



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA

MANIPILACIÓN DEL MATERIAL PRODUCTO DEL DRAGADO EN LOS PUERTOS

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

PRESENTA
ARMANDO LUNA VELÁZQUEZ

DIRECTOR DE TESIS
ING. OSCAR E. MARTÍNEZ JURADO



CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO D. F. 2006



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

A Dios que me ha dado la oportunidad de llegar hasta el día de hoy pleno y en compañía de la gente que más quiero.

A mi director de tesis, Ing. Oscar E. Martínez Jurado que me ayudó a terminar este trabajo, por su comprensión, motivación, tiempo y fundamentalmente por la confianza que desde el inicio me mostró.

A mis sinodales, M.I. Víctor Franco, Ing. José Héctor Montoya Maciel, M.I. Ricardo Rubén Padilla Velázquez y M.I. José Francisco Téllez Granados, por su disponibilidad y tiempo dedicado en la presente tesis. En especial por su invaluable enseñanza que en algún momento me transmitieron en un salón de clases.

Al Ing. González Durán de la Gerencia de Ingeniería de la API Veracruz, por otorgarme la información solicitada para complementar la tesis.

Al Ing. Jesús Gerzahn Huidobro González por su ayuda en este trabajo y en los otros varios que realizamos juntos, espero vengan más. Principalmente por su amistad incondicional así como la confianza de siempre. Gracias por ser mi mejor amigo del gremio.

Al Ing. Javier Gutiérrez Reynoso por todo lo que me enseñó, tanto en lo profesional, como en las cosas más mundanas.

A la Señora Blanca Lilia Reyes Morales por su insistencia y ayuda en la realización de la tesis, así como la paciencia que me ha tenido.

Dedicatorías

A mis padres:

Regina y Armando, por siempre estar a mi lado, por darme la oportunidad de ser Ingeniero y hacer de mí una buena persona, pero principalmente por permitirme tener a los mejores padres y hermanos del mundo. ¡¡Siempre los amo!!

A mis hermanos:

Marlene y Gustavo, gracias por siempre confiar en mí y compartir su vida conmigo, ustedes son los principales responsables de esto, sin su ayuda no hubiera sido posible. Afortunadamente me toco ser el ejemplo, pero sólo tomen lo bueno. ¡¡Los amo!!

A mis abuelos:

Por todo el cariño que siempre me han dado, gracias por acompañarme a lo largo de mi vida, en especial a mi abuelo Gustavo que donde quiera que se encuentre sé que está orgulloso.

A Mónica Lizeth Martínez Galván:

Por motivarme y en ocasiones obligarme a trabajar en la tesis, por ir siempre conmigo de la mano y estar en constante lucha para que sea mejor cada día. ¡¡Gracias Flaca!!

A las familias: Martínez Herrera, Ortega González, Ortega Cordero y Platas Velázquez por brindarme su casa y permitirme formar parte de ustedes, gracias por su apoyo, sin ustedes esto hubiese sido muy difícil.

A todas esas familias que son mi familia: Álvarez Arroyo, Escamilla Luna, Martínez Galván, Nieto Herrera, Ortega Hernández, Ortiz Herrera, Santos Velázquez. A ti también Giova.

A la Familia González Ortega:

Por acompañarme en este largo viaje y brindarme su ayuda incondicional.

A todos mis amigos que estuvieron conmigo desde el comienzo, algunos siguen hasta hoy, ¡¡Gracias... Totales!!

INDICE

INTRODUCCION	1
I. GENERALIDADES	3
I.1. Antecedentes históricos	3
I.1.1. Desde la antigüedad hasta el siglo XVI	4
I.1.2. El Renacimiento	6
I.1.3. La Ilustración	8
I.1.4. Desde el siglo XVII hasta el final de la Guerra Mundial	9
I.1.5. Desde la II Guerra Mundial hasta hoy	16
I.2. Primeros dragados en puertos mexicanos	23
I.2.1. Puerto de Tampico, Tamaulipas	24
I.2.2. Puerto de Veracruz, Veracruz	27
I.2.3. Las primeras dragas en nuestro país	29
II. EQUIPOS DE DRAGADO	31
II.1. Tipos de dragado	32
II.2. Clasificación de los equipos de dragado	38
II.3. Breve descripción de los equipos	41
II.3.1. Dragas mecánicas	41
II.3.2. Dragas hidráulicas	44
II.4. Características generales e idoneidad de los equipos	47
II.4.1. Draga de almeja	47

II.4.2. Draga de rosario	49
II.4.3. Draga de retroexcavación (Backhoe)	51
II.4.4. Draga de cortador	52
II.4.5. Draga de succión en marcha (Trailer)	54
II.4.6. Draga de jet de agua (WID)	56
II.5. Aspectos comparativos	57
III. ESTUDIOS NECESARIOS PARA LA REALIZACION DE UN PROYECTO DE DRAGADO	59
III.1. Información previa	61
III.2. Hidrografía	62
III.2.1. Posicionamiento	63
III.2.2. Sondeo	65
III.3. Estudios geofísicos	67
III.4. Características de los terrenos a dragar	68
III.4.1. Suelos	69
III.4.2. Rocas	69
III.5. Condiciones oceanográficas y meteorológicas	73
III.5.1. Oleaje	73
III.5.2. Viento	75
III.5.3. Corrientes	75
III.5.4. Mareas	76
III.5.5. Otros aspectos climáticos	77
III.6. Aspectos del entorno y logísticos	77

IV.	ORGANIZACION Y EJECUCION DE LAS OBRAS	80
	IV.1. Características distintivas de una obra de dragado	80
	IV.2. Funciones a realizar en una obra de dragado	83
	IV.3. Organización de una obra de dragado	86
	IV.3.1. La organización de una obra de dragado a nivel bajo	88
	IV.4. Planificación de una obra de dragado	90
	IV.5. La elección del equipo	94
	IV.6. La ejecución de una obra de dragado	95
	IV.6.1. Preparación de los trabajos, movilizaciones y montajes de equipos. Sondeo inicial	95
	IV.6.2. La ejecución	98
	IV.6.3. Sondeo final. Desmontajes y desmovilizaciones	102
V.	DISPOSICION DEL MATERIAL PRODUCTO DEL DRAGADO ..	104
	V.1. Aspectos generales del vertido	104
	V.2. Diferentes alternativas en puntos de vertido	107
	V.2.1. Puntos de vertido con confinamiento	108
	V.2.2. Puntos de vertido sin confinamiento	116
	V.3. Desarrollo de una zona de vertido	119
	V.3.1. Planificación	120
	V.3.2. Diseño	121
	V.3.3. Construcción	127
	V.3.4. Operación	129
	V.3.5. Uso final	134
	V.4. Elección de alternativas	136
	V.5. Acerca del costo	137

VI.	ESTUDIO DE CASO	139
VI.1.	Localización de la obra	139
VI.2.	Descripción de la obra	139
VI.3.	Tipos de suelo	142
VI.4.	Condiciones de obra	143
VI.5.	Equipo y desarrollo de la obra	144
VI.3.	Zona de vertido del material producto del dragado	147
VII.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	149
VII.1.	Conclusiones	149
VII.2.	Recomendaciones	151
	BIBLIOGRAFIA	153

INTRODUCCION

El dragado es una actividad elemental e imprescindible para la operación portuaria y costera, tanto desde el punto de vista de la construcción de obras y creación de nuevas infraestructuras, como desde el de la explotación y operación de las ya existentes.

Es este doble punto de vista el que ha llevado a establecer la tradicional clasificación de los dragados como de “construcción”, cuando se trata de la creación de nuevas obras de inversión, y de “mantenimiento” cuando su finalidad es mantener las condiciones de operatividad de alguna instalación portuaria.

Sin embargo, el campo de actividad del dragado es más amplio del que se puede deducir de la clasificación anterior. Así, la utilidad de los dragados no se encierra exclusivamente a la obtención de mayores calados para la navegación, o el mantenimiento de los mismos, como serian las obras puras de dragado, sino que resultan ser acciones necesarias y complementarias para la ejecución de un gran número de obras portuarias y costeras. En este caso se puede citar la ejecución de dragados para cimentación de estructuras marítimas (muelles, diques, etc.), el tendido de tuberías y emisarios submarinos, la generación de nuevas extensiones de tierra (que pueden tener uso urbano, industrial o exclusivamente portuario), regeneración de playas, etc.

Queda clara la importancia y la necesidad de acometer obras de dragado que permitan incrementar la competitividad de nuestros puertos, mejorar la calidad de nuestras costas, y contribuir, en definitiva, al desarrollo económico y social del país.

En este marco y dada la significación de los dragados dentro de la ingeniería marítima en general, he realizado el trabajo que a continuación presento.

El presente trabajo se ha estructurado en seis capítulos, el primero recopila la historia y la evolución de los dragados, desde la antigüedad hasta el presente, así mismo se mencionan dos de los primeros trabajos de dragado en puertos mexicanos. El segundo capítulo está dedicado a la descripción de las características que presentan los distintos equipos para poder llevar a cabo una obra de este tipo. En el tercer capítulo se incluye una descripción de los estudios y trabajos previos a tener en cuenta para planificar y ejecutar una obra de dragado. Los capítulos cuatro y cinco, se centran en la descripción, tanto desde el punto de vista funcional como de diseño ingenieril, de la propia ejecución de las obras. Y en el último capítulo se menciona un caso práctico de una obra de dragado en un puerto mexicano, en este caso y debido a su importancia se trata del puerto de Veracruz.

Con la realización de este trabajo se pretende proporcionar a todos aquellos interesados en los aspectos portuarios y costeros, un conocimiento de los aspectos que están relacionados con esta especialidad de la ingeniería marítima.

CAPITULO I

GENERALIDADES

Empezaré por presentar brevemente la evolución a lo largo del tiempo de los equipos de dragado y por otra parte, dar a conocer a los hombres que dedicaron su inteligencia y esfuerzo en todas las facetas de su actividad, al progreso y desarrollo del “arte del dragado”, desde la antigüedad hasta nuestros días.

Como parte de este primer inciso se hacen referencia a los primeros trabajos de dragado que se tienen registrados en nuestro país. Así también, se da a conocer quien reguló los trabajos de dragado en los primeros años y quién lo lleva a cabo a la fecha.

I.1. Antecedentes históricos

El mar es, quizás, el mayor reto que la Naturaleza representa a los esfuerzos del hombre en sus intentos de dominarla; desde la antigüedad todos los pueblos navegantes y principalmente el Imperio Romano, realizaron esfuerzos para vencer su acción destructora, lográndolo en cierto grado dentro de sus posibilidades con puertos que han quedado como ejemplos de sus realizaciones, que no fueron superadas hasta hace poco más de un siglo. Si la tecnología romana fue capaz de lograr un valladar a la acción destructora del oleaje, fracasó frente a un enemigo más terrible y silencioso, como fue el de los aterramientos que borrarón sus puertos, sepultándolos bajo sus acarrees.

Desde la caída del Imperio Romano, hasta la Revolución Industrial, el hombre no puede resolver este problema, a pesar de los esfuerzos de las diferentes naciones y personajes inteligentes. La aplicación del vapor como fuerza motriz y la construcción metálica a los barcos, permitió disponer de artefactos poderosos capaces de luchar contra el “cáncer” que los aterramientos suponía a los puertos; desde entonces se ha producido un desarrollo continuo hasta hoy, construyéndose equipos diversos, que quizás sean los artefactos más poderosos y costosos que el ingenio utiliza en sus obras de infraestructura.

I.1.1. Desde la antigüedad hasta el siglo XVI

Desde el comienzo de las sociedades civilizadas, el hombre trata de dominar las condiciones de su entorno y mejorar sus condiciones de vida y entre las primeras obras que acometen figuran la construcción de canales de regadío y vías fluviales; con medios primitivos, pero enormes masas de hombres y con la muerte de cientos de miles de ellos, tanto en China, como en Medio Oriente, o Egipto, excavan numerosos canales o mejor a los existentes como por ejemplo: el Gran Canal del Faraón Neco II, que seiscientos años antes de Cristo, unió el Mar Rojo con el Mediterráneo a través del Nilo, permaneciendo abierto hasta seis siglos después de Cristo.

Pero todas estas obras fueron realizadas en tierra firme, y cuando quisieron disponer de puertos marítimos, lo hicieron a base de avanzar sobre el mar desde tierra firme, y tanto los egipcios como fenicios, cartagineses y especialmente romanos, construyeron algunos que son un ejemplo del ingenio y el esfuerzo humano.

Si en este aspecto, lograron éxitos indudables y muy superiores a lo que por sus medios materiales y tecnología era de esperar, fracasaron en cuanto tuvieron que luchar con aterramientos marítimos o fluviales, teniendo que cerrar algunos de sus

puertos, como sucedió con el de Ostia, entrada de Roma y teóricamente el más importante del Imperio Romano, debiendo abandonarlo a pesar del genio constructor Romano y de los esfuerzos de los emperadores Claudio y Trajano por mantenerlo abierto, en contra del consejo de ingenieros imperiales, estando sus retos actualmente sepultados por los acarreo marítimos y del río Tiber.

La caída del Imperio Romano llevó consigo la desaparición de la construcción de grandes obras públicas como son los puertos, e incluso ni siquiera se conservaron los existentes.

Tan sólo a partir del segundo milenio empiezan los balbuceos de una nueva era en este aspecto de la vida y entre ellos debe descartarse en esas épocas la actividad de los pueblos de los Países Bajos entre el Escalda y el Elba, donde con un tesón y unos esfuerzos admirables fueron ganando tierra al agua, a base de extraer el producto de ríos y canales que cruzan el territorio, vertiéndolos sobre las zonas altas elevando su cota y volviendo cultivables las tierras ganadas, moviendo masas enormes de productos.

Utilizaron fundamentalmente la pala manual formada por una hoja más o menos curvada dotada de un largo mango, sustituyendo en zonas fangosas la hoja por una especie de saco de cuero que recogía más producto.

Esta herramienta llamada "Bag and spoon", ha llegado hasta el siglo XX, utilizada en diversos países del Norte de Europa. También utilizaron una especie de dragalinas primitivas sacando el producto a los bordes de los canales; finalmente aprovecharon las fuertes corrientes producidas por los ríos y la vaciante de sus grandes mareas provocando la remoción de los fangos, utilizando diferentes medios, destacando lo que puede ser considerado como el primer artefacto de dragado,

llamado Krabbelcar, conocidos de principios de 1400 y que consiste en un barco de vela dotado en su fondo de un rastrillo con rejas que iba abriendo surcos poniendo en suspensión el fango que era arrastrado por las corrientes.

A partir de entonces puede considerarse que ha nacido el Arte de Dragado.

I.1.2. El Renacimiento

A partir del siglo XVI, todo el despertar del ingenio e inventiva que se produjo en Europa en ese periodo, incide de forma destacada sobre la concepción y diseño de artefactos dragadores.

Muchos de los genios constructores de entonces (Leonardo, Fontana, Besson, Verantius, etc.), idean diferentes artefactos, y entre todos ellos se debe destacar en primerísima fila al desconocido autor del famoso código de Juanelo Turriano, que en sus libros 19 y 20 se puede considerar como el primer tratado de obras marítimas, anticipándose en muchas de sus concepciones en más de dos siglos sobre sus contemporáneos.

Todos los artefactos de esta época están movidos a mano, contruidos en madera, utilizando poleas, engranajes, etc., para aumentar la fuerza aplicada; entre los diversos equipos que aparecen, palas, cucharas, chascas, ruedas dentadas de excavaciones, perforadoras, etc., que no es posible y menos describir en un trabajo como este. Sólo resaltaré entre los artefactos dragadores, por el avance técnico respecto a su tiempo la cuchara de doble efecto, con una concepción que hasta el siglo XIX no vuelve a utilizarse; el gánguil de fondo abierto del mismo autor (Turriano) (figura 1.1), que lo dibuja y describe hacia 1568 y que los ingleses mantenían, hasta hace poco tiempo, que había sido su invento, doscientos años más tarde, de su

compatriota Lydell en 1753; y las dragalinas y las dragas de pala utilizadas en Holanda, donde se aplica la utilización de poleas y cabrestantes multiplicando su potencia y efecto.

Figura 1.1. Draga de pala y gánguil de Juanelo Turriano.



En la primera mitad del siglo XVII, aparece en Holanda (y después se extendió por Europa) un artefacto llamado Mud-Mill, que fue decisivo en el dragado de los aterramientos y que puede considerarse como el verdadero antecesor de las dragas de rosario.

Consistía en un rosario o cadena sin fin, formada por placas curvas (el cangilón es de épocas posteriores), que extraía el producto del fondo mediante el movimiento producido por el giro de dos ruedas aplicadas al extremo superior de la escala, movidas por la acción de hombres que caminaban sobre ellas.

Con el tiempo fueron mejorándose sus características aplicando la fuerza animal en sustitución de la humana realizando la transmisión mediante engranajes, siendo su prototipo el llamado Amsterdamois que dio grandes resultados,

manteniéndose su aplicación durante más de dos siglos, compitiendo incluso con las primeras dragas a vapor.

Durante el resto del siglo XVII, siguieron utilizándose los mismos equipos, más o menos perfeccionados, debiéndose de sacar un artefacto prácticamente con la misma tecnología y antecedentes de las modernas plataformas de perforación.

I.1.3. La Ilustración

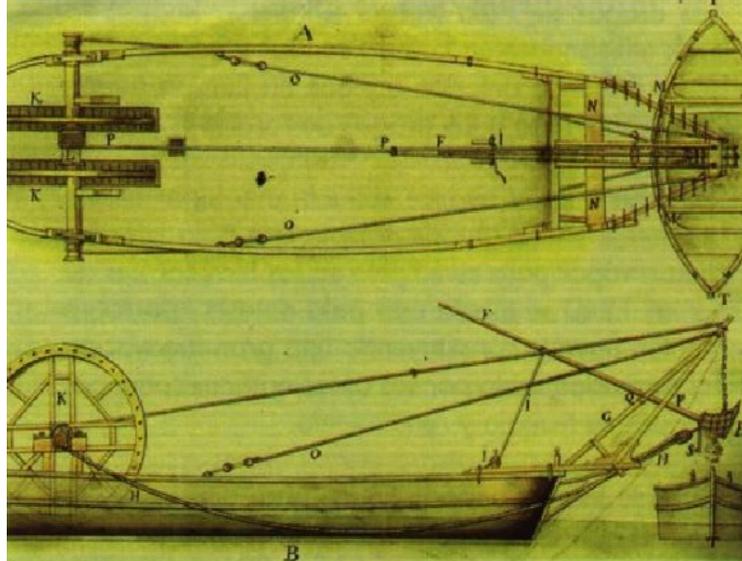
Perdura durante el siglo XVIII contemplando el florecer de las Academias en los diferentes países; animados por su espíritu, diferentes ingenieros, científicos e inventores, idean diversos artefactos o mejoras a los existentes; se extiende la utilización de la fuerza animal siempre que es posible, perfeccionando los medios de transmisión de la fuerza mediante engranajes, ruedas, cabrestantes, ejes, etc.

Dentro de los artefactos más característicos y utilizados en la época deben citarse las dragas de pala, dotadas de una gran cuchara en el extremo del mango que se acciona mediante ruedas movidas por hombres (figura 1.2); esos artefactos perduraron durante más de un siglo y medio como uno de los medios básicos de los dragados, debiendo citarse entre ellas la del español Esteban de Panón, que utilizó una pala frontal en lugar de las tradicionales laterales, introduciendo un gran avance en la tecnología de este artefacto.

En la segunda mitad del siglo se introduce una innovación que produce una verdadera revolución en el arte del dragado: es el rosario de cangilones, que da origen a la draga de rosario y que durante cerca de dos siglos será uno de los tipos de artefacto más potente y capaz utilizado en los dragados.

Otro artefacto que contribuye decisivamente al proceso de los dragados es el gánguil de fondo abierto, patentado por Lydell en 1753 en Inglaterra, permitiendo el vertido de producto al ritmo del trabajo de las dragas.

Figura 1.2. Proyecto de una máquina con una sola pala para dragar, diseñada para el Puerto de Ceuta.



I.1.4. Desde el siglo XVII hasta el final de la Guerra Mundial

Es una época donde aparecen los grandes avances tecnológicos; iniciada a final del siglo XVIII la aplicación a las máquinas de vapor, desde principios del siglo XIX se desarrolla una rápida y extensa utilización de esta forma de energía a los equipos dragadores, de forma que desde la mitad del siglo su uso es general y prácticamente se convierte en la única fuerza motriz utilizada, salvo el caso de algunos pequeños artefactos que continúan empleando la fuerza humana o animal.

La aplicación de la construcción metálica a las embarcaciones es posterior a la del vapor, y a principios del siglo XX sigue utilizándose la madera para la construcción de los cascos, circunscribiéndose el empleo de los materiales metálicos a

los equipos, máquinas, calderas. Pero gracias a la construcción metálica se construyen artefactos cada vez mayores y más potentes con unidades capaces de navegación oceánica, pudiendo trasladarse a los cinco continentes para permitir la construcción de sus puertos y vías de navegación.

El gran avance tecnológico del “arte del dragado” se inicia a finales del siglo XIX con la aplicación de las bombas hidráulicas a la técnica del dragado, lo que inicia una gran revolución hasta el punto que, desde entonces, los equipos de dragado se dividen en mecánicos e hidráulicos, según sea el principio en que se basan.

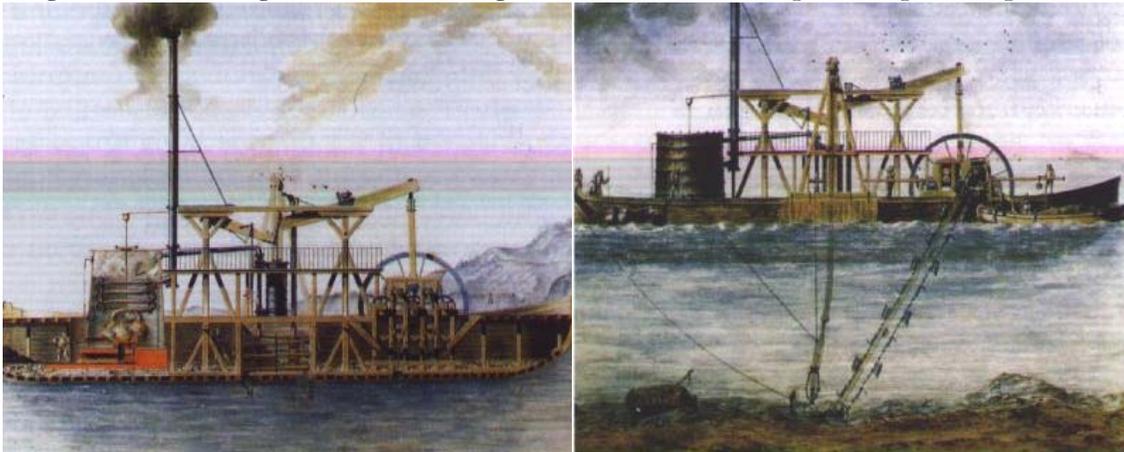
Para las dragas mecánicas la aplicación del vapor a los equipos de dragado comenzó en las dragas de rosario. En 1800 Samuel Benthon construye una draga de rosario a vapor para el puerto de Portsmouth, con escala situada lateralmente en el casco del barco. Desde entonces hasta 1830 se construye en Inglaterra una serie de dragas de este tipo de diferentes características.

Hacia 1810 Agustín de Bethancourt construye una gran draga de rosario para San Petersburgo, sobre el río Neva (figura 1.3). Era un artefacto con la escala de rosario lateral que trabajó durante más de veinte años sin necesidad de reparaciones y con unos rendimientos muy superiores a las otras dragas contemporáneas. Bethancourt aportó una innovación genial en estas dragas, que fue la de instalar un mecanismo de concepto similar al de acoplamiento de par, que permitía a la máquina de vapor seguir funcionando, aunque el rosario parase por cualquier causa.

Finalmente diremos que ya desde 1792, Bethancourt había ideado una draga a vapor, casi diez años antes de que se construyera la primera en Inglaterra, proponiéndola a la junta de generales de la armada y que por ironía del destino fue rechazada por muy potente.

A lo largo del siglo, las dragas de rosario (Bucket dredge) fueron mejorando sus características y aumentando sus dimensiones, construyéndose numerosísimas unidades de diferentes tipos, que constituyeron la base de las flotas de dragado; a fines del siglo, prácticamente estaban definidas su forma de trabajo y características básicas. Los cascos son de acero; la fuerza motriz es suministrada por calderas de vapor alimentadas por carbón y maquinas principales de doble y triple expansión; los cangilones oscilan entre los 300 y los 1000 litros de capacidad cargando el producto lateralmente sobre los gánguiles.

Figura 1.3. Draga de rosario de Agustín de Bethancourt, para limpiar los puertos.



Durante cerca de siglo y medio las dragas de rosario fueron el elemento básico de las flotas de dragado en Europa, hasta que fueron superadas en su trabajo por las dragas hidráulicas.

En cambio en USA, por una serie de circunstancias, no se utilizaron y sólo se construyó una en todo el periodo, sustituyéndolas en su trabajo las dragas de pala y otros equipos hidráulicos.

Las dragas de pala frontal (dipper o shover) siguieron utilizándose en Europa con las mismas características del siglo anterior, aunque en Europa fueron cediendo

el terreno a las dragas de rosario a vapor.

Su gran auge y avance técnico tuvo lugar en los Estados Unidos, donde en 1835 Otis patenta una pala terrestre, movida a vapor, para su empleo en los ferrocarriles de Ohio. En 1840, se monta una pala de este tipo sobre un pontón flotante, constituyendo una gran innovación en el dragado, tanto por sus características como posibilidades de trabajo y rendimiento.

Durante el periodo tienen gran difusión y utilización en los Estados Unidos, perfeccionándose y llegando a unas dimensiones de cazos de 15 a 20 yardas cúbicas, con rendimientos en terrenos duros que oscilan de los 500 a los 200 m³/día, pudiendo alcanzar los 12 m de profundidad. Según aparece en el Congreso de Navegación de 1935, no se utilizan en Europa, exponiendo que no existía ningún artefacto de este tipo en Holanda hacia dicha fecha.

La cuchara de valvas o almejas (clam-shell o grab) está formada por una cuchara colgada de una grúa giratoria que va montada en un frontón. En 1840 se patenta en los Estados Unidos el primero de estos artefactos, y desde 1870 se utilizan como equipo de dragado.

En 1878, la casa Prietsman construye una draga de cuchara que se extiende rápidamente por todo el mundo, hasta el punto de llegar a conocerse popularmente este tipo de dragas con este nombre.

Se desarrollan numerosos tipos, y por sus características, posibilidades de trabajo en reducidos espacios, rendimientos y costos, fue desde el principio un equipo utilizado de forma universal tanto en Europa como en Estados Unidos, donde

construyeron unidades con cucharas de hasta 15 yardas cúbicas de capacidad y producciones diarias superiores a los 2000 m³/día.

En las dragas hidráulicas el empleo de las bombas hidráulicas en los artefactos de dragado supone la mayor innovación de esta técnica desde el comienzo de los dragados, e introduce un cambio drástico en los medios utilizados.

Su origen se lo disputan europeos y norteamericanos, que siguieron caminos distintos en el desarrollo de los equipos utilizados, y se debe reconocer que en este periodo los americanos logran unos artefactos más poderosos y eficaces, con una concepción de trabajo más moderna, que se impondrá netamente a partir de la mitad del siglo XX, aunque desde estas fechas se invertirán los papeles, recogiendo los europeos la antorcha de la inventiva que desarrollan los tipos de dragas americanas hasta llegar a la casi perfección actual.

Desde mitad del siglo XIX se utilizaron bombas de succión, que al crear una corriente de agua pueden succionar y transportar productos en suspensión. El primero en aplicar la idea a las dragas en Europa fue Bazin en 1874, y desde entonces surgieron multitud de bombas cada vez más perfeccionadas, como la de Hulton, que en 1874 se empleó con gran éxito en diferentes obras en el Mar del Norte, constituyéndose una verdadera draga (draga de succión e impulsión estacionaria) montando en un pontón el tubo de aspiración, la bomba y el tubo de impulsión. Este tipo de artefactos ha perdurado hasta hoy día con modernos y potentes equipos utilizados en los terrenos y emplazamientos adecuados.

Desde el último tercio del siglo XIX se utilizaron estos equipos perfeccionándose y construyendo una draga capaz de transportar los productos por ella misma, apareciendo la draga de succión estacionaria y autoportadora.

Posteriormente, se incorporaron otras innovaciones como la de situar lateralmente el tubo de succión, colocar la bomba de aspiración debajo de la línea de flotación merced al dispositivo de subida y bajada del tubo deslizándose por el casco, conectando al tubo y la bomba a través de una válvula situada en el interior del casco y pudiendo impulsar desde la propia cántara a tierra, creando la llamada draga de succión autoportadora e impulsadota, constituyendo el equipo mas eficaz de su época.

Con estas mejoras, se construyeron numerosas unidades hasta el estallido de la II Guerra Mundial, con algunas unidades como la draga inglesa "Leviathan" de 7646 m³ (10000 yardas cúbicas) de capacidad de cántara, que fue en ese momento la mayor del mundo. Este tipo de dragas, se utilizó de forma general en todos los puertos europeos y de influencia europea, aunque se desconoció en Estados Unidos, que siguieron otro camino.

Casi paralelamente con las primitivas dragas de succión estacionaria, muy pocos años después, surge la draga de cortador o "cutter", que es prácticamente igual a la de succión simple estacionaria (tubo de succión, bomba de aspiración e impulsión, tubería de descarga a tierra o gánguiles) que lleva en el extremo del tubo de succión un dispositivo en forma de cesto tronco-cónico, formado por cuchillas de acero que pueden girar mediante un eje transmisor, montado sobre el tubo de succión, capaz de disgregar el producto, aunque sea compacto, facilitando su absorción por la corriente de aspiración de la bomba. Para su fijación en el terreno utiliza pies derechos o pilonos (spuds), que clavándose en el fondo rigidizan la draga en su posición, giran en forma de péndulo y avanzan excavando el terreno mediante un sistema de mecanismos y anclas.

Se utilizaron en Estados Unidos desde 1863, y con diferentes mejoras se

desarrollaron extraordinariamente. En Europa, hasta muy entrado el siglo XX, fue escasamente empleado pudiendo decirse que sin duda es una tecnología americana. Se mejoran los cortadores, se desarrollan las tuberías flotantes, el sistema de pilonos o spuds, y se llega a potencias extraordinarias tanto en el cortador como en las bombas, permitiendo el dragado de casi todo tipo de terrenos, incluso de rocas blandas, con algunas limitaciones de trabajo debido a las condiciones del emplazamiento y del tráfico existente en el mismo, convirtiéndose en un equipo fundamental de las flotas de dragado y siendo indispensable por sus posibilidades de trabajo, costo y rendimientos.

La draga de succión en arrastre o "trailer" es el artefacto más poderoso y costoso que el hombre utiliza en la ingeniería marítima y civil. Su empleo ha permitido llevar a cabo las obras situadas en mar abierto y en grandes profundidades expuestas al oleaje, con posibilidad de ejecutar volúmenes de millones de metros cúbicos a un precio razonable y en un tiempo relativamente reducido, y juntamente con los cortadores son los equipos básicos actuales de las flotas de dragado.

Es una idea americana y en Europa no se utilizaron hasta después de la II Guerra Mundial, salvo algunos casos.

En 1855 los americanos construyeron una draga llamada "General Moultrie" de tipo estacionario y autoportador (anterior por tanto a las europeas). Posteriormente, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército construye, después de la guerra de Secesión, dos dragas que trabajan en "marcha", disponiendo en el barco de un equipo de propulsión y otro de succión arrastrado en popa, siendo capaz de succionar los productos a pesar de la marcha del barco y cargando en su propia cántara.

Las ventajas indudables de este tipo de artefactos lo impusieron y en los años sucesivos se construyeron una serie de dragas de este tipo, incorporando diversas mejoras: cabezas de succión; utilización de los motores de combustión interna a partir de mediados del siglo XX; dispositivos de apertura de las puertas de vertido de fondo; mejoras en las bombas de succión, etc.

Con independencia del desarrollo de la tecnología americana, aparece en Europa hacia 1900 una draga de succión en arrastre para fangos y limos, inventada por Fruhling, similar a las dragas de arrastre americanas, y aunque se construyeron algunas unidades de este tipo, prácticamente desaparecieron después de la II Guerra Mundial frente a la utilización de las dragas "trailer", por las mejores condiciones y resultados de éstas.

Poco antes de la II Guerra Mundial, de acuerdo con la experiencia de los americanos, los franceses construyeron varias dragas de arrastre de grandes dimensiones para la época (unos 2000 m³ de capacidad de cántara) dotados de todos los adelantos existentes y con tecnología muy avanzada, incluso superior a la empleada por los americanos, dando un gran servicio en los puertos franceses. Después de la guerra, cambia el panorama pasando el liderazgo de la tecnología europea y mundial a los astilleros holandeses.

Paralelamente el desarrollo de las dragas, se construyeron equipos auxiliares de todo tipo con características de funcionamiento y capacidad, adecuadas al servicio que debían prestar como equipos auxiliares y complementarios de los dragados.

I.1.5. Desde la II Guerra Mundial hasta hoy

La conmoción que la II Guerra Mundial introdujo en todos los aspectos de la

vida fue también el origen de una verdadera revolución en el dragado, tanto en el campo de las tecnologías como en el de la organización y sistemas de ejecución.

Por un lado, Europa se encuentra con sus puertos muy dañados y sus flotas de dragado destruidas o averiadas, aparte de su obsolencia respecto a las nuevas tecnologías. Por otro, mientras en Estados Unidos la tecnología de los "cutter" y las palas sigue avanzando, la de los "trailers" languidece, en parte debido al monopolio por parte del Cuerpo de Ingenieros ya que tenía equipo para el dragado de los estuarios y grandes ríos, lo que hizo que los contratistas americanos no construyeran ninguna unidad de ese tipo ni fomentasen el desarrollo y tecnología de estos equipos.

Entonces Europa reaccionó procediendo a una renovación prácticamente total de sus equipos, y aunque durante algunos años se construyeron varias dragas de rosario, desde el último tercio del siglo XX se abandona prácticamente este tipo de artefacto comenzando una verdadera carrera en la construcción de "trailers" y "cutters", cada vez más potentes y tecnológicamente más avanzados, hasta llegar a un verdadero "gigantismo".

En Estados Unidos la situación originada en la tecnología de los "trailers" ocasiona que parte de las nuevas dragas en marcha, adquiridas al principio de este periodo para su flota, sean compradas en astilleros holandeses o construidas en Estados Unidos con tecnología europea. Esta situación comienza a cambiar al encargar el Senado a empresas privadas, el dragado encomendado hasta la fecha al Cuerpo de Ingenieros, lo que repercutirá indudablemente de forma drástica en el futuro.

Finalmente, se produce un hecho decisivo en la mentalidad de la casi totalidad de las administraciones portuarias de mundo libre con economía de mercado, al

liberizar el mercado de los dragados desguazando sus viejas flotas y acudiendo al sistema de cursos entre empresas dragadoras, no solo de la ejecución de las obras del mantenimiento de los calados. Esto, unido al gran aumento del volumen de dragado, originado por la necesidad de construir puertos y vías navegables más profundos para atender a las demandas de la navegación marítima, favoreciendo el crecimiento, no solo del número de dragas, sino específicamente de sus dimensiones.

A este reto respondieron con todo éxito las grandes organizaciones mundiales de dragado y los astilleros especializados, lo que ha permitido disponer de las suficientes flotas para poder realizar las obras proyectadas, existiendo además una gran competencia entre las empresas en la lucha por los mercados, lo que motiva que sus costos unitarios suban en una proporción muy inferior a las del resto de las obras civiles.

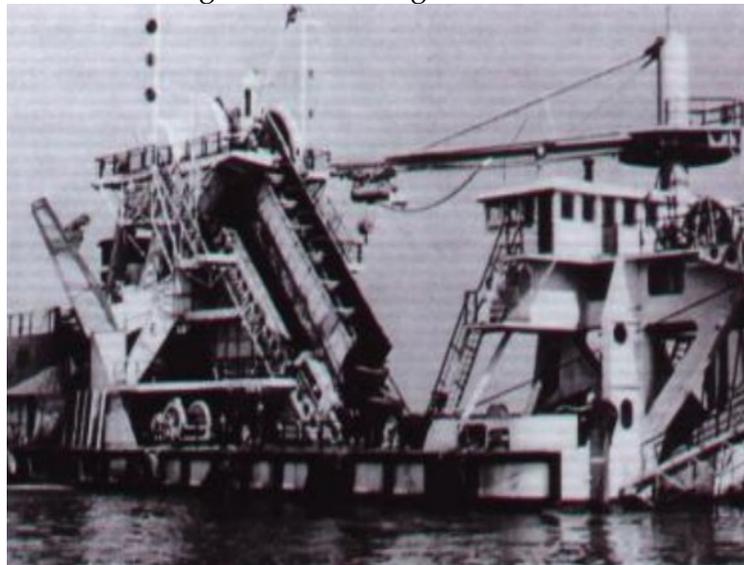
En cuanto a la tecnología utilizada, entre otros avances pueden citarse la desaparición del vapor, utilizándose el motor diesel, bien directo con acoplamiento de par, o diesel eléctrico, aunado a una serie de mejoras en los equipos, concepción de los barcos, introducción de la aplicación informática a todo el sistema, lo que supone un cambio drástico en las operaciones, de forma tal que están prácticamente programadas y controladas por programas informáticos, lo que ha permitido una gran perfección en la ejecución de las obras, con aumento en los rendimientos, disminución de los costos y reducción de las tripulaciones, etc.

Desde el final de la guerra hasta 1975 aproximadamente, se construyeron algunas dragas de rosario (figura 1.4), pero desde estas fechas se ha reducido su construcción de forma general y únicamente se conservan algunas unidades para trabajos específicos. En 1993 solo existían unas 40 de más de 600 litros de capacidad

de cangilón, siendo cada vez más sustituidas por las nuevas unidades de cortadores, palas y trailers.

Las dragas de pala se mantienen con el mismo esquema de trabajo, con las mejoras técnicas lógicas, construyéndose unidades con capacidad de cazo que llegan a los 25 m³ como la Chicago. Siguen siendo muy utilizadas en Estados Unidos, donde existen flotas con numerosas unidades de este tipo.

Figura 1.4. Draga de rosario.



Una gran innovación en este campo ha sido la utilización de dragas “retroexcavadoras” (backhoe), que operan sobre potentes flotantes dotados de pilonos para rigidizarlos con el terreno. Llegan a construirse con cazos de hasta 15 m³ pudiendo excavar todo tipo de terreno, incluso rocas blandas.

Las dragas de cuchara prácticamente continúan sin variaciones técnicas respecto al periodo anterior, empleando en algunos casos cucharas de grandes dimensiones, hasta de unos 30 m³ de capacidad. Siguen siendo muy utilizadas en

trabajos muy específicos y en puntos donde, por sus condiciones o menor volumen a extraer, se hacen más adecuadas.

El desarrollo de las dragas hidráulicas, específicamente “cutter” y “trailers”, ha sido espectacular tanto por sus características como por el número de unidades construidas. Desaparecen las antiguas dragas de tipo holandés y las dragas de succión estacionarias se limitan a dragados específicos.

Las dragas de cortador continúan su desarrollo por un doble camino. Por un lado, se construyen unidades cada vez de mayores características, existiendo unas 30 con potencias instaladas de más de 10000 HP, llegando el Western Corder a 29000 HP en USA y en los astilleros europeos el Mashour a 30000 HP. Por otro lado, se ha desarrollado la construcción de equipos en serie desmontables, que pueden transportarse incluso por vía terrestre hasta el lugar de su utilización, con series normalizadas, que van desde pequeñas potencias hasta los 12000 HP instalados en el conjunto del barco.

Uno de los mayores avances en la tecnología de las dragas de cortador ha sido precisamente en las cabezas cortadoras. Existen diversos tipos de formas y dimensiones variables del cortador y aparecen los llamados “cortadores de ruedas” (figura 1.5) que sustituyen el tradicional de cesto por una rueda de cangilones.

Al mismo tiempo, se introducen mejoras en todos los equipos y se automatizan todas las operaciones y controles del barco, centralizando al puente de mando todos los dispositivos que ordenan su funcionamiento.

Las dragas de succión en arrastre quizás sea, aun más que el cortador, el artefacto más emblemático de los equipos de dragado. Desde principios de los años

de la posguerra las flotas europeas se decidieron por la renovación de sus unidades con equipos de arrastre, ante sus indudables ventajas de toda clase, sobre los tipos de dragas, los artilleros, principalmente holandeses, construyeron en ese periodo un gran número de unidades, calculándose que actualmente hay en servicio unas 200 de mas de 1000 m³ de capacidad de cántara, solo las empresas dragadoras sin contar con las de las flotas gubernamentales.

Figura 1.5. Draga de cortador de ruedas ("cutter").



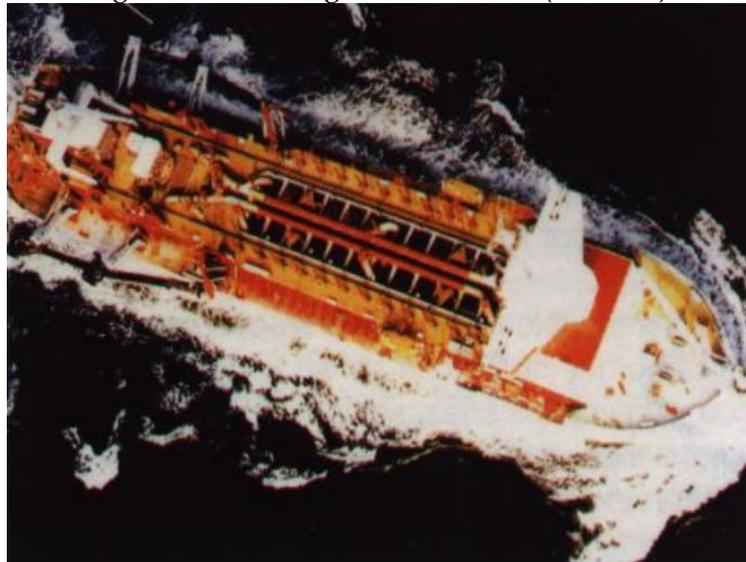
La forma de trabajo es la misma utilizada en el periodo anterior. Un barco con una cántara, 1 o 2 tubos laterales; equipos de propulsión muy potentes que permite dragar a una velocidad de 2 a 3 nudos y marchar cargada o vacía a unos 12 o 15 nudos; el vertido se puede hacer por compuertas de fondo o por impulsión desde cántara al exterior.

El aumento de capacidad de sus cántaras ha sido constante. Hasta 1960 el volumen llegaba a los 3000 m³ en las unidades mayores. Al final de los setenta se alcanzaron los 11000 m³, introduciendo en el periodo diferentes y decisivas innovaciones, entre ellas la eliminación de las calderas a vapor, aumento de la

profundidad del dragado a los 30 m, mejora del diseño de las cántaras, mejora del diseño de las cabezas de dragado, utilización de las bombas de succión sumergidas, situándolas en los tubos de succión, lo que permitía dragar a mayores profundidades.

Desde entonces hasta hoy en día, después de algunos periodos de recesión a causa de la situación internacional, prosigue el progreso imparable de las características de estos artefactos y de las mejoras técnicas utilizadas. En 1994 se construye la draga Pearl River (figura 1.6) de 17000 m³ de capacidad de cántara iniciando una nueva etapa en estos tipos de dragas, siguiendo una serie de unidades cada vez de mayor potencia y capacidad hasta llegar en alguna de las últimas dragas botadas a capacidades superiores a los 32000 m³ con posibilidades de dragar en profundidades mayores a los 100 m.

Figura 1.6. Draga "Pearl River" ("trailer").



Respecto al futuro y al empuje y decisión de las empresas dragadoras para superar cualquier obstáculo que encuentran en su camino para lograr unidades capaces de alcanzar mayores profundidades marinas, con capacidades que permiten el transporte de los productos a grandes distancias a precios asequibles, a parte de los

avances tecnológicos que cada vez se incorporan en un mayor porcentaje a los equipos e instrumentos, en el XVI Congreso Mundial de la A.I.P.C.N. celebrado en Bruselas, la Ponencia General sobre los temas de dragado, al comentar la construcción de las dragas de esta época y entre ellas “Leviathan”, considerada la mayor existente en el mundo, con 5000 m³ de capacidad de cántara, con posibilidad de dragar hasta los 20 m de profundidad, se decía que en el futuro no se construirían otras unidades semejantes ni por supuesto mayores y se ha logrado.

Los avances técnicos de la época corren parejos con la mejora de sus características. Entre las más importantes pueden citarse el empleo de forma general de las bombas sumergidas; la aplicación de la apertura del casco en forma de valvas, sistema utilizado en dragas de pequeña o mediana capacidad llamadas “split”; la mejora de las cabezas de dragado, especialmente el control de su posición lo que permite reducir la tolerancia vertical a menos de 15 cm aún dragando en profundidades mayores a los 60 m; equipos de degasificación en las bombas que permite la condensación y mejor decantación de productos poco densos; y sobre todo la gran aplicación de la información y la automatización de los equipos y componentes de la draga que, aparte de las mejoras de su control y trabajo, permite una reducción muy importante de gastos y aumento de rendimientos.

I.2. Primeros dragados en puertos mexicanos

En diciembre de 1889 la Junta de Gobierno celebró un contrato con S. Pearson & Son para dar inicio al dragado del Gran Canal en la Ciudad de México. En un principio se pusieron en marcha dos dragas, una de ellas naufragó en el canal y no compensaban los gastos que se tenían que erogar para rescatarla y ponerla en servicio, en cuanto a la otra estaba tan deteriorada, que frecuentemente había que

repararla y aparte del gasto que originaba para mantenerla en operación se perdía mucho tiempo, lo cual obligo a desmantelarlas.

En 1890 se adquirieron 5 dragas de cangilones a la Simons Lobnitz de Renfrew, Escocia, y se armaron en un dique provisional del lago de San Cristóbal. Los cascos se pusieron a flote, se les colocó la maquinaria y arboladura desde un muelle situado en la margen del Gran Canal. El casco de las dragas era de hierro y median 120 ft de eslora, 40 ft de manga y 10 ft de puntal.

Así es como inicia la industria del dragado en nuestro país, aunque en un principio se dio para la Ciudad de México, a continuación se mencionan los primeros puertos que fueron dragados en el país.

I.2.1. Puerto de Tampico, Tamaulipas

Puerto natural, situado en la margen izquierda del cauce del río Pánuco, que desde que el país inició su vida independiente apuntó como el segundo en importancia en el golfo debido a su situación geográfica, mucho más septentrional que Veracruz, y lo hizo el más indicado para entrada y salida de carga.

Por muchos años la barra formada en el Pánuco fue un serio obstáculo para el tráfico marítimo, y si a esto aunamos los fuertes vientos dominantes del norte que azotan especialmente durante el invierno, el problema de acceso al puerto fue aún más grave. De ahí la necesidad de dragar la barra y el canal de navegación, lo que se hizo sentir de modo apremiante cuando la compañía del Ferrocarril Central Mexicano emprendió la construcción del ramal, que desprendiéndose del troncal en Aguascalientes y pasando por San Luis Potosí, terminó en Tampico.

La misma compañía inició el 18 de marzo de 1890. La construcción de las escolleras, las obras interiores, profundizar la barra, balizar y todo lo necesario para facilitar el tráfico marítimo del puerto, de acuerdo con un contrato que le otorgó el Gobierno Federal el 30 de agosto de 1888 con la intervención por parte de éste, del General Carlos Pacheco, secretario de Estado y Despacho de Fomento y el C. Sebastián Camacho en representación de la compañía mencionada.

Figura 1.7. Imagen satelital del puerto de Tampico.



El estudio que realizó el Ingeniero Enrique Fremont sobre las escolleras de Tampico, indica que en agosto de 1891 la barra sufrió un desalojo hacia fuera en una longitud de 700 m sin aumentar su profundidad. En octubre del mismo año se había desplazado 300 m más, aumentando la profundidad a 5 m.

En marzo de 1892 la barra tenía profundidad de 5 m y cuando las obras terminaron a fines de 1892 se conservó la misma profundidad.

Desde mediados del año de 1893 trabajó una draga con rendimiento de 500 m³ por hora, que aunada a la erosión producida por las crecientes ocurridas en julio y

agosto del mismo año, dejaron una profundidad variable entre 6 y 8 m pero en el canal exterior sólo quedó a 5.80 m y a fines de agosto llegó a 6.55 m.

En marzo de 1896 y por efecto del ciclón que azotó Tampico, la acción de la corriente erosionó el fondo aumentándose la profundidad a 7.30 m y las escolleras sufrieron deterioros. En 1897 la profundidad fue decreciendo hasta 6.50 m en las proximidades de las escolleras y fuera de ahí había hasta 8.8 m.

Con fecha del 30 de marzo de 1913, se celebró el contrato con el señor Edwin R. Davis para dragar un total de un millón de metros cúbicos de material con un costo de \$560,000.00, pero este contrato se vino abajo por acontecimientos revolucionarios.

En 1917 el Licenciado Luis Cabrera e Ignacio Bonillas en representación del Gobierno firmaron el contrato con la United Dredging Co. de Nueva York para dragar el río Pánuco. De febrero a diciembre de 1917 se dragó con tres unidades estacionarias y una de propulsión que se destinó a la barra. Esta última llamada Suth Bay se hundió en el mes de octubre de 1917 por haber sido sorprendida por un norte fuera de la barra.

En el año de 1918 y mitad de 1919 trabajaron tres dragas estacionarias y se suspendió el dragado para reanudarse en enero de 1920, con una sola draga que trabajó hasta abril del mismo año.

De febrero de 1917 a mayo de 1920 se dragaron 10,502,257 m³ de material por contrato con la United Dredging Co., se pagó el metro cúbico a razón de 0.26 dólares; de septiembre de 1920 a 1923, el dragado de la barra se hizo por cuenta de las compañías petroleras, que lo contrataron no por metros cúbicos de material removido, sino por la conservación de la profundidad en la barra; de 1924 a 1930 se

contrató nuevamente el dragado del puerto, el la United Dredging Co. dragándose en la barra 2,207,837 m³ con un costo de 0.80 dólares el metro cúbico y 8,610,491 m³ en el canal a 0.60 dólares el metro cúbico.

El dragado contratado del canal se hizo a 100 m de ancho tanto en la barra como en el río y como el calado oficial nunca fue mayor de 8.70 m, la profundidad de 9.15 m era suficiente y así se dragó hasta el kilómetro 13 y de éste hasta el 19, solo se efectuó a 8.08 m porque la compañía petrolera Mexican Gulf recibía un buque tanque mensual en su Terminal Prieto, en el kilómetro 19 no ameritaba el costo de dar mayor profundidad a dicho canal.

Esta reseña de los principios de las obras de dragado en el puerto de Tampico, a finales del siglo XIX y principios del XX nos muestra como dichas obras en un puerto siempre son aspecto de suma importancia para que el puerto se mantenga activo y con competitividad en todos los aspectos que la sociedad exige.

I.2.2. Puerto de Veracruz, Veracruz

El Puerto de Veracruz se desarrolló en una bahía artificial que gracias a su estratégica situación Geográfica en el Golfo de México, ha sido desde siempre un punto importante en la relación de nuestro país con exterior. Debido también a su cercanía con la capital ha sido parte fundamental en la historia de nuestro país.

En 1895 la Secretaria de Obras Públicas, de reciente creación, celebró un contrato con S. Pearson and Sohn Ltd. Para terminar las obras exteriores e interiores, con el fin de dar abrigo y seguridad al puerto y facilitar las operaciones de los buques.

Fig. 1.8. Imagen satelital del puerto de Veracruz.



El canal medía 150 m de ancho y 10 m de profundidad que limitaban la parte de la bahía, que por su fondo no era utilizable para la navegación. Los malecones tenían 3m de profundidad y aumentaba hasta 8.50 m en el lugar donde quedarían los muelles metálicos, donde los principales estaban contruidos a 10 m de profundidad. Las obras de dragado del puerto de Veracruz se llevaron a cabo con una draga de cangilones y una de propulsión.

Gran parte de la arena sirvió para rellenos de una zona comprendida entre los malecones y la antigua playa, en una superficie de 630, 000 m² que sirvió para asiento de edificios federales, almacenes y llevar las vías del ferrocarril para el movimiento de carga.

Las obras se inauguraron el 6 de marzo de 1902 con asistencia del Presidente de la República, General Porfirio Díaz y su gabinete, así como distinguidas personalidades.

Posteriormente trabajaron en Veracruz dos dragas: la Tampico y Don José. Esta

última fue desmantelada en el puerto de Veracruz y la Tampico se hundió en el año de 1924 en el río Grijalva.

I.2.3. Las primeras dragas en nuestro país

A partir de 1930, se fueron adquiriendo dragas de autopropulsión y estacionarias. En los últimos años se han dado de baja de servicio, las ya obsoletas se han sustituido por modernas unidades para dar preferencia inmediata a los dragados de conservación y algunos de nuevos proyectos en orden de importancia, procurando obtener del equipo disponible el mayor rendimiento.

En los años 60, el gobierno poseía varias dragas, algunas de ellas construidas en Tampico, Tamps. Como eran la Chijol y la Papaloapan, la primera de ellas construida en 1931 con un calado de 1.06 m, manga de 8.1 m, eslora de 23.0 m y tonelaje de 145.80, mientras que la Papaloapan tenía un calado de 0.80m, eslora de 12.0 m, manga de 7.22 m y un tonelaje bruto de 24.0, esta draga fue construida en 1944.

El gobierno adquirió otras dragas como la Alvarado, construida en Canadá en el año de 1915, con un tonelaje de 1286.50, eslora de 51.0 m, manga de 12.0 m y calado de 3.05 m.

Con el paso del tiempo, el gobierno de México adquirió otras muchas dragas de dimensiones mayores, tales como la Campeche, la Coatzacoalcos, Tuxpan, Veracruz, etc., con capacidades hasta de 2, 000 toneladas y calados que fluctúan entre los 4 y 5 m. La draga Presidente Alemán fue una de las de mayores dimensiones: tonelaje bruto de 3,942, eslora de 105.23 m, manga de 16.24 m y calado de 6.10 m.

Actualmente la mayoría de los dragados en nuestro país son realizados por empresas especializadas en el ramo, tanto nacionales como extranjeras.

Las obras de dragado que se realizan en México están a cargo de la Coordinación General de Puertos y Marina Mercante, a través de la Dirección de Dragados, la cual se encarga de: “Establecer las normas y especificaciones técnicas para las obras de mantenimiento y construcción de dragado en los puertos y en las vías generales de comunicación marítima, fluvial y lacustre, así como, autorizar su ejecución; realizar los estudios batimétricos y las obras en puertos no concesionados y supervisar que los contratistas cumplan con las condiciones, especificaciones y normas establecidas¹”.

¹ <http://e-mar.sct.gob.mx>

CAPITULO II

EQUIPOS DE DRAGADO

No se puede entender el desarrollo del dragado sin conocer cómo han evolucionado los equipos que intervienen. Habiendo sido tradicionalmente una actividad artesanal, que pasaba de padres a hijos, el dragado se transformó en una ciencia y tecnología en el siglo XX como consecuencia del progreso industrial del siglo XIX.

Los equipos de dragado de hoy en día se basan de tres grandes logros técnicos que se obtuvieron en el siglo XIX:

- El accionamiento mecánico, con la aparición del motor a vapor.
- La bomba centrífuga.
- El cortador giratorio.

El accionamiento a vapor reemplazó a la fuerza física del hombre, de los animales y del viento en los artefactos; utilizados hasta aquella fecha en la excavación marina y fluvial. Posteriormente, la aparición del accionamiento diesel dio paso a una continua sustitución de la máquina de vapor por el motor diesel, iniciando una espectacular escalada en las producciones y rendimientos en los equipos.

A este espectacular incremento en la eficiencia también ha contribuido el desarrollo de otras muchas innovaciones incorporadas a las dragas:

- La bomba situada en la escala de las dragas hidráulicas ha permitido excavar a grandes profundidades, sin que se afecte sensiblemente el rendimiento. Ya se alcanzan profundidades de dragado de 160 m.
- El diseño de nuevos cortadores, con formas innovadoras y materiales de alta resistencia, unido a las potencias instaladas en las dragas, de hasta 35000 HP, posibilita abordar el quebrantamiento directo de suelos de gran dureza con producciones altas.
- Los sistemas de toberas a gran presión en los cabezales de las dragas de succión en marcha, permiten el dragado de fondos cohesivos anteriormente inabordables por succión pura.
- Con la incorporación de sistemas GPS y posicionamiento dinámico en los equipos, es posible trabajar con precisión en condiciones difíciles del mar.
- Y un largo etc., en el que se incluyó la mejora del diseño naval del casco de las dragas; la incorporación de la electrónica e informática a la operatividad y monitorización de los equipos, la cada vez mejor formación de las tripulaciones, etc.

Estas innovaciones permitieron el desarrollo de los equipos hasta los niveles tecnológicos actuales, es por eso que en este capítulo se darán a conocer los principales tipos de equipo de dragado, así como los diferentes tipos de obras en las que estos equipos son parte fundamental de su realización.

II.1. Tipos de dragado

Las obras de dragado, no sólo se refieren a la creación o mantenimiento de accesos marítimos, canales y vías navegables, zonas de maniobras, fondeo, dársenas, etc., sino que hay otras obras de ingeniería que no serían posibles sin la intervención de las obras de dragado.

Un buen criterio de clasificación puede ser el que surja agrupando las obras de ingeniería en función de la importancia que en la ejecución de las mismas tenga el dragado. Así, podemos establecer la siguiente clasificación:

- Obras específicas de dragado.
- Obras con gran de importancia del dragado.
- Obras con participación auxiliar de dragado.
- Otro tipo de obras.

Las obras específicas de dragado por antonomasia son las de apertura o mantenimiento de accesos marítimos, canales y vías navegables, zonas de maniobra, fondeo, dársenas y demás obras portuarias que procuren el calado adecuado a los barcos que operen en el puerto. Estas son las obras portuarias más directamente relacionadas con el dragado y pueden ser decisivas en el desarrollo de la actividad de muchos puertos, para su viabilidad económica, su capacidad para integrarse en las grandes rutas marítimas y para atender a la especificidad de sus tráficos. Otras obras, también específicas de dragado pero en medios fluviales, son las que sirven de mejora de cauces, rectificando o profundizando los mismos o incrementando la capacidad de desagüe de los ríos.

En las obras específicas de dragado portuario, el condicionante más decisivo es el tipo de barco que utilizará las instalaciones portuarias y las características del mismo: dimensiones (manga, eslora y calado), condiciones de maniobrabilidad y necesidades de superficie de fondeo. En la planificación del puerto se tendrá que tener en cuenta, como base de los cálculos, el barco máximo que deba entrar a puerto junto con las características que se fijan para la navegación. Así mismo, el calado a que debe dragarse la vía marítima se estimará teniendo en cuenta que deberemos disponer en todo momento y circunstancia la profundidad que se fijó en la

planificación del puerto, es decir, que para que la navegación del barco en la zona portuaria sea segura siempre deberá existir una profundidad de agua adecuada por debajo del barco denominada “pie de piloto”. De todas maneras, al ser muy costoso el aumento de calados, se suele restringir al mínimo compatible con la seguridad de navegación, teniendo en cuenta las mareas de la zona de emplazamiento o la ausencia de grandes oleajes durante la mayor parte del año. Además, hay que tener en cuenta que los cálculos se realizan para el mayor barco posible, mientras que la mayoría de los puertos proporcionan servicio para barcos de menor envergadura.

También de acuerdo con las características del barco máximo se tendrán que proyectar las secciones y plantas de las distintas vías de acceso interiores y superficies de maniobra, mientras que las dársenas y zonas de fondeo se planificarán según el tráfico y las características de los barcos que la utilizan.

Una de las ventajas que ofrecen las obras de dragado a los planificadores de los puertos es que es posible, en el corto plazo, el aumento de calados con obras a posteriori, ante demandas de incrementos de calado para dar servicio a barcos de mayor envergadura, mientras que en otro tipo de infraestructura como diques, muelles etc., generalmente es más difícil si no imposible aumentar su capacidad, como no sea con plazos dilatados.

En el segundo epígrafe de la clasificación tenemos las obras en las que el dragado es de gran importancia, como la regeneración de playas, relleno de terrenos ganados al mar para zonas industriales, explanadas portuarias o zonas urbanas o la recuperación de zonas bajas inundables.

Este tipo de obras ha tenido en los últimos años un extraordinario desarrollo por la importancia del turismo y por tanto, de la conservación de las playas para

economías importantes. Además tienen también gran impacto en la operativa portuaria con las nuevas necesidades de terrenos que permitan el manejo de las cargas de los buques en grandes explanadas portuarias para su posterior transporte en camiones o vagones fuera de la zona portuaria.

Son numerosos los problemas y condicionantes a que una obra de regeneración de playas, o creación artificial de las mismas, se debe enfrentar. La labor de la obra de dragado es proporcionar el volumen de arena necesario en cada caso, que se dispondrá a lo largo de la playa. Los aspectos fundamentales de este tipo de dragado son los mismos que los de un dragado clásico: extracción, transporte y vertido de los materiales.

Respecto a la extracción de arenas, el principal problema es que los yacimientos de productos aptos suelen localizarse en mar abierto, a distancias variables de la costa. El emplazamiento del dragado no puede ubicarse en zonas muy cercanas a la costa para evitar el impacto en las playas existentes, ni en zonas muy alejadas por el costo del transporte de los productos hasta la playa.

Respecto a la profundidad del emplazamiento, este tampoco se puede localizar en zonas muy profundas por la pérdida de operatividad de los equipos, ni en aguas poco profundas por las necesidades de calado de los artefactos dragadores.

La elección de los terrenos a dragar es fundamental en este tipo de obras, teniendo que elegir terrenos con granulometrías adecuadas para el relleno de playas. Se deben desechar los rellenos de arenas movedizas, por su gran volumen de pérdidas, las arenas finas por dar lugar a perfiles de playa muy planos y las gruesas y gravas por dar perfiles muy rígidos. Así mismo, nos podemos encontrar con que los estratos estén recubiertos de material no apropiado, como fangos que se deberán

limpiar, siendo precisa la eliminación de los granos más finos que se perderán en el vertido y controlar el daño a la fauna y a la vegetación submarina existente.

El transporte del material extraído es otro factor clave, que incidirá de manera importante en el costo final de la obra. Este transporte, que puede ser de varios kilómetros realizará bien por medio de cantaras o por tuberías, con los pros y los contras que cada forma de transporte conlleva.

Por último, la colocación del producto en la playa se podrá realizar vertiéndolo delante de la línea de la costa y dejando a las mareas y oleajes su distribución, mediante vertido hidráulico desde cántara o desde tuberías, mediante la distribución mecánica de los productos (almacenando suficiente material en una cota alta y extendiéndolo con buldózer o niveladoras), formando depósitos de distribución o con aportaciones continuas cuando por efecto de alguna infraestructura portuaria se producen cambios en corrientes y oleajes produciéndose zonas erosionadas y zonas aterradas.

En obras de dragado con objeto de relleno de terrenos, con fines industriales, urbanos, recreacionales, etc., o como vaciaderos, la problemática relativa al dragado es similar. En el primer caso, la naturaleza de los materiales de dragado debe ser de gran calidad y se requiere un estudio exhaustivo de las condiciones del subsuelo. En el segundo puede ser que los productos sean o no de la calidad necesaria para la utilización posterior de los terrenos con los fines anteriormente descritos, pero en todo caso se podrán utilizar bien para agricultura, si los terrenos no están contaminados, o bien para praderas, instalaciones deportivas ligeras, etc., depositando sobre los terrenos contaminados una capa superior de materiales adecuados.

Entre las obras con participación auxiliar de dragado cabe mencionar, por ejemplo, la cimentación de estructuras marítimas, sustitución de terrenos de malas características geotécnicas, zanjas submarinas para oleoductos o túneles prefabricados, desagües costeros y construcciones de islas artificiales.

En cuanto a las obras de dragado como auxiliares de las obras de infraestructuras, marítimas, podemos decir que en algunos casos, debido a su magnitud y a su costo, pueden ser de gran importancia en el desarrollo y viabilidad de las obras. Por ejemplo, en los muelles, las obras de dragado constituyen tanto en sus cimientos como en el relleno y en la fosa de atraque de los barcos, una parte clave de la obra en su conjunto.

De las demás obras de infraestructura en que también ha de concurrir el dragado, citaremos la construcción de diques y esclusas, de trincheras y zanjas, obras de saneamiento de humedales, extracción de minerales de las zonas costeras y de la plataforma continental o productos para construcción, como arenas, gravas o calizas y construcción de islas artificiales para plataformas petrolíferas o puertos exteriores.

Como veremos, el campo de actividad de los dragados se amplía y adquiere una gran importancia tanto para la actividad marítima y portuaria como para otros muchos sectores de actividad como el turismo, con la regeneración de playas, la industria, el medio ambiente y la construcción, es por eso que es importante conocer el equipo de dragado con que se cuenta en la actualidad, así como poder determinar que equipo es el más adecuado, con respecto a la obra de dragado que tengamos por realizar.

II.2. Clasificación de los equipos de dragado

Las dragas suelen clasificarse en función del tipo de acción que ejercen en el terreno a extraer durante el proceso de arranque. Así, existen dos grupos generales de dragas:

1. *Dragas mecánicas*, en las que el arranque del material se consigue mediante la fuerza que un elemento mecánico imprime sobre el fondo. Este elemento mecánico puede ser un cazo, un cangilón, una cuchara, etc. (figura 2.1).
2. *Dragas hidráulicas*, que efectúan el arranque mediante la creación de una corriente de agua que arrastra partículas del fondo marino (figura 2.2).

También se consideran dragas hidráulicas aquellas que combinan el arrastre hidráulico con un dispositivo mecánico, como un cortador (figura 2.3). La acción giratoria del cortador disgrega el material que, al mismo tiempo, es succionado hidráulicamente.

Figura 2.1. Arranque mecánico.

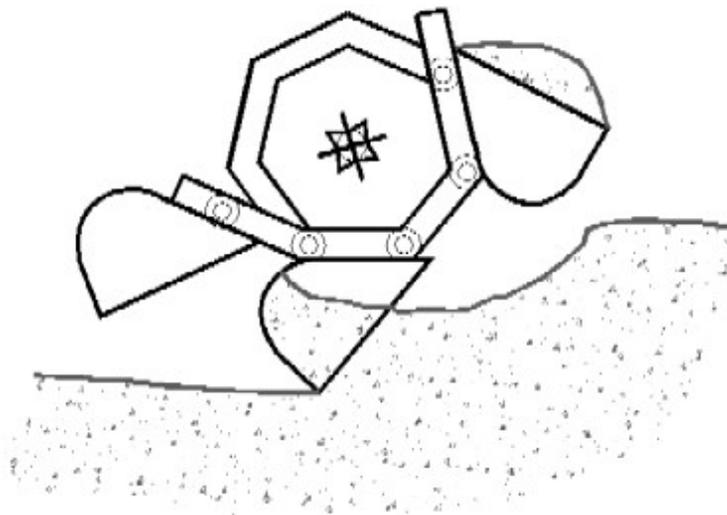


Figura 2.2. Arranque hidráulico.

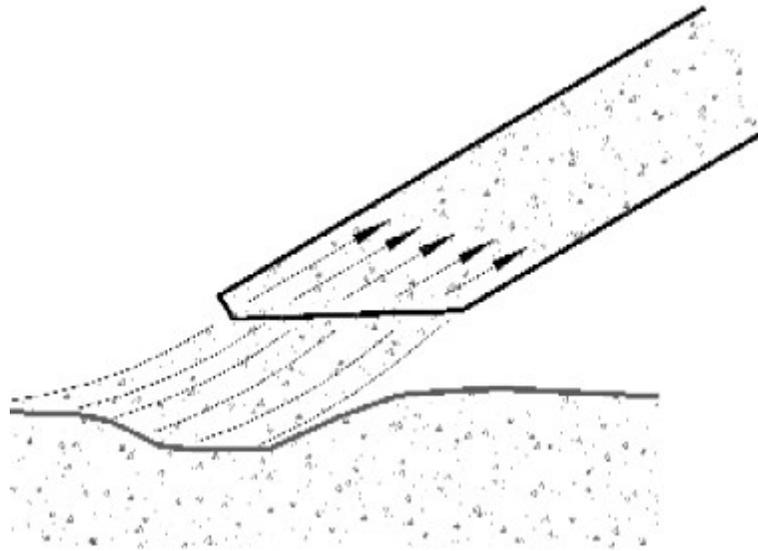
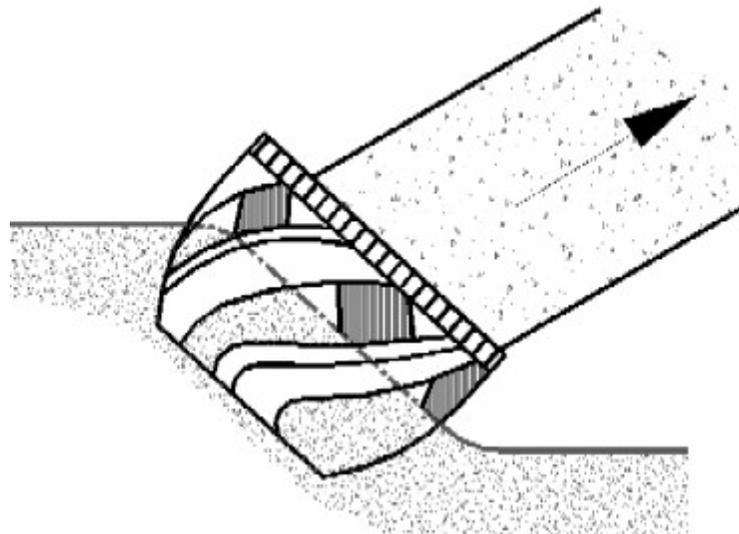


Figura 2.3. Arranque mixto.



En la tabla 2.1 se indican los diferentes tipos de dragas, según el criterio anterior de clasificación, y sus particularidades.

Tabla 2.1 Clasificación de las dragas.

Clase	Tipo	Método de extracción	Método de transporte	Método de vertido
Mecánicas	Dipper de empuje	Pala frontal	Barcaza	Descarga por fondo, almeja o elevador
	Dipper de retroexcavadora	Cazo retroexcavador	Barcaza	Descarga por fondo, almeja o elevador
	Draga de Rosario estacionaria	Rosario de cangilones	Barcaza	Descarga por fondo, almeja o elevador
	Draga de Rosario autopropulsada	Rosario de cangilones	Barcaza	Descarga por fondo, almeja o elevador
	Dragalina	Cuchara de arrastre	Barcaza	Descarga por fondo, almeja o elevador
	Almeja estacionaria	Cuchara almeja	Barcaza	Descarga por fondo, almeja o elevador
	Almeja autoprop.	Cuchara almeja	Propia cántara	Descarga por fondo, almeja o elevador
Hidráulicas	Draga de succión estacionaria sin cántara	Tubo de succión. Bomba centrífuga	Tubería o barcaza	Tubería. Descarga por fondo, almeja o elevador
	Draga eductora	Tubo de succión Bomba jet	Tubería o barcaza	Tubería Descarga por fondo, almeja o elevador
	Draga de succión estacionaria con cántara	Tubo de succión Bomba centrífuga	Propia cántara	Descarga por fondo, almeja o elevador
	Draga de succión con cortador	Cortador Bomba centrífuga	Tubería o barcaza	Tubería Descarga por fondo, almeja o elevador
	Draga de rueda de cangilones	Cangilón de rueda Bomba centrífuga	Tubería	Tubería
	Draga de succión en marcha	Cabezal de dragado Bomba centrífuga	Propia cántara	Descarga por fondo o tubería

II.3. Breve descripción de los equipos

Se describen en seguida los equipos más importantes dentro de cada grupo.

II.3.1. Dragas mecánicas

Se incluyen bajo la denominación de dragas mecánicas a los equipos de dragado cuya acción sobre el terreno (corte o extracción) se realiza exclusivamente por medios mecánicos.

Es importante esta precisión, ya que la mayoría de los equipos de dragado que se engloban bajo la denominación de equipos hidráulicos (succión en marcha-cortador) ejercen sobre el terreno una acción combinada: mecánica para su corte y de succión para su extracción.

Las dragas mecánicas suelen ser estacionarias, el material dragado se descarga en la cántara de barcasas para posteriormente ser transportado y vertido en las zonas asignadas.

La descarga del material de los barcasas suele realizarse mediante vertido por fondo, si bien algunos casos concretos, la descarga del barcaza puede ser efectuada con auxilio de elevadores o dragas de cuchara.

Algunas dragas de cuchara, normalmente de tamaño medio, pueden ser autopropulsadas y con cántara propia.

II.3.1.1. *Draga de almeja*

- Constituyó una de las primeras dragas mecánicas.
- Consiste en una grúa montada en pontona o en una embarcación, que trabaja con una almeja de excavación.
- Su principio de trabajo es similar a la grúa en tierra.
- Para mantener su posición y operar utiliza anclas, entre 4 y 6 unidades. El material lo puede verter en barcasas atracadas o en su propia cántara, si cuenta con ella.

Figura 2.4. Draga de almeja.



II.3.1.2. *Draga de rosario*

- Se basa en la utilización de una cadena de cangilones para la excavación.
- Cada cangilón arranca material en el fondo y lo eleva a la superficie, donde es descargado a barcasas atracadas a cada banda de la draga para su posterior transporte.
- La draga necesita 6 anclas para su operatividad.

Figura 2.5. Dragadora de rosario.



II.3.1.3. Dragadora de retroexcavación y de empuje

- Es la versión moderna de la dragadora de almeja. La grúa es sustituida por una máquina hidráulica de retroexcavación (dragadora "backhoe") o de empuje (dragadora "dipper").
- Su sistema de posicionamiento es por patas o "spuds".

Figura 2.6. Dragadora de retroexcavación y de empuje.



II.3.2. Dragas hidráulicas

Hemos de recordar que las primeras dragas fueron mecánicas. Se trata, principalmente, de las dragas de cangilones. Debemos señalar aquí que siempre se seguirán utilizando este tipo de dragas y siempre tendrán su campo de utilización muy particular. Actualmente se sigue empleando un gran número de dragas mecánicas del tipo de las de rosario, retroexcavadora, etc. Lo cual tratamos en el tema anterior.

Tengamos presente desde ahora que las llamadas dragas hidráulicas, en la mayor parte de los casos, también requieren una función mecánica, con objeto de poner en suspensión en el agua ciertos productos antes de que en la mezcla agua/producto sea aspirada por una bomba hidráulica.

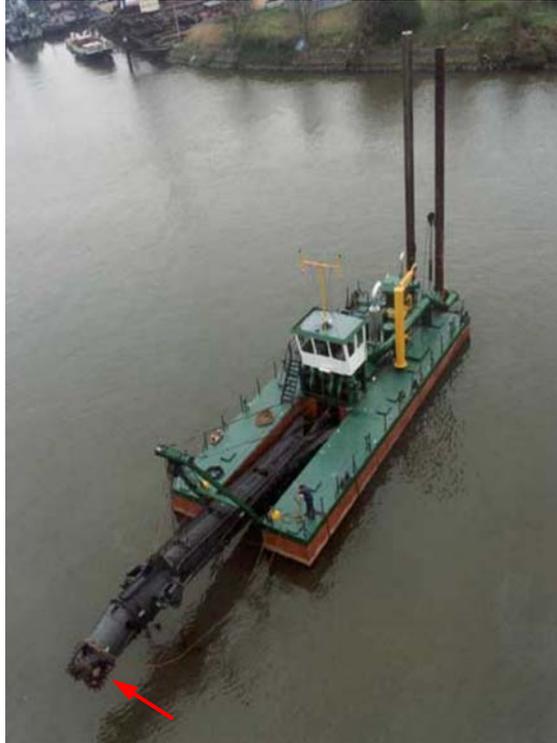
Consideremos en esta parte que existen dos tipos de dragas hidráulicas.

- a) Dragas de cortador (cutter)
- b) Dragas de succión en marcha (trailer)

II.3.2.1. Draga de cortador

- Combina características mecánicas e hidráulicas, ya que utiliza un dispositivo mecánico para cortar el material y un sistema hidráulico para su transporte y vertido, normalmente por tuberías.
- Para operar y mantener su posición, la draga de cortador tiene patas o “spuds” en popa y dos anclas en proa.

Figura 2.7. Draga de cortador.



II.3.2.2. Draga de succión en marcha o "trailer"

- Mediante un tubo exterior al casco, la draga succiona el material y lo deposita en su propia cántara, en un proceso continuo de navegación. Posteriormente, una vez que la cántara está llena, la draga navega al sitio de vertido, que lo puede efectuar por fondo, por cañón o por tuberías. El cabezal de succión suele estar dotado de dientes y tener instalados jets de agua para arrancar el material a dragar.
- Su operación y posicionamiento es con los sistemas de hélices a proa y popa de la embarcación.

Figura 2.8. Dragadora de succión en marcha o "trailer".



II.3.2.3 Dragadora de inyección de agua a presión (Draga Jet o WID)

- Su principio de funcionamiento se basa en la inyección sobre el lecho marino de agua a presión baja que produzca el arrastre de las partículas del material y su movimiento por gravedad hacia otras zonas más profundas fuera del área de actuación. Se emplea fundamentalmente en mantenimiento de puertos.

Figura 2.9. Dragadora de inyección de agua a presión.



II.4. Características generales e idoneidad de los equipos

Uno de los aspectos más importantes a dilucidar en los equipos es su idoneidad y aplicación a los diferentes tipos de obras.

En función de la naturaleza de la obra, por un lado, y de las características de los equipos, por el otro, se deben de definir los criterios de elección.

Los parámetros a analizar son:

- Tipo de material a extraer (dureza, contaminación, etc.).
- Profundidad a dragar.
- Método de posicionar la draga.
- Precisión a obtener en la excavación.
- Circunstancias meteorológicas (olas, corriente, etc.).
- Distancia y situación del depósito del material dragado.
- La producción (m^3 /semana).
- El costo unitario de dragado (dollar/ m^3).

II.4.1. Draga de almeja

Tipo de material a dragar

Los materiales que se pueden dragar con la draga de almeja son fangos, arenas, gravas y arcillas blandas. Las arcillas duras y los materiales rocosos no son extraíbles con este tipo de equipo, si bien se podría aumentar la capacidad de excavación, en el límite, utilizando un cazo de cierre hidráulico. Especial atención debe tenerse con el dragado de materiales muy finos, porque suelen escaparse de la almeja de excavación.

Profundidad a dragar

Con una draga de almeja se puede dragar a grandes profundidades (> 100 m). La producción y la precisión disminuyen con la profundidad.

Método de posicionar la draga

Para mantener su posición la pontona utiliza entre 4 y 6 anclas. Estas anclas están fondeadas a una distancia del orden de los 100 m, necesitando, por consiguiente, un gran espacio para trabajar. Para cambiar de posición es necesario cambiar las anclas y, por tanto, precisa de una embarcación auxiliar para posibilitar dicho cambio.

Precisión en el dragado

La precisión de esta draga, dependiendo de sistema de control, no es muy alta. En la operación, el dragador no conoce con exactitud dónde se encuentra el cazo bajo agua. También su sistema de anclas tiene una precisión limitada en su posicionamiento.

Circunstancias meteorológicas

Las olas tienen un efecto directo en la precisión del dragado, porque no hay manera de controlar y compensar estos movimientos en la draga: También las olas por encima de cierto límite impiden que las barcasas de vertido atraquen junto a la draga. La influencia de la corriente sobre la draga depende del peso de las anclas y la potencia de los winches de maniobra.

Distancia y situación del depósito del material dragado

Se pueden acometer distancias largas de vertido si la capacidad y número de barcasas es suficiente. En el depósito de vertido normalmente las barcasas vierten por fondo.

Producción (m³/semana)

La producción depende de la rapidez de la grúa en su operación, de la profundidad y de la capacidad del cazo. En general la producción en río es muy alta.

Costo unitario (dollar/m³)

Analizando los componentes de costo, se puede decir que la amortización de estos equipos, por no ser de alto valor de adquisición, es relativamente baja. La tripulación no necesita ser muy especializada por lo que su costo es también relativamente bajo. Con todo, debido en general a la baja producción, el costo unitario suele ser entre medio y alto.

II.4.2. Draga de rosario

Tipo de material a dragar

La draga de rosario puede dragar fangos, arenas, gravas, bolos, piedra quebrantada, arcillas blandas y duras y materiales rocosos blandos. A veces presenta problemas el dragado de arcillas pegajosas debido a que el material se queda pegado a los cangilones y no despega en el vertido.

Los materiales finos pueden presentar a veces problemas de lavado en el cangilón en su ascensión a la superficie, depositándose nuevamente en el fondo.

Profundidad a dragar

Con una draga de rosario se puede dragar hasta un máximo de 30 m dependiendo del tamaño de la draga. La profundidad no influye en la producción.

Método de posicionar la draga

Para mantener su posición y poder operar la draga de rosario tiene 6 anclas.

Estas anclas están fondeadas a una distancia media 100 m. Como se explicó anteriormente; la draga necesita una gran área de trabajo y tiene la necesidad de emplear una embarcación auxiliar para fondeo de anclas.

Precisión en el dragado

La precisión de la draga de rosario es alta, y en todo caso, muy superior a la de la draga de almeja. La draga dispone de un mayor control sobre la profundidad de dragado y sobre el posicionamiento por el sistema de anclas.

Circunstancias meteorológicas

Las olas tienen un efecto directo en la precisión del dragado, porque no hay manera de controlar y compensar estos movimientos en la draga. El efecto en este tipo de dragas es mucho menor que con dragas de almeja. También las olas por encima de cierto límite impiden que las barcazas de vertido atraquen junto a la draga.

La influencia de la corriente sobre la draga depende del peso de las anclas y la potencia de los winches de maniobra.

Distancia y situación del depósito del material dragado

Se pueden acometer distancias largas de vertido si la capacidad y número de barcazas es suficiente. En el depósito de vertido normalmente las barcazas vierten por fondo.

Producción (m³/semana)

En comparación con la draga de almeja, la draga de rosario puede dragar materiales más duros y con una producción más grande. La producción depende de la velocidad del rosario y la capacidad de los cangilones, pero no de la profundidad

En general la producción es razonablemente buena.

Costo unitario (dollar/m³)

La inversión de equipos en una draga de rosario es media. La tripulación que necesita es relativamente numerosa. Pero debido a su buena producción, el precio de ejecución resulta medio, en términos relativos.

II.4.3. Draga de retroexcavación (Backhoe)

Tipo de material a dragar

El backhoe puede dragar sin problemas casi todos los tipos de materiales, teniendo un límite en la dureza de material rocoso.

Profundidad a dragar

Con un backhoe se puede dragar hasta un máximo de 25 m dependiendo del tamaño del cazo a utilizar. La producción baja a medida que aumenta la profundidad, debido a la necesidad de distinguir el tamaño del cazo a utilizar. También la capacidad de excavar materiales duros disminuye con la profundidad.

Método de posicionar la draga

El backhoe utiliza tres patas o spuds para su operación y mantenimiento de posición, dos situados en proa y uno en popa, para sus movimientos longitudinales. Este sistema de fondeo le permite trabajar sin necesitar una excesiva área de operación.

Precisión en el dragado

Dependiendo del sistema de control de la situación del cazo, la precisión de este tipo de equipo es alta. Dentro de sus límites de trabajo, la influencia del oleaje es poco significativa.

Circunstancias meteorológicas

El sistema de fondeo por spuds hace que este equipo sea muy sensible al fondo del mar. Sin embargo, por debajo de las olas máximas de trabajo, éstas no afectan al rendimiento. También las olas, por encima de cierto límite, impiden que las barcasas de vertido atraquen junto a la draga. La influencia de la corriente sobre la draga no es muy grande.

Distancia y situación del depósito de dragado

Se pueden acometer distancias largas de vertido si la capacidad y número de barcasas es suficiente. En el depósito de vertido normalmente las barcasas vierten por fondo.

Producción (m³/semana)

Depende de la rapidez de la excavadora hidráulica, de la profundidad de dragado y de la capacidad del cucharón. De manera general, suele ser adecuadamente buena.

Costo unitario (dollar/m³)

El backhoe es un equipo relativamente caro. El costo de la tripulación es relativamente bajo, resultando, así, un precio de ejecución de tipo medio.

II.4.4. Draga de cortador

Tipo de material a dragar

Este tipo de draga puede acometer, en principio, dragados con todo tipo de material, teniendo su límite en rocas de elevada dureza. El dragado de bolos y piedra quebrantada en tamaños grandes presenta dificultades, ya que el material debe pasar

por el cortador y las bombas centrífugas. Materiales muy cohesivos, principalmente la arcilla, pueden obturar y cerrar el cortador, reduciendo drásticamente la producción.

Profundidad de dragado

La máxima profundidad de dragado con este equipo es de 35 m. Cuando la draga está dotada de bomba en la escala, la producción no varía excesivamente con la profundidad.

Método de posicionamiento

Para su trabajo y mantenimiento de posición la draga tiene un spud en popa de trabajo y dos anclas en proa. Con las anclas efectúa el movimiento transversal de borneo en su operación. Con el spud de popa se pueden efectuar los avances longitudinales.

La mayoría de las dragas están dotadas de una pluma, en su proa, que le permite mover las anclas de borneo por sí misma. La tubería flotante de impulsión hace que, en general, la draga necesite área y longitud de trabajo.

Precisión en el dragado

Los sistemas de control que este tipo de equipos instala permiten obtener precisiones altas.

Circunstancias meteorológicas

El empleo de un spud para trabajar hace que este tipo de draga sea sensible al fondo del mar. Las olas afectan a la precisión del dragado, pero menos que con los sistemas únicamente de anclas. Dependiendo del tamaño, la corriente no suele afectar excesivamente al equipo.

Distancia y situación del depósito de dragado

El transporte y vertido de los productos de dragado es a través de tuberías, tanto flotantes como en tierra. La máxima distancia de vertido está limitada por la potencia de las bombas. En algunas ocasiones, este equipo puede utilizar instalaciones auxiliares para cargar barcazas.

Producción (m³/semana)

Con este equipo, las producciones son relativamente altas, dependiendo de la capacidad de las bombas, la potencia del cortador y de la distancia de bombeo.

Costo unitario (dollar/m³)

La inversión en estos equipos es alta, contando, por lo tanto, con un elevado valor de amortización. El costo de tripulación es medio. Debido a la alta producción, el costo del metro cúbico es relativamente bajo.

II.4.5. Draga de succión en marcha (Trailer)

Tipo de material a dragar

Su ámbito de trabajo son los materiales sueltos, es decir, fangos, arenas y arcillas blandas. Con las nuevas técnicas de aplicación de jets a alta presión (200 kg), y sistemas dracula, el dragado es posible en arenas compactas y arcillas duras. La presencia de piedra suelta y gravas dificulta grandemente la operación.

Profundidad a dragar

Ya se pueden alcanzar profundidades de dragado de más de 150 m. La producción se resiente con la profundidad. El efecto se disminuye cuando existe una bomba en la escala de succión. La profundidad mínima de dragado viene

determinada por el calado de la draga en operación, que es, a su vez función del tamaño.

Método de posicionar la draga

Para operar y mantener la posición, el trailer utiliza hélices y/o toberas en propa y popa. Las dragas más modernas están dotadas de posicionamientos dinámicos.

Precisión en el dragado

La precisión que se obtiene con un trailer es media. El control de la profundidad es bueno, disponiendo estas dragas de un compensador de olas para la escala de succión.

Dado que carece de elementos fijos de sujeción, como lo tienen el rosario o el baekhoe, el control de posicionamiento es menor que en estos últimos equipos.

Circunstancias meteorológicas

Dado que, en esencia, este tipo de draga es un barco que navega en aguas libres, este equipo es el que puede trabajar con condiciones más adversas de olas. En general, la influencia de la corriente es mínima.

Distancia y situación del material dragado

No existe limitación técnica de distancia de vertido.

El material, que se transporta en la propia cántara del barco, puede verterse por fondo al mar, o a tierra, por cañón o por tuberías.

Producción (m³/semana)

En general, los trailers son dragas de producciones altas, dependiendo de la capacidad de las bombas y de las distancias a transportar.

Costo unitario (dollar/m³)

Los trailers son equipos de costo de adquisición alto. El costo de la tripulación es medio. Debido a las altas producciones, el precio unitario es relativamente bajo.

II.4.6. Dragas de jet de agua (WID)

Tipo de material a dragar

Este tipo de draga solo puede mover materiales muy sueltos, como fangos y arenas no compactas.

Profundidad a dragar

La máxima profundidad de operación de este equipo es de 30 m. La profundidad del fondo tiene poca influencia en la producción. Dependiendo del tamaño del equipo, se necesita una altura mínima de agua para poder trabajar.

Método de posicionar la draga

Este equipo opera y se posiciona utilizando sus hélices de proa y popa. El área de operación puede ser pequeña.

Precisión en el dragado

La precisión del equipo es media.

Circunstancias meteorológicas

Este equipo es relativamente sensible al oleaje, pudiendo trabajar sólo con alturas pequeñas y medias.

Distancia y situación del depósito del material dragado

El material en suspensión es transportado por dos circunstancias:

- a) Por la variación del gradiente de densidad, del creado por la draga.
- b) Por la pendiente natural del fondo de la zona a dragar. Con una pendiente de 1:1000, es decir con una pendiente muy suave, se pueden mover lagos hasta una distancia de 1 km.

Producción (m³/semana)

Las producciones de estos equipos pueden ser muy altas, dependiendo de la capacidad de los jets (m³/s), longitud del brazo de inyección y de la pendiente del fondo.

Costo unitario (dollar/m³)

La inversión necesaria en estos equipos es media. El costo de tripulación es bajo. Los costos del transporte del material dragado son muy bajos porque no se necesitan medios de transporte como barcazas o tuberías. Como resultado, el costo unitario final es muy bajo.

II.5. Aspectos comparativos

Dentro de cada tipo, las variaciones sobre los equipos antes descritos son innumerables, teniendo cada uno sus características singulares.

Como referencias medias, se acompañan dos gráficos en los que se indica la idoneidad de los equipos básicos en función de las diversas naturalezas de los materiales a dragar (figura 2.10) y la precisión máxima que se pueden conseguir (figura 2.11).

Figura 2.10. Idoneidad de varios tipos de dragas.

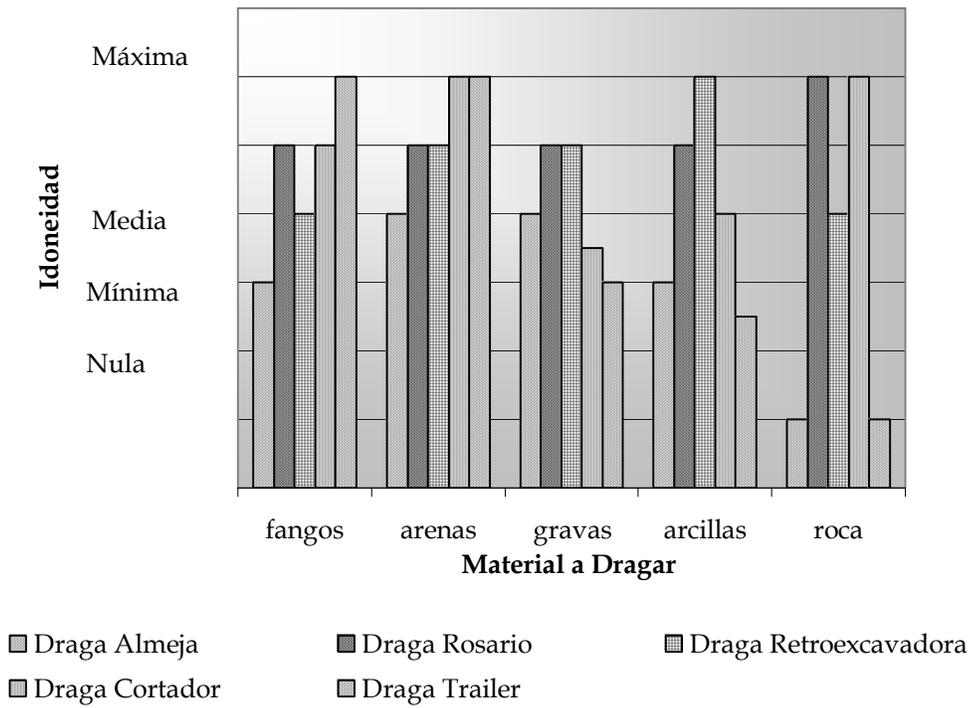
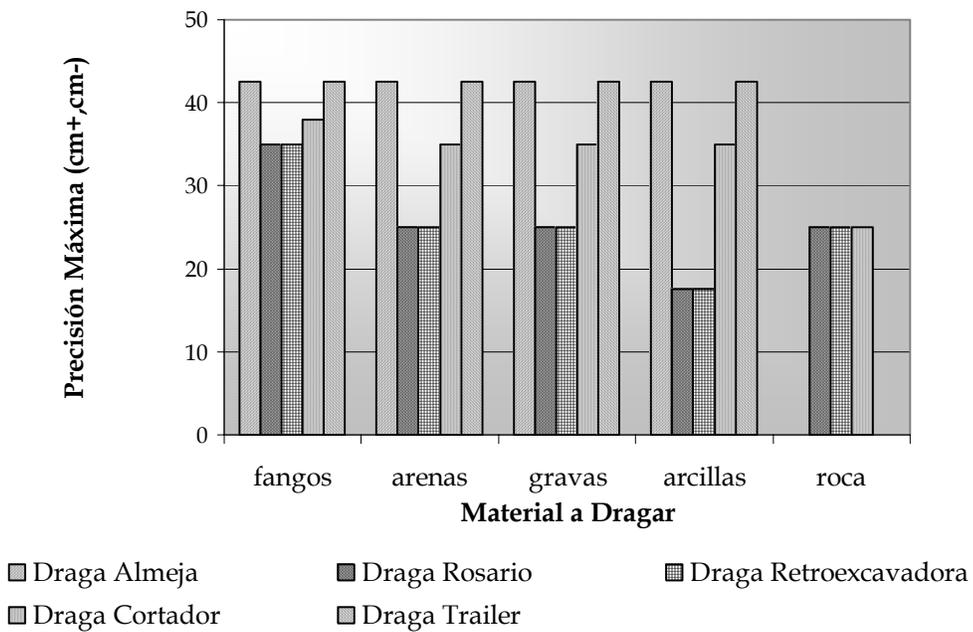


Figura 2.11. Precisión máxima de varios tipos de dragas.



CAPITULO III

ESTUDIOS NECESARIOS PARA LA REALIZACION DE UN PROYECTO DE DRAGADO

El dragado es una actividad básica y muchas veces imprescindible dentro de las obras marítimas. La técnica del dragado comprende todas las actuaciones necesarias para la extracción, transporte y vertido de los terrenos situados bajo el nivel del mar y abarca operaciones muy diversas, entre las que se puede destacar:

- Aumento de calados.
- Apertura de canales de navegación.
- Ejecución de nuevas obras como diques, muelles, u otras.
- Regeneración de playas.

Con el fin de ordenar las actividades del estudio del emplazamiento, podemos dividir las obras de dragado en tres grandes bloques:

- Dragados en zonas fijas y que generan el origen y el destino del material de dragado. En este punto se pueden incluir los:
 - Dragados de mantenimiento.
 - Dragados para la obtención de calado.
 - Dragados para la ejecución de rellenos.
 - Dragados para la regeneración de playas.

- Dragados que requieren una localización previa del yacimiento para su ejecución. Es el caso de:
 - Rellenos y creación de nuevas áreas.
 - Regeneración de playas.

- Dragados especiales que se salen del ámbito de este trabajo, tales como los dedicados a:
 - Minería.
 - Dragados de presas.

De lo reflejado anteriormente, se deduce el amplio campo de aplicaciones que abarcan los dragados. De este hecho se deriva una casuística amplia en cuanto a las condiciones de emplazamiento donde se van a ejecutar las obras, que resulta absolutamente imprescindible conocer de cara a la planificación, diseño, ejecución y posterior control de los trabajos; entre las que se puede citar la ubicación de las obras (en ríos, en mar abierto, en zonas abrigadas o abiertas, etc.), profundidades en las que se va a desarrollar, tipo de suelo o material a extraer, condiciones meteorológicas de la zona, etc.

Solo con un conocimiento desarrollado de estos aspectos podremos diseñar los trabajos de una forma precisa, disponer de los medios adecuados y ejecutar la obra de manera satisfactoria.

Con carácter general podemos decir que una correcta investigación debe contemplar los siguientes aspectos para una obra de dragado.

1. Batimetría de la zona, que permita conocer los calados existentes, tanto en el área de dragado, como eventualmente de vertido.

2. Investigaciones geofísicas que permitan un reconocimiento del fondo marino, tanto en superficie como en profundidad.
3. Análisis de las condiciones meteorológicas de la zona, que permitan predecir el comportamiento de los equipos y consiguientemente operatividades medias de los mismos.
4. Investigaciones geológico-geotécnicas de cara a identificar los materiales a dragar, definiendo sus principales propiedades físicas y mecánicas.
5. Investigaciones medioambientales de cara a conocer el grado de contaminación de los terrenos a dragar, aspecto que puede condicionar fuertemente el desarrollo de los dragados.

III.1. Información previa

Independiente de lo que mas adelante trataremos en este capítulo, se considera imprescindible que, previamente al comienzo de un trabajo de dragado, cualquiera que sea su naturaleza, se recurrirá al análisis de la información existente referida al emplazamiento.

Particularmente se señala la siguiente documentación que se considera significativa:

- Cartas náuticas, editadas por la Secretaría de Marina.
- Cartas náuticas, editadas por otros países.
- Cartografía de los Institutos de Geografía del país.
- Planos específicos editados por las autoridades portuarias.
- Atlas geotécnicos de los puertos.

III.2. Hidrografía

El reconocimiento hidrográfico de una determinada zona pretende el conocimiento del estado del fondo marino, esto es, la determinación y registro de los calados existentes en el área de estudio en el momento de la realización de éste. Resulta interesante remarcar que un levantamiento batimétrico debe referirse siempre al momento en que fue realizado, toda vez que el fondo marino puede ir sufriendo modificaciones en su estado a medida que pasa el tiempo.

En particular, para el caso de trabajos de dragado, el reconocimiento batimétrico del área de trabajo resulta ser un aspecto imprescindible, puesto que el mismo permite:

- Evaluar la necesidad de realizar una operación de dragado.
- Estimar el volumen de material a dragar y consiguientemente su costo, previamente al inicio de los trabajos propiamente dichos.
- Control de los trabajos de dragado durante su ejecución.
- Comprobación de los trabajos ya realizados.

Los trabajos hidrográficos pueden aplicarse tanto a la zona de dragado como a la zona de vertido, sin que su metodología general varíe, por lo que no se tratarán separadamente a lo largo de este capítulo.

Los trabajos para la obtención de la batimetría de una zona se realizan empleando embarcaciones que barren el área de análisis, a una velocidad aproximada de entre 3 y 5 nudos, y pretenden caracterizar los puntos de la misma identificándolos mediante su posición en planta, (coordenadas X, Y), y su profundidad asociada (coordenada Z).

III.2.1. Posicionamiento

Por orden de antigüedad en su aplicación, se pueden dividir los sistemas de posicionamiento en tres tipos:

- Topográficos.
- Por radio.
- Por satélite.

Para trabajos relacionados con el dragado, los primeros dos están hoy en día prácticamente en desuso, empleándose únicamente en trabajos de pequeño alcance y poca importancia.

Brevemente, se comenta que el sistema topográfico consiste en referir la situación de la embarcación en cada toma de sonda con las bases topográficas situadas en tierra. Normalmente, antes del inicio del trabajo se dibujan itinerarios que son seguidos por la embarcación, facilitando de esta manera la toma de datos de las estaciones terrestres.

Por su parte, el sistema de radio-posicionamiento, que igual que el anterior hoy en día ha caído en desuso, consiste en el posicionamiento de cada punto de sonda por medio de tres antenas de situación conocida, que emiten una señal que es captada desde la embarcación y que mediante una triangulación resuelve la posición del barco. Estos equipos operan en bandas entre 400 y 500 Mhz y entre 5000 y 10000 Mhz, y tienen alcances normales de 50 a 100 km y precisiones métricas de 2 a 3 m.

En el momento actual el sistema de posicionamiento mas frecuentemente empleado a nivel mundial es el denominado sistema GPS (figura 3.1). Este termino de

deriva de la denominación en inglés Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global) y nace en los Estados Unidos, en los años 60, con un fin eminentemente militar. No obstante, su enorme potencial de aplicación no pasa desapercibido a los sectores civil y comercial, que rápidamente iniciaron su uso adaptándolo a sus propios usos.

Figura 3.1. GPS para navegación náutica.



El sistema GPS se basa en el principio de triangulación. Por explicarlo de un modo sencillo e intuitivo, podemos poner el ejemplo del cálculo de un punto determinado, conocidas sus respectivas distancias a tres puntos de los que se conoce su ubicación. En este caso bastara trazar tres circunferencias, cada una de ellas con radio igual a la distancia al punto considerado y hallar en qué punto se cortan. Pues bien, el fundamento del funcionamiento de sistema GPS aplica este mismo principio, si bien en este caso el sistema contempla la recepción de un mínimo de cuatro señales desde otros tantos satélites, de los cuales se conoce su posición de forma muy exacta y su posición orbital respecto a la tierra. Conociendo el tiempo que tarda una señal en recorrer el camino entre los satélites emisores y el receptor en tierra, así como la

velocidad de propagación de dicha señal, por trilateración se puede establecer la posición del usuario.

III.2.2. Sondeo

Una vez conocidos los sistemas de posicionamiento, hemos visto como identificar la situación de las coordenadas en planta (X, Y) de la embarcación a lo largo de las trayectorias que describe para la realización de una campaña batimétrica. En el presente apartado se analizara como se asocian dichas coordenadas a la profundidad del fondo marino, esto es, la coordenada Z, procedimiento que se denomina sondeo.

Antiguamente los sondeos se realizaban normalmente introduciendo un elemento en el agua, el cual previamente era marcado con las unidades de medida a utilizar, comprobando la profundidad de dicho punto. Evidentemente se trata de un procedimiento anticuado y muy poco preciso, de tal forma que hoy en día su utilización es nula. Actualmente la profundidad del fondo marino se mide a través de elementos denominados sondas, los cuales se describen a continuación.

III.2.2.1. Sondas de una sola traza

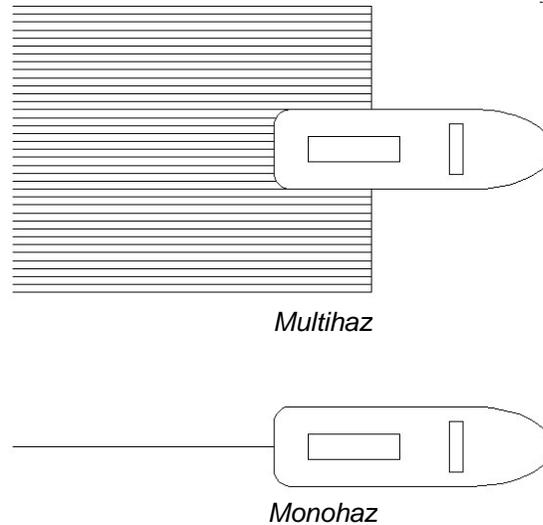
El esquema esencial del funcionamiento de una ecosonda consiste en la generación de un pulso eléctrico, que al llegar al elemento denominado transductor es convertido en una vibración mecánica que se transmite al agua. Dicha vibración es reflejada en el fondo marino y vuelve a ser captada de nuevo por el transductor, el cual se encuentra en tiempo de espera, y transforma la vibración mecánica transmitida por el agua de nuevo en un impulso eléctrico. Medido el tiempo transcurrido desde su emisión hasta su recepción, puede transformarse en un valor

de distancia (la profundidad del fondo marino) aplicando un valor de la velocidad de transmisión del ruido en el agua.

III.2.2.2. Sondas multihaz

Se trata ésta de la última generación de ecosondas. A diferencia de las de una o dos haces (33-210khz), estos modelos constan de hasta 120 haces, recogiendo cada una de ellos información de un punto diferente. De este modo, no se obtiene información de un solo punto bajo la embarcación (monohaz) sino a lo largo de una banda, de anchura variable con la profundidad (figura 3.2).

Figura 3.2. Levantamiento con sondas multihaz y monohaz.



Los diferentes haces se reparten a ambos lados de la trayectoria, totalizando ángulos de “visión” que pueden llegar a 150° o más. En estas condiciones, si se planifica correctamente la posición de las líneas de navegación con el ancho del haz y la profundidad de la zona que abarque la campaña de sondeo, se podrá obtener un conjunto de datos que reflejarán la situación del fondo marino sin dejar ningún punto sin cubrir. Esta riqueza de resultados representa una indudable ventaja sobre la sonda

monohaz, con la cual se conoce únicamente el valor de la profundidad de los puntos bajo los perfiles navegados, obteniéndose las zonas intermedias entre perfiles mediante interpolación.

III.3. Estudios geofísicos

Las campañas de medición para la obtención de los características geofísicas para trabajos de dragado suelen tener un doble objetivo:

- Conocimiento de la situación del fondo marino (capa superficial).
- Conocimiento de las capas del subfondo marino.

Estas investigaciones suelen acompañarse y complementarse con análisis batimétricos, así como de campañas de investigación geotécnica. No obstante, si se considera necesario reconocer en este punto que las campañas geofísicas deben considerarse complementarias a las investigaciones y campañas geotécnicas mediante toma de muestras y análisis de las mismas, “in situ” o en laboratorio, y nunca como sustitutivas.

En cuanto al fundamento de estos métodos, brevemente mencionaremos que los más frecuentemente usados son los de sísmica de refracción y sísmica de reflexión, técnicas ambas que estudian la propagación en el terreno de ondas sísmicas producidas artificialmente, estableciendo mediante este proceso la configuración geológica del subsuelo (tipo de capas, espesor de las mismas, profundidad de capas rocosas). Estos análisis se enmarcan dentro de los métodos indirectos de investigación, es decir, de aquellos que se realizan sin necesidad de alterar el terreno.

En cuanto a la descripción del método sísmico, consiste básicamente en la

generación de un impulso en la superficie y en el posterior análisis del movimiento de la onda creada por dicho impulso, particularmente durante su transmisión a través del terreno natural.

Así, por ejemplo, el método de refracción sísmica se basa en que:

- Según la naturaleza del terreno varia la transmisión de las ondas.
- Los contactos entre los estratos con diferente velocidad de transmisión de las ondas, definen superficies de separación donde las ondas experimentan fenómenos de refracción. Esto permitirá determinar la profundidad a la que aparecen nuevas capas.

Un ejemplo del método de sísmica de reflexión, se lleva acabo con un equipo que lleva sondas transductoras que actúan como emisores/receptores de señales ultrasónicas en dirección perpendicular al sentido de avance, consiste en obtener un “barrido” amplio a lo largo de toda línea del suelo perpendicular a la trayectoria de la embarcación, formando un “pasillo”. Con esta técnica no se pretende atravesar los sedimentos, sino “fotografiar” el suelo de cara a estudiar la morfología del fondo marino.

III.4. Características de los terrenos a dragar

El fondo marino, igual que el resto de la corteza terrestre, está formado por suelos y rocas. Entendemos por roca un agregado natural de uno o más minerales, duro, compacto, resistente, cuyos componentes no se desagregan fácilmente y no sufre modificaciones sensibles de sus propiedades en presencia del agua. Los suelos proceden de las rocas por un proceso de erosión y están formados por materiales

fragmentados o sueltos, pudiendo ser fácilmente separados en partículas individuales.

III.4.1. Suelos

Los suelos que hayan de ser objeto del dragado deben ser descritos con precisión. Para realizar esa descripción, es recomendable utilizar el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, bien difundido en la práctica de la geotecnia.

Cada suelo se describirá con un nombre, que será el correspondiente al constituyente principal. A ese nombre se le añadirán adjetivos que se refieren a:

- Granulometría. Indicando el contenido de otros componentes. Arcilla limosa, por ejemplo.
- Naturaleza de los granos y su forma, en los suelos granulares. Arenas silíceas redondeadas, arenas conchíferas angulosas, por ejemplo.
- Compacidad en arenas o consistencia en arcillas. A este respecto se pueden utilizar términos tales como “arenas flojas”, “arcillas limosas firmes”, etc.
- Olor y color. En ocasiones interesan como índices para distinguir distintos niveles del suelo. El olor puede servir para diferenciar los suelos orgánicos.
- Otros aspectos de interés, tales como posible cementación, posible fisuración, etc.

III.4.2. Rocas

Las rocas que hayan de ser objeto de dragado deben describirse indicando, primero su naturaleza. No suelen existir problemas derivados de una posible falta de

precisión en el “nombre” que se le asignen a una determinada roca, siempre que sus características queden bien descritas.

La descripción del estado de alteración y de diaclasamiento de las rocas es un dato de interés excepcional. Después de reconocer la roca, en sus diferentes niveles u horizontales, y después de ensayarlos en laboratorio para determinar sus propiedades, se pueden utilizar ciertos adjetivos para calificar su grado de alteración, la resistencia de los fragmentos sanos y el grado de facturación. En esta descripción pueden utilizarse aquellos términos que resulten más convenientes, aclarando siempre con referencias cuantitativas su significado.

La investigación geológica y geotécnica del suelo y rocas, se realiza por tres razones fundamentales:

1. Para establecer los volúmenes a dragar, en función de la batimetría, de los diferentes materiales existentes en el área.
2. Investigar todas las propiedades físicas y mecánicas de los materiales, con influencia en el proceso de dragado y en el transporte.
3. Investigar la posibilidad de que los materiales dragados tengan un uso productivo como rellenos.

Además, la caracterización geotécnica de los suelos puede ser necesaria para estudiar la estabilidad de los taludes de dragado o bien para estudiar la capacidad portante cuando el terreno tiene que servir de apoyo a estructuras.

En un principio, la investigación geotécnica para las obras de dragado no debería ser muy diferente a la requerida para el resto de obras civiles. Sin embargo, existen algunas diferencias importantes que deben apreciarse de forma adecuada:

- Hay una relación directa entre las características del suelo y los costos de dragado. A este respecto conviene señalar que subestimar, aunque sea en un porcentaje pequeño, la resistencia del suelo, puede traducirse en un incremento de costo importante, al tener que movilizar otro equipo al inicialmente desplazado a obra.
- El área a investigar en las obras de dragado es muy amplia.
- Las condiciones ambientales en que debe realizarse la investigación son difíciles y requieren medios especiales.
- Los parámetros de los suelos se utilizan de manera diferente con respecto a las investigaciones convencionales.

El proceso de dragado incluye cuatro etapas:

1. Excavación del suelo.
2. Elevación del material excavado a la superficie, bien sea con procedimientos hidráulicos o mecánicos.
3. Transporte del material excavado a su lugar de vertido, bien sea con las propias dragas, con gánguiles o por tubería.
4. El vertido del material dragado.

Cada una de estas etapas esta afectada por la naturaleza del material a dragar, los parámetros fundamentales a conocer del suelo pueden dividirse en geológicos que conciernen a la distribución del volumen de material a dragar y datos geotécnicos que proporcionan los parámetros físicos y mecánicos del material a dragar.

Dentro de la denominación genérica de suelos se pueden diferenciar en un principio dos grandes grupos: suelos cohesivos y suelos granulares.

En las rocas, su diferencia fundamental a efectos de dragado, se establecen en su resistencia, ya que en base a este parámetro, se puede establecer si la roca puede dragarse directamente o hay que recurrir a voladuras. En un principio y como referencia, cabe pensar que será muy difícil dragar rocas con resistencia superior a los 20 Mpa.

La investigación geológica debe proporcionar la siguiente información:

Suelos

- Identificación de los diferentes tipos.
- Cuantificación de volúmenes, profundidad y espesor de los estratos.
- Descripción de los diferentes tipos de suelos:
 - Constituyentes principales.
 - Homogeneidad.
 - Color.
 - Forma de partículas.
 - Estructura.

Rocas

- Identificación de los diferentes tipos.
- Cuantificación de volúmenes, profundidad y espesor.
- Descripción de los diferentes tipos de rocas:
 - Nombre.
 - Color.
 - Meteorización.
 - Homogenización.

- Capas. Espesor y orientación.
- Fisuras y litoclasas: espaciamiento y orientación.

III.5. Condiciones oceanográficas y meteorológicas

Con carácter general, resulta necesario proceder a la recopilación de datos meteorológicos y oceanográficos en la zona de ejecución de un dragado. Estos datos suponen una base fundamental de cara a una correcta planificación y diseño de la obra en cuestión, además de resultar útiles durante la propia realización de los trabajos.

Su conocimiento, como elemento más determinante, servirá para evaluar las posibilidades de trabajo, rendimientos esperables y por lo tanto las producciones de dragado estimadas, pudiendo incluso en algunos casos condicionar la propia elección del equipo de dragado.

A continuación se contemplan los parámetros más representativos.

III.5.1. Oleaje

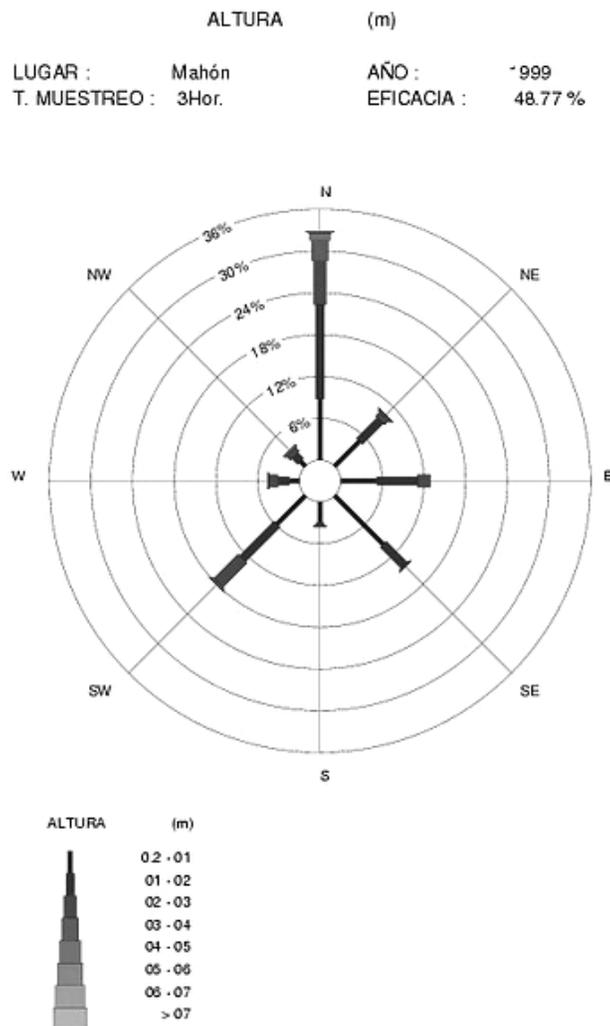
Resulta ser en la inmensa mayoría de los casos, el parámetro climatológico preponderante y más significativo a la hora de la definición y dimensionamiento de una obra o campaña marítima, y particularmente en la que al dragado se refiere. Así, a menos que los trabajos se desarrollen en zonas interiores o totalmente abrigadas, y por lo tanto no son sometidas a la acción del oleaje, debe procederse a una recopilación de datos con carácter previo al diseño del proyecto (figura 3.3).

En particular, los datos que se recomienda recabar son los siguientes:

- Altura de ola significativa.
- Periodos medios y de pico.
- Direcciones de procedencia.
- Regimenes medios, total y direccionales.

Además de los datos anuales, en ocasiones existe la posibilidad de disgregación estacional de los mismos, lo que puede resultar adecuado, en especial para campañas de corta duración.

Figura 3.3. Rosa de oleaje.



Los datos anteriores deben entenderse en régimen medio, toda vez que los temporales extremos son sucesos climáticos que presentan una caracterización extremal apropiada para el diseño estructural de las obras y no para la planificación de campañas de trabajo y deben referirse, cuando sea posible, a la zona de ejecución de las obras. Si no se dispone de datos de clima en el lugar de emplazamiento de los trabajos, resulta necesario realizar una propagación de los mismos desde la zona de la que se disponga de datos hasta el área de obras.

III.5.2. Viento

A pesar de ser un parámetro meteorológico muy significativo con carácter general, para el caso de campañas de dragado su interés puede resultar más limitado. No obstante, a nivel informativo, se comenta que los datos más relevantes resultan ser la velocidad, dirección y frecuencia de presentación, como ocurría en el caso del oleaje y con tratado y presentación de datos similar a éste.

La medición del viento se realiza principalmente con la utilización de estaciones meteorológicas situadas en diferentes puntos específicos a lo largo y ancho del país. Además de sensores de viento, ellas disponen de sensores adicionales para medición de presión, temperatura, humedad relativa y precipitación.

III.5.3. Corrientes

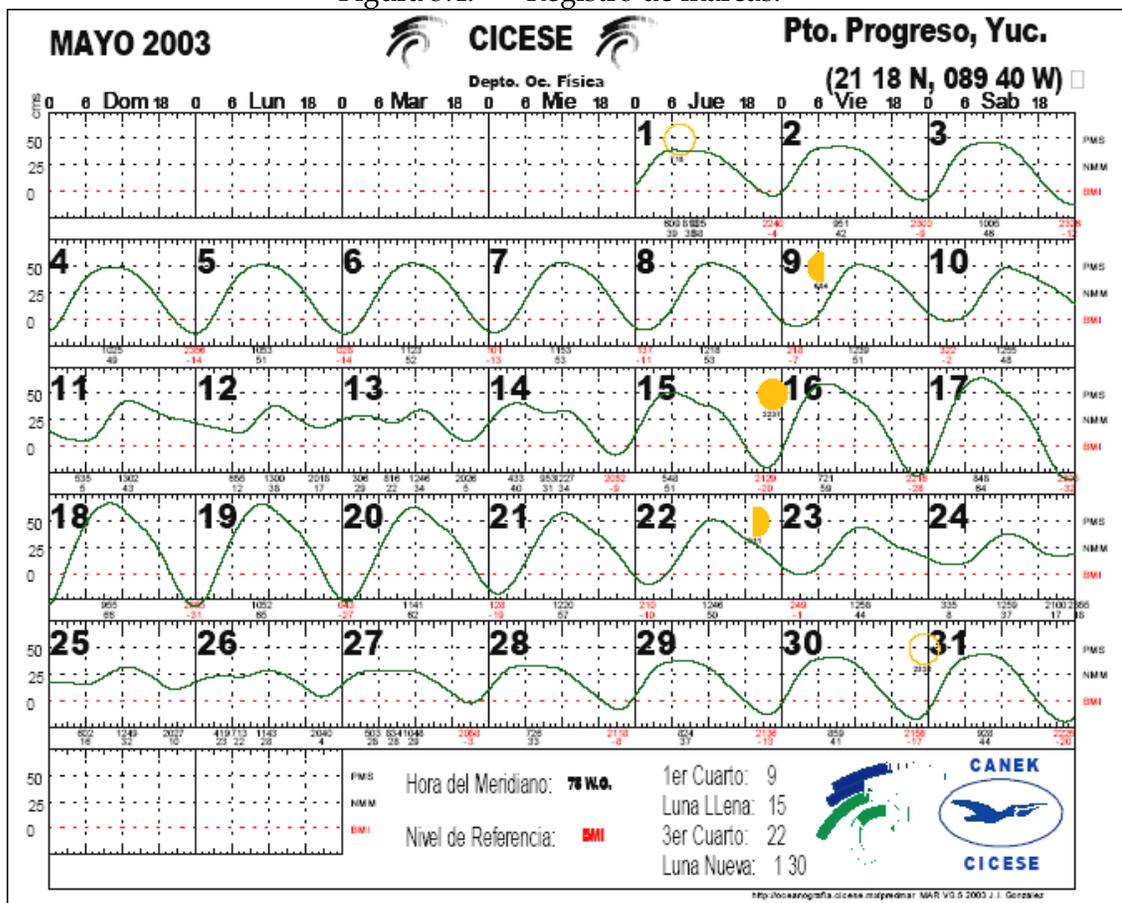
La existencia de corrientes significativas en una zona de dragado puede condicionar la forma de trabajo de la obra, así como producir el transporte de partículas de pequeño tamaño que puedan quedar en suspensión durante la ejecución del dragado, con la siguiente dispersión de las mismas.

La medición de los parámetros significativos, intensidad y dirección, se realizan a través de correntímetros que se colocan a distintas profundidades. Dependiendo del modelo, además de corrientes, se pueden medir simultáneamente otros parámetros tales como temperatura y salinidad del agua.

III.5.4. Mareas

Es evidente que resulta un parámetro fundamental a considerar en la planificación, diseño y ejecución de cualquier tipo de obra marítima, y por tanto también de los dragados.

Figura 3.4. Registro de mareas.



Resulta necesario conocer la evolución del nivel de la superficie de agua durante la propia ejecución de los trabajos de dragado (figura 3.4), de cara a acomodar en cada momento los equipos a la profundidad existente tratando de obtener el máximo rendimiento de los mismos.

En cuanto su medición, comentar que los niveles de marea son realizados por mareógrafos, y que las mareas astronómicas se pueden estimar consultando las tablas anuales que edita la Secretaría de Marina. No obstante estos valores contemplan únicamente la marea astronómica, por lo que el valor real del nivel del mar puede sufrir variaciones, en ocasiones muy significativas, en función de las condiciones meteorológicas existentes es cada momento (marea meteorológica).

III.5.5. Otros aspectos climáticos

En general suelen resultar menos importantes que los tratados anteriormente. No obstante algunos de ellos se pueden obtener de las redes que se han mencionado en los apartados anteriores tales como: temperatura del aire y del agua, salinidad, presión, humedad, precipitación, etc.

Si puede resultar significativa la estimación de las condiciones de visibilidad por nieblas, porque puede condicionar la ejecución de los trabajos, en cuanto a posibilidad de navegación de las propias dragas o riesgos de colisión de éstas con otras embarcaciones existentes en la zona.

III.6. Aspectos del entorno y logísticos

Además de todo lo apuntado con anterioridad existen otros factores que pueden condicionar la planificación y la propia ejecución de una campaña de

dragado, y que se denominan como aspectos del entorno y logísticos.

Entre los primeros cabe destacar los derivados del tráfico marítimo. Así, la ejecución de una obra de dragado puede resultar muy condicionada si esta se realiza en una ubicación donde existe tránsito de otras embarcaciones. En primer lugar por las necesidades de balizamiento de los equipos que exija sobre el particular la normativa vigente, particularmente para el caso de dragas estacionarias. Pero también por las exigencias que impone la necesidad de permitir el tránsito de embarcaciones y no entorpecerlas con los equipos de dragado, lo cual no resulta problemático en las dragas de succión en marcha por su capacidad de movimientos mientras trabajan, pero si las dragas estacionarias, que se pueden ver obligadas a ejercer paradas y movimientos para dejar el paso libre.

En este sentido, la operación de movimiento de una draga puede resultar compleja y suponer paradas prolongadas con el consiguiente impacto que este hecho tiene sobre los rendimientos y producciones de la obra. Téngase en cuenta que esta operación suele requerir para el caso de una draga estacionaria: aviso de la necesidad de dejar libre una zona de navegación por parte de la propia Autoridad Portuaria, Capitanía de Puerto o la institución u organismo con competencia en la materia (con la antelación suficiente para que pueda preparar la operación); detención del equipo de dragado; movimiento fuera de la zona de navegación; maniobra del buque que sale o entra; nuevo posicionamiento de los equipos; reanudación de la operación.

Del proceso antes apuntado se deduce la pérdida de rendimiento que una operación como la mencionada puede conllevar, por lo que se trata éste de un aspecto de máxima relevancia, si el dragado se debe realizar en zonas de alto tráfico marítimo.

Finalmente, con respecto a los aspectos logísticos, es necesario prever, en la zona de emplazamiento de los trabajos, posibilidades de suministro a la obra, material o equipamientos complementarios que se necesiten, repuestos, suministro de combustible a los equipos, suministro a las tripulaciones de las dragas, así como posibilidad de contratación de personal y equipos complementarios a los propios equipos de dragado tales como: embarcaciones auxiliares, tripulaciones, equipos de sondeo, etc.

CAPITULO IV

ORGANIZACION Y EJECUCION DE LAS OBRAS

En general, como en toda realización de ingeniería civil, el proyecto de un dragado es un proceso progresivo en varias fases que tiene su culminación en la ejecución de la obra.

Todas las fases previas, anteproyecto, informes, labores de campo para toma de datos, redacción del proyecto, licitación etc., tienen como objetivo llegar a ese punto crucial en el tiempo y en el espacio que es la obra.

De cómo se organicen los trabajos y de qué manera se efectúe el seguimiento y control de los mismos dependerá, en gran medida, el resultado final técnico y económico del proyecto que se acomete.

IV.1. Características distintivas de una obra de dragado

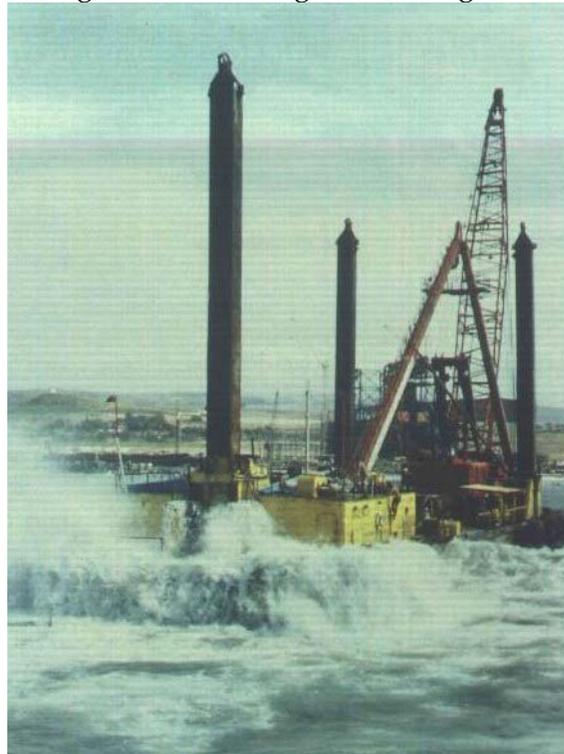
Varias son las razones que hacen distintas este tipo de obras de las demás.

En primer lugar, por el medio en que se desenvuelven, íntegramente en el agua. De esta peculiaridad se deriva una cualidad que deben tener las personas que forman parte de una obra de dragado, mentalidad y experiencia en todas las tareas implicadas. Esta actividad es muy singular y no cabe aplicar la experiencia recogida

en trabajos similares efectuados en tierra. El medio acuático añade una serie de peculiaridades que desvirtúa lo aprendido en nuestro medio natural, la tierra.

Sólo conociendo estas características se puede reducir el alto grado de incertidumbre y riesgo que esta especialidad lleva consigo (figura 4.1).

Figura 4.1. Riesgos en el dragado.



Esta incertidumbre y riesgo es consecuencia de la escasez de datos que el dragador dispone para la ejecución de una obra. Y se refiere no solo a las condiciones legislativas o de entorno, importantes en toda obra fluvial o marítima, sino y muy especialmente, al tipo de material a extraer. Es de sobra sabido que de la naturaleza del fondo depende del tipo de draga a utilizar y de las características de los materiales, los rendimientos esperables de la draga y, por tanto, el costo directo de ejecución.

La información facilitada al dragador para calcular sus precios suele ser escasa. Habitualmente la insuficiencia de datos en cuanto a naturaleza y características de fondos a dragar, volúmenes separados por materiales, existencia de obstáculos, pertrechos e inclusive objetos peligrosos, transfiere al dragador muchos de los riesgos e incertidumbres de la obra. El dragador puede tener en cuenta en su estudio de costo aquellos sucesos que tienen una probabilidad estadística, como la existencia de paradas por tráfico portuario, temporada de avenidas, períodos de mal estado de la mar, etc. Pero aquellos otros en los que no es posible estimar su probabilidad de aparecer, se mueven en un estado de incertidumbre absoluta y, por tanto, difíciles de evaluar.

A veces, las incertidumbres suelen ser tan altas que cualquier parecido entre el costo ofertado y el real producido en la ejecución puede llegar a ser pura coincidencia. Así se crea una situación en la que el resultado de una actividad que mueve una cantidad importante de recursos de maquinaria y humanos, es en ocasiones pura y llanamente una cuestión de suerte.

La inclusión de los costos de incertidumbre en los precios de un dragado no es deseable ni para el dragador, porque solo podrá valorarlos escasamente si quiere tener opción a conseguir un contrato, ni debe ser deseable para la propiedad, porque si lo considera y no se produce el suceso, le ocasiona un costo innecesario que se podría haber ahorrado.

En segundo lugar, como ya se ha dicho, hay que conceder una gran importancia a la conservación y reparación de la maquinaria, o que explica muchos aspectos de la organización de la obra.

También hay que destacar que en este tipo de obras solo existe el metro cúbico

de dragado como unidad productiva. Esta falta de variedad de producto a obtener obliga a una organización a que sea capaz de conseguir una actividad productiva continua, reduciendo al mínimo las paradas del tren de dragado porque son irremediabilmente improductivas.

Por último, las obras suelen ser de corta duración y muchas veces en lugares geográficos donde no existe una estructura regional de la empresa. Es como mover continuamente un circo. Esto hace que las obras de dragado deban ser capaces de resolver por ellas mismas sus problemas más inmediatos, como los aprovisionamientos, reparaciones, caja, etc.

IV.2. Funciones a realizar en una obra de dragado

Las actividades que deben ser realizadas en una obra de dragado se pueden agrupar bajo tres aspectos funcionales:

1. Función gerencial
2. Función técnica
3. Función económica

Se examinan estos tres grupos de funciones:

1. Función gerencial. Es el conjunto de tareas que deben ser llevadas a cabo en la empresa por sus integrantes como miembros directos de la empresa dragadora.

Estas tareas se insertan en dos ámbitos diferentes:

- a) En el ámbito externo, se integran todas las relaciones comerciales y de gestión con el cliente (recepción de sugerencias, cambios y aclaraciones, expectativas de nuevos trabajos, información sobre su situación económica y financiera, etc.), y las relaciones con los organismos implicadas en el entorno socio-político y económico de la obra.
 - b) En el ámbito interno de la obra, se agrupan las misiones a cumplir como elemento integrado de la empresa: cumplimiento de las normativas internas, tanto en el ámbito laboral como técnico, logro de los objetivos generales de la empresa, creación de ambiente de integración e identificación de los elementos humanos de la obra con la empresa, promoción y formación del personal, etc.
2. Función técnica. Comprende todo lo relacionado con la correcta utilización del equipo de máquinas y hombres para la realización física de la obra. Estas funciones son:
- a) Ejecución material de la obra, que se lleva a cabo a través de las siguientes actividades:

Organización de los trabajos a nivel de tajo, es decir, asignación correcta de recursos a las tareas productivas.

- Realización material de la obra
- Control de calidad de la obra que se ha ejecutado
- Mantenimiento y conservación de la maquinaria
- Prevención de los riesgos laborales
- Cumplimiento de los procedimientos medioambientales

- b) Planificación inicial y control durante la ejecución de los recursos empleados, producciones alcanzadas, utilización de maquinaria, etc.
 - c) Investigación e innovación. Es decir, mantenimiento del nivel de progresión individual y colectiva en lo referente a la preparación profesional y tecnológica.
3. Función económica. Están incluidas, en este apartado, las actividades que se refieren a las áreas administrativas y contables de una obra. Se pueden dividir en cuatro:
- a) Actividad contable, que consiste dicho en palabras simples, en llevar la contabilidad de la obra.
 - b) Administración del personal. Comprendiendo las tareas de afiliación del personal, elaboración de nóminas, tramitación de altas y bajas, pagos directos al personal, seguros sociales, etc.
 - c) Aprovisionamientos. En este grupo se encuentran las funciones de:
 - Suministros y pedidos de obra, es decir, petición al proveedor, recepción de mercancías, etc.
 - Funcionamiento de los almacenes de la obra, comprendiendo la organización, seguimiento y control de las existencias, etc.
 - d) Control de costos y obras adicionales para el dragado.

IV.3. Organización de una obra de dragado

La obra debe de estar estructurada de manera que los hombres que la realicen sean capaces de cumplir las funciones que se han especificado en el apartado anterior.

Se analizan primero, la organización a nivel de dirección y, posteriormente, a nivel de tajo.

Una obra puede ser estructura en su cabeza según el organigrama a nivel de dirección técnico - administrativa (figura 4.2).

- Jefe de obra
- Jefe de ejecución
- Jefe de maquinaria
- Jefe de oficina técnica
- Jefe de oficina administrativa

Las misiones de cada uno son las siguientes:

Jefe de Obra. Como máximo responsable de la obra, todo lo que sucede en ella le compete directamente. Pero, según sea el área a considerar, su intervención debe ser matizada.

La función gerencial debe asumirla personalmente como máximo representante de la empresa en la obra. En el área técnica, debe actuar como coordinador y supervisor de todos los trabajos, si bien debe intervenir, además, muy activamente en la definición de los parámetros técnicos que conllevan la ejecución material de la obra, cuyo resultado final técnico es de su responsabilidad absoluta.

Directamente, o a través de un coordinador por el nombrado, es el responsable de la prevención de riesgos laborales para asegurar la ejecución puntual del plan de seguridad y salud aplicable. Asimismo, debe vigilar el cumplimiento de los procedimientos aplicables de los sistemas de gestión de calidad y medioambiental.

En el área económica, debe coordinar y supervisar sus actividades y exigir toda la información necesaria para realizar su papel de máximo responsable del resultado económico de la obra.

Jefe de ejecución: Se circunscribe especialmente en el área técnica, aunque no debe olvidarse del aspecto gerencial que en ocasiones debe entender, y del económico sobre todo a nivel de recepción y transmisión de información.

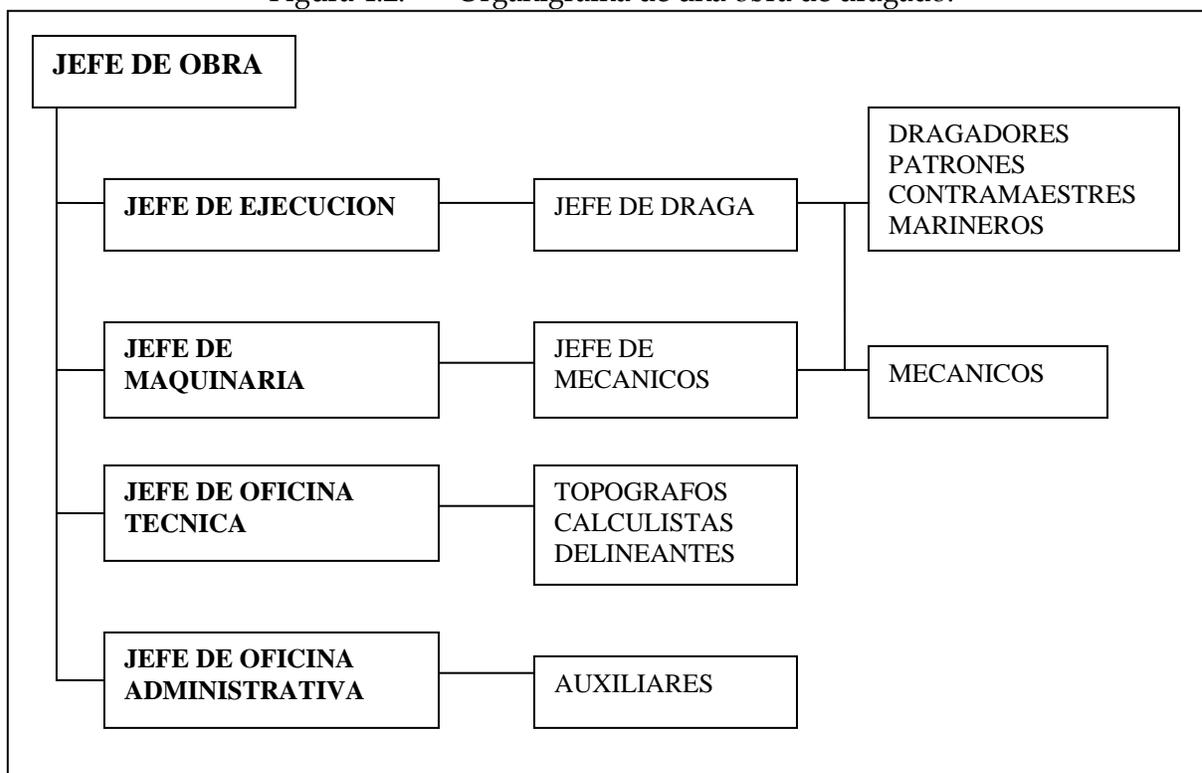
En el área técnica es con el jefe de obra, el máximo responsable de la ejecución material y, por tanto, de todas las tareas que se han especificado dentro de las funciones técnicas que han de cumplirse en una obra.

Jefe de maquinaria: Es el máximo responsable del correcto uso y funcionamiento de las máquinas empleadas en la obra. Su misión se inscribe en el área técnica de la obra, sin olvidar su intervención en las materiales de las áreas gerenciales y económicas que pueden ser de su competencia (relaciones con las inspecciones de buques, actuaciones con proveedores, talleres, etc.).

Jefe de la oficina administrativa: Junto al jefe de la obra, es el máximo responsable de las funciones económicas de la obra. Algunos aspectos de la función gerencial también la competen: relaciones con delegaciones de trabajo, seguridad social, bancos, etc.

Jefe de oficina técnica: Su misión se inscribe dentro del área técnica y su departamento debe funcionar como servicio del jefe de ejecución, fundamentalmente. Son sus misiones principales la de efectuar replanteos de diversa índole: comprobación de las referencias y antenas de GPS, nivel de referencia de altura de agua, levantamientos batimétricos, etc., y todas las labores de gabinete derivadas de los trabajos anteriores.

Figura 4.2. Organigrama de una obra de dragado.



IV.3.1. La organización de una obra de dragado a nivel bajo

Se describe a continuación la estructura de personal de una obra de dragado a nivel general, ya que dependiendo del tipo de draga a emplear (rosario, succión con cortador, succión en marcha, etc.), la estructura pormenorizada es diferente.

En cada turno de trabajo hay al frente de tajo un jefe de draga, responsable a nivel de tajo de lo que sucede en la obra. De él depende todo el personal operario: dragadores, patronos de embarcaciones, marineros, mecánicos, etc. La experiencia ha demostrado que son personas adecuadas para este puesto las provenientes del nivel de operarios destacados por su buena preparación y alta responsabilidad, especialmente del grupo de dragadores y las provenientes de oficina técnica, teniendo la suficiente capacidad para captar y resolver los problemas del dragado y adecuado carácter para asumir las funciones de mando. Los jefes de draga dependen directamente del jefe de ejecución, aunque el jefe de maquinaria, por su nivel jerárquico, tiene influencia sobre ellos.

Por debajo del nivel de jefe de draga se encuentra ya el conjunto de operarios necesario para hacer funcionar el tren de dragado: dragadores, contramaestres de cubierta y maniobra, marineros, patronos y mecánicos de embarcaciones, encargados de tuberías de descarga y vaciaderos, etc.

Dependiendo directamente del jefe de maquinaria se encuentra el jefe de mecánicos. Es el especialista de la draga, quien mejor se la conoce y quien más experiencia tiene. El jefe de mecánicos proviene del grupo de mecánicos que habitualmente ha prestado servicio en la draga y por su preparación, conocimientos y experiencia se ha hecho merecedor de ascender y ponerse al frente de los demás mecánicos. Estos han de ser en número y calidad suficientes para hacer funcionar toda la maquinaria de la obra en su punto óptimo.

La oficina administrativa deberá contar con los suficientes elementos para cubrir adecuadamente sus obligaciones. En líneas generales, deberá contar, además del jefe administrativo, con un auxiliar y con un almacenero.

Por último, la oficina técnica, estará dimensionada para realizar la cantidad de trabajo que se le exige, que suele ser muy variable según las obras, y con la calidad necesaria. Sus hombres deben ser muy polivalentes dada la variedad de trabajos que deben realizar: topografía, batimetrías, cubicaciones, delineación, etc.

IV.4. Planificación de una obra de dragado

En la fase previa de preparación de trabajos debe incluirse la etapa importante de planificación de la obra.

Planificar el dragado significa pensar en las diversas maneras de realizarlo, sopesando sus ventajas e inconvenientes para, al final, elegir una de ellas. Resulta así un verdadero proyecto de ejecución del dragado. De esta manera, ninguna actuación en la obra será fruto de la improvisación y los resultados serán óptimos (figura 4.3).

Figura 4.3. Realización de un dragado bien planificado.



En la planificación se deberá tener en cuenta principalmente:

- Las condiciones del lugar en que se realiza el dragado; zona abrigada o mar abierto; con tráfico que impida, por ejemplo, el funcionamiento con tuberías; situación de talleres locales para reparar, etc.
- Los plazos de ejecución parciales y totales.
- La disponibilidad y procedencia de la maquinaria principal y auxiliar.
- Los distintos procedimientos de ejecución y disposición de las instalaciones fijas; vaciaderos, oficinas de obra, talleres de obra, etc.
- Los suministros de gas-oil, agua potable, etc.
- Las distintas fórmulas de financiación, cobros y pagos
- La organización de los turnos de tripulaciones, períodos de vacaciones, etc.
- Los requisitos aplicables, provenientes del cliente o derivados de la normativa existente, sobre aspectos medioambientales específicos de la obra.

Un modelo clásico de planificación de obras de dragado es el siguiente:

1. Descripción de la obra.

Se describirían las distintas zonas a dragar, precisando su geometría, los calados a obtener, su cubicación y el tipo de material a extraer en cada una de ellas. El capítulo iría acompañado del plano en planta, de los perfiles de dragado y de la información geotécnica existente.

2. Descripción del tren de dragado.

Se incluirían las características principales de las embarcaciones a utilizar, así como las fichas técnicas de las mismas.

3. Estimación de rendimientos y programa de trabajo.

Este apartado constaría de:

- a) Cálculo de los rendimientos horarios por zonas.
- b) Cálculo de los rendimientos semanales y plazos de ejecución.
- c) Programa de ejecución.

4. Programa de movilización y montajes.

Instalaciones específicas. Se describirían en este apartado las actividades tendientes a realizar la movilización y montajes de los elementos constituyentes del tren de dragado, con la indicación de sus costos esperables. Se incluirían, asimismo, la descripción y entidad económica de todos aquellos otros conceptos que puedan integrarse dentro de la cuenta de instalaciones específicas.

5. Proyecto de instalaciones generales.

Se recogería aquí una breve descripción de las instalaciones generales, fundamentalmente oficina, almacén, etc.

6. Organigrama.

Se detallaría en este apartado el número de operarios adscritos a la obra, con referencia a sus especialidades y horario de trabajo. Se acompañaría el organigrama del personal técnico - administración que recogería los distintos puestos de trabajo y las personas que los ocupan.

7. Estimación de costos y resultado.

En este apartado se incluiría la estimación de todos los costos de la obra por naturalezas, tipo de embarcaciones, trenes de dragado y totales. Se complementaría con un cálculo de los costos unitarios y totales por zonas de la obra ejecutada y el resultado esperable.

8. Plan financiero.

Se realizará en este apartado el plan de cobros y pagos de la obra, así como el plan contable de la misma.

9. Plan de control de producción.

Se haría referencia a los mecanismos de control adecuados para vigilar estrechamente la evolución de las producciones y conseguir su optimización.

10. Plan de control de calidad.

Se describirían los controles a establecer para garantizar la buena ejecución de los trabajos y el cumplimiento de los procedimientos internos de gestión de la calidad.

11. Plan de control de costos.

Reflejaría esquemáticamente aquellos componentes del costo que requieran mayor atención, haciendo referencia a los controles que deben establecerse.

12. Plan de batimetrías y mediciones.

En él se recogerían las actividades a desarrollar para obtener los levantamientos batimétricos iniciales y finales, así como la organización de sondeos de medición a efectuar a lo largo de la obra.

13. Plan de Seguridad y Salud.

Estaría constituido por el Plan de Seguridad y Salud que se somete a aprobación antes del inicio de la obra, resultante de la aplicación del Estudio de Seguridad y Salud incluido por la propiedad en el proyecto de la obra que se ha licitado.

14. Comparación con el estudio de licitación.

Por último, en este apartado se analizarían las diferencias entre el estudio de oferta y la planificación. Estos análisis son de gran importancia para el futuro, ya que permiten ir corrigiendo los criterios de elaboración de ambas estimaciones hacia una línea común.

IV.5 La elección del equipo

Un punto crucial en la planificación de un proyecto de dragado es la elección del equipo adecuado. De este hecho va a depender el éxito o fracaso del mismo.

Al margen de las consideraciones que se pueden hacer sobre si hay dragas mejores o peores, más modernas o menos, etc., hay que decir muy claro que la valoración de un equipo ante un proyecto determinado debe hacerse bajo el punto de vista de si es adecuado o no a las necesidades intrínsecas del proyecto.

La elección del tipo de draga a utilizar en una obra concreta depende de una serie de variables a considerar.

- Tipo de material a extraer.
- Condiciones geométrica del área de dragado y de los calados iniciales que existan y de los finales a obtener.
- Régimen de oleaje, corrientes y viento en la zona de dragado.
- Zona de vertido final de los productos de dragado.
- Condiciones externas, como tráfico marítimo, suministros, etc.
- Exigencias medioambientales.
- Etc.

De todas ellas, el tipo de material a extraer es el factor decisivo.

Un aspecto a considerar es la adecuación del equipo al modo y destino del vertido final de los productos de dragado.

Capítulo especial merece la elección del recurso humano para operar la maquinaria elegida. Antes de iniciarse la obra, la definición del personal debe efectuarse en dos estadios:

- a) La definición de los puestos necesarios que permitan a la maquinaria un funcionamiento a pleno rendimiento. Es la organización interna de la obra.
- b) La elección de las personas, dentro de las diferentes categorías profesionales, para ocupar los puestos antes definidos para garantizar el mencionado rendimiento. Es la elección del hombre.

IV.6. La ejecución de una obra de dragado

El proceso de ejecución tiene tres fases fundamentales.

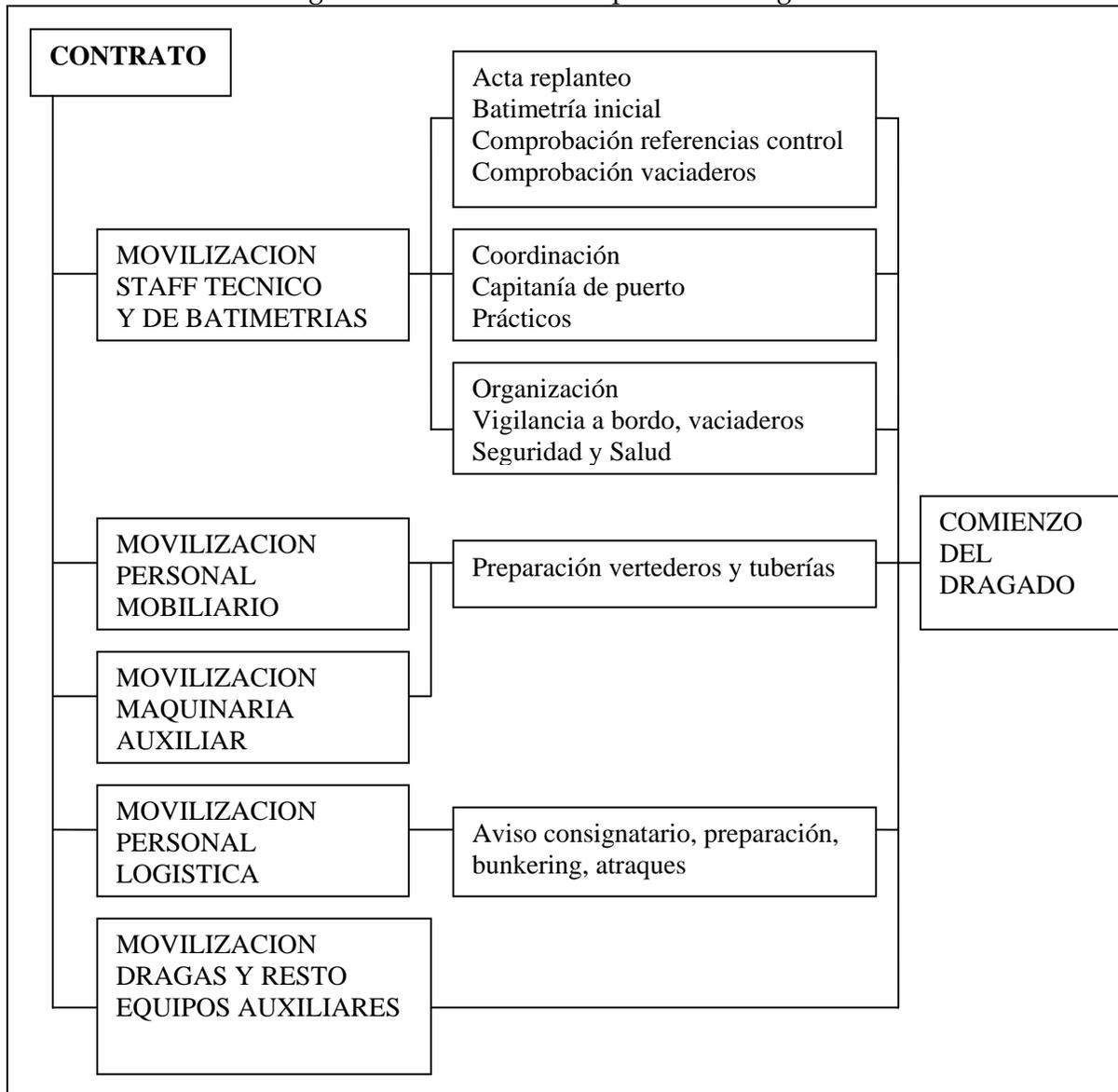
1. Fase inicial: Preparación de trabajos, movilizaciones y montajes
2. Fase de ejecución
3. Fase final

IV.6.1. Preparación de los trabajos, movilizaciones y montajes de equipos. Sondeo inicial

La preparación de trabajos comprende todas las actividades previas de gestión que son necesarias para empezar los dragados dentro del período que se oferta.

En la figura 4.4 se muestra las interrelaciones entre las actividades.

Figura 4.4. Actividades previas al dragado.



Estas actividades son:

- Movilización inicial del staff técnico y equipos de batimetrías para la ejecución de todas las tareas encaminadas a redactar el acta de replanteo. Más en concreto:

- Comprobar las referencias para el control y medición de la obra.
- Comprobar la disponibilidad, delimitación y capacidad de los recintos y lugares de vertido.
- Ejecutar los levantamientos batimétricos oportunos.
- Movilización del personal de logística para la preparación de la recepción de la draga y de los equipos auxiliares (avisos a consignatarios, coordinación con Capitanía Marítima y Prácticos, preparación de aprovisionamientos y bunkering, atraques, etc.)
- Movilización de maquinaria auxiliar para movimiento de tierras, por ejemplo.
- Construcción de recinto de vertido y montajes de tuberías, si los hubiera.
- Organización de la vigilancia a bordo de la draga y vertederos. Vigilancia arqueológica, Seguridad y Salud. Dirección de Obra, etc.

Especial relevancia tiene, en esta fase previa, todas las actividades relacionadas con el sondeo inicial de la obra necesario para conocer cuantitativamente el dragado a efectuar.

El equipo de batimetría (ver capítulo III) para seguimiento, control y medición de la obra debe contar con:

- Una embarcación de sondeo de características adecuadas para trabajar en la zona de dragado (empacho, potencia y maniobrabilidad). Su posicionamiento debe ser GPS diferencial (exactitud de 0.5 m en planta).
- Un equipo de levantamientos compuesto por:
 - Posicionamiento GPS
 - Ecosonda, al menos de haz simple y doble frecuencia (33 y 210 khz)
 - Compensador de oleaje, para medir el “heave, pitch y roll”
 - Mareógrafo

- Todo ello utilizando un software de adquisición de datos y post procesado compatible con los disponibles por el cliente.
- La movilización del tren de dragado incluye su traslado a obra y el montaje de los elementos del mismo, como rosarios, spuds, tuberías, etc.
- Los traslados, especialmente si las dragas no son autopropulsadas, son actividades de alto costo, ya que se trata de remolques o transporte sobre pontonas (sumergibles, semi-sumergibles o flotantes) de tarifas muy altas, pagando además primas de seguros importantes en este tipo de operaciones.

IV.6.2. La ejecución

En la ejecución de un dragado, dependiendo de diversos factores, existen dos parámetros fundamentales a seguir y controlar:

1. La producción en la unidad de tiempo (producción horaria, metro cúbico/hora)
2. La producción total producto de las horas efectivas de dragado por la producción horaria

En líneas generales, para un equipo concreto, la producción horaria, es función del tipo de material.

Dado que el costo de operación de dragado, en la unidad de tiempo, prácticamente no varía, el éxito o fracaso económico de la obra depende en gran medida de los rendimientos. Su optimización debe ser la obsesión continua de todos los componentes del tren de dragado.

La producción horaria se obtiene de la conjunción de las variables técnicas de la draga.

Por ejemplo, en una draga de rosario estas variables son las revoluciones por minuto del motor y del rosario, la velocidad de borneo, el ángulo de ataque de los cangilones al material y la longitud de virada del longo.

Y en una draga de succión con cortador, las revoluciones por minuto del motor de la bomba, la velocidad del cortador, la velocidad de borneo, la presión de descarga y el vacío, en la figura 4.5 se puede apreciar un cortador de gran tamaño.

El análisis y control de estas variables es una tarea fundamental en la fase de ejecución, para mantenerlas dentro de los parámetros adecuados.

Al mismo tiempo, las causas que producen paradas en el tren de dragado deben ser resueltas con gran celeridad para que dichas paralizaciones sean mínimas. De esta manera, la producción total, que es el resultado de la producción horaria por las horas efectivas de dragado, será máxima.

Ligado a los rendimientos de la draga se encuentra la cuestión del sobre dragado. Para que esté completamente garantizada la cota exigida de dragado, es necesario que la draga excave por debajo de ella, extrayendo así una cantidad de material superior a la teórica hasta la cota de dragado. Debe hacerse ya que, normalmente, no son admitidas las tolerancias por defecto. Si a pesar de sus precauciones el dragador no consigue en alguna zona el calado exigido, se verá obligado a efectuar repasos costosos.

No es fácil estimar el sobredragado mínimo, incluyen el tipo de material, que

puede presentar cambios inesperados, el régimen de mareas, la velocidad de la corriente etc. Por ello, el dragador se ve obligado a sobredragar más bien en demasía, por lo cual en ocasiones se deben utilizar los mejores equipos.

Figura 4.5. Draga de cortador.



Durante la ejecución, el dragador deberá controlar este exceso de dragado para intentar reducirlo al mínimo.

Para que la rapidez en la ejecución no perjudique la calidad de la misma, que obligaría a efectuar repasos de nula rentabilidad, es necesario realizar comprobaciones constantes de los calados y taludes que se van obteniendo. Los sondeos de comprobación deben efectuarse diariamente varias veces.

También deberán realizarse sondeos en zonas dragadas con anterioridad para comprobar si existen variaciones, debido a aterramientos.

La situación de la draga, si es estacionaria, debe comprobarse varias veces al día para asegurar la correcta ejecución del dragado.

El control del costo es, asimismo, de vital importancia. Los costos de un dragado, conceptualmente, pueden dividirse en cuatro grupos:

- Costos de instalaciones: Movilizaciones, preparación de trabajos, montajes generales. Y al final de la obra, retirada de todo ello.
- Costo directo: Mano de obra y maquinaria
- Gastos generales de obra
- Costos indirectos, incluyendo los costos de la organización central, los financieros, las tasas e impuestos, etc.

Cada una de estas partidas incluye una parte fija y un costo variable de actividad.

El costo fijo, como ya se ha indicado, representa aproximadamente el 65% del costo total.

Las instalaciones, sobre todo las movilizaciones, suelen tener un costo muy distinto entre una obra y otra, no siendo función del volumen de obra a realizar.

Los otros tres costos en la obra, si bien son función del tipo de draga, se pueden repartir porcentualmente de la siguiente forma:

Costo directo de obra 80% repartido entre:

- 15% a 20% mano de obra
- 65% a 60% maquinaria
- Gastos generales de obra 5%
- Costos indirectos 15%
- Suma 100%

Si bien el costo de ejecución varía poco por período de tiempo, es necesario vigilar también los costos variables que más ponderan, como los consumos, comparándolos con los previstos en la planificación. A pie de tajo, estos controles deben ser diarios. Y semanalmente, debe de calcularse con precisión el costo total en ese período y los consiguientes resultados. Especial control debe realizarse en los costos de reparaciones en talleres externos, por ser un costo a pagar a terceros y que puede empeorar la situación financiera de la obra.

IV.6.3. Sondeo final. Desmontajes y desmovilizaciones

Si la ejecución ha sido correcta, los problemas más graves que se pueden suscitar en la fase final de la obra son los aterramientos.

Como es sabido, un dragado produce una alteración en la naturaleza de los fondos marinos. Es frecuente que esta alteración varíe el equilibrio dinámico entre erosiones y aterramientos en la zona de actuación, produciéndose depósitos de material. De esta manera, los calados, al cabo del tiempo, disminuyen. El fenómeno es importante en ríos y estuarios ya que el dragado aumenta la sección del cauce, disminuyendo la velocidad de la corriente y favoreciendo los fenómenos de sedimentación. Ante este fenómeno, se hace necesaria la recepción parcial de zonas a medida que el dragado avanza, ya que si se espera a la terminación completa del dragado, y especialmente si éste es largo, caería sobre el dragador el efecto de un fenómeno natural ajeno a él y sobre el cual no tiene defensa alguna.

Una preocupación del dragador al final de la obra es la salida de los equipos, sin demora, una vez finalizados sus trabajos. Los equipos de dragado, como se ha insistido, tienen un alto costo y su paralización por estar pendiente del permiso

pertinente de salida de la obra, por faltar la batimetría final, es motivo de inquietud por parte del dragador.

Su insistencia a la propiedad pidiendo prontitud y diligencia en la ejecución conjunta del sondeo final de obra no es, en absoluto, injustificada.

CAPITULO V

DISPOSICION DEL MATERIAL PRODUCTO DEL DRAGADO

A lo largo de este trabajo se desarrollaron algunos de los aspectos fundamentales en este tipo de obras. Así, por ejemplo, se trató las condiciones del emplazamiento, las características de los terrenos a dragar, los diferentes equipos de dragado existentes, entres otros puntos.

Llega ahora el momento de analizar un apartado igualmente trascendente en cualquier actuación de dragado: el lugar de vertido. De esta forma se repasarán las alternativas existentes en cuanto a puntos de vertido, para conocer sus principales características, ventajas e inconvenientes; y así, el profesional que deba abordar la elección del lugar de vertido dispondrá de una gama de posibilidades con la que podrá optar en función de los condicionantes existentes en cada caso concreto. Limitado fundamentalmente por aspectos medioambientales y legales.

V.1. Aspectos generales del vertido

En tiempos pasados se prestaba una menor atención a todo lo relacionado con el vertido del material dragado, predominando el interés por el proceso de extracción. Si aceptamos la división clásica del dragado en tres fases: extracción, transporte y vertido, podemos otorgar un mayor peso histórico al desarrollo de las dos primeras.

Se analizaban las características del material a dragar para estimar la mejor manera de excavarlo. Siendo más importante la idoneidad de los equipos a emplear y su rendimiento, que detenerse a analizar el punto de vertido adecuado para el material dragado.

El vertido del material, salvo casos particulares como pudiera ser la regeneración de playas, no suele ser el objetivo principal de una obra de dragado, por lo que la elección de los puntos de vertido siempre se realizaba intentando minimizar los costos y reducir posibles problemas operativos. El vertido era considerado como algo que necesariamente había que hacer, interesándose fundamentalmente en reducir los costos de las obras necesarias para su depósito, así como los del propio vertido (figura 5.1).

Figura 5.1. Vertido a recinto mediante impulsión.



Para ello, se reducen las distancias de transporte desde el punto de dragado hasta el punto de vertido. Los depósitos en las márgenes de los ríos eran frecuentes, siendo muchas las poblaciones asentadas sobre los antiguos vaciaderos de los

puertos. Cuando se vertía al mar se hacía libremente y a reducidas distancias de la costa, buscando únicamente que no pudiera volver el material a la zona dragada.

Sin embargo, la creciente preocupación medioambiental de nuestra sociedad ha ido modificando la concepción de los puntos de vertido para el material procedente de dragados.

Quizá pueda situarse en el año 1975 el punto de partida de esta tendencia, a raíz de la aceptación del Convenio de Londres, donde se restringían las autorizaciones para verter al mar una serie de productos entre los que figuraban los materiales de dragado.

El respaldo de la sociedad, políticos e instituciones a la defensa del medioambiente y en particular a la lucha contra la contaminación marina, ha hecho evolucionar las técnicas de gestión del material de dragado.

Ya no se puede verter el material dragado en cualquier sitio. No solo interesa minimizar los costos y optimizar el proceso de vertido, sino que también hay que compatibilizar nuestra actuación con el medio ambiente.

Como se indicó anteriormente, el vertido del material dragado no era determinante en tiempos pasados. Hoy en día, sin embargo, es un problema fundamental para cualquier obra de dragado. En muchas ocasiones la elección del punto de vertido es la mayor preocupación de los contratistas. La gestión del material dragado puede suponer importantes costos y un tiempo considerable para llevar a cabo las necesarias tramitaciones ya sea con las dependencias de gobierno, como privadas, en México los trámites se realizan en la Secretaria de Marina, que a se vez es apoyada por la Semarnat.

V.2. Diferentes alternativas en puntos de vertido

Bajo este título trataremos de presentar los principales tipos existentes en lugares de vertido. Evidentemente la lista es grande, por lo que la intención es mostrar a grandes rasgos, las principales alternativas que debemos contemplar para gestionar el vertido de nuestros dragados.

En la práctica se recurre en cada caso concreto a una solución particular, no siendo siempre fácilmente agrupables en diferentes categorías, en la figura 5.2, se muestra un vertido directo a la playa para un caso de regeneración.

Existen diversas clasificaciones en puntos de vertido. Un criterio de división puede ser según el sistema de vertido del equipo de dragado. También se pueden presentar los diferentes tipos de recintos y vaciaderos partiendo de las características del material dragado. Se trataría así de seguir el proceso lógico del pensamiento que partiendo de un tipo de material caracterizado debe encontrar la forma más adecuada de utilizarlo.

Figura 5.2. Vertido en la playa.



Sin embargo, con una perspectiva enfocada en el lugar de vertido, he optado por diferenciar dichos lugares en los que se realiza una actuación para crear o confinar el depósito, de aquellos otros en los que se utiliza un sitio de disposición natural. Cada uno de ellos supone actividades de ingeniería diferentes. Dentro de cada grupo se desglosarán diferentes posibilidades.

V.2.1. Puntos de vertido con confinamiento

Son aquellos lugares de vertido en los que se ejecuta una obra, diferente al propio dragado, para confinar los productos del dragado. Esta construcción se puede realizar para crear el depósito con carácter previo al dragado o para el posterior confinamiento del material tras su vertido.

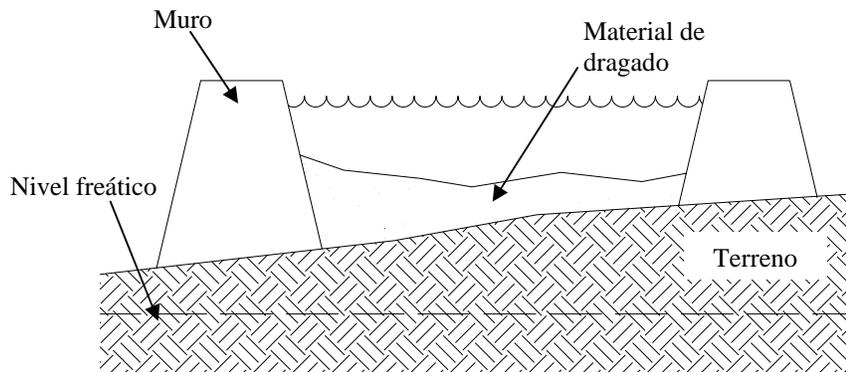
Basado en la medida de lo posible, en el informe redactado por el Grupo de Trabajo N° 5 del PIANC: *“Environmental Guidelines for Aquatic, Near shore and Upland Confined Disposal Facilities for Contaminated Dredged Material”*, publicado en el año 2002, se pueden distinguir las siguientes tipologías:

V.2.1.1. Recintos en tierra

Estos depósitos para confinar el material dragado se encuentran limitados por muros de cierre construidos sobre tierra firme (figura 5.3). La estructura perimetral que constituye el depósito, se cimenta sobre el terreno natural no sumergido. En algunas ocasiones se puede realizar una excavación previa del terreno para aumentar la capacidad de almacenamiento.

Su principal característica es que en este tipo de recintos el material procedente de dragados, una vez depositado, está siempre por encima del nivel freático.

Figura 5.3. Esquema recinto en tierra.



Esta circunstancia conlleva dos fenómenos destacables en relación a la gestión del material confinado, a los que se deberá prestar una especial atención.

- El agua vertida en el depósito junto con el material dragado se puede filtrar a través del terreno hasta alcanzar el nivel freático. Esto podría causar la contaminación de acuíferos si no se adoptan las medidas de aislamientos adecuados.
- El material dragado confinado en el recinto puede sufrir un proceso de secado y oxidación, lo que dificulta la fijación de los materiales pesados en el material confinado.

Los recintos en tierra tienen la ventaja de que su ubicación fuera del medio acuático permite realizar su seguimiento y control ambiental con mayor sencillez y precisión.

Este tipo de depósito es también una ventaja durante la etapa de construcción, ya que todos los trabajos se realizan siempre con mayor comodidad y economía sobre tierra que sobre el medio acuático.

Figura 5.4. Ejemplo de recinto en tierra.



Otra de sus ventajas es la mayor versatilidad que tiene este tipo de recintos en cuanto a su utilización final. Los terrenos disponibles, tras el sellado del vertedero, se pueden aprovechar para diferentes usos.

Entre sus principales inconvenientes hay que destacar las mayores dificultades que supone el disponer de grandes extensiones de terreno, en tierra firme, para construir un recinto frente a la construcción sobre el agua. El valor del suelo es cada día mayor, especialmente en zonas ribereñas o costeras. No siempre es posible dedicar hectáreas de terrenos para confinar materiales de dragados y, en ocasiones, sólo será posible a grandes distancias de la zona a dragar.

Además, la sociedad asume la presencia de estos puntos de vertido con mayor dificultad, ya que son visibles por la población constantemente. Su trámite puede ser más complejo.

Es también una desventaja la necesidad de adoptar medidas de aislamiento más intensas para conseguir confinar los contaminantes con garantías.

Otro aspecto desfavorable en esta solución es el mayor costo que representa el proceso de llenado en estos recintos, al requerir impulsiones mayores por parte de la draga o transportes terrestres intermedios.

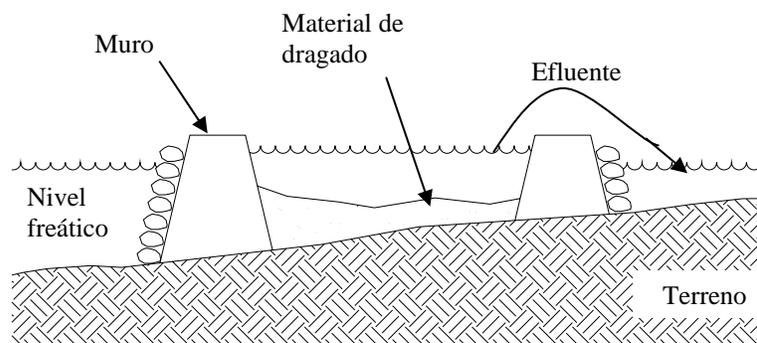
V.2.1.2. Recintos emergentes

Son también denominados recintos en islas o próximo a la costa.

Actualmente, son los más utilizados cuando es necesario confinar el material extraído en obras de dragado para su correcta gestión.

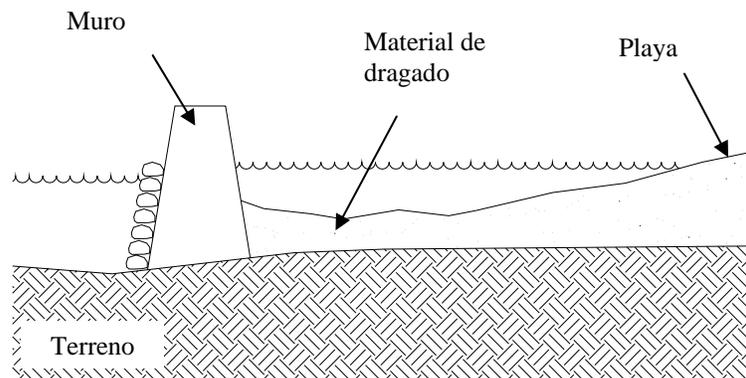
Este tipo de recintos para confinar materiales procedentes de dragados tienen sus muros de cierre apoyados sobre el lecho fluvial o marino, al menos, en alguno de sus tramos (figuras 5.5 y 5.6).

Figura 5.5. Esquema recinto emergente. En isla.



Se puede realizar un dragado previo en la zona interior del recinto a construir, con la intención de aumentar la capacidad de almacenamiento. En estos casos es siempre conveniente realizar un estudio económico para determinar su conveniencia.

Figura 5.6. Esquema recinto emergente. Próximo a la costa.



Estos recintos se caracterizan por el hecho de que el material almacenado se encuentra situado parcialmente por debajo del nivel freático (figura 5.7).

Figura 5.7. Ejemplo de recinto emergente. En isla.



La diferencia de gradiente hidráulico entre el interior del depósito y el medio exterior es mucho menor que en los recintos construidos sobre tierra firme, por lo que el riesgo de filtraciones es más limitado.

En este tipo de recintos, la salida de materiales contaminados es más fácil a través del efluente, por lo que es en estos puntos donde se debe prestar una atención especial durante el seguimiento y control ambiental del vertido.

Los recintos emergentes presentan una serie de ventajas e inconvenientes en su comparación frente a recintos en tierra o subacuáticos.

Por un lado, los metales pesados quedan retenidos con mayor garantía en los recintos emergentes que en el caso de recintos en tierra, ya que el material de dragado está confinado sin presencia de oxígeno, siempre que se mantengan bajo el agua.

Otra ventaja, en este caso económica, es que para obtener una capacidad de almacenamiento similar se requieren excavaciones menores que en el caso de recintos bajo el agua, en los cuales se suele dragar previamente mucho volumen para obtener un buen depósito.

En cuanto a su garantía medioambiental, en los recintos emergentes se concentra el intercambio entre el depósito y el medio exterior en el efluente, por lo que se limita la dispersión de productos en el agua exterior. Asimismo, el nivel interior del agua vertida junto con el material de dragado puede ser controlado con relativa sencillez, maniobrando con válvulas o compuertas. El seguimiento y control ambiental de este tipo de recintos se realiza con mayor facilidad que en el caso de los construidos bajo el agua.

Es igualmente destacable el hecho de que los terrenos generados, tras rellenar el depósito, son susceptibles de ser aprovechados con diversos usos, en contra de lo que ocurre en recintos subacuáticos. Se generan cotizados terrenos donde antes había agua, con el beneficio económico que esto puede suponer.

En cuanto a la disponibilidad de terrenos, puede resultar más sencillo que para la construcción de recintos en tierra firme, pues habitualmente lo que se ocupa es lámina de agua. En cualquier caso, aunque siempre surjan opiniones contrarias a su construcción, en la mayoría de los casos la entidad encargada de obras de dragado tendrá mayores competencias en las zonas costeras o ribereñas que en el interior.

Contra estos puntos de vertido se puede objetar, entre otras cosas, el impacto visual que los muros de cierre provocan en la costa. La sociedad tolera de mejor forma la presencia de sitios de disposición bajo agua. La visión continua de los recintos en la costa puede provocar la existencia de grupos sociales contra este tipo de infraestructura.

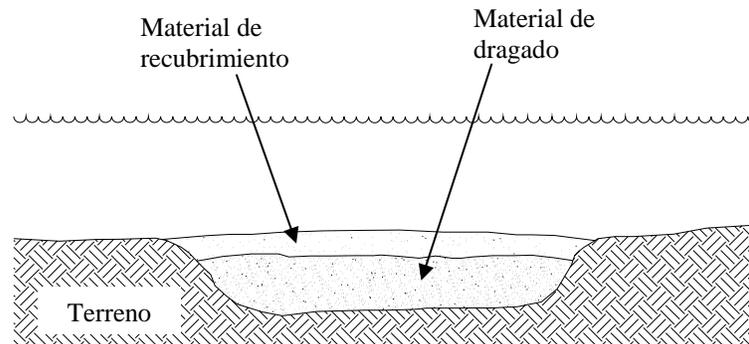
Por otro lado, la operación de vertido se realiza generalmente mediante tubería de impulsión, lo que siempre supone un mayor costo que el vertido por fondo con el que se pueden rellenar los recintos bajo el agua.

V.2.1.3. Recintos sumergidos

En este tipo de recintos generalmente no se construyen muros de cierre, sino que se realiza un dragado previo o se utiliza un lugar natural idóneo para confinar el material con una buena capacidad de almacenamiento como pueden ser fosas submarinas, para posteriormente confinarlo con una capa superior de material

limpio. Este procedimiento de gestión del material dragado también se conoce como “camping” (figura 5.8).

Figura 5.8. Esquema recinto sumergido.



Asimismo, dentro de esta tipología se pueden incluir soluciones basadas en la ejecución de muros de cierre cuya coronación quede siempre por debajo del nivel del agua.

Este tipo de recintos se caracteriza por la permanente situación del material depositado por debajo del nivel freático, lo que como se ha dicho anteriormente favorece la fijación de metales pesados al material confinado, al no existir oxígeno.

Para asegurar el éxito de los recintos subacuáticos en la gestión del material dragado, es fundamental el estudio de las condiciones hidráulicas, de modo que se reduzca la dispersión durante el vertido y el desplazamiento del material una vez depositado. En este tipo de recintos el proceso de vertido es crítico, ya que se hace a través del medio acuático. La draga vierte por fondo sobre el depósito, por lo que los sedimentos recorren el agua existente en el medio natural hasta caer en el recinto. En el caso de que se produzcan dispersiones importantes hay que destacar este método.

Los recintos sumergidos presentan evidentes ventajas estéticas, ya que no son visibles. Generalmente, la sociedad se encuentra más preparada para asumir este tipo de soluciones, aunque paradójicamente puede producirse una contaminación marina superior que en otro tipo de recintos. Parece que lo que no se ve, no existe.

Otra ventaja es que el proceso de vertido, que se realiza por fondo desde la draga, es sencillo y de menor costo que en aquellos casos que requieren impulsiones.

Además, estos recintos requieren poco esfuerzo en mantenimiento y mínima inversión inicial. Por todo ello, habitualmente se trata de la solución más económica de confinamiento y con menores problemas sociales.

Como argumento negativo se puede señalar la mayor necesidad de realizar excavaciones previas, dragando el futuro recinto para disponer de volumen suficiente de depósito.

Por otro lado, el seguimiento y control ambiental resulta más complejo.

V.2.2. Puntos de vertido sin confinamiento

Dentro de este apartado se incluyen los puntos de vertido utilizados directamente sin realizar obra de ingeniería asociada al dragado.

Estos vertidos libres siguen siendo los que se utilizan en la mayoría de las ocasiones, siendo los fondos marinos o fluviales los destinos más habituales de materiales dragados.

A diferencia de los recintos, estos puntos de vertido quedan delimitados por unas alineaciones teóricas o coordenadas de los vértices de la figura geométrica que adoptan en planta.

Sobre esas zonas de vertido definidas se tramitan los permisos necesarios para que, posteriormente, durante la fase de operación, las dragas viertan por fondo sobre ellas.

Desde el punto de vista del lugar de vertido en sí mismo, el técnico se limita a realizar una serie de estudios previos, ya que no es necesaria ninguna construcción de cierre del depósito. Suelen realizarse estudios de corrientes, batimetrías, oleajes, navegación, etc.

Esta solución presenta la ventaja del menor costo. Sin embargo, únicamente es aceptable en el caso de materiales no contaminados.

Dentro de este tipo de puntos de vertido, se pueden diferenciar genéricamente dos alternativas:

V.2.2.1. *Puntos de vertido libres en el mar*

Habitualmente el aterramiento en las bocanas de los puertos proviene de los fondos marinos. Al ser este un material no contaminado, arenas limpias arrastradas por la dinámica litoral, se suelen verter al mar en zonas próximas. Es ésta la solución más económica y utilizada.

Estos vertedores se sitúan normalmente en profundidades menores a 40 metros, en las proximidades de la costa.

V.2.2.2. Puntos de vertido libres en zonas fluviales

En el caso de obras de dragado en zonas fluviales se utilizan, en algunas ocasiones, como puntos de vertido brazos abandonados del río, cuyo cauce ha sido rectificado por un corte o cierre.

También se pueden emplear como puntos de vertido pozas o zonas adosadas a las márgenes de los ríos con objeto de mejorar sus condiciones hidráulicas.

Estas soluciones se adoptan cuando la distancia al mar es excesiva y no existen terrenos firmes disponibles junto a las márgenes.

Como resumen de las alternativas presentadas anteriormente se presenta la tabla 5.1.

Tabla 5.1. Tipo de puntos de vertido.

Con Confinamiento			Sin Confinamiento	
Recintos en tierra	Recintos emergentes	Recintos sumergidos	Libres en el mar	Libre en zonas fluviales

La clasificación anterior no pretende ser bajo ningún concepto restrictiva, pues en la práctica existen numerosos posibles sitios de disposición para obras de dragado. En realidad se trata de encontrar un depósito y para esto no existen límites.

Por ello, la persona o empresa que se enfrente al problema de encontrar un lugar de vertido apropiado, debe pensar en sentido amplio, sin ceñirse a ninguna clasificación.

Siempre se debe ser imaginativo y sopesar alternativas, además de las convencionales, con el único inconveniente de que deberá realizar mayores estudios previos y ensayos para asegurar su idoneidad.

Cabe recordar que, además de elegir el lugar de vertido más adecuado para el material dragado, se puede y debe estudiar de forma complementaria un posible pre-tratamiento del material dragado o la posibilidad de su aprovechamiento, en otros usos.

V.3. Desarrollo de una zona de vertido

El enfoque con el que debemos plantear la utilización de recintos y vaciaderos, como lugares de vertido, debe ir más allá de su concepción para una obra de dragado en particular.

No tiene mucho sentido acometer el problema del punto de vertido únicamente ante una próxima actuación de dragado. Es más conveniente y provechoso considerar el ciclo completo de vida útil de un sitio de disposición, desde su prediseño hasta su uso final, para integrar todas las cuestiones relacionadas con el vertido del material dragado.

Por ello, se plantea el análisis de cada una de las fases en las que se puede dividir la gestión de un punto de vertido de cualquier naturaleza.

Esta línea de actuación en el tiempo se puede esquematizar del siguiente modo:



V.3.1. Planificación

Habitualmente cuando abordamos la planificación tenemos la ventaja de poder ubicar varias actuaciones de dragado, en un mismo ámbito geográfico. Existen zonas en el litoral o en puertos concretos donde es conocida la necesidad de dragar periódicamente para el mantenimiento de sus zonas navegables. En otros casos, existen planes de desarrollo o crecimiento que también permiten conocer con cierta antelación la necesidad de ejecutar obras de dragado.

El estudio, con tiempo suficiente, de las necesidades futuras es fundamental para realizar una buena gestión del vertido de los materiales procedentes del dragado.

La decisión de poner en servicio puntos de vertido requiere plazos de respuesta considerables para su diseño, ejecución y tramitación, por lo que se debe vislumbrar con bastante anticipación a una obra de dragado específica.

Para desarrollar una planificación de recintos y vaciaderos en un ámbito geográfico específico es importante estimar los volúmenes de aterramientos anuales, en el caso de que sean necesarios dragados de mantenimiento periódicos, vaticinando la naturaleza del material que se depositará y posteriormente dragará, con la experiencia que se posea en el lugar. Esto permitirá conocer las necesidades de

capacidades de confinamiento para materiales procedentes de dragados para un periodo de tiempo.

Con objeto de estimar los volúmenes anteriormente mencionados se puede recurrir a la utilización de modelos de simulación físicos o matemáticos. Asimismo, la ejecución de campañas de caracterización periódicas en los fondos fluviales o marinos a dragar permite prever con mayor garantía la naturaleza del material de aterramiento en cada zona.

Es conveniente asumir el costo de este tipo de estudios sin recelos, ya que aunque a corto plazo puedan parecer infructuosos, el conocimiento del medio donde se trabaja es vital para realizar una planeación adecuada de los dragados a mediano y largo plazo.

Dentro de esta etapa de planificación también se debe tantear la disponibilidad de terrenos, en el caso de que sea necesario confinar materiales procedentes de dragados. Estas ocupaciones se pueden prever con los organismos implicados en el vertido de los materiales dragados y considerarlas en los planes de desarrollo de los puertos o zonas a dragar.

V.3.2. Diseño

El diseño de un punto de vertido esta condicionado al tipo de obra.

V.3.2.1. *Puntos de vertido sin obras de cierre*

Al no ser necesaria la construcción de muros que delimiten el depósito, el diseño se debe centrar en encontrar la ubicación y el trazado en planta más

adecuados para crear el vertedero.

Para ello el trabajo de diseño consiste básicamente en la realización de una serie de estudios previos en los posibles emplazamientos previstos, como pueden ser, entre otros:

- Batimetrías, con objeto de cubicar la capacidad del vertedero, conocer el calado y su compatibilidad con las dragas a emplear, detectar potenciales obstáculos a la navegación, localizar posibles fosas submarinas que aseguren la permanencia del material vertido, etc.
- Estudio de corrientes y oleajes, con la intención de estimar la dispersión del material durante su vertido, conocer la estabilidad del material una vez depositado e impedir que el vertido afecte a la zona de dragado.
- Granulometría y caracterización del fondo, ya que siempre es conveniente que sea similar a la naturaleza del material a verter.
- Estudio de efectos sobre la sedimentología litoral y la biosfera submarina.

V.3.2.2. Puntos de vertido con obra de cierre

El diseño de este tipo de depósitos se debe basar en el volumen teórico de almacenamiento que se desea obtener, aunque como veremos posteriormente el volumen disponible real sea siempre superior al de diseño. Dicha capacidad será determinada a partir del estudio de las necesidades de cada zona en concreto, a través de la planificación que se haya realizado anteriormente.

Para adoptar el emplazamiento más adecuado se debe realizar un levantamiento topográfico batimétrico previo, tratando de optimizar la capacidad

resultante del recinto con el mínimo costo para la ejecución de los cierres del depósito.

Dentro de los estudios iniciales, que son aconsejables efectuar, destaca el reconocimiento geotécnico. Es imprescindible ejecutar una campaña de sondeos, penetrómetros, ensayos de laboratorio y, en su caso, otras pruebas complementarias en la traza del muro que delimitará el recinto. De este modo, se podrá calcular con garantías la estabilidad de los muros de cierre que delimitarán el vertedero.

Nunca es conveniente escatimar en este tipo de estudios, especialmente en las zonas costeras donde se suelen ubicar los recintos, ya que frecuentemente se presentan discontinuidades geotécnicas que se deben detectar para evitar sorpresas posteriores. La construcción de un recinto representa una inversión suficientemente grande como para emplear los recursos que sean necesarios en el estudio del terreno.

Dimensionamiento en planta

Para realizar el dimensionamiento en planta de un recinto hay que tener en cuenta el modo de vertido de la draga y los tiempos de decantación del material dragado en suspensión, para garantizar la mínima concentración de sólidos en suspensión en el efluente.

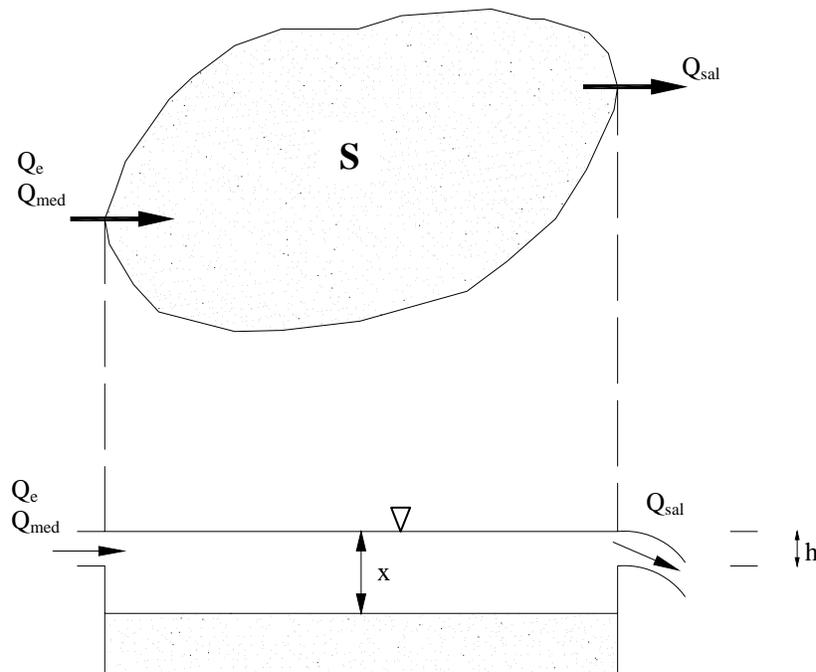
Cabe recordar que en los recintos sobre tierra firme o emergentes, el material de dragado se vierte en el depósito mediante una tubería de impulsión. Dicho material se encuentra disperso en agua formando el llamado slurry. Posteriormente, tras decantar el material dragado se permite la salida del agua limpia en algunos puntos del efluente.

El recinto debe tener unas dimensiones en planta determinadas para

garantizar que esta decantación se produzca correctamente, no influyendo en esto su volumen total sino más bien su superficie.

De forma teórica se puede considerar que, suponiendo un recinto como el de la figura 5.9, cuando se producen vertidos desde una draga entran en el recinto unos caudales Q_e durante determinados periodos del día, traducibles en un caudal medio diario Q_{med} . Por otro lado, el caudal de efluente Q_{sal} y la altura de la lámina de vertido vienen determinadas por las dimensiones del vertedor. Cuanto menor sea el vertedor y mayor la superficie del recinto mayores serán sus efectos laminadores y más próximos se encontrarán los valores Q_{med} y Q_{sal} .

Figura 5.9. Esquema teórico de un recinto.



Llamando V_{sed} a la velocidad de sedimentación de la partícula que queremos retener (determinada experimentalmente) y " x " al nivel del fluido dentro del recinto, que estará normalmente por encima de una capa de sedimentos anteriores, se puede expresar el tiempo medio de estancia como:

$$t_{\text{med}} = \frac{S \times \chi}{Q_{\text{sal}}}$$

El tiempo necesario para la sedimentación de una partícula queda determinado por la ecuación:

$$t_{\text{sed}} = \frac{\chi}{V_{\text{sed}}}$$

El imponer la condición de que se produzca la sedimentación de esta partícula en el interior del recinto, se puede expresar matemáticamente:

$$S = \frac{Q_{\text{sal}}}{V_{\text{sed}}} = \frac{f(Q_e, L_{\text{aliv}}, S)}{V_{\text{sed}}}$$

Se obtiene así la superficie de recinto necesaria para retener unas partículas determinadas en función de los caudales de entrada al recinto. Como se aprecia, no interviene el volumen del recinto, sino su superficie.

En cualquier caso, debe quedar claro que el razonamiento anterior es válido a efectos teóricos y de diseño. Posteriormente durante la fase de llenado del recinto se deberán ir adoptando las medidas oportunas, como por ejemplo conduciendo el material vertido o jugando con válvulas y compuertas en el efluente, para garantizar la sedimentación de las partidas sólidas en el depósito de confinamiento.

El recinto se debe proyectar de forma que el agua tenga el mayor recorrido posible hasta el efluente para facilitar la decantación del material sólido.

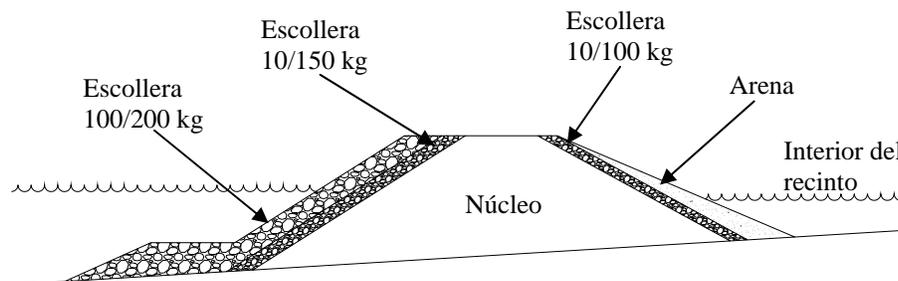
Sección Tipo

En el diseño de la sección tipo se debe recurrir a materiales adecuados para asegurar la impermeabilidad del recinto, que estén disponibles en yacimientos

próximos. En caso de que fuese necesario, ya sea por no existir materiales suficientemente impermeables, o por el alto grado de contaminación de los materiales a confinar, se puede recurrir al empleo de láminas sintéticas de impermeabilización .

La capacidad de retención del muro se le suele otorgar al núcleo que habitualmente se proyecta, constituido por un material con cierta plasticidad, sobre el que se colocan mantos de escollera para su protección. También son posibles otros materiales como arenas o pedraplenes para formar los muros, con la debida impermeabilización (figura 5.10). Los diques de arena se protegen formando playas delanteras de este mismo material para disipar la energía del oleaje.

Figura 5.10. Ejemplo de sección tipo del cierre de un recinto.



Para dimensionar estos muros se debe recurrir a la teoría general de estabilidad de taludes, en cuanto a procedimientos de cálculo y definición de los coeficientes de seguridad aceptables.

Como es sabido, existen diferentes métodos de cálculo de estabilidad de taludes, siendo uno de los más frecuentes el Bishop simplificado.

Como hipótesis de cálculo más desfavorable se debe considerar el depósito con el nivel máximo de agua en su interior y la máxima bajamar en el exterior, además de

los esfuerzos sísmicos pertinentes, en función de la zona donde se ubique la obra, y posibles cargas de servicio en la coronación. También se debe calcular la hipótesis de recinto vacío y pleamar.

En el caso de que la estabilidad calculada no alcance los coeficientes de seguridad prescritos en la normativa vigente, se pueden proyectar bermas o pies de taludes que mejoren el comportamiento.

Dentro del procedimiento de comprobaciones, siempre es conveniente estimar los asentamientos que se producirán en los muros.

También se debe calcular el tamaño de la escollera de protección en función del oleaje o agitación frente a la que previsiblemente se encontrará expuesta.

Es importante comprobar la condición de filtro entre los diferentes mantos de protección del núcleo del muro, para impedir la fuga de finos al exterior.

En cuanto al diseño de recintos cabe recomendar, por último, el contemplar glorietas o ensanchamientos en el muro que permitan el cruce de camiones durante la construcción. También es aconsejable tener previsto en las mediciones de proyecto las pérdidas de material que se producirán inevitablemente durante su ejecución.

V.3.3. Construcción

Los puntos de vertido sin obras de cierre no necesitan ninguna construcción previa al vertido, salvo dragados para aumentar su capacidad de almacenamiento.

Es diferente en el caso de recintos en tierra o emergentes donde son precisos los muros de cierre (figura 5.11).

En cuanto a la construcción de los recintos hay que destacar, por sus mayores peculiaridades, a los recintos próximos a la costa, cuyos muros se pueden ejecutar con vertido directo desde camión o con el empleo de medios flotantes. En el caso de recintos en islas, únicamente es posible la segunda opción.

Figura 5.11. Punto de vertido construido y en funcionamiento.



En el supuesto de que el muro se ejecute desde camión, pueden surgir dificultades en pleamar. Por el contrario, si se emplean barcazas, el problema puede aparecer durante la bajamar. En ambas hipótesis hay que compatibilizar los ritmos de trabajo con los niveles del agua cuando estos oscilen significativamente.

Es importante ir protegiendo el muro conforme se ejecuta, pues en muchas ocasiones las pérdidas entre jornadas de trabajo en el frente de los tajos son considerables.

Siempre se debe prestar especial interés a la seguridad de este tipo de obras, en particular cuando el tráfico de camiones sobre el muro es elevado. Existe riesgo de caídas al agua de los vehículos pesados, por lo que se deben cuidar especialmente las condiciones de trabajo, aun cuando se reduzca el rendimiento de los equipos.

Cuando se construyen los cierres de los recintos se suelen abrir varios tajos simultáneamente para mejorar los plazos de ejecución. Con este sistema siempre es un momento crítico la unión de estos frentes de avance al cerrar el depósito. Las corrientes de entrada y salida pueden provocar fuertes erosiones.

Existe otro método de ejecución de los muros de cierre más reciente. Se basa en el empleo de geotextiles que formando sacos rellenos de material procedente de dragado, se depositan sobre el fondo marino o fluvial. El encadenamiento de estos módulos cilíndricos forma la estructura perimetral de cierre del recinto, que posteriormente se recubre con escolleras de protección. Esta solución permite colocar en el núcleo de los muros materiales, en principio, menos idóneos. Las bolsas de geotextil, también denominadas geotubos, se pueden rellenar en seco para posteriormente depositarlas en su posición final con medios flotantes, o bien pueden ser rellenas en su ubicación definitiva, ya que es posible su conexión con las tuberías de impulsión de las dragas.

V.3.4. Operación

Se incluyen en esta fase, llamada de operación, los trabajos de vertido del material dragado en los depósitos.

Cabe diferenciar, fundamentalmente, en cuanto a su fase de llenado, aquellos puntos de vertido que se encuentran sumergidos de aquellos otros que se encuentran,

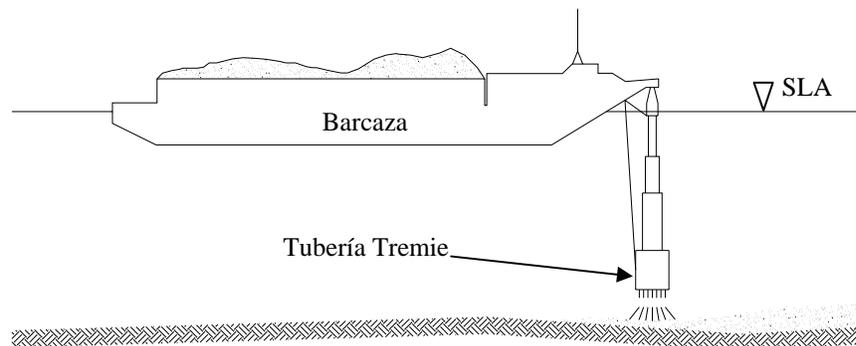
al menos parcialmente, por encima del nivel freático.

Puntos de vertido sumergidos

El vertido se realiza por fondo desde dragas o barcazas. Se trata de vertidos por gravedad. Su principal problemática estriba en la dispersión del material hasta su depósito en el fondo. En ocasiones, dicha propagación se puede aminorar con barreras flotantes u otros artificios, como por ejemplo el empleo de tuberías “tremie” desde la draga, como se observa en la figura 5.12.

En estos vertederos submarinos se debe controlar periódicamente el fondo batimétrico, para conocer la capacidad restante y la estabilidad del material depositado. Cobra una especial importancia el control de las dispersiones durante las operaciones de vertido.

Figura 5.12. Sistema empleado para reducir dispersiones en los vertidos a gravedad.



Puntos de vertido emergentes o en tierra

En estos depósitos el vertido se realiza habitualmente por bombeo. El material se impulsa desde la barcaza de la draga mezclado con agua para facilitar el transporte, que se realiza por una tubería fija o flotante hasta su entrada en el recinto.

Durante la fase de operación, el nivel del fluido en el interior del recinto se debe vigilar cuidadosamente, actuando sobre los desagües para impedir la salida de sólidos en suspensión a través del efluente del depósito. Asimismo, es importante adecuar el tamaño de la draga con la capacidad del depósito, evitando mayores caudales de vertido de los que puede aceptar el recinto.

La tubería de entrada del material en el depósito se debe ir cambiando de situación a medida que se llena el depósito, para favorecer la circulación del fluido en el interior del recinto.

Los materiales necesitan más tiempo de sedimentación conforme menores son los tamaños de sus partículas. Para favorecer esto se puede ir prolongando la longitud que debe atravesar el material desde su entrada hasta la salida del recinto, creando bordos, encauzamientos y zanjas en el interior.

Los recintos se pueden dividir en varias celdas con muros intermedios para facilitar su gestión durante la fase de llenado. De este modo se consigue retardar la salida del efluente. La comunicación entre celdas se puede realizar mediante tuberías o vertedores de pared fija.

Siempre es complejo rellenar completamente el depósito con materiales procedentes de dragados, pues se agotan los caminos de recorridos mínimos para permitir la decantación. La única forma posible es vaciando dragas espaciadamente y dejando tiempo suficiente para la sedimentación de las partículas hasta permitir la salida de agua limpia por los desagües.

Por ello y ante cualquier otro problema que pudiera surgir, es recomendable disponer, al menos, de dos puntos de vertido simultáneamente en explotación, ya que

es difícilmente posible el tener que disminuir el ritmo de trabajo de una draga.

En algunas ocasiones se recurre a la utilización de láminas sintéticas en el interior del recinto para filtrar el material de dragado. Este sistema no suele ofrecer buenos resultados ya que la saturación de estas barreras es rápida.

Los desagües se pueden construir de diferentes tipos, siendo uno de los más sencillos de manejo y económicos la tubería, ya que se puede cambiar la cota de ésta. Si analizando el efluente de salida se encuentra contaminado, se debe subir el nivel del tubo dentro del recinto.

También se pueden emplear otros sistemas basados en compuertas o válvulas.

En algunas ocasiones se dota al muro de cierre de vertedores en sus extremos, para desagüe rápido en caso de emergencias como pudieran ser fuertes lluvias.

No obstante, el material contaminado confinado en recinto debe estar siempre cubierto con agua para evitar la oxidación.

Durante la fase de llenado tiene una especial importancia el control y seguimiento ambiental. Habitualmente los contratistas de estas obras contratan a empresas especializadas en este tipo de trabajos. Algunas de las medidas que se pueden realizar son:

- Medidas de la impermeabilidad del recinto
- Toma de muestras del agua y del fondo del recinto
- Análisis de las muestras del material dragado
- Toma de muestras del agua exterior del recinto

- Toma de muestras del agua de interior del recinto
- Toma de lasímetro (agua que atraviesa el muro del recinto)
- Toma de plantas y algas del recinto

El muestreo y análisis del efluente se suele realizar durante el llenado con periodicidad diaria, disminuyendo la frecuencia con el paso del tiempo. Es conveniente recoger muestras procedentes del interior del recinto, de la salida del efluente, aguas arriba del recinto y aguas abajo. Algunos de los parámetros más interesantes de controlar son:

- Temperatura
- pH
- Oxígeno disuelto
- Potencial redox
- Sólidos en suspensión
- Nitrógeno amoniacal
- Fósforo como ortofosfatos
- Mercurio
- Arsénico
- Plomo
- Cobre
- Zinc

Dentro de la fase de operación hay que hablar del volumen real de almacenamiento que tienen los recintos. Es un hecho comprobado por la experiencia que el volumen de material que se puede confinar en un recinto, cubicando sobre perfil batimétrico antes y después de dragar, es muy superior del volumen teórico con el que fue diseñado el depósito. En algunos casos se han llegado a registrar

capacidades reales próximas al doble de las teóricas.

Este fenómeno se puede explicar por la propia compresión del material confinado conforme se colocan unos sedimentos sobre otros, así como, en su caso, por posibles asientos del fondo natural del punto de vertido, las densidades del material sumergido, antes de ser dragado, son diferentes a las que posee dentro del recinto. Además hay que destacar que los volúmenes de dragado calculados sobre batimetrías no son exactamente volúmenes de material real en recinto, ya que hay pérdidas en el transporte e imprecisiones en el registro.

Sin embargo, es muy difícil estimar el volumen de material real que entrará en un recinto, pues varía sensiblemente de unos casos a otros, según las características del material dragado, el recinto, etc. Por ello, no se debe contar, a nivel de diseño, con estos aumentos de capacidad, si bien es bueno conocer el fenómeno de cara a su explotación posterior.

Algunos intentos de relacionar mediante expresiones matemáticas los volúmenes reales y teóricos de un recinto no son extrapolables a todos los casos, por lo que este tipo de estimaciones se deben basar en la experiencia y estudios concretos realizados en un mismo emplazamiento.

V.3.5. Uso final

Una vez que se ha rellenado el depósito completamente con materiales procedentes de dragado, en el caso de que su cota esté por encima del nivel freático, es posible reutilizar los terrenos generados para diferentes usos.

Los contratistas de obras de dragados deben considerar esta posibilidad desde un principio, para actuar consecuentemente y estimar su repercusión económica.

Es recomendable sellar el recinto con una capa de material limpio vertida sobre los productos de dragado, con objeto de independizar los contaminantes del medio. Los espesores más habituales utilizados en este propósito están próximos al metro.

Entre los usos finales construidos sobre recintos destacan más zonas verdes o reforestadas y en el caso portuario, explanadas de uso del recinto.

El problema que se suscita en la mayoría de los casos al utilizar el terreno generado con los recintos, es la escasa capacidad portante de estos rellenos, el material de dragado confinado tiene casi siempre un mal comportamiento geotécnico. Presenta gran contenido de finos y abundante presencia de agua intersticial. Es sabido que los materiales sin partículas finas son considerados como limpios por las recomendaciones, por lo que no son confinados.

Por esto, son probables los posteriores asentamientos en la explanada durante su utilización última. Entre otras cosas no se deben construir firmes definitivos sobre los recintos sin tratamiento alguno.

Cuando se habla de uso final hay que pensar en consolidaciones del relleno, todos los métodos pueden ser aceptables para los rellenos de los recintos, por lo que se debe estudiar en cada caso particular, por la heterogeneidad del material de relleno y las grandes extensiones a tratar se suele recurrir a la utilización de precargas con drenes.

La precarga consiste en la aplicación de una carga vertical al suelo antes de que

empiece a actuar la carga final de servicio, con lo que se reducen en gran medida los asentamientos posteriores y se aumenta la resistencia de los terrenos. Las precargas se diseñan recurriendo a un material disponible en grandes cantidades y económico, cuyo parámetro más relevante es la densidad. La altura que debe alcanzar esta precarga dependerá de la carga de servicio futura que esté prevista.

Estas consolidaciones se deben controlar mediante una adecuada instrumentación con toma de datos periódica para el seguimiento y control de los asientos. Aunque se pueden calcular los asientos esperables, la heterogeneidad de los rellenos impide el conocimiento exacto de su naturaleza y parámetros geotécnicos relevantes por muchos sondeos o ensayos que se realicen, por lo que para estar convencido de que la precarga se puede retirar se debe vigilar la evolución de los asientos en el tiempo hasta llegar a su estabilización.

Como es razonable, los mayores asientos se registran en las zonas próximas a los desagües que permitían la salida del efluente mientras se llenaba el recinto, ya que es donde se decantan las partículas de menor tamaño.

V.4. Elección de alternativas

Como ocurre en cualquier inversión la elección de la alternativa a adoptar, en este caso en cuanto a gestión del material procedente de dragados, corresponde al dueño de la obra.

En cualquier caso, el primer factor que determina la elección del punto de vertido a utilizar es la caracterización del material dragado. Para ello es necesario, proceder a la toma de muestras, a su análisis y clasificación. A partir de esto, se puede definir el tipo de gestión a realizar, punto de vertido y aislamiento.

Siempre hay que considerar otros factores en la elección como son los costos, la operatividad de dragas y vertidos, el estudio de los terrenos utilizados y de los que se pudiesen generar, así como aquellos otros aspectos que siempre se deben tener en cuenta antes de acometer una inversión.

Por último, indicar que siempre hay que considerar en primer lugar el posible aprovechamiento del material dragado, por ejemplo, los rellenos portuarios, regeneración de playas, etc.

Asimismo, se debe estudiar y, en su caso, compatibilizar el confinamiento con el tratamiento previo de los materiales procedentes del dragado.

V.5. Acerca del costo

Resulta prácticamente imposible establecer unos costos indicativos para cada uno de los tipos de recintos presentados en puntos anteriores. Existen muchísimos factores que pueden distorsionar el estudio comparativo de los costos. Por ello, en este punto no se pretende establecer la inversión aproximada que se necesita para ejecutar cada solución, sino más bien presentar unas opiniones al respecto.

En ocasiones, las obras para confinar materiales procedentes de dragados se ejecutan ante la necesidad de dragar las zonas navegables contaminadas, por lo que se actúa con la intención de obtener los permisos necesarios, pudiendo ocurrir que no se le otorgue al costo la atención que merece, ya que en todo caso parece una actuación inevitable

En cualquier caso, la construcción de recintos supone una inversión considerable que tiene que ser estudiada, meditada y presentada en su momento a la

opinión pública, que debe conocer los esfuerzos que se realizan en la defensa del medio ambiente.

Por otro lado, hay que indicar que en el cálculo del costo de confinar un metro cúbico de material contaminado se tiene que atribuir, además de la repercusión de la inversión realizada en construir el recinto, la variación del precio por metro cúbico del dragado y vertido, considerando la posible diferencia en distancias de transporte así como entre el vertido por fondo y por impulsión.

CAPITULO VI

ESTUDIO DE CASO

Como capítulo final se comenta acerca de los trabajos de dragado que se están llevando a cabo en el puerto de Veracruz, con lo cual se da a conocer a manera de ejemplo de lo que son las principales características de dicho trabajo (tipo de obra, características del suelo, tipos de draga, tiempo de ejecución, zona de tiro, etc.).

VI.1. Localización de la obra

El puerto de Veracruz se localiza en la región central del Golfo de México aproximadamente a 102 km de Jalapa, capital del Estado de Veracruz, con una posición geográfica de 19°12' latitud norte, 96° 08' longitud oeste y una altitud sobre el nivel de mar de 3m.

La obra que actualmente se está ejecutando se localiza en el interior de la bahía de este puerto (figura 6.1.).

VI.2. Descripción de la obra

Debido a la importancia que tiene el puerto de Veracruz, en el ámbito local, estatal y nacional, se requiere mejorar y optimizar su operación en una medida proporcional a su crecimiento, lo cual le permita brindar mayores facilidades y capacidades para el manejo de cargas dentro de los límites de seguridad adecuados

para el arribo y despacho de las embarcaciones que entran y salen del mismo. Para lo anterior es necesario llevar al cabo, entre otras obras, las de dragado que le permitan alcanzar dicho objetivo.

Figura 6.1. Interior del puerto de Veracruz.

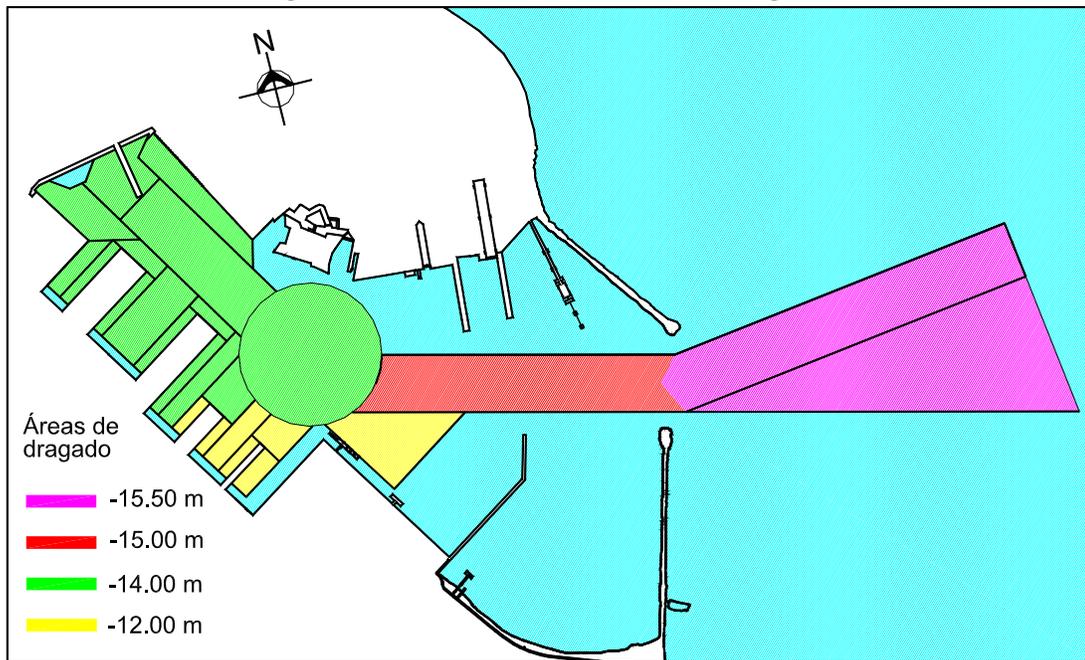


El dragado de profundización y ampliación de áreas de navegación, maniobras y atraque, tiene como objetivo principal, el ampliar las dimensiones del canal de navegación y dársena de maniobras, así como el profundizar las áreas de atraque existentes a efecto de brindar mayores márgenes de seguridad y maniobras para la navegación e incrementar el manejo de carga, también se deberán restablecer las profundidades en las áreas de navegación y maniobras ya existentes. Los trabajos de dragado están programados para llevarse a cabo en dos etapas, iniciando la primera etapa en el año 2005, y la segunda en el 2006. La forma en que se llevará a cabo el dragado será combinando el sistema autopropulsado con el sistema estacionario.

El dragado se realizará en las siguientes áreas: Canal Exterior y Cono de Aproximación, Canal de Acceso y Navegación Interior, Dársena de Ciaboga, Muelles

Fiscales, Dársenas entre Muelles, Terminal de Usos Múltiples, Muelle de Contenedores, estas zonas se pueden ver en la figura de distribución de áreas de dragado (figura 6.2).

Figura 6.2. Distribución de áreas de dragado.



- Canal Exterior y Cono de Aproximación: comprendido entre los cadenamientos -1+300 a -0+047, con una plantilla de 200.00 m y una profundidad de 15.50 m, talud 5:1.
- Canal de Acceso Interior: comprendido entre los cadenamientos -0+047 a 1+015, con una plantilla de 200.00 m y una profundidad de 15.00 m, talud 3:1.
- Dársena de Ciaboga: con un diámetro de 500 m y una profundidad de 15.00 m, talud 3:1.
- Canal de Navegación Interior: comprendido entre cadenamientos 1+513 y 2+068, a una profundidad de 14.00 m, talud 3:1.
- Muelles Fiscales: muelle 1 lado sur, este y norte, con una profundidad de 12 m, muelle 2 lado sur, este y norte con una profundidad para sur y norte de 12.00 m y

para el este de 14.00 m, muelle 4 sur, este y norte con una profundidad de 14.00 m, muelle 6 sur, este y norte con una profundidad de 14.00 m, muelle 7 sur con una profundidad de 14.00 m, todo referido al nivel de baja mar media y taludes de 3:1.

- Dársenas entre Muelles: dársena entre muelles 1 y 2, entre muelles 2 y 4, entre muelles 4 y 6, con una profundidad de 14.00 m, referida al nivel de baja mar media y talud 3:1.
- Muelle de la T.U.M.: con una profundidad de 14.00 m.
- Muelle de Espigón: con una profundidad de 14.00 m.
- Muelle de Contenedores: con una profundidad de 14.00 m.

VI.3. Tipos de Suelo

A efecto de identificar los tipos de materiales existentes en el puerto y sin pretender clasificarlos y cuantificarlos de manera total y precisa, en los siguientes párrafos se describen los resultados obtenidos en los sondeos realizados en el puerto, del canal de navegación y zonas contiguas a los muelles así como en las inmediaciones al Castillo de San Juan de Ulúa.

Sondeo 1 (S1)

En este sondeo se obtuvieron los diferentes tipos de suelo con las siguientes características: en los primeros 4.00 m como arena fina uniforme poco limosa de compacidad suelta color gris oscuro, de 4.00 m a 6.00 se define como arena fina uniforme poco limosa de compacidad media color gris oscuro y de 6 a 7.30 m arena fina uniforme poco limosa a limosa de compacidad suelta color gris oscuro.

Sondeo 2 (S2)

Este sondeo se realizó con las siguientes características: en los primeros 3.50 m

como arena fina uniforme limosa de compacidad suelta color gris oscuro, de 3.50 m a 5.00 se define como limo arenoso de compacidad blanda color gris oscuro, de 6 a 8.0 m arena fina uniforme limosa de compacidad suelta color gris oscuro, y de 8 a 9.20 limo arenoso de compacidad blanda color gris oscuro.

Sondeo 3 (S3)

Este sondeo se realizo con las siguientes características: en el primer metro como limo arenoso de compacidad blanda color gris oscuro, y de 1.00 m a 4.60 arena fina uniforme limosa de compacidad suelta color gris oscuro.

Sondeo 4 (S4)

Este sondeo se realizo con las siguientes características: en los primeros 3.00 m como arena fina uniforme limosa de compacidad suelta color gris oscuro, de 3.00 m a 4.35 como arena fina uniforme limosa de compacidad media color gris oscuro, empacando en forma aislada coral panaloide.

Estos sondeos son representativos ya que únicamente reflejan algunas zonas particulares del interior del puerto, por lo que la empresa dragadora debe realizar sondeos minuciosos de la zona a dragar con la finalidad de obtener datos precisos de la estratigrafía.

VI.4. Condiciones de obra

El volumen a dragar se estima en 2,000,000 m³. No se aceptan como terminadas profundidades menores a las de proyecto, por lo que habrán que redragarse aquellas que no cumplan con lo establecido en el proyecto a excepción de aquellas zonas donde se encuentre material compacto o fuera de las especificaciones, que no pueda ser extraído en condiciones normales de operación. No existe tolerancia de

sobredragado en las líneas y niveles del proyecto tanto en plantilla como en talud, y están referenciadas al N.B.M.

Cuando algún fenómeno meteorológico, afecte obras en proceso o terminadas pero aun no entregadas a la autoridades portuarias, la empresa dragadora, tendrá derecho al pago por extraer los volúmenes de material que adicionalmente se hubieren acumulado.

Asimismo, se debe considerar que en el tráfico marítimo existente en el puerto, la estadía promedio de las embarcaciones atracadas en los muelles fiscales durante el 2004 fue de 30.51 A 58.63% por mes.

VI.5. Equipo y desarrollo de la obra

A continuación se indican los datos operativos de la ejecución de la obra:

La embarcación principal utilizada en el dragado y transporte de material producto del mismo es la draga denominada "FREEWAY" de tipo autopropulsada con tolva de capacidad para 4,043 m³ con características siguientes:

Eslora total :	104.80 m
Manga:	18.00 m
Puntal:	9.00 m
Capacidad de tolva:	4,043 m ³
Diámetro de tubo de succión:	2 tubos de 0.90 m de diámetro
Velocidad de navegación vacía:	13 nudos
Velocidad de navegación cargada:	11.9 nudos

Su sistema de operación es succionar del fondo marino el material por dragar a niveles de proyecto previamente calculados y autorizados para el buen funcionamiento del puerto, el material succionado es depositado en tolvas integradas en la embarcación con compuertas en el fondo de la misma y una vez cargadas se procede a llevar el material a la zona de vertido autorizada por la Secretaria de Marina.

Para la zona de paramento de muelles, dársena entre muelles y en aquellas zonas en las cuales la draga autopropulsada no pueda acceder, o el material ofrezca cierta resistencia mayor al corte de la rastra de succión los trabajos de dragado se realizan con una draga de tipo estacionario (figura 6.3 y 6.4) de nombre "ALEX" con equipo auxiliar de dos barcazas o chalanes de 450 metros cúbicos de capacidad cada una que cuentan con sistema de compuertas abatibles en su fondo para descarga de material, en las cuales la draga "ALEX" deposita el material producto de dragado que a su vez es depositado en áreas preestablecidas (canal de navegación exterior, interior y dársena de ciaboga) dentro del mismo puerto para que la draga autopropulsada "FREEWAY" lo levante y lo transporte a la zona de tiro autorizada.

Las características de la draga "ALEX" son:

Eslora:	45.80 m
Manga:	45.72 m
Grúa Manitowoc 4600:	30 ton
Cucharón:	8 m ³

El sistema de la draga "ALEX" es a base de un cucharón o almeja que extrae el material del fondo marino sin provocar la turbulencia que las dragas de cortador (también tipo estacionario) producen al operar, teniendo esta ventaja en el aspecto

ecológico ya que durante su operación es menor su área de influencia por los sedimentos en suspensión, cabe recordar que las dragas de cortador trabajan expulsando el material cortado a presión por conducto de una tubería de descarga generando turbulencia

Figura 6.3. Draga de almeja utilizada en los trabajos.

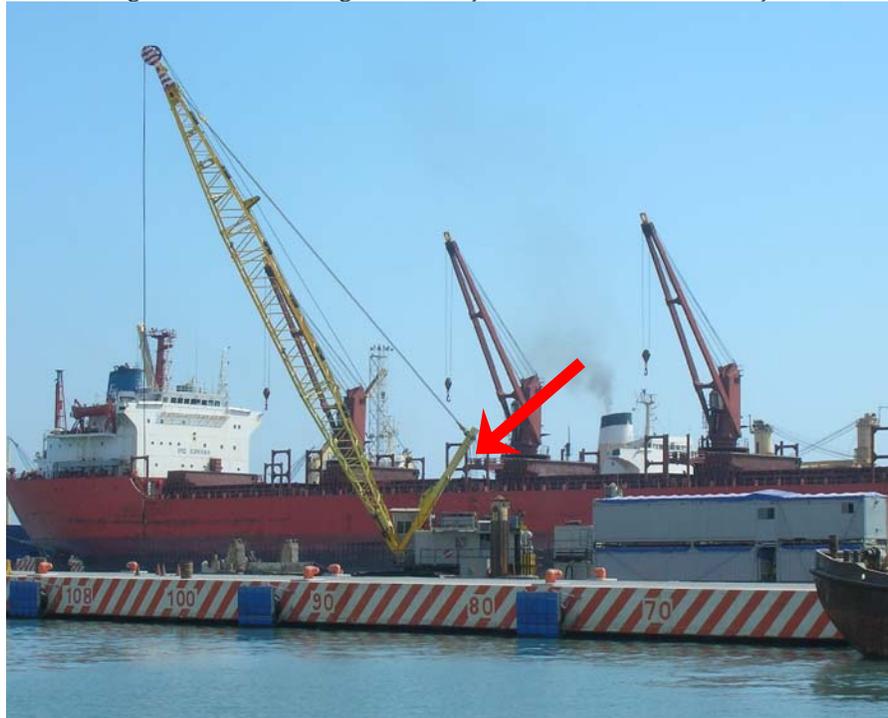


Es importante señalar que durante la presencia de Nortes, la draga suspende sus operaciones de dragado evitándose en esta forma generar residuos con posibilidades de ser desviados a zona de arrecifes del parque marino de Veracruz.

Los levantamientos batimétricos inicial, para estimaciones y avance de obra y final de los trabajos de dragado se efectúa con sistema multihaz con cobertura del 100% del fondo marino. La empresa dragadora entrega un juego de planos del área dragada incluyendo secciones transversales, rollo de ecosonda, cálculo de volúmenes, cuadro de marea, memoria de pruebas de calibración y ajustes, datos crudos y editados en formato

xyz, que servirán de base para que las autoridades portuarias realicen el levantamiento oficial final que servirá a su vez para determinar la recepción de los trabajos ejecutados.

Figura 6.4. Dragas de almeja utilizada en los trabajos.



Queda establecido el uso obligatorio del sistema de posicionamiento global satelital GPS o GLONASS en cualquiera de sus modalidades operativas DGPS O RTK para posicionamiento del equipo de dragado.

VI.6. Zona de vertido del material producto del dragado

Debido a aspectos ecológicos, dado que las proximidades del puerto de Veracruz es una zona en la cual existen un gran número de arrecifes, el producto del dragado se deposita mar adentro en una zona sin confinamiento, esta es una zona que determinó la Secretaría de Marina (figura 6.2). La situación geográfica autorizada para tal efecto es: latitud $19^{\circ} 24' 00''$ N y longitud $95^{\circ} 59' 00''$ W a una profundidad de

mas de 100 m y distancia de la costa más cercana de 16.50 millas náuticas dentro de un radio de 0.5 millas náuticas (figura 6.5).

Figura 6.5. Zona de vertido.



Coordenadas Geográficas		Coordenadas UTM
Latitud Norte	19° 24' 00'' .00	X= 816,852.35
Longitud Oeste	95° 59' 00'' .00	Y= 2,147,859.98

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con todo lo expuesto hasta ahora, creo haber manifestado la importancia que tiene el dragado en la mejora de la calidad de vida, presente en tantas facetas de la actividad humana, y necesaria para gran parte de sus logros, es por ello que a continuación menciono las conclusiones de este trabajo, así como algunas recomendaciones.

VII.1. Conclusiones

Actualmente en nuestro país se le ha dado un gran impulso al dragado, haciendo cada vez más competentes los puertos ya que se cumple con calados mayores, permitiendo la llegada de un mayor número de buques, lo que se convierte en un aumento en las mercancías que cumplen con las necesidades de la población.

Los equipos de dragado con el paso de los años han evolucionado de forma significativa, especialmente en las últimas tres o cuatro décadas. La evolución que se tiene en los equipos de dragado son el resultado de los avances en la tecnología, principalmente de nuevos buques para el transporte marítimo, ya que al tener embarcaciones cada día de mayor capacidad, son necesarias instalaciones portuarias mayores y para poder llegar a ello es necesaria la mejora en las herramientas que nos ayudarán a llevarlas a cabo, por tanto, si se tienen dragas cada vez más eficientes, se debe a las exigencias de los nuevos tipos de buques.

Es bien sabido que la buena elección del equipo va de la mano de los estudios previos que se deben realizar en el momento en que se decide ejecutar una obra de dragado, dentro de estos estudios existen una gran cantidad como lo son los sociales, ambientales, económicos, físicos, operativos, etc., por lo que es imprescindible realizar todos y cada uno de ellos como lo pueden ser: tipo de material, volumen a dragar, calados existentes y de proyecto, zonas de vertido, tripulación, distancias, tiempos, condiciones físicas normales y extremas, tráfico marítimo y algunos otros dependiendo del tipo de obra a realizar.

El vertido del material producto del dragado cada día cobra más importancia, llegando a ser uno de los aspectos que más debe preocupar a quien realiza este tipo de obras, existen diferentes alternativas para el vertido, debiéndose estudiar en cada caso en concreto sus ventajas e inconvenientes, la elección de la mejor alternativa corresponde al contratista trabajando en coordinación con las autoridades gubernamentales correspondientes como la Secretaría de Marina y la Coordinación General de Puertos.

La disposición del material procedente del dragado debe ser estudiado a fondo, partiendo de una adecuada planificación y llegando hasta el uso final al que será destinado una vez adecuado el recinto de depósito. El confinamiento del material origina costos que deberán ser analizados cuidadosamente buscando siempre un equilibrio entre el costo y su aprovechamiento.

El costo de cualquier obra marítima o costera tiene la característica de ser elevado por la complejidad de los trabajos y el dragado no es la excepción, y es la responsabilidad de los ingenieros el buscar el menor costo, por lo que la toma de decisiones al momento de elegir el equipo es de vital importancia, ya que desde mi

punto de vista, la buena elección de los equipos será el resultado de una obra segura, funcional y económica.

VII.2. Recomendaciones

Es cierto que en cuanto a ingeniería marítima se ha tenido buenos resultados en el país, pero hace falta trabajar aun mucho más; en aspectos de dragado los países europeos son quien más avanzados se encuentran y es el mejor lugar del cual podemos obtener tecnología de punta para poder mejorar, pero para poder lograr un adelanto se requiere de mucho apoyo por parte del gobierno, tanto a estudiantes, como a especialistas en la materia.

Existe un aspecto de mucha importancia y que influye de manera directa en cualquier trabajo de dragado, me refiero a la poca o casi nula información de los aspectos meteorológicos y oceanográficos. Para realizar cualquier obra de ingeniería marítima este tipo de información se convierte en lo más importante, pero desgraciadamente no se cuenta con los suficientes datos, este es uno de los principales puntos en los cuales se deben interesar nuestras autoridades con la finalidad de tener mayor disponibilidad de información y con ello poder lograr tener mejores obras.

El crecimiento de la población en los próximos 25 años puede ser del 25%. Gran parte del mismo se tendrá en zonas costeras, lo que supondrá crecimientos urbanos en dichas zonas por lo tanto se debe crear un plan de desarrollo a nivel nacional, considerando obtener el mejor aprovechamiento posible de nuestras costas en todos los aspectos posibles, en la industria, comercio, turismo, etc., ya que es un beneficio con el que contamos por el simple hecho de ubicarnos en este país y que

desafortunadamente aun no lo hemos sabido explotar para un bien común, con la finalidad de ser una mejor nación.

El crecimiento demográfico traerá consigo mayores necesidades de alimentos, servicios e infraestructura, así que lo concerniente a dragado lo tenemos que tener presente en todo momento, ya que es una herramienta fundamental para el desarrollo marítimo.

Por último el medio ambiente es algo que debemos cuidar al máximo, así que para cualquier obra de dragado que se requiera realizar, en lo primero que debemos pensar es en los aspectos ambientales, no sólo con el fin de conservarlos, sino más bien con el objetivo de mejorarlos.

BIBLIOGRAFIA

Ing. M. M. Mario Lavallo Argudin
"Manual de Dragado"
Secretaría de Marina
México, 1972

Ente Público Puertos del Estado
"Curso General de Dragados"
Puertos del Estado
España, 1997

Dirección de Puertos y Costas
"Primer Curso Iberoamericano de Planificación y Explotación"
Dirección de Puertos
España, 1977

U.S. Army Corps of Engineers
"Dredging and Dredged Material Disposal"
Department of the Army
USA, 1983

Casar Marcos, Guillermo
"Dragado"
Tesis Profesional, UNAM Facultad de Ingeniería
México 1988

Rivera Gaona, Raúl
"Proceso de Dragado y su Impacto Ecológico en Obras Portuarias"
Tesis Profesional, ENEP Acatlán
México 2003

Suplemento al Boletín No. 47
"Clasificación de Suelos y Rocas para Obras de Dragado"
PIANC 1997

"Environmental Guidelines for Aquatic. Nearshore and Disposal Facilities for Contaminated Dredged Material"
PIANC 2002

R.O.M. 3.1.99.

“Recomendaciones para el proyecto y construcción de accesos y áreas de flotación”
Puertos del Estado
España, 1999

R.O.M. 05-94

“Recomendaciones geotécnicas para el proyecto de obras marítimas y portuarias”
Puertos del Estado
España, 1994

Información técnica

Obras de dragado en el interior del puerto de Veracruz
Administración Portuaria Integral de Veracruz S.A. de C.V.
2005

www.hydroacoustics.com	página web visitada en junio de 2005
www.mundogps.com	página web visitada en junio de 2005
www.ieo.es	página web visitada en junio de 2005
www.diariodeavisos.com	página web visitada en junio de 2005
www.moises.puertos.es	página web visitada en junio de 2005
www.dredge.com	página web visitada en junio de 2005
www.imsdredge.com	página web visitada en junio de 2005
www.ihcholland.com	página web visitada en junio de 2005
www.vanoord.com	página web visitada en junio de 2005
www.deme.be	página web visitada en junio de 2005
www.gldd.com	página web visitada en junio de 2005
www.semar.gob.mx	página web visitada en julio de 2005
www.sct.gob.mx	página web visitada en julio de 2005
www.inegi.gob.mx	página web visitada en agosto de 2005