

DRAGADOS POR SUCCION

Por PABLO SUÁREZ, Ingeniero de Caminos.

Expone el autor interesantes datos sobre el trabajo que se reseña en el título del presente artículo, como consecuencia de su experiencia profesional en el mismo, y con el plausible propósito de facilitar esta información a los compañeros que la precisen.

El dragado por succión no es una ciencia, es un arte difícil y, sobre todo, una cuestión de casos particulares. Se define el arte en general como toda operación regulada, mediante la cual los seres organizados persiguen un fin para ellos conocido, junto con las reglas y el resultado de las mismas. Partiendo de esta definición, en la que encaja el "arte de dragar", surge de forma lógica y natural la necesidad de enunciar, si no todas, algunas de las reglas para su realización y la de exponer el resultado obtenido, sin perder de vista, como se ha dicho al comenzar, que es, sobre todo, una cuestión de casos particulares.

Estas reglas no pueden ser, por tanto, absolutas ni tener un carácter de amplia generalidad, ya que, deducidas de los resultados obtenidos en casos determinados con condiciones diferentes en cada uno, sólo a otros similares serán aplicables. Nada nuevo se contiene en ellas para aquellos especializados en esta clase de trabajos, pero pueden ser de utilidad y servir de guía a los ingenieros que, como proyectistas o como realizadores, hayan de intervenir por vez primera en obras de esta clase.

Exponemos a continuación varios puntos que deben ser tenidos en cuenta en los dragados por succión, habiendo dividido nuestro trabajo en los siguientes apartados:

- a) Influencia de la naturaleza del terreno del fondo.
- b) Cargamento económico de una draga.
- c) Dragas con desagregadores.
- d) Forma de trabajo de las dragas de succión.
- e) Disposición y forma del tubo de aspiración.
- f) Forma de medir un dragado.
- g) Precio del dragado.

a) Naturaleza del terreno del fondo.

Es fundamental, en primer lugar, dejar bien sentada la influencia que la naturaleza del terreno que se trata de dragar tiene en el rendimiento del trabajo y, por consiguiente, en el precio de costo.

Las dragas de succión de tipo corriente no dan buenos resultados más que con arenas de grano mediano o grueso. Cuando el terreno a dragar es de arena fina, con o sin mezcla de fangos o solamente de limos o fangos flúidos, el rendimiento es muy precario, llegando a ser nulo cuando se trata de arcillas. Para que pueda formarse idea de lo que influye la naturaleza del terreno, baste decir que una draga que pueda cargar 800 metros cúbicos por hora trabajando en un fondo formado por arena de granos medios o gruesos, necesita de tres a cuatro horas para completar la misma carga si el terreno se compone de arena fina mezclada con limos. Personalmente hemos visto una draga de succión dedicada a excavar una zanja para la cimentación de un muro de muelle en un fondo de fangos que necesitaba una jornada de ocho horas para cargar apenas 500 metros cúbicos. Esta mala utilización de una draga de succión debe evitarse siempre que sea posible.

Estos rendimientos tan deficientes se deben a que los fangos no se sedimentan en la cántara, y vuelven a caer al mar mezclados con el agua que rebosa por encima de los bordes de aquélla. Aunque en menor escala, ocurre lo mismo con las arenas muy finas y mezcladas con limos; estas arenas pueden ser aspiradas normalmente, pero decantan mal. Las arenas excesivamente gruesas o demasiado compactas, que, por el contrario, se sedimentan muy bien en la cántara, se aspiran difícilmente y la proporción de materias sólidas que entran en el agua absorbida, en lugar de oscilar entre el 30 por 100 y 40 por 100, es mucho menor. Las arenas mezcladas con guijos, gravillas, etc., dan lugar, por otra parte, a obstrucciones en las turbinas y a desgastes extremadamente rápidos en los órganos de dragado.

Es muy importante, por tanto, determinar por un estudio minucioso la ley que liga las dimensiones de los granos de arena a la capacidad de la draga, con el fin de poder prever el número de dragas necesarias para un determinado trabajo y el coste de la obra en proyecto.

Así, por ejemplo, si en dos ejes rectangulares tomamos como abscisas los tamaños medios de los granos y como ordenadas los tiempos que se emplean en

llenar la cántara de la draga, para los diferentes tamaños puede construirse, por repetidas observaciones en distintas clases de terrenos, una curva que podríamos denominar *característica* de la draga de que se trate, que tiene por asíntotas los ejes coordenados, y que, como queda dicho, es muy interesante para determinar, cuando se trata de acometer un dragado, sin necesidad de tanteos experimentales, el volumen que puede dragarse en la unidad de tiempo y, por consiguiente, el costo de la unidad dragada, solamente con poseer unas muestras del terreno del fondo, evitando tener que hacer gastos costosos. Asimismo, cuando se dispone de más de una draga de succión, cuyas curvas *características* conocemos, puede realizarse la elección de la más conveniente para determinada naturaleza del fondo sólo con conocer ésta y sin que sea preciso hacer trabajar todas las dragas disponibles para ver cuál es la de mejor rendimiento, cosa que siempre resulta cara, cuando no imposible.

b) Carga económica de una draga.

En lo referente a la carga económica de las dragas, hay que tener en cuenta que, según los casos, sobre todo cuando se trabaja en el canal de acceso o barra de un puerto, puede existir en ocasiones beneficio real en no cargar completamente la cántara de materias sólidas y hacer, en cambio, un mayor número de viajes llevando a bordo menos carga, mientras que en otros casos las mareas o las corrientes pueden ser lo suficientemente fuertes para arrastrar las materias sólidas en suspensión en el agua que desborda de la cántara y conducirlas fuera del canal. Es evidente que, en cada caso particular, el estudio del cargamento económico deberá hacerse teniendo en cuenta las condiciones especiales y las características del lugar de dragado y de vertido, a fin de llegar lo más rápidamente posible a la determinación de la forma de trabajo más conveniente.

Puede hacerse un estudio gráfico de este problema en la forma que indicamos a continuación: En dos ejes rectangulares tomamos como ordenadas los tiempos que se tarda en llenar (para una clase de terreno determinada) diferentes fracciones del volumen de la cántara de la draga, los que a su vez se hacen figurar como abscisas. Los tiempos así obtenidos no serán proporcionales a los volúmenes, sino inferiores a los que corresponderían si existiera proporcionalidad. Uniendo con una línea los puntos representativos de estos tiempos, se obtendría una curva cuyas ordenadas serán menores que las de la recta que une sus extremos, siendo éstos el origen de coordenadas y el punto representativo del tiempo que se emplea en llenar totalmente la cántara de la dra-

ga. Para una fracción cualquiera $1/n$ del volumen de la cántara se obtendría un punto en la curva y otro en la recta, y cuando el producto de n por el segmento de ordenada comprendido entre ambas, medido en la escala de tiempos, sea superior al empleado por la draga en el vertido y transporte de ese volumen $1/n$ multiplicado por $n - 1$ (número de viajes que han de hacerse para transportar el volumen total de la cántara que se ha tomado como unidad), quiere decirse que el cargamento $1/n$ es económico. Efectuando estos tanteos para diferentes puntos de la curva, puede determinarse el cargamento más económico.

También depende el trabajo ejecutado por una draga de succión, entre límites bastante amplios, de la manera como se maneja; el rendimiento varía según la forma como se manobra el tubo de aspiración. Una agitación moderada de las aguas facilita el dragado, elevando ligeramente el tubo con el casco y permitiendo profundizar los pozos, sin peligro de derrumbamientos. Es esencial, por tanto, disponer de un buen dragador, siendo de advertir que éste no se improvisa; tiene que hacerse a fuerza de tiempo y de práctica.

c) Dragas con desagregadores.

Se ha buscado la forma de aplicar las dragas de succión al trabajo en terrenos duros y particularmente al formado por arcillas compactas, proveyéndolas de aparatos desagregadores. Los más sencillos, empleados al principio, eran a base de chorros de agua a presión o de rastrillos oscilantes; posteriormente se ha llegado al empleo de desagregadores rotativos, de formas diversas, colocados en la parte inferior del tubo de aspiración, y a los que se transmite el movimiento por un sistema de ejes y engranajes colocados sobre el mismo tubo de aspiración, debiendo en este caso trabajar la draga fuertemente sujeta sobre anclas para apoyar bien el desagregador sobre el terreno del fondo.

Los resultados obtenidos por medio de aparatos de esta naturaleza son alentadores. Ni que decir tiene que las dragas de succión provistas de desagregador pierden las ventajas de movilidad y el carácter marinerío de las dragas de succión puras. No pueden ser empleadas más que en aguas relativamente tranquilas, pero permiten la realización de perfiles exactos. Ordinariamente llevan el tubo central y muy rígido, a fin de resistir en buenas condiciones a las sollicitaciones laterales que se originan por el funcionamiento del desagregador durante la aspiración.

Parece, por tanto, que las dragas de succión con desagregador están capacitadas para competir con las dragas de rosario en ciertas operaciones reservadas hasta hoy para estas últimas exclusivamente.

d) Forma de trabajo de las dragas de succión.

En lo que respecta a la forma de trabajar de las dragas de succión, pueden establecerse dos categorías, según que trabajen sobre el ancla o marchando. Las primeras son las empleadas principalmente en Europa, y proceden excavando por pozos. Las segundas, llamadas dragas americanas, proceden excavando por zanjas. Aquéllas fondean un ancla por la proa cuando van a dar comienzo al dragado, y dejan arriar la cadena bajo la acción de la corriente, hacen descender la extremidad libre del tubo, desembragan la hélice y embragan la turbina; el ligero desplazamiento de la draga bajo la acción de influencias exteriores y la maniobra de la cadena del ancla o de la cadena de suspensión del tubo de aspiración son suficientes para mantener cargada de productos sólidos el agua aspirada. El color de la mezcla arrojada en la cántara, el ruido producido a su paso por la turbina y tuberías y, a veces, la lectura de un indicador permiten conocer el vacío producido en el tubo de aspiración, previniendo el peligro de obstrucciones en el tubo a medida que se va profundizando el pozo. La inclinación del tubo de aspiración debe limitarse, generalmente, al máximo de 45°, más allá de la cual se corre el riesgo de que, al ser enterrado por un derrumbamiento, sobrevenga su rotura. Los pozos así excavados son más o menos nivelados por las olas y las corrientes, lo que da por resultado un ahondamiento general del terreno. Cuando circunstancias especiales imponen la necesidad de dragar con la popa orientada a la corriente o a las olas, hay, naturalmente, que prevenir dos anclas, una por delante y otra por detrás. En este tipo de dragas el tubo de aspiración va, generalmente, colocado a un costado y dirigido hacia adelante.

Las dragas de tipo americano trabajan sin ancla, navegando con su máquina sobre alineaciones rectas, a pequeña velocidad (dos a tres nudos) y, en tanto que es posible, contra la corriente, a lo largo de la cresta a dragar. El tubo o tubos de aspiración van dirigidos hacia la popa con una inclinación de 30° a 40°, generalmente, y en su extremo lleva un codo que hace de rastrillo y actúa sobre el terreno. Esta forma de trabajo exige en todos los casos máquinas potentes, siendo independientes las de propulsión de las de absorción. El dragado efectuado de esta forma se hace por capas de poco espesor sobre toda la extensión de la superficie a dragar, presentando ventajas sobre el sistema de trabajo por serie de pozos.

Ahora bien: estas grandes dragas americanas, provistas ordinariamente de tres motores, dispuestas para dragar en marcha, no utilizan en su trabajo efectivo de dragado más que un tercio apenas de la potencia de las máquinas, por lo que el precio de costo del dragado resulta más caro que con las antiguas dragas de tipo europeo, las cuales, trabajando

sobre el ancla, emplean en la operación de dragar toda su fuerza motora. Claro que las potentes máquinas americanas actúan más rápidamente y de una forma más apropiada para mejorar en un corto espacio de tiempo las condiciones de navegabilidad de un puerto.

Sobre el sistema de trabajo americano citaremos un caso curioso e interesante. En los dragados del río Delaware, donde los recorridos por agua de las dragas eran excesivamente largos para hacer el vertido por compuertas, y los emplazamientos de los vaciaderos por elevación disponibles sobre las orillas estaban a considerable distancia de las márgenes, las dragas-gánguiles de vertido por compuertas se empleaban conjuntamente con dragas elevadoras de situación fija. Las dragas de compuertas transportaban los productos dragados en el canal e iban a vaciarlos al lado de las dragas elevadoras, las que efectuaban el dragado nuevamente e impulsaban los productos por largas tuberías hasta el emplazamiento de los depósitos sobre las orillas. De esta forma se ahorró una cantidad de tiempo considerable y se redujo el costo del dragado.

Cuando se trate de emplear grandes dragas de succión, es recomendable el accionamiento Diesel-eléctrico. En el caso de dragas de succión de vapor existe ventaja con el empleo de combustibles líquidos, al reducirse el personal de calderas.

e) Disposición y forma del tubo de aspiración.

El precio de costo de los dragados disminuye cuando el período de utilización de las máquinas aumenta, siendo ventajoso trabajar sin interrupción día y noche cada vez que el estado del mar lo permita. Para aumentar esta duración de los períodos, generalmente cortos, durante los que es posible trabajar en los canales exteriores de los puertos, es preciso proveer al tubo de aspiración de una junta elástica con el casco o también utilizar tubos completamente flexibles.

La unión del tubo con el casco debe hacerse por debajo de la línea de flotación, en vacío. Este sistema tiene la ventaja de poder cebar la bomba con gran facilidad. Además, como el tubo de aspiración ataca el fondo según una dirección más oblicua, no está tan expuesto a incrustarse, con el consiguiente peligro de rotura, como cuando está dispuesto más verticalmente; también soporta mejor el movimiento producido por las olas.

Es de suma importancia prever un dispositivo que permita elevar el tubo de aspiración sobre cubierta, para evitar tener que varar la draga cada vez que se produce una rotura en el manguito flexible de unión, lo que, evidentemente, sería un inconveniente. Asimismo, el tubo sumergido opone una gran resistencia a la marcha de la draga.

Con esta disposición es posible llegar a dragar con altura de ola de hasta 1,20 metros, tanto con las dragas que excavan por pozos como con las que excavan por surcos. Las disposiciones adoptadas para asegurar una buena suspensión del tubo y realizar en la medida de lo posible la independencia del casco y del fondo, aumenta el número de días en que una draga de succión puede trabajar en mar abierto y contribuye eficazmente al abaratamiento del precio de costo de un dragado. Para aumentar esta capacidad de utilización de una draga puede emplearse un tubo flexible, de los que existen varios sistemas, siendo, entre otros, el formado por varios trozos rígidos unidos por manguitos que permitan una gran flexibilidad sin perjudicar a la resistencia.

Modernamente se han construido ya en Europa dragas potentes con tres motores, dispuestas para dragar en marcha, y con alturas de ola hasta de cuatro metros. Estas dragas llevan dos tubos de aspiración capaces de deformarse sin romperse; son semi-flexibles y ellos mismos toman en cada momento la forma más conveniente. Están compuestos de dos partes: un trozo rígido inferior, no suspendido durante el dragado, y que se arrastra libremente sobre el suelo, y otra parte articulada sobre el casco de un lado, y formada por tres elementos rígidos unidos entre sí por juntas flexibles, y al trozo inferior por una rótula con eje de libertad horizontal.

Con una draga de este tipo de 2.000 metros cúbicos de capacidad en la cántara se ha llegado a dragar a razón de 725 000 metros cúbicos mensuales, y en varias y diferentes clases de terreno: arena fina mezclada con conchas, conglomerados de arena, gravillas y gravas, etc.

Como norma a seguir cuando se trata de la apertura de un nuevo canal o de aumentar los calados de uno ya existente, hay que hacer constar que es preferible destinar las dragas más potentes al nuevo trabajo y utilizar las pequeñas dragas de succión en los trabajos de conservación de la obra nueva ya ejecutada.

f) Forma de medir un dragado.

Otra cuestión que repetidamente se plantea en la práctica es la forma de medir un dragado, adquiriendo su máxima importancia cuando éste no se realiza por administración directa, sino que se contrata con una tercera persona a la que ha de abonarse en consonancia con la cifra que arroja la medición. ¿Carece de todo carácter técnico esta cuestión? Creemos sinceramente que no, puesto que el lugar de dragado, el de vertido y otras circunstancias pueden ser las que decidan la forma más conveniente de efectuar la medición.

Dos son las empleadas corrientemente: por per-

files tomados sobre el terreno o por medición directa en la cántara de la draga. En el primer caso se procede como siempre que se trata de una excavación ordinaria fuera del agua, con la diferencia que los perfiles del terreno del fondo, antes y después de realizado el dragado, han de determinarse por medio de sondeos. Sin embargo, el sistema no debe aplicarse más que cuando se trata de dragados efectuados en parajes en los que no es presumible que tengan lugar variaciones sensibles del fondo en el espacio de tiempo que forzosamente ha de transcurrir entre la realización del trabajo y la de los sondeos, como, por ejemplo, en el interior de la dársena de un puerto.

Por el contrario, si se trata de dragados efectuados en una ría o estuario, en el canal de acceso a un puerto o en la barra de entrada, es decir, en lugares en los que la acción de las corrientes o de las olas puede transformar la configuración del fondo en plazos de tiempo muy breves, horas acaso, no es posible aceptar para la medición el sistema de perfiles. Esto daría lugar a errores de bulto y a perjuicios económicos para una de las dos partes contratantes.

Además, sin necesidad siquiera de que los fenómenos naturales modifiquen el fondo, los sondeos realizados en las barras de entrada y en los canales de acceso a los puertos, donde las aguas no están tranquilas en la superficie, corren siempre el riesgo de no ser todo lo exactos que sería deseable exigir, puesto que las oscilaciones y la marcha de la embarcación desde la que se sonda dan errores en las lecturas que pasan inadvertidos, y estas diferencias, multiplicadas por una gran superficie, pueden dar origen a errores en los volúmenes de miles de metros cúbicos.

Hay, por tanto, que recurrir a otro sistema, y éste puede ser, en primer lugar, el de medición directa en la cántara de los volúmenes transportados en cada viaje de la draga. Para ello se forman unas tablas de cubicaciones de la cántara, de una vez para todas, que correspondan a diferentes lecturas de sondas, y al terminar cada operación de dragado, cuando se levanta el tubo y mientras le embarcación marcha al vaciadero, se procede a ejecutar tantos sondeos en diferentes puntos de la cántara como sean necesarios, y por lectura directa de las tablas se obtiene el volumen que transporta en cada viaje, que es el dragado eficaz. Claro es que este sistema exige mantener una intervención y vigilancia constantes a bordo; pero si éstas son las debidas, puede decirse que el sistema es exacto.

Como comprobación aproximada, cuando se pueda, las lecturas de las escalas de calados de la roda y el codaste de la embarcación dan una indicación que no puede tomarse como exacta, ya que en estos calados influye también la cantidad de agua de los tanques y el contenido de las carboneras o depósitos de combustible líquido.

Cuando los productos dragados no se vierten por compuertas, sino por elevación, bien para formar terraplenes detrás de un muro de muelle, bien para rellenar marismas o sanear terrenos encharcados, etc., puede hacerse la medición de los productos vertidos, que son los mismos que se han dragado, con toda exactitud por la cubicación de perfiles tomados en el vaciadero antes y después del relleno.

Tanto en este caso como en el anterior, a los efectos del precio unitario, ha de tenerse en cuenta el entumecimiento de los productos que constituyen el fondo, cuyo coeficiente depende de la naturaleza de éste, y que debe fijarse por ensayos previos, si fuera posible, o por comparación con los resultados obtenidos en trabajos análogos.

g) Precio del dragado.

Como final de estas líneas, y únicamente a título de ejemplo, hacemos el estudio del precio de un dragado, utilizando para ello el tipo de draga más comúnmente usado en España, donde aun no se han llegado a emplear las grandes dragas de tipo americano y sí únicamente las del tipo llamado holandés, o sea la draga-gánguil marina, que trabaja sobre el ancla. La capacidad de la cántara de estas dragas oscila entre los 350 y 750 metros cúbicos, por lo que tomaremos como ejemplo una draga de 500 metros cúbicos.

Empezaremos por fijar los gastos de personal. La tripulación de una de estas dragas se compone de un capitán, un dragador, un contramaestre, dos maquinistas, tres fogoneros y siete marineros, cuya nómina diaria, incluidos los recargos sociales hoy en vigor, asciende a 400 pesetas, que al año suponen 146 000 pesetas.

El valor de la draga es en la actualidad de unos cinco millones de pesetas, y, por tanto, la amortización del capital da una anualidad de 250 000 pesetas; el interés del mismo al 6 por 100 anual supone 300 000 pesetas, y el seguro, que puede estimarse en el 4 por 100, serían 200 000 pesetas. Hay que fijar, por último, la anualidad de grandes y pequeñas reparaciones, que no es aventurado evaluar en un 8 por 100, o sean 400 000 pesetas. Todo esto supone unos gastos fijos anuales de 1 150 000 pesetas.

El consumo de carbón de esta draga tipo, trabajando diez horas diarias y a media presión las restantes, es de 9 toneladas en veinticuatro horas, y el de agua, en igual espacio de tiempo, de 9 metros cú-

bicos. Considerando que la draga viene a estar encendida unos doscientos cincuenta días al cabo del año (los restantes hay que dedicarlos a reparaciones) y llamando P_c y P_a a los precios del carbón y del agua, el gasto anual por este concepto será 2 250 ($P_c + P_a$). El consumo de aceites, grasas, sebo, sosa, algodones, empaquetaduras, estachas, manguitos, pinturas y menudos varios es de unas 60 000 pesetas anuales, y, por tanto, tenemos ya el gasto anual de la draga, que es $1\,356\,000 + 2\,250 (P_c + P_a)$ pesetas.

Hay que calcular ahora el rendimiento de la draga en el trabajo que se proyecta realizar, y para ello se utiliza la curva *característica* a que anteriormente nos hemos referido y el estudio del cargamento económico, a la vista de la naturaleza del fondo y del lugar y forma de vertido de los productos dragados. Llegaremos así a una cifra de volumen que puede ser dragado diariamente, y multiplicando éste por el número de días hábiles de trabajo se llegará al rendimiento anual, que llamaremos R , y como conocemos el gasto, G , se obtendrá el precio del metro cúbico dragado y vertido por compuertas, $G : R$.

Debe tenerse presente que el número de días que se trabaja al año no es el mismo que el que la draga está encendida, cuando se draga en mar abierto, pues los temporales o marejadas impiden en muchas ocasiones el dragado cuando la draga ya está lista para comenzar, o incluso ha comenzado su trabajo, y, por tanto, hay que prever un número de días perdidos con la draga encendida. Este número de días depende de la frecuencia e intensidad de las marejadas y del lugar de dragado, e incluso de las horas de pleamar y bajamar y debe determinarse con la mayor exactitud posible.

Como orientación diremos que, salvo casos excepcionales, el precio del metro cúbico de arena dragado en el acceso a un puerto y vertido por compuertas viene a resultar en la actualidad entre 9 y 10 pesetas cuando la distancia de transporte de los productos no excede de unas 3 millas.

Terminamos con esto nuestra modesta exposición, y como final y resumen hemos de hacer resaltar que las dragas de succión, empleadas en las condiciones que conviene a su modo de trabajo, es decir, dedicadas a extraer del fondo grandes volúmenes de arena con las menores interrupciones posible, permiten obtener precios notablemente más bajos que las dragas de cualquier otro tipo, y estos precios varían muy poco con la profundidad del dragado en los límites actualmente utilizados.