

Aportación de arenas al terraplenado de aeropuertos, con bombas dragadoras de aspiración

Por JORGE SORIANO SANCHEZ
Ingeniero Aeronáutico.

I.—Consideraciones generales.

Son muy frecuentes los grandes aeropuertos situados en la costa y sumamente próximos a ella, hasta tal punto que uno de sus límites sea el mar. Las importantes poblaciones con puerto marítimo que se encuentran en esta situación son las que principalmente obligan a ello. En España pertenecen a este tipo Barcelona, Santander, La Coruña, etc.

Por otra parte, las ventajas que un aeropuerto presenta en estas condiciones son suficientemente conocidas, tales como las de facilidad de recalada, sencilla localización, posible emplazamiento de base de hidros, puerto marítimo al servicio del aeropuerto, etc., etc.

El mayor inconveniente suele ser, en cambio, el bajo nivel medio de estos terrenos respecto al nivel del mar, con las consiguientes dificultades de drenaje, terrenos poco consolidados y movimientos de tierra en los que el volumen de

excavación es muy inferior al de terraplenado, y en muchos casos con existencia únicamente de la última partida. La aportación de arenas o tierras de relleno es entonces indispensable, y generalmente, dada la gran extensión de los aeropuertos actuales, en considerables cantidades.

La manera de resolver el problema es completamente particular en cada caso y dependiente en absoluto de la naturaleza del terreno, proximidad del lugar de extracción de tierras y medios disponibles. Pero la mayor parte de las veces, la playa próxima y con arena abundante, que tan excelentes condiciones presenta siempre para un buen drenaje y mejora de las características de terrenos arcillosos en la futura consolidación, es siempre tentadora para el constructor, a pesar de las dificultades que suele presentar una extracción a mano, o incluso semi-mecánica con el auxilio de palas excavadoras, y el consiguiente transporte por camiones o vagones, aumentada además con la dificultad de en-

contrar inmediatamente agua en las primeras excavaciones con sólo profundizar un metro o menos, y la imposibilidad de continuar extrayendo arena si no es en una gran extensión de playa, de la que a veces no se dispone, y que, aun en el caso de existir, alargue enormemente las distancias de transporte.

El empleo de bombas dragadoras de aspiración automática de suficiente potencia, resuelve en muchos casos el problema de una manera satisfactoria y económica.

Tiene esta solución, además, la ventaja de poder realizar simultáneamente un dragado para la construcción de puerto marítimo, lagunas artificiales auxiliares de drenaje, preparación de un lecho de río para futura base de hidros, etcétera, etc.

II.—Descripción de las bombas e instalación.

La operación completa de terraplenado por medio de este sistema consta de las tres fases siguientes: 1.^a Dragado. 2.^a Transporte de los productos del dragado por tubería de impulsión; y 3.^a Sedimentación o separación del agua y materias sólidas.

Cada equipo de dragado consta de tres bombas, convenientemente acopladas, de las que una de ellas es la potente bomba principal de aspiración, y las otras dos, auxiliares de ella.

De las dos bombas auxiliares, la más pequeña tiene el solo objeto de aspirar agua limpia, que inyecta en los prensaestopas de la bomba principal a una presión de 6 a 7 kg/cm², que es superior a la de trabajo de ésta (2 a 3 kg/cm²), evitando así todo depósito de arena en ellos, fugas, etc., y refrigerando los cojinetes principales. Esta bomba es suficiente que tenga una potencia de 1/10 de la grande.

La otra bomba auxiliar tiene por misión inyectar agua por unas pequeñas toberas, situadas alrededor de la tobera principal de aspiración con objeto de producir un removido de la arena en el sitio de dragado y que se forme una mezcla de agua y materia sólida de la concentración que se desee para su buen transporte, graduando esta proporción según el mayor o menor trabajo de removido que se realice con ella. La potencia de esta bomba puede ser alrededor de un quinto de la principal.

Una idea de la tobera de aspiración es la de la figura 1, en donde se puede apreciar el conducto de aspiración principal A y las cuatro toberas secundarias de presión B, por donde sale

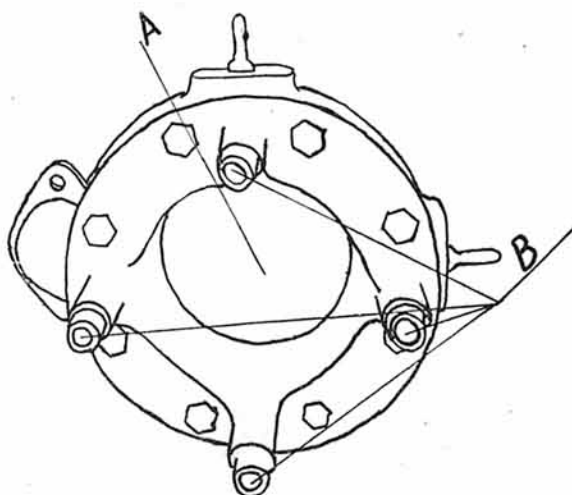


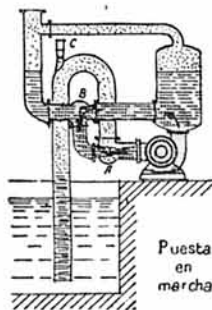
FIG. 1.—Extremo del tubo de aspiración con toberas para excavar.

el agua que produce el removido necesario. Es decir, la tobera A está en comunicación directa con la aspiración de la bomba principal, y las B, con la impulsión de la bomba de removido citada.

Las tres bombas, salvo su diferente potencia, son completamente iguales.

Uno de los sistemas más empleados es el Lanchenauer, que es de bombas centrífugas sin válvulas, de cebado automático.

Su funcionamiento esquemático puede verse en las figuras 2 y 3, que no precisan aclaración. Equipos de este sistema se están empleando en la actualidad para el transporte de arena en el Aeropuerto Transoceánico de Barcelona, efectuando el dragado en la playa sobre la desembocadura de una laguna natural, con objeto de mantener constante el nivel de ésta y realizar un puerto marítimo en dicha laguna al servicio actual de las obras y futuro empleo para cuando el aeropuerto esté en servicio.



Puesta en marcha Fig-2

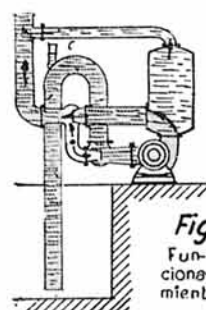
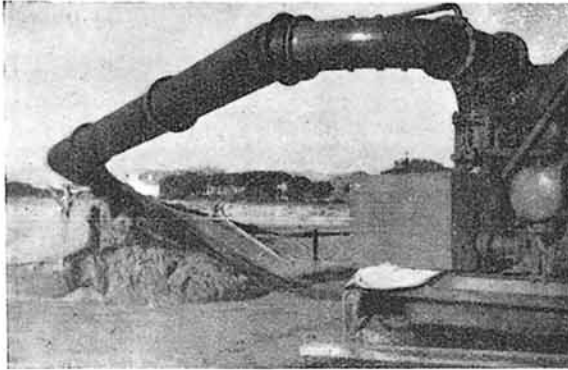


Fig-3 Funcionamiento



Codo de salida en tubería de propulsión.

Las tres bombas descritas tienen en estos equipos las siguientes características:

Bomba de aspiración.—Potencia, 250 cv. Gasto, 350-400 l/s. R. p. m., 950.

Bomba de removido.—Potencia, 60 cv. Gasto, 40 l/s. R. p. m., 1.450.

Bomba para la limpieza de prensaestopas.—Potencia, 30 cv. Gasto, 20 l/s. R. p. m., 2.900.

Su movimiento se realiza por motores eléctricos, lo que tiene el inconveniente de exigir por cada equipo 350 Kwa., situados en la playa o lugar de dragado, lo cual no suele ser corriente, y precisa casi siempre un tendido de línea especial. Un estudio desde el primer momento con los motores de gasolina o aceite pesado convenientes puede ahorrar muchos gastos de instalación.

Las tres bombas van acopladas según puede verse en la figura 4. La primera instalación realizada en el Aeropuerto Transoceánico de Barcelona ha sido sobre un carretón móvil a lo largo de un pantalán.

La impulsión de los materiales dragados se realiza por tubería, que es suficiente resista presión máxima de cuatro atmósferas, y puede ser de cemento o de hierro. Es notoria, sin embargo, la ventaja de la tubería de hierro, que permite una gran movilidad y facilidad de adaptación. Los diámetros interiores suelen ser de 400 a 500 mm. La velocidad del agua en la tubería de presión, de 500 mm. de diámetro interior, es de 2 m/s., y para evitar depósitos de arena en la tubería, que llegan a producir el total taponamiento de la misma, la velocidad mínima del agua debe ser de 1,5-1,8 m/s.

La proporción de materias sólidas transportadas es variable con la naturaleza del terreno y,

sobre todo, con la movilidad de la tobera de aspiración; pero puede calcularse en un mínimo de 10 por 100 y un máximo de 30 al 40 por 100 en los momentos de máximo rendimiento.

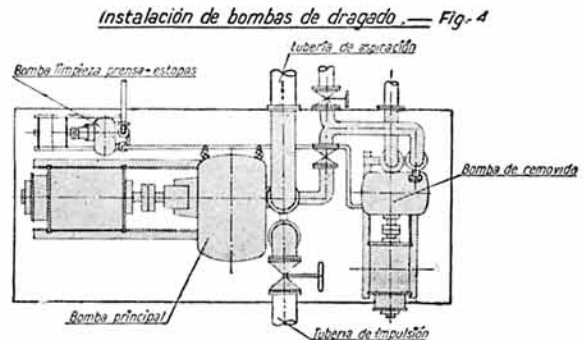
Las mayores dificultades en el transporte por la tubería de impulsión se presentan al intentar trabajar con exceso de materia sólida que haga a determinada distancia disminuir la velocidad de transporte por debajo de 1,5 m/s., con el consiguiente depósito de arenas en la tubería, verificándose un taponamiento completo de la misma, con las pérdidas consiguientes al tener que desarmar parte de ella y trabajar durante horas enteras únicamente con agua limpia para desalojar todos estos depósitos. Un personal práctico es el único que puede evitar este defecto con una constante vigilancia de los manómetros de la bomba principal, cuidando no aumente anormalmente la presión de impulsión, que no debe exceder de 1,8 a 2 atmósferas, y no disminuya en el indicador vacumétrico la aspiración, que no debe ser inferior a 5 ó 6 metros.

La distancia máxima de impulsión es uno de los factores más discutibles. En tuberías de 500 milímetros de diámetro dan las casas constructoras distancias hasta 1.000 metros.

La altura manométrica total de la bomba de 250 cv. y 350 l/s. es de 27 metros, distribuidos en la siguiente forma:

Resistencia en la tubería (1.000 metros por 500 mm.) (0,7 %)	7 m.
Altura de aspiración (vacumétrica)	5 m.
Altura de presión (diferencia de altura)	8 m.
Presión de salida y reserva	7 m.
Total	27 m.

Pero la realidad en la práctica es que existen una serie de pérdidas, difícilmente evaluables, en forma de codos, pequeñas fugas en la tube-



ría de impulsión, tomas de aire inevitables en aspiración, etc., que aunque de pequeña magnitud, sumadas todas ellas, dan lugar a que la distancia se reduzca considerablemente.

Generalmente, y si se quiere llegar a distancias superiores, es preciso colocar otro grupo análogo al descrito, en serie con el anterior, bien en el mismo punto o bien a la distancia que se calcula que la pérdida de velocidad puede producir depósitos en la tubería. Este nuevo grupo, como es natural, sólo constará de la bomba principal y la de limpieza de prensaestopas, ya que la de removido no será precisa. Con esta instalación puede llegarse a distancia de tres kilómetros o más.

En cuanto a la tercera y última parte del trabajo, es decir, la separación de la materia sólida y del agua al final de la conducción, es el problema más sencillo, ya que basta dar salida a las aguas por un punto alejado suficientemente de la desembocadura de la tubería, para que el agua, por haberse extendido suficientemente y no tener ya casi velocidad de traslación (mucho menor de los 1,5 m/s. necesarios), no arrastre ninguna arena y resulte agua de decantación. Tratóndose de pequeñas extensiones a rellenar, se puede hacer previamente malecones de contención que, embalsando la mezcla, impidan se extienda en exceso, y la evacuación del agua de estas balsas se realiza por sí sola una vez sedimentada la materia sólida.

El terraplenado se va haciendo por zonas sucesivas, y se va avanzando por prolongaciones parciales de la tubería de impulsión hacia el frente y hacia los laterales, por medio de tubos acodados.

III.—Instalación más conveniente del conjunto.

Las instalaciones, descritas de un modo general, deben estudiarse para cada caso con objeto de llegar al acoplamiento más conveniente.

El montaje de los grupos sobre carretones fijos o móviles, barcazas o combinación mixta de dragado por cangilones y transporte por aspiración, es siempre posible y dependerá de la naturaleza del transporte y terreno en que se vaya a realizar.

Sin embargo, es preciso tener muy en cuenta que la gran potencia de los grupos de aspiración obliga siempre a una movilidad de la tobera de aspiración muy grande, si no se quiere

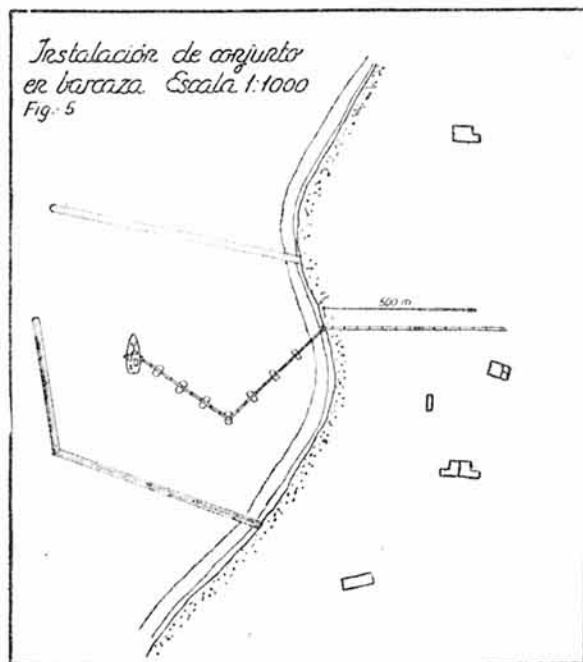
que ésta se quede sin materia para dragar o realice el dragado en agua de muy poca materia sólida en suspensión, y que esta movilidad no es nada fácil dársela, por el peso extraordinario de dicha tobera con sus accesorios y mangueras de aspiración (casi dos toneladas).

Por todas estas razones, resulta aconsejable estudiar desde el primer momento la instalación del grupo principal sobre una barcaza, y que, bien situada la tobera de aspiración de un modo casi fijo sobre la barca, sea la citada barcaza la que se desplace lentamente por la zona en que se desee realizar el dragado.

Esta forma de trabajo implica que una parte de la tubería de impulsión sea articulada y flotante desde la embarcación hasta la orilla, con lo cual el coste de la instalación es algo más elevado; además, requiere el poder trabajar en la zona de aguas tranquilas y nunca en mar abierto. Un esquema de instalación de este tipo es la de la figura 5.

IV.—Estudio económico.

Un estudio económico completo del procedimiento de terraplenado expuesto resulta sumamente difícil de realizar de un modo general, ya que todos los factores dependen de la situación y circunstancias, sumamente variables de un lugar a otro. Sin embargo, con objeto de poder llegar, aunque sólo sea a una idea aproximada del



balance económico de este procedimiento, haremos las siguientes hipótesis:

- 1.^a Distancia media desde la costa al centro de terraplenado: 3.000 metros.
- 2.^a Distancia mínima de donde se puede tomar la energía eléctrica: 10 kilómetros.
- 3.^a Precio a que sale en la misma zona el m³ transportado por vagonetas o medios mecánicos corrientes: ocho pesetas.
- 4.^a Rendimiento medio de la instalación de bombas en ese terreno: 1.500 m³ por día (diez horas de trabajo).

Con estos supuestos veamos ahora los gastos indispensables para la instalación, que de un modo global son los siguientes:

	Pesetas
Dos grupos completos de bombas de dragado, necesarios para esa distancia...	1.500.000
3.000 m. de tubería de hierro de 500 mm.	300.000
Barcaza de 40 toneladas	75.000
Articulación de tuberías y flotadores ...	120.000
10 kms. de línea eléctrica con estación transformadora (800 Kwa.)	350.000
Instalaciones eléctricas de los dos grupos	150.000
Instalación de los grupos y tuberías ...	450.000
Total instalaciones terminadas	2.945.000

Una vez realizada esta instalación, los gastos de funcionamiento por día (diez horas) serán:

	Pesetas
700 × 10 = 7.000 kw/h. a 0,30 pesetas el kw/h.	2.100
4 jornales, especialistas mecánicos y electricistas, a 40 pesetas	160
4 jornales de peones auxiliares, a 20 pesetas	80
Total gasto diario	2.340

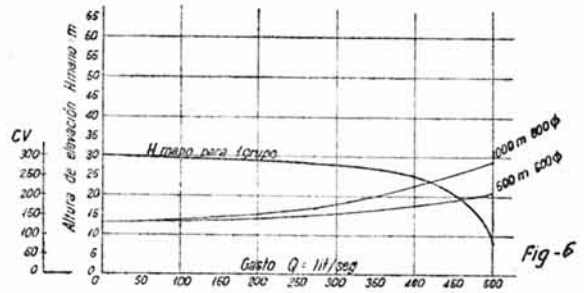
Con el rendimiento supuesto, de 1.500 m³ al día, supone de gasto en régimen de trabajo de:

$$\frac{2.340}{1.500} = 1,5 \text{ p'as./m}^3.$$

Vamos a determinar el número de m³ a partir de los cuales será económica una instalación como la indicada, en comparación con los métodos corrientes de transporte de tierra.

Sea *T* este número de m³ de terraplenado; con las hipótesis anteriores tendremos:

$$\frac{T}{1.500} = \text{Duración en días del terraplenado.}$$



Curvas de gasto y resistencia de la tubería.

1,5 *T* = Coste del terraplenado total, sólo por gasto de funcionamiento.

No es lógico suponer amortizado el total de los gastos preliminares, que hemos visto pueden ascender aproximadamente a 3.000.000 al terminar el terraplenado *T*. Una instalación como la descrita, y salvo el cambio frecuente de rodets principales por desgaste de los mismos y reparaciones naturales de entretenimiento, puede considerarse útil para funcionar económicamente durante unos cinco años. Por consiguiente, la venta de las máquinas al término del terraplenado *T*, o su empleo en otro trabajo, hace esperar que se les puede dar un valor después de este terraplenado, inversamente proporcional al tiempo que se hayan tenido en funcionamiento, es decir, a

$$\frac{T}{1.500}$$

Para tener todo esto en cuenta, los gastos de instalación y coste de maquinaria, que ascendían a la cantidad total aproximada de 3.000.000, deben descomponerse en dos partes; una de ellas, estimable, en 1.200.000 como gastos perdidos al terminar el total del terraplenado *T*, y el resto, 1.800.000, que por ser valor de bombas y material aprovechable, debe quedar reducido a:

$$\frac{T}{1.500} \times \frac{1.800.000}{5 \times 365} = 0,65 T.$$

En resumen, el coste total del terraplenado *T* será:

$$C = 1,5 T + 0,65 T + 1.200.000.$$

Para acercarnos más a la realidad en esta ecuación, deberemos añadir un término de corrección dependiendo de *T*, que es el de las averías y pérdidas de tiempo por reparaciones. Estos gastos, como es lógico, serán al principio casi nulos, pero irán aumentando con el tiempo, hasta

tal punto que a los cinco años, según hemos supuesto, los gastos serán tales que prácticamente resulte antieconómico el continuar trabajando.

Suponiendo estos gastos proporcionales al cuadrado del tiempo trabajado

$$\frac{T}{1.500}$$

y que durante el primer año sólo sea el 4 por 100 del valor adjudicado a la maquinaria, este término será de la forma:

$$a = 1.800.000 \times 0,04 \times \left(\frac{T}{1.500 \times 365} \right)^2 = 2,4 \times 10^{-7} T^2.$$

La ecuación total del gasto será, por consiguiente:

$$C = 1,5 T + 0,65 T + 2,4 \times 10^{-7} T^2 + 1,2 \times 10^6, \\ C = 2,4 \times 10^{-7} T^2 + 2,15 T + 1,2 \times 10^6.$$

Con el supuesto de que por otros procedimientos el precio sea $8 T$, e igualando para ver el límite económico de T :

$$C = 2,4 \times 10^{-7} T^2 + 2,15 T + 1,2 \times 10^6 = 8 T, \\ 2,4 \times 10^{-7} T^2 - 5,85 T + 1,2 \times 10^6 = 0.$$

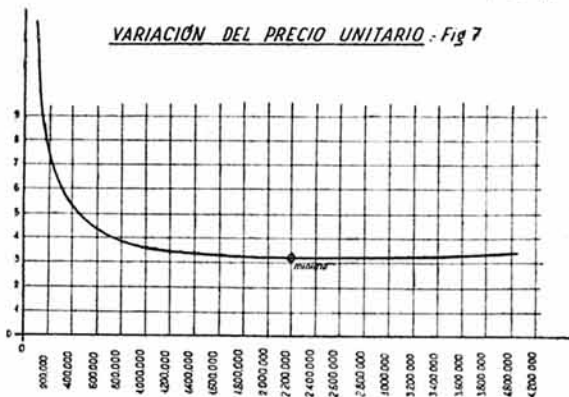
Ecuación de segundo grado, de donde obtenemos:

$$T = 310.000 \text{ m}^3.$$

Vemos, por consiguiente, que a partir de unos 300.000 m³, en que el precio unitario sale a ocho pesetas, empieza éste a disminuir, según la ley:

$$\frac{C}{T} = c = 2,4 \times 10^{-7} T + 2,15 + \frac{1,2 \times 10^6}{T},$$

ecuación que nos representa, por una rama de hipérbola, la variación del coste del m³ (fig. 7).



VARIACIÓN DEL PRECIO UNITARIO - Fig 7

El mínimo de ella, según se ve en la figura, corresponderá:

$$\frac{dc}{dT} = 2,4 \times 10^{-7} - \frac{1,2 \times 10^6}{T^2} = 0,$$

$$T = \frac{1,2 \times 10^6}{2,4 \times 10^{-7}} = 2.200.000 \text{ m}^3.$$

Para cuya cantidad sale el m³ a:

$$C = 2,4 \times 10^{-7} \times 2,2 \times 10^6 + 2,15 + \frac{1,2 \times 10^6}{2,2 \times 10^6} = 3,20 \text{ ptas./m}^3$$



Tubería de impulsión de arenas del dragado.

y un tiempo de duración del trabajo de:

$$\frac{2.200.000}{1.500 \times 365} = 4 \text{ años.}$$

No se pretende, con todo lo anterior, más que realizar unos tanteos económicos que den una idea de lo que puede ser el procedimiento, pero en la seguridad de que cada caso particular hará variar casi todas las cifras manejadas, sirviendo solamente estos resultados obtenidos como información de este género de trabajos.