantener las partículas en suspensión

12.1.3 Materiales dragables por TDH

El material dragado por medios hidrodinámicos es generalmente un sedimento granular, menor a 63 micrones, aunque también pueden ser considerados materiales más gruesos en casos particulares. Las características del material pueden variar mucho.

La fracción fina puede comprender varios componentes tales como arena, limos y arcillas, así como material orgánico. Cada material tiene sus propias características tales como densidad y forma que influyen la velocidad de caída.

Las fracciones finas no cohesivas (arenas y limos) pueden ser consideradas como una suma de granos sueltos.

12.1.4 Áreas de aplicación

El dragado hidrodinámico puede solamente ejecutarse bajo condiciones favorables. Primero que nada, debe ser posible remover el material mediante el flujo de agua. Segundo, el agua debe fluir en la dirección hacia donde se pretende llevar el material removido y donde no sea perjudicial para el área de deposición.

En general, áreas de interés para este tipo de dragado son:

- e) Áreas con mucha concentración natural de sedimentos
- f) Áreas con material erosionable
- g) Áreas con fondos que tienen pendientes naturales, si es en dirección a zonas de mayor profundidad, mejor.
- h) Áreas con materiales con muy bajo nivel de contaminación

No es fácil demostrar la efectividad del dragado hidrodinámico ni tampoco dar cifras precisas de producción. Para los fondos barrosos donde estas técnicas se utilizan con frecuencia la comparación de relevamientos batimétricos antes y después de las operaciones de dragado no dan resultados satisfactorios

El dragado hidrodinámico es más efectivo para sedimentos finos, recientemente depositados especialmente en áreas donde la sedimentación se produce en lugares bien definidos. También es posible remover la parte superior de dunas existentes en vías navegables que pueden estar constituidas por materiales granulares más gruesos

Los puertos pequeños lo utilizan como única técnica de dragado mientras que los puertos grandes los utilizan para dragar áreas inaccesibles o para nivelar áreas después de una campaña de dragado (realizada por una draga de succión por arrastre, por ejemplo)

También las utilizan los puertos a los cuales se les ha negado una autorización para descargar materiales en el mar, lo que es un problema cuando se trata de sedimentos contaminados porque los diseminan (Sullivan, ,,,).

12.1.5 Ventajas y desventajas

El dragado hidrodinámico y los efectos hidrodinámicos durante las operaciones normales de dragado tienen ventajas y también algunas desventajas o limitaciones

Entre las ventajas se puede mencionar:

- El dragado hidrodinámico es un método de dragado económico. La naturaleza se hace cargo, sin costo, del transporte horizontal del material dragado. Se utilizan equipos muy simples, con inversiones bajas y costos operativos bajos
- El dragado hidrodinámico es un método simple y flexible especialmente para dragado de mantenimiento. La movilización del equipo es fácil, permitiendo que las obras sean programadas y ejecutadas de una manera muy efectiva.
- En estuarios, el dragado hidrodinámico puede tener un impacto bajo en el balance de sedimentos que puede ser un aspecto vulnerable del área, mientras que con operaciones normales de dragado con disposición a largas distancias del material dragado este aspecto puede ser más pernicioso.
- El material dragado permanece bajo agua y de esta manera no se agrega oxígeno al material. Por lo tanto, se reducen al mínimo cambios químicos y biológicos

Algunas de las desventajas son:

- No hay mucho control sobre el destino de los materiales dragados y debe evitarse la sedimentación posterior del material en vías navegables y zonas portuarias
- En el caso de materiales contaminados el dragado puede diseminar la contaminación cosa que normalmente no es deseable. En muchos de estos casos algunas de las formas de dragado hidrodinámico no son recomendables dado que los efectos negativos pueden ser importantes
- En los sedimentos finos pueden encontrarse unidas cantidades significativas de sustancias que consumen oxígeno tales como nutrientes y otras sustancias nocivas. Por lo tanto, como resultado de la puesta en suspensión

de los sedimentos se puede observar un incremento de la concentración de nutrientes y sustancias nocivas (tales como metales pesados) y un considerable aumento en el consumo de oxígeno (o sea, disminución del OD) aunque este efecto se encuentra limitado al área inmediata de trabajo

- Se va a producir un enriquecimiento de la fracción gruesa (acorazamiento del lecho) en el área dragada debido a la extracción de los sedimentos finos lo que va a producir que el área sea menos susceptible a la erosión y por lo tanto haciendo que en el futuro sea más difícil ejecutar tareas de dragado hidrodinámico. En ese caso se deberá recurrir a operaciones típicas de dragado
- La efectividad es difícil de medir directamente porque la zona de transición de densidad entre el fondo duro y el agua dificulta la realización de relevamientos batimétricos precisos.
- Es difícil determinar las cantidades involucradas en las operaciones de dragado
- En determinadas oportunidades se produce un efecto visual de turbidez o coloración del agua superficial que no siempre está autorizado. Esta turbidez superficial no siempre implica daños ambientales.
- La experiencia indica que una limitación de las técnicas de dragado hidrodinámico es una pérdida de efectividad a medida que aumenta la cantidad de sedimento a remover. O sea, que son técnicas para proyectos donde están involucradas pequeñas cantidades de material
- Una desventaja es que es difícil identificar con exactitud los sitios adonde se va a depositar finalmente el material
- Las TDH suelen ser más efectivas cuando son utilizadas en conjunto con técnicas convencionales
- Para los puertos pequeños estas TDH son la única posibilidad económica de mantener las profundidades
- Los proyectos donde se consideran estas técnicas involucran siempre pequeñas cantidades de material a dragar
- A medida que aumenta el tamaño de las partículas, el éxito de las TDH disminuye, lo que es esperable ya que es el flujo de agua el que transporta el material

12.2 DRAGADO POR INYECCIÓN DE AGUA

12.2.1 Consideraciones generales

El dragado por inyección de agua trata de aprovechar al máximo las fuerzas de la naturaleza produciendo las mínimas perturbaciones. Es la técnica de dragado hidrodinámico más característica. Se recomienda consultar sobre este tema PIANC (2013) que es un Manual sobre esta técnica de dragado, muy completo y el documento más actualizado sobre el tema a la fecha.

El dragado hidrodinámico por inyección de agua busca diluir el sedimento por medio de chorros de agua a baja presión como se indica esquemáticamente en las Figuras 12.2. y 12.3. El material diluido fluye como una corriente de densidad por encima del fondo original hacia zonas de mayor profundidad. La distancia de transporte depende de la pendiente del fondo y la densidad y composición del material a ser

Para realizar el dragado la draga cuenta con un cabezal provisto de boquillas que largan chorros de agua que baja hasta el fondo mediante dos pistones hidráulicos o cabrestante por popa.

El sedimento puede ser resuspendido inyectando agua en su interior. Así se elimina la cohesión entre los granos y se forma una mezcla de agua y sedimento. Esta mezcla se convierte en una corriente de densidad que se mueve en una determinada dirección. El material se mueve con mayor facilidad en dirección descendente, por lo tanto, hacia sitios de mayor profundidad. En determinadas condiciones puede desplazarse aún en sentido contrario.

Las dragas son, en general, autopropulsadas. Cuando se inicia la operación se baja el cabezal para que se apoye en el fondo. Se inicia la inyección de agua con un caudal del orden de los 10.000 m³/hora y una presión de 1 a 1,5 bar. El buque se mueve lentamente hacia adelante y arrastra la pluma de sedimento. La velocidad de desplazamiento es baja, de 1 a 2 nudos.



Figura 12.4 – Draga por inyección de agua Jetsed

Algunas dragas por inyección de agua no son autopropulsadas y requieren, por lo tanto, un remolcador para efectuar su desplazamiento. La draga, en estos casos, consiste en un pontón en el que están ubicadas las bombas, la barra con las boquillas para inyectar el agua y una unidad de control del sistema. El ancho de la barra varía entre 2,5 m y 14 m.

La superficie del fondo queda muy pareja después del dragado por inyección de agua. Una ventaja del dragado por inyección de agua es que todo el transporte de sedimentos se produce en una franja vecina al fondo que está limitada a 1 a 3 m del fondo. No se produce una dispersión del material del fondo en la vertical, aunque esto depende mucho de la granulometría del material

Esta técnica puede ser muy atractiva para instalaciones portuarias de menor tamaño que cuentan con recursos escasos para efectuar las tareas de mantenimiento.

También puede utilizarse como herramienta complementaria de tareas de dragado efectuadas por equipos convencionales como, por ejemplo, dragas de succión por arrastre. A menudo una draga por inyección de agua se utiliza en conjunto con una draga de succión por arrastre a los efectos de mejorar el rendimiento de la draga de succión por arrastre. Es poco económico utilizar una draga de succión por arrastre para remover los puntos altos que quedan una vez finalizado el dragado realizado por una draga de succión por arrastre. La draga de succión por arrastre puede seguir con sus tareas de dragado dejando las irregularidades del fondo propias de este tipo de dragas. Se utiliza entonces una draga por inyección de agua para nivelar los puntos altos con los bajos. El resultado es una superficie plana a la profundidad requerida con muy poco sobredragado. En este caso no es necesario que el material se desplace mucha longitud, solamente entre los puntos altos y los mas bajos circundantes.

También puede utilizarse para desplazar el material a dragar de zonas de difícil acceso para otro tipo de dragas como puede ser en las proximidades de muelles o escolleras. Una vez desplazado de estas zonas el material se draga mediante dragas convencionales.

Este tipo de dragado se utiliza principalmente en el dragado de mantenimiento de sedimentos depositados recientemente en zonas portuarias que son ambientes de baja energía lo que facilita la deposición de sedimentos finos fluviales o marítimos. En inglés "Low Energy Environment – LEE" Mediante el dragado por inyección de agua se puede movilizar el sedimento hacia zonas con ambientes de alta energía donde las condiciones no permiten la redeposición del sedimento. En inglés "High Energy Environment – HEE". En la figura 12.5 se muestran ambientes de alta y baja energía esta situación para el caso marítimo y en la Figura 12.6 para el caso fluvial. Las figuras fueron obtenidas de PIANC (2013)

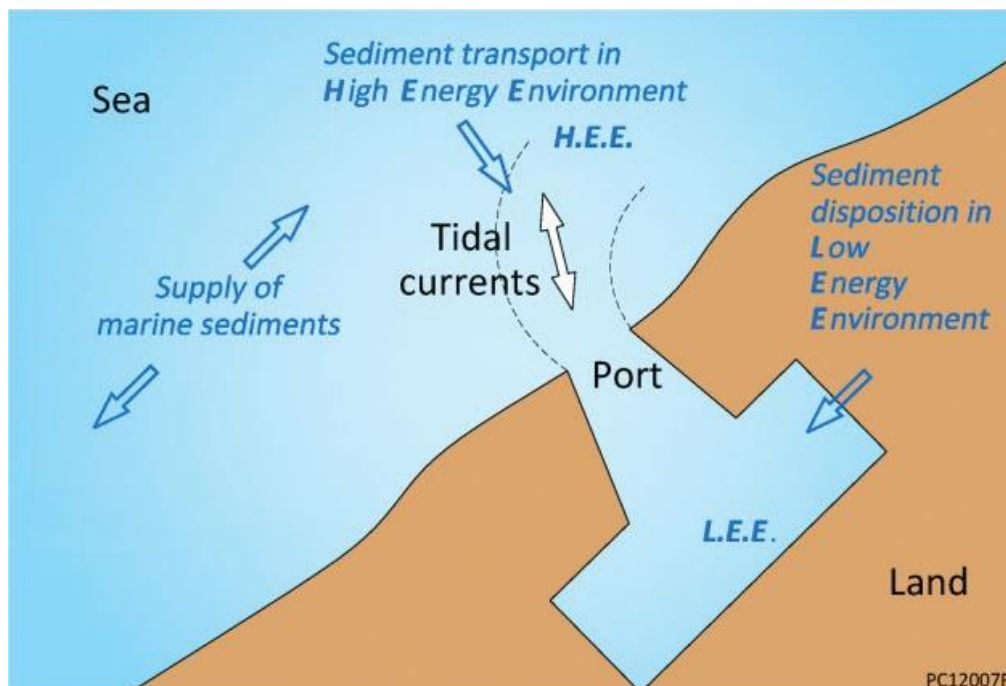


Figura 12.5 – Ambientes de alta y baja energía en la zona marítima (PIANC 2013)

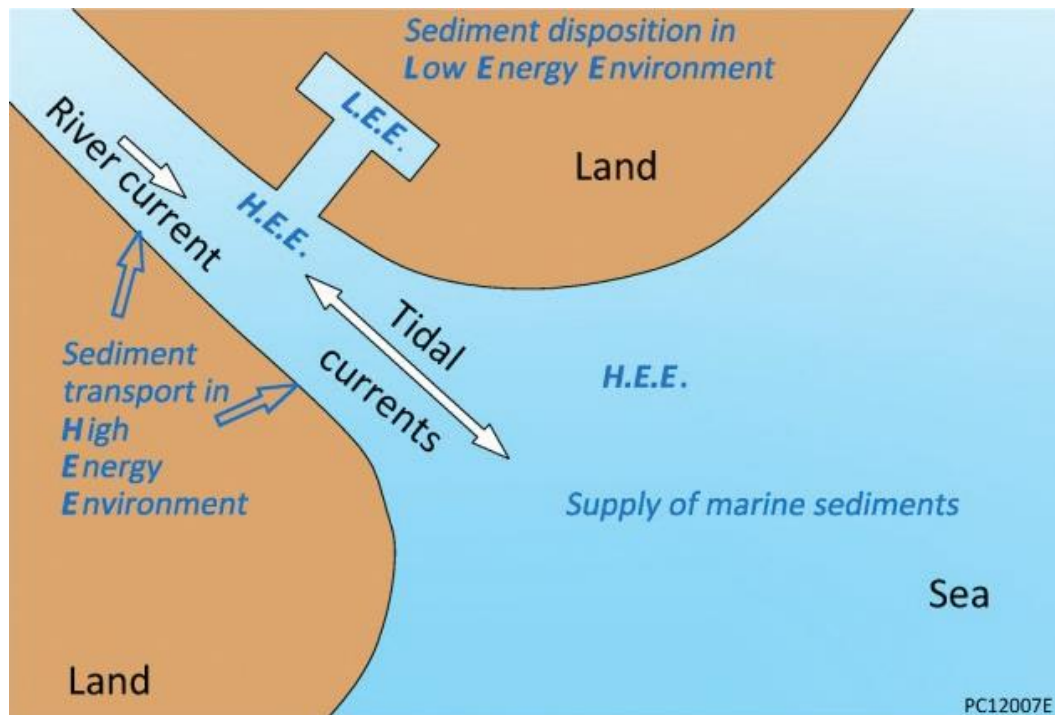


Figura 12.6 – Ambientes de alta y baja energía en la zona fluvial (PIANC 2013)

Desde el punto de vista ambiental se presentan dos situaciones, si se trata de dragar sedimentos no contaminados o contaminados. En el primer caso si se dragan sedimentos no contaminados la técnica es positiva pues se mantiene el material dentro del mismo ambiente y no se extrae y se lleva a otro lugar. En el segundo caso, si se trata de sedimentos contaminados, la técnica no es apropiada pues se produce el desplazamiento de esos sedimentos contaminados hacia otros ambientes con efectos negativos.

La medición de las cantidades dragadas es muy difícil y debe basarse en relevamientos sucesivos de buena precisión. Por lo tanto, las producciones de las dragas al realizar las tareas de dragado no son fáciles de obtener. En la Tabla 12.2 obtenida de PIANC (2013) se presentan valores que ilustran un rango de producciones obtenidas mediante dragado por inyección de agua en proyectos situados en diferentes lugares del mundo con condiciones de borde diferentes. Las producciones más elevadas se obtienen con suelos finos. Los valores consignados varían entre 140 m³/hora para arena de 0,3 mm de diámetro medio y 2800 m³/hora para limos.

Project Name	Soil Description	Volume (m ³)	Duration (hours)	Production Rate (m ³ /hr)
Epon Harbour, Delfzijl, The Netherlands	Silt & sand D ₅₀ 0.3mm	160,000	200	800
Haringvliet Harbour, The Netherlands	Silt/clay	121,000	252	480
Crouch River, United Kingdom	Clayey silt	6,200	12	540
Upper Mississippi River 1992	Sand 0.3 – 0.4mm	6,154	44	140
Calumet 1994	Silt 0.004-0.05mm	12,034	24	502
East and West Calumet floodgates	Silt 0.004-0.05mm	17,900	17	1,080
Michoud 2002	Silt 0.06mm	178,642	96	1,861
Mississippi River Gulf Outlet (MRGO) 2003	Silt	269,230	96	2,800
Weser Estuary, Germany, 2009	Sand 0.6 mm	650,000 (per year)	1,200	550
Elbe Estuary, Germany, 2009	Sand and Silt 0.05-0.6 mm	1,500,000 (per year)	2,000	750

Tabla 12.2 – Valores típicos de producción – Dragado por inyección de agua

Por otra parte, pueden utilizarse diversas modalidades contractuales para estos casos. Este aspecto se va a desarrollar con más detalle en el Tema 16: Contratos de Dragado. PIANC (2013) desarrolla el tema con mucho detalle.

12.2.2 Dragas existentes

En las Tablas 12.3 y 12.4 se presentan las características de una serie de dragas por inyección de agua

Nombre	Dimensiones metros
Norham Camorim	34.9 x 10 x 3,5
Sagar Mantham	40.6 x11.2x4
Antareja	40.6x11.2x4
Iguazú	23.2x10x4.2
Njord	29x8.24x2.48
Jetsed	28.5x13.8x2.2
HAM 924	36.6x12.2x2.44
HAM 922	14.6x6.06x2.4
Baldur	8.2x3.5x0.6

Tabla 12.3 – Características de dragas por inyección de agua

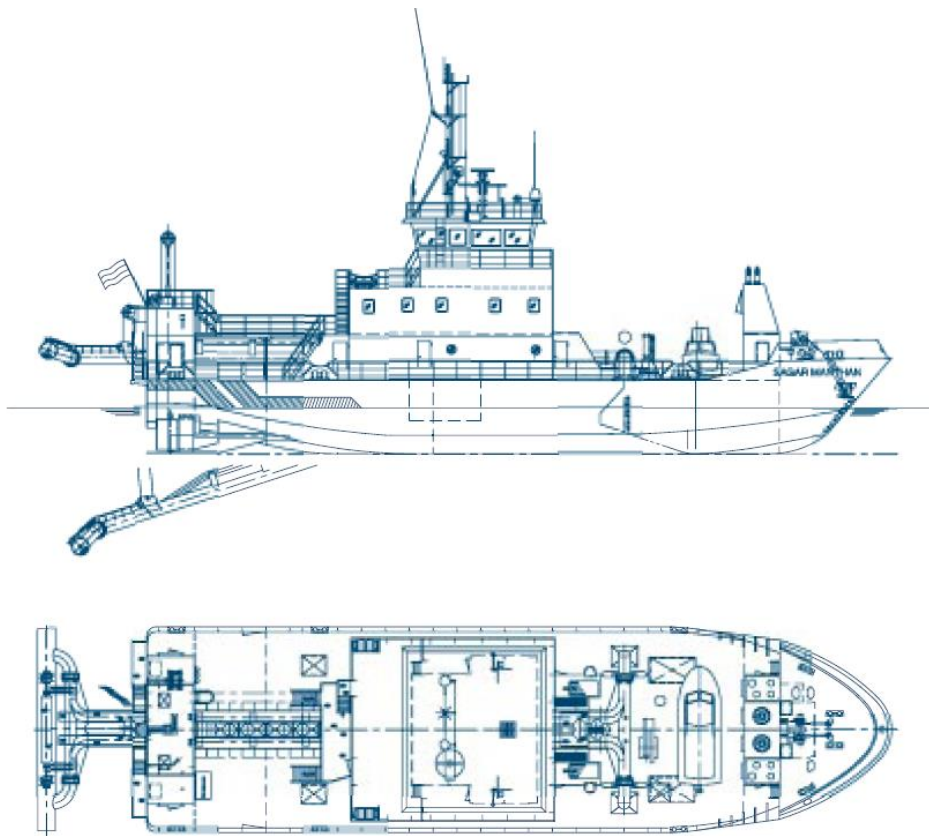
Vessel	Maximum dredge depth (m)	Jet bar width (m)	Jet pump diesel engine power (kW)	Company
Maasmond	21 m	12.0 m	1,250 kW	Van de Kamp
Parakeet	26 m	13.9 m	1,194 kW	DEME
Dhamra	22 m	12.6 m	1,012 kW	DEME
Wodan	20 m	12.0 m	918 kW	Van Oord
Jetsed	25 m	13.4 m	852 kW	Van Oord
Sagar Manthan	28 m	11.0 m	746 kW	Van Oord
Njörd	19 m	12.0 m	716 kW	Van Oord
Antareja	28 m	11.0 m	700 kW	Van Oord
Hol Blank	21 m	10.2 m	662 kW	Bremen Ports
Steubenhöft	21 m	10.0 m	662 kW	Niedersachsen Ports Cuxhaven
Iguazú	27 m	12.2 m	660 kW	Van Oord
Arca	30 m	12.0 m	608 kW	Boskalis
BT 208	21 m	11.0 m	600 kW	Weeks Marine Inc.
Norham Camorim	26 m	11.0 m	558 kW	Van Oord
HAM 922	20 m	6.0 m	502 kW	Van Oord
Draga Tocantins	20 m	8.0 m	447 kW	Van Oord
Draga Rio Madeira	20 m	8.0 m	447 kW	Van Oord
Akke	24 m	11.8 m	442 kW	Meyer & Van de Kamp
Norma	19 m	8.8 m	440 kW	Boskalis
Hol Deep	18 m	8.1 m	346 kW	Bremen Ports
Odin	13 m	4.4 m	220 kW	Van Oord
Baldur	20 m	2.5 m	75 kW	Van Oord

Tabla 12.4 – Características de las dragas por inyección de agua (PIANC – 2013)

Las dragas son relativamente pequeñas. Pueden trabajar fácilmente en proximidad de los muelles.



Figura 12.7 – Draga por inyección de agua



Name	Sagar Manthan	
Type	Water injection dredger	
Classification	Bureau Veritas I, ⚓ Hull, • Mach, dredger, unrestricted navigation	
Year of construction	1997	
Dimensions	Length overall	46.50 m
	Breadth	11.28 m
	Moulded depth	4.00 m
	Draught	2.50 m

Maximum dredging depth	30.00 m
Width injection pipe	11.00 m
Propulsion	2 x 373 kW
Bow thruster	373 kW
Total power installed	2,106 kW
Jet pumps	3 x 373 kW

12.2.3 Ventajas y desventajas

Si bien al principio del tema se han indicado las ventajas y desventajas en general de los diversos métodos de dragado hidrodinámico se da énfasis en este caso a las correspondientes al dragado por inyección de agua

12.2.3.1 Ventajas

- Teniendo sedimentos y condiciones batimétricas e hidrodinámicas adecuadas el dragado por inyección de agua es capaz de tener producciones relativamente altas y a bajos costos.
- En comparación con otros equipos de dragado, por ejemplo, dragas de succión con cortador y dragas de succión por arrastre, las dragas por inyección de agua pueden ser operadas con una tripulación mínima y sin necesidad de equipos auxiliares.
- Debido a que el dragado por inyección de agua no requiere equipos auxiliares ofrece una alternativa rápida de dragado ya que puede (de la misma manera que una draga de succión por arrastre) comenzar a trabajar tan pronto como arriba al sitio del proyecto. Este no es el caso de una draga de succión con cortador que requiere, por ejemplo, la instalación de tuberías entre otros elementos.
- En comparación con las dragas de succión por arrastre el dragado por inyección de agua tiene una operación continua. No hay necesidad de interrumpir la operación de dragado para transportar el material al sitio de descarga
- El sedimento removido permanece en su ambiente natural de erosión, transporte y deposición, o sea, no es sacado del ecosistema.
- Dado que el dragado por inyección de agua no requiere equipamiento auxiliar, o sea, tuberías, anclas o barcazas, puede tener una alta movilidad y puede operar y dejar el canal de navegación relativamente libre para el tráfico pasante.

12.2.3.2 Desventajas

- La aplicabilidad de este método de dragado es más restringida que otros métodos por las condiciones específicas de lugar
- El dragado por inyección de agua no puede utilizarse en los casos donde los impactos ambientales causados por las corrientes de densidad sean inaceptables (por ejemplo, resuspensión de contaminantes, impacto de sólidos en suspensión inaceptable, redeposición en lugares no adecuados)

12.2.4 Materiales que draga

La draga por inyección de agua tiene un campo de aplicaciones muy limitado. Los tipos de materiales que draga son

- suelos cohesivos blandos y muy blandos
- suelos granulares finos sueltos y muy sueltos

12.2.5 Tipo de contrato

El tema contratos para obras de dragado se desarrolla en el Tema 16 de estos apuntes. Para el caso de dragado por inyección de agua, si bien cualquier tipo de contrato es posible, la mayoría de los clientes prefieren un contrato basado en

charteo de equipos. Esto se basa en la dificultad de medir profundidades y volúmenes en forma inequívoca.

12.2.6 Aspectos ambientales

Los aspectos ambientales de las obras de dragado se desarrollan en el tema 18 de estos apuntes. Para el caso específico de dragas por inyección de agua se recomienda consultar PIANC (2013) donde se presenta ese tema con mucho detalle

12.2.7 Estudio de casos

Se presentan algunos casos donde la draga por inyección de agua ha sido utilizada exitosamente. En PIANC (2013) se presentan varios ejemplos interesantes.

12.2.7.1 Puerto de Hamburgo

Netzband (1999) presenta las experiencias de dragado por inyección de agua en el Puerto de Hamburgo y una aplicación muy interesante de la técnica de dragado por inyección de agua para el Río Elba en las cercanías del Puerto. En el Puerto de Hamburgo (Alemania) la técnica de dragado por inyección de agua se ha utilizado desde 1989. En comparación con la técnica de dragado por agitación por arrastre de fondo que se utilizaba hay un menor nivel de mezclado del material removido con el agua produciendo menores efectos ambientales.

Se utilizó el dragado por inyección de agua para nivelar dunas de arena en ríos con fondos arenosos en áreas sujetas a marea. Se hizo una prueba con esta técnica sobre un campo de dunas para nivelar las crestas con el objeto de determinar el tiempo de regeneración de la altura de la cresta.

Se trabajó en un tramo de 1,5 km de longitud del Río Elba en 1998. Se movió arena de las crestas de las dunas hacia los valles reduciendo la altura de las dunas en 1 metro. Controles efectuados hasta cuatro meses después mostraron que las dunas no habían recuperado ni el 50 % de la altura que se les había disminuido.

Material: arenas medianas

Dunas: altura 2 a 5 m

Es importante destacar que con este método el material queda en las proximidades, o sea, en el próximo valle después de la cresta.

Los resultados mostraron que puede utilizarse el dragado por inyección de agua para realizar la nivelación de dunas como un método económico y rápido.

12.2.7.2 Den Burg, Texel, The Netherlands

Terminal de ferries y canal de acceso

Se utilizó la draga Jetsed

Se dragó una cantidad de 20,000 m³

Material: limo

Densidad in situ: 1,25 – 1,50 t/m³

Profundidad: Entre 9 y 12 m

Producción: 1,500 m³/hora

12.2.7.3 Puerto de Calais – Francia

La mayor parte del dragado de mantenimiento del puerto es realizado mediante el uso de dragas de succión por arrastre salvo en los sitios correspondientes a las terminales de ferries donde el mantenimiento se realiza con dragas por inyección de agua. En estos lugares el acceso de las dragas de succión por arrastre es muy dificultoso además del intenso tráfico que tienen las terminales.

Desde el 2002 el dragado de mantenimiento lo realiza la draga por inyección de agua Jetsed de Van Oord, construida en 1987 y actualizada en el 2003 y que tiene una profundidad máxima de dragado de 23 m.

Favorece esta elección el hecho que el 70 % del material a dragar tiene un tamaño menor a 63 μm

En este caso se da la circunstancia que el nivel del fondo de la terminal de ferries está entre 1 y 2 m por encima del fondo de la dársena adyacente lo que favorece el desplazamiento de la pluma de turbidez.

El volumen anual de dragado por inyección de agua en estas dársenas es de alrededor de 7,000 $\text{m}^3/\text{año}$.

Para obtener un buen resultado con el dragado de todo el puerto es importante seguir una secuencia predeterminada. Primero hay que dragar el puerto con la draga de succión por arrastre. El material a dragar está consolidado y se obtienen buenos rendimientos. Con este dragado se genera plenamente la diferencia de niveles entre dársenas.

A posteriori hay que dragar los sitios de los ferries con la draga por inyección de agua. El material se desplaza hacia la parte con mayor profundidad y tiene una densidad menor lo que haría ineficiente pretender dragarlo con la draga de succión por arrastre.

12.2.7.4 Puerto de Bahía Blanca – Argentina

La empresa Jan de Nul ha realizado en varias oportunidades el dragado de sitios del Puerto de Bahía Blanca y Puerto Rosales mediante el pontón multipropósito DN28 equipado como draga por inyección de agua.



Figura 12.8 – Pontón DN28 equipado como draga por inyección de agua

En la Tabla 12.5 se indican los rendimientos estimados obtenidos en el dragado mediante WID en diferentes sitios del Puerto de Bahía Blanca

Lugar	m3/hora
Puerto Rosales	1,200
Piedrabuena/Toepfer	1,300
TBB (5/6 - 7/8 - 9)	1,000
Cargill - Multiprop. - MEGA - Profertil	1,200
Dreyfus	900
Belgrano taludes	1,000
Muelle Carranza	800
Zona giro Galván	1,200
Sitios Galván 1 a 4	850
Sitios Galván 5 a 9	900

Tabla 12.5– Rendimientos estimados dragados por WID sitios Bahía Blanca

12.3 DRAGADO CON TÉCNICAS DE ARRASTRE DE FONDO

También se denomina dragado por agitación por el efecto que produce sobre los materiales del fondo si bien esta denominación se aplica también a otras formas de dragado hidrodinámico. El dragado hidrodinámico por arrastre de fondo es un método que utiliza equipamientos de arrastre especialmente diseñados tales como la rastra de fondo y el arado. Estas herramientas son arrastradas sobre el fondo mediante un remolcador y levantan el material mecánicamente. Es difícil producir la elevación del material en toda la columna de agua utilizando este tipo de equipamiento. Pero la hélice de la embarcación arrastrando la rastra puede crear la suficiente turbulencia como para desparramar el material. Otra manera de agitar el material a niveles mayores es mediante el agregado de aire a presión cerca del elemento de arrastre. Por este motivo es conveniente utilizar este método en presencia de corrientes de suficiente magnitud como para transportar el material suspendido. La ventaja más importante de estos métodos es que son muy económicos comparados con los métodos tradicionales de dragado.

12.3.1 Rastra de fondo (Bed leveller)

Este equipo consiste en una plancha de metal con dientes en su parte frontal que se arrastra por el fondo tirada por un remolcador. Pueden usarse como equipo de dragado independiente para desplazar material de un sitio a otro en distancias cortas o puede utilizarse como un equipo complementario de otros equipos de dragado, como puede ser de una draga de succión por arrastre. En este último caso este equipo permite nivelar los picos y valles del fondo que quedan después de efectuar la operación de dragado y que son muy difíciles de eliminar con la misma draga de succión por arrastre [Bray (1997) p175]. También se utilizan para desplazar el material de áreas inaccesibles hasta donde la puedan captar los equipos principales de dragado. En la Figura 12.9 se muestra un croquis de una rastra de fondo tirada por un remolcador.

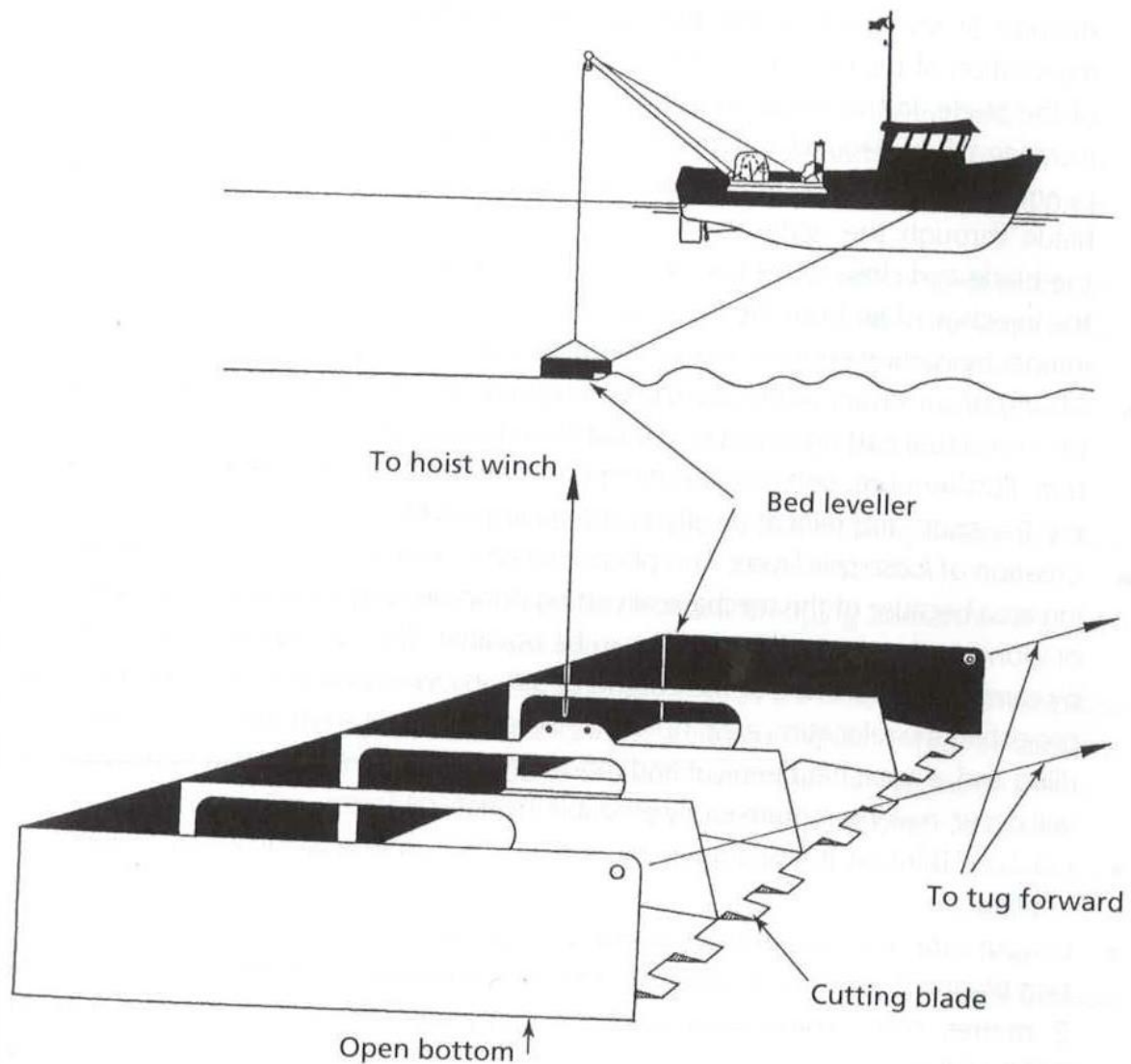


Figura 12.9 – Rastra de fondo

12.3.2 Arado (Plough)

Tiene el mismo principio que la rastra de fondo, pero con una diferente conformación que permite cavar un surco en el fondo para la conformación de trincheras, por ejemplo, para la instalación de tuberías.

De acuerdo al relevamiento realizado por Sullivan () esta técnica es la que los usuarios indican como la más favorable desde el punto de vista económico.

12.4 TECNICAS POR EROSION CON CHORROS DE AGUA

La erosión se produce cuando el material se remueve mediante un chorro a alta presión. El material de fondo a ser dragado se pone en suspensión mediante chorros de agua y se desplaza una corta distancia. Este método se utiliza para la remoción localizada de pequeñas cantidades de arena, por ejemplo, para destapar tuberías en el fondo que necesitan ser reparadas.

La erosión puede realizarse mediante una lanza o en proyectos de mayor escala utilizando chorros de agua en el cabezal de una draga de succión por arrastre.

12.5 TDH CON DRAGAS DE SUCCION POR ARRASTRE

El dragado por agitación es el proceso de remoción el material del fondo de una determinada área utilizando equipos para elevar el material en la columna de agua y dejando que las corrientes lo alejen del área de proyecto. Hay dos fases bien diferenciadas en el dragado por agitación: (1) puesta en suspensión del material de fondo por algún tipo de equipo (2) transporte del material en suspensión por las corrientes.

El objetivo principal del dragado por agitación es la remoción del material de fondo de un área determinada. Si el material se pone en suspensión, pero luego se redeposita a corta distancia en la misma área, se ha logrado realizar agitación del material pero no dragado por agitación.

La decisión de utilizar la técnica de dragado por agitación debe basarse principalmente en los siguientes factores:

- Factibilidad técnica: El equipo necesario para generar el nivel adecuado de agitación debe estar disponible de manera que el material sometido a agitación sea llevado fuera del área del proyecto por el flujo de agua.
- Factibilidad económica: El dragado por agitación debe ser considerado el método más económico para obtener los resultados deseados. Además, no debe incrementar los costos de dragado de otros proyectos cercanos al agregárseles volúmenes de sedimento.
- Factibilidad ambiental: El dragado por agitación no debe producir impactos ambientales inaceptables

El dragado hidrodinámico por agitación es de hecho parte de una operación de dragado normal. La diferencia es que el material es inmediatamente liberado en lugar de ser transportado por tuberías, barcasas o cántaras. El material es traído, a veces en grandes cantidades, hasta la superficie del agua donde la corriente es habitualmente más fuerte y el tiempo necesario para que una partícula llegue hasta el fondo más largo. El material tiende a ser así transportado a mayores distancias. La turbulencia generada por la embarcación aumenta los efectos mencionados

Para la elevación del material se pueden utilizar dragas de succión por arrastre convencionales o dragas de cortador o, como en el caso del U.S. Corps of Engineers, tener dragas específicamente diseñadas basadas en la succión por arrastre para estos fines. El dragado hidrodinámico realizado con una draga de succión por arrastre se realiza tanto por rebalse por vertedero como por vertido lateral.

12.5.1 Rebalse por vertedero – Overflowing

Cuando se llena la cántara de una draga de succión por arrastre y al mismo tiempo se descarga por vertedero el material más pesado se deposita en la cántara mientras que el resto del material vuelve al agua. De hecho, este es el procedimiento estándar para llenar una draga de succión por arrastre. El material que se descarga por el vertedero normalmente se libera por debajo del casco donde tiene muchas posibilidades de ser removido por el efecto de turbulencia de las hélices lo que contribuye a mantener este material en suspensión.

El dragado por agitación es un proceso en el que se descarga intencionalmente grandes cantidades de material granular fino dragado al seguir bombeando una vez que se ha llegado al nivel de vertedero bajo la suposición que una parte importante de los sedimentos que pasan por encima del vertedero serán transportados y depositados en forma permanente fuera de la sección del canal por corrientes de marea, fluviales o litorales.

El dragado por agitación debe ser utilizado solamente cuando los sedimentos dragados tienen propiedades pobres de decantación, cuando hay corrientes que puedan transportar los materiales y cuando el riesgo de efectos ambientales es bajo. Condiciones favorables pueden existir en un determinado proyecto solo a determinadas horas del día, tales como con corrientes de marea saliente o cuando las corrientes fluviales son fuertes. Para utilizar dragado por agitación en forma efectiva es necesario realizar estudios extensos de las condiciones del proyecto y evaluaciones ambientales de los eventuales efectos que se puedan tener.

No se debe realizar dragado por agitación mientras se está en estoa de pleamar o bajamar o cuando las corrientes predominantes permitan el redépósito del material en el área del proyecto o en otras áreas donde sea perjudicial

En el dragado por agitación la capacidad de la cántara es de importancia secundaria en comparación con la capacidad de bombeo, movilidad y vertederos.

Descripción de la operación: La operación convencional de llenar la cántara, interrumpir el bombeo y navegar hasta el lugar de descarga se reemplaza por el dragado sin interrupción del bombeo y descarga simultánea.

Para un mismo proyecto se requiere una draga relativamente más pequeña cuando se trabaja por agitación que con el método convencional.

Usos. El dragado por agitación puede utilizarse para las mismas tareas de mantenimiento que las dragas convencionales si se satisfacen los siguientes requisitos:

- Los sedimentos son granulares finos y sueltos
- Las corrientes son adecuadas para remover los sedimentos puestos en suspensión fuera del área de proyecto
- No hay impactos ambientales inaceptables generados por causa del dragado

Ventajas. Dado que son las corrientes y no otro tipo de equipamiento las que se ocupan del transporte de los sedimentos se pueden obtener las siguientes ventajas

- El costo del dragado por agitación puede ser varias veces menor por m³ que el costo del dragado realizado con el método tradicional
- Se pueden utilizar dragas de menor porte

Desventajas. El dragado por agitación debe aplicarse solamente en sitios muy específicos y no debe ser utilizado como método general para el mantenimiento de áreas grandes. Las siguientes desventajas deben tenerse en cuenta al evaluar esta técnica para un determinado sitio:

- El dragado por agitación no puede ser utilizado en áreas ambientalmente sensibles donde pueden ocurrir impactos ambientales inaceptables.
- Tanto los sedimentos como las corrientes deben ser aptos para el dragado por agitación

12.5.2 Vertido lateral – Sidecasting

Vertido lateral: es un método en el que todo el material bombeado es descargado de vuelta al agua por medio de una tubería hasta una cierta distancia del buque. Puede ser a través de un pórtico especial suspendido al costado de una draga de succión por arrastre. El extremo de la tubería puede tener un chorro para descargar el material a mayor distancia y con menor concentración demorando la decantación de las partículas

12.5.2.1 Dragas de succión por arrastre convencionales



Figura 12.10 – Descarga lateral (sidecasting)



Figura 12.11 – Draga Niña realizando descarga lateral

En la Figura 12.11 se aprecia el trabajo de la draga “Niña” realizando descarga lateral en las tareas de dragado de pasos de poca profundidad en el Río Paraná Medio

12.5.2.2 Dragas especialmente diseñadas para vertido lateral

- a. Consideraciones generales. Las dragas para realizar vertido lateral son buques de poco calado especialmente diseñados para remover sedimentos de barras en canales o pequeñas entradas a lagunas costeras (small coastal inlets). El diseño del casco es similar al de una draga de succión por arrastre; sin embargo, las dragas para vertido lateral no tienen habitualmente cántaras. En lugar de almacenar el material en la cántara bombea directamente el material por encima de la borda por medio de un pórtico elevado; de esta manera su poco calado no se modifica mientras mantiene o hace dragado de apertura de un canal.
- b. La tubería de descarga está suspendida sobre la banda del buque mediante una estructura. La operación de dragado se controla mediante el seguimiento por parte del buque de trayectorias prefijadas.
- c. Descripción de la operación. La draga draga el material mediante dos tubos de succión y lo bombea a través de la tubería de descarga soportada por el pórtico de descarga. Durante la operación de dragado el buque navega a través de toda la longitud del área de poca profundidad sacando material de la sección teórica del canal y descargándolo afuera del canal. El material dragado puede ser transportado lejos del canal por corrientes litorales o corrientes de marea. La profundización de la sección a través del inlet habitualmente resulta en algo de erosión natural y profundización de la sección, dado que las corrientes tienden a concentrarse en la sección activa.

Una secuencia típica de los eventos de una operación de dragado por vertido lateral es:

- La draga se moviliza hasta la zona de trabajo
- Se bajan los tubos de succión
- Se comienza el bombeo y se descarga el material lateralmente mientras la draga avanza en la línea prefijada
- Si las profundidades no son suficientes para dragar la barra en marea baja, el dragado debe comenzar con marea alta. Bajo estas condiciones el dragado se concentra en un canal angosto para lograr la profundidad necesaria para que el dragado pueda continuar durante la marea baja
- Se continua el dragado hasta restablecer el perfil de proyecto
- El material dragado se puede ubicar en la banda más conveniente rotando el pórtico.

d. Usos. El U.S. Corps of Engineers desarrolló la draga de poco calado de vertido lateral para utilizarla en lugares demasiado poco profundos para dragas de succión por arrastre y con demasiada actividad de oleaje como para usar dragas de cortador (sobre todo por la tubería). Los tipos de material que pueden extraerse con la draga de vertido lateral son los mismos que los que se extraen con las dragas de succión por arrastre.

e. Ventajas. Las dragas de vertido lateral, al ser auto-propulsadas pueden desplazarse rápidamente de un proyecto a otro con poco tiempo de aviso o

requerimiento y pueden empezar a trabajar inmediatamente una vez que se encuentran en el lugar. Por lo tanto, las dragas de vertido lateral pueden estar a cargo del mantenimiento de una cantidad de proyectos separados entre sí por distancias importantes a lo largo de la costa.

f. Desventajas. La draga de vertido lateral necesita una profundidad mínima de agua que le permita flotar por encima del banco antes de poder empezar a dragar ya que draga a medida que navega. Ocasionalmente la draga deberá esperar los periodos de marea alta para comenzar a realizar las tareas. Estas dragas no pueden mover cantidades excesivas de material por sus dimensiones. Parte del material removido puede volver al canal después de dragado a causa de las corrientes litorales o de marea. La draga solo puede tirar el material a una distancia del sitio de dragado (no tiene cántara) por lo que no puede ser utilizada en el caso de sedimentos contaminados



12.6 TDH CON DRAGAS DE CORTADOR

En determinadas oportunidades, al efectuarse el dragado con una draga de succión de cortador, se tiene la posibilidad de descargar el material a una distancia muy corta en una corriente de agua de suficiente capacidad como para transportar el material dragado como parte de su transporte sólido. Por supuesto, la granulometría del material debe permitir este tipo de operación

Un caso donde se aplicó este procedimiento fue en el dragado del Puerto de Barranquilla – Colombia en 1996. El puerto estaba muy embancado y para restablecer la cota a pie de muelle se utilizó una draga de cortador importante que descargaba el material dragado directamente en la corriente fluvial del río.

12.7 AGITACION POR EFECTO DE HELICES

12.7.1 Equipos especiales

La agitación por efecto de hélices se realiza mediante embarcaciones especialmente diseñadas o modificadas para dirigir corrientes generadas por las hélices en dirección al fondo. El material puesto en suspensión es transportado por una combinación de corrientes naturales y corrientes generadas por las hélices.

Descripción de la operación. La embarcación con hélices para favorecer el dragado tiene un mejor comportamiento cuando comienza las operaciones en la parte aguas arriba del paso y realiza la operación hacia aguas abajo con la corriente generada por las hélices dirigidas en dirección aguas abajo. La embarcación se ancla en la posición y dirige las corrientes generadas por hélices hacia el material depositado durante varios minutos. Luego se reposiciona la embarcación y se repite el procedimiento

Usos. El dragado mediante agitación por hélices se ha utilizado exitosamente en puertos, desembocaduras de ríos, canales fluviales y estuarios. Es un método pensado para utilizar en arenas sueltas y en tareas de mantenimiento de limos y arcillas no compactas. Cementación, cohesión o compactación del material de fondo puede hacer esta técnica muy difícil de aplicar. En el caso de la presencia de oleaje se pueden presentar problemas para anclar la embarcación. Profundidades óptimas para este tipo de dragado en arenas están entre 2 y 3 veces el calado de la embarcación.

Richardson (1984) indica valores de producción del orden de los 200 m³/hr en arenas y ligeramente superiores para materiales más finos.

La ventaja más importante de este procedimiento reside en la economía de la operación comparando valores con métodos tradicionales de dragado.

Dentro de las desventajas pueden mencionarse las siguientes:

- Funciona mejor en zonas donde no hay oleaje
- La profundidad de dragado debe ser como máximo 4 veces el calado de la embarcación
- El sedimento a dragar está limitado a arenas sueltas, limos o arcillas

12.7.1.1 Estudio de caso – Dartmouth, Devon (UK)

Sullivan (,,) menciona el caso de Dartmouth como un ejemplo interesante de dragado por efecto de hélices con una embarcación especialmente diseñada al efecto. La embarcación, Neptune, embarcación de fondo plano, tiene las siguientes características:

$E = 8 \text{ m}$

$B = 3 \text{ m}$

Diámetro de la hélice: 1 m

Puede operar hasta 5,50 m de profundidad, pero funciona con mayor efectividad en profundidades menores.

12.7.2 Efecto de la navegación de buques

La remoción de los sedimentos del fondo por efecto de las corrientes generadas por las hélices se produce también de manera no intencional cuando los buques navegan por las vías navegables. Este tipo de efecto no es controlado y es a veces es considerado no deseado, sobre todo cuando la erosión supera valores aceptables.

Netzband (1999) menciona que se efectuaron mediciones con ADCP durante el paso de grandes buques y ferries que mostraron que por efecto de las hélices se producían concentraciones de sedimentos en suspensión significativamente mayores que con el uso del dragado por inyección de agua.

Una de las observaciones que se le efectúa habitualmente a las operaciones de dragado es la producción de plumas de sedimentos finos que pueden tener consecuencias ambientales. En su defensa se trata de comparar en forma relativa las concentraciones producidas por situaciones naturales u otras actividades. Entre las otras situaciones naturales se encuentran las condiciones de crecida de los ríos que suelen transportar grandes cantidades de sedimentos en suspensión o las condiciones de oleaje severas que producen la remoción de los sedimentos de fondo. Entre las otras actividades que generan grandes cantidades de sedimentos en suspensión se encuentra la navegación. En efecto, la navegación de grandes buques en aguas restringidas produce un efecto de corrientes generadas por el movimiento de la hélice que ponen en suspensión una gran cantidad de sedimentos. Estos pueden apreciarse claramente como una estela detrás del barco. Si bien desde el punto de vista ambiental se han considerado en muchas oportunidades como perjudiciales es importante evaluar el impacto que desde el punto de vista del mantenimiento de los canales de navegación tiene este proceso.

Clarke (2007) realiza una evaluación de este fenómeno en Newark Bay indicando la relevancia del mismo y mostrando una manera efectiva de realizar mediciones de campo en las plumas dejadas por los buques mediante ADCP y muestreos de agua para determinar concentraciones para calibración. Los grandes buques involucran a toda la vertical y tienen una persistencia importante, del orden de los 50 minutos.

También Claeys (2001) utiliza un método similar en Bélgica y lo explica con todo detalle en su artículo

Si los materiales del fondo de la vía navegable son erosionables el repetido paso de buques, sobre todo con revanchas bajo quilla limitadas, produce una puesta en suspensión del material con una profundización en forma de V en el eje de navegación. El material puesto en suspensión se comporta según su granulometría y condiciones hidrodinámicas reinantes le permite, a saber, los materiales más finos son arrastrados por las corrientes mientras que los materiales más gruesos tienden a acumularse en los veriles del canal produciendo una sección mas en V que trapezoidal.

En la Figura 12.13 se muestra un perfil transversal a la altura del Km 175 de la Vía Navegable Troncal en el Río de la Plata, Argentina donde se percibe este efecto. Comparado con el perfil de proyecto que tiene una profundidad de 34 pies (10,36 m) se aprecia que la profundización en el eje alcanza a 40 pies (12,2 m).

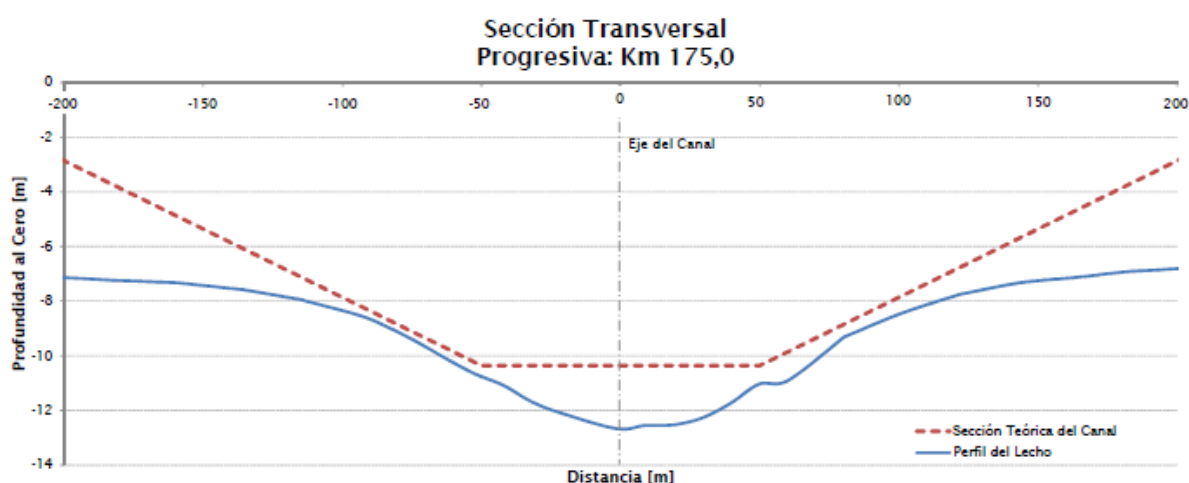


Figura 12.13 – Profundización en el eje por efecto de la navegación de buques

La acumulación de sedimentos en el veril del perfil de proyecto obliga al dragado de esos sedimentos en forma periódica. No hay cálculos acerca de las cantidades de sedimentos involucradas pero el efecto de profundización del eje debe tenerse en cuenta para el caso, por ejemplo, que haya una tubería sumergida sobre la cual haya que mantener una tapada mínima.

12.8 BIBLIOGRAFÍA

Bray, R.N., Bates, A.D, and Land, J.M., (1997) “Dredging, a handbook for engineers”, Second edition, John Wiley and Sons pp177-179 Bray,

Bray R.N.,(1998) “A review of the past and a look to the future” Terra et Aqua Número 70 March 1998

Claeys, S. et al (2001) “Mobile turbidity measurement as a tool for determining future volumes of dredge material” Terra et Aqua Number 84 September 2001, 9 pp

Clarke, D. et al (2007) “Preliminary Assessment of Sediment Resuspension by Ship Traffic in Newark Bay, New Jwersey”, Proceedings 18th World Dredging Congress, May 2007, paper Number 7C-02, pp 1155 - 1172

Netzband, A. et al. (1999) “Water injection dredging in Hamburg” CEDA Dredging Days 1999

PIANC (2013) “Injection Dredging” Report N° 120 – 2013, 86pp

Sullivan, N. () “The use of agitation dredging, water injection dredging and sidecasting: results of a survey of Ports in England and Wales” Terra et Aqua

Tavallali, A (2013) “Water Injection Dredging: effect of dredging sequence and evaluation of impact turbidity. A case study of the Port of Calais” PIANC E-Magazine N° 147, December 2013, pp 37- 42

USACE (1983) - EM 1110 – 2 – 5025, Chapter 3 – “Dredging Equipment and Techniques”

Video “Draga por inyección de agua”

Van Raalte, G.H and Bray R.N. (1999) “Hydrodynamic dredging: principles, effects and methods” CEDA Dredging Days 1999

www.vanoord.com Visitar página web empresa Van Oord