

CHAPTER 37

"DRAGADO DE AGITACION CON BRAZO" EN EL CANAL DE MARACAIBO—VENEZUELA

Instituto Nacional de Canalizaciones

CAPITULO I

INTRODUCCION

La cuenca hidrográfica del Lago de Maracaibo situada en la parte Norte de la América del Sur, principalmente en Venezuela, está limitada al Oeste por la Sierra Perijá, al Sur y Sur-Este por el ramal venezolano de la Cordillera de Los Andes, al Este por la línea divisoria entre las aguas que corren al Lago y las que corren al mar Caribe, y por el Norte el Golfo de Venezuela. Su extensión total es de 89 756 kilómetros cuadrados de los cuales 73 658 están en territorio venezolano y 16 098 kilómetros en territorio colombiano; la parte venezolana a su vez se divide en 60 555 kilómetros cuadrados de tierra firme y 13 103 cubiertos por agua, incluyendo las islas. El aporte de agua dulce de la cuenca es de $50,57 \times 10^9$ metros cúbicos anuales aproximadamente, provenientes de numerosos ríos y riachuelos, especialmente abundantes en la región suroeste.

En el curso de su célebre exploración de la costa Norte de Sur América, Alonso de Ojeda descubrió, el 24 de agosto de 1499 el Lago de Maracaibo, llamado Coquivacoa por los naturales, y al cual dió el nombre de San Bartolomé. Alonso Pacheco fundó a Ciudad Rodrigo el 20 de enero de 1571, junto al estrecho o Brazo que conecta El Tablazo con el Lago. Esta ciudad fue reconstruida en 1574 por Pedro Maldonado quien le cambió el nombre a Nueva Zamora, pero mas tarde se la conoció como Maracaibo y con este último nombre ha llegado hasta nuestros días. Hoy es la población mas grande de la región, es la capital del Estado Zulia, y tiene 457 000 habitantes.

Geográficamente podemos dividir al Lago de Maracaibo y sus aguas colindantes en cuatro partes: el Lago propiamente dicho, el Brazo de Maracaibo, la Bahía de El Tablazo y el Golfo de Venezuela. (Ver Dibujos Nos. 1 y 2). De las tres primeras, la de mayor superficie, es el Lago de Maracaibo el cual tiene 12 013 kms. cuadrados, con una profundidad media de 25.9 metros (cerca de 85 pies) llegando en algunos sitios hasta los 33.50 metros (110 pies). El 87% del área del Lago (10 500 kms.2) - tiene 10 o más metros (32.8 pies) de profundidad.

El Brazo de Maracaibo que conecta al Lago con El Tablazo, tiene una longitud de 40 kms., un ancho de 6 kms. en su extremo Norte y un máximo de 17 kms. en su extremo Sur, con un área total de 480 kms. 2,

COASTAL ENGINEERING

aproximadamente. A todo lo largo del Brazo corre un canal natural, cuya anchura media es de 1 000 mts. aproximadamente, con 11.6 mts. (38 pies) de profundidad mínima y 17.7 mts. (58 pies) de profundidad máxima.

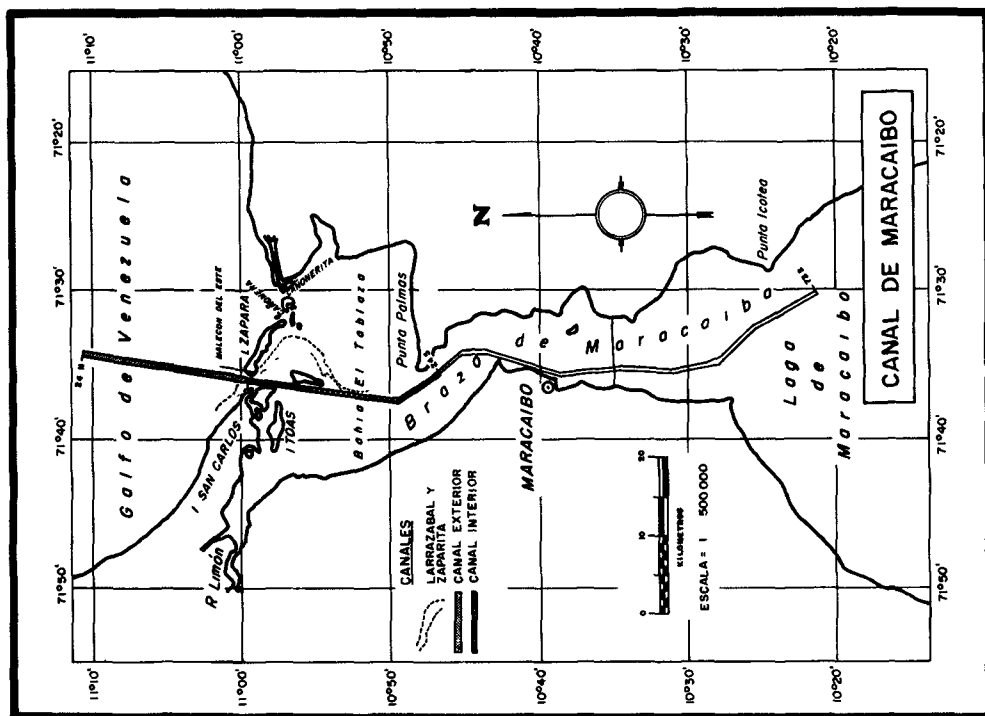
La Bahía o estuario de El Tablazo tiene forma trapezoidal y en general es de poca profundidad; limita al Sur con el Brazo de Maracaibo y se comunica con el Golfo de Venezuela por el Canal de la Barra de Maracaibo y las bocas llamadas de Cañonera y Cañonerita. Tiene en el sentido Norte-Sur una longitud de cerca de 24 kms., en el Este-Oeste un promedio de 27, y una superficie de 610 kms. 2. Es en El Tablazo donde se mezclan las aguas más o menos dulces que vienen del Lago por el Sur, teniendo lugar el movimiento principal de las corrientes a lo largo de un canal que, en su forma natural, serpenteaba por la parte central del estuario y tenía profundidades mínimas de 15 pies.

La costa Sur del Golfo de Venezuela está en constante variación, especialmente en la parte correspondiente a las bocas de San Carlos (principal) y Cañonera y Cañonerita (secundarias), debido al encuentro allí del movimiento litoral de arenas cuya dirección general es hacia el Oeste, con las corrientes originadas por la salida de aguas del Lago y las mareas, de rumbo hacia el Norte o Sur. El canal natural de El Tablazo pasaba frente a San Carlos para conectarse con el Golfo después de cruzar la Barra Exterior.

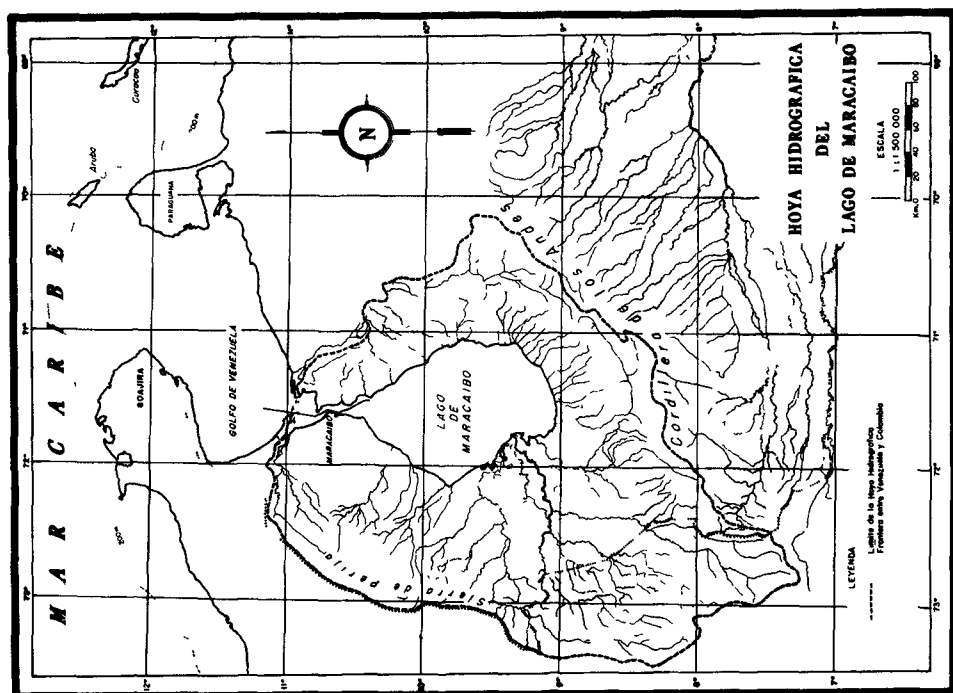
Las zonas de El Tablazo y de la Barra Exterior o Barra de Maracaibo han constituido tradicionalmente el problema básico para la navegación entre el Lago y el mar libre; solo que la de El Tablazo era algo difícil pero no peligrosa, mientras que la de la Barra Exterior era tan difícil como peligrosa. El canal natural que cruzaba ambas zonas tenía en El Tablazo una forma sinuosa relativamente estable en cuanto a posición y profundidad, pero en el cruce de la Barra Exterior, tanto la posición como la profundidad del canal de navegación eran muy variables. El sitio de cruce de la Barra Exterior variaba entre un punto extremo situado a varios kms. al Oeste del Castillo de San Carlos y otro entre San Carlos y Zapara; el canal se deslizaba entre islotes de arena y bancos muy móviles de igual material, que influenciaban tanto su posición como su profundidad y atrapaban los barcos que perdían la ruta. Otros factores de inestabilidad lo constituyen la sedimentación de materias en suspensión, las corrientes de densidad, y la floculación en las zonas de contacto del agua dulce con la salada. Esto último tiene lugar solamente en El Tablazo, especialmente en la zona deltaica alcanzada por las aguas turbias del río Limón, pues las del Lago mismo son perfectamente claras ya que éste último actúa como decantador de sus afluentes.

Las dificultades naturales del acceso al Lago de Maracaibo que acabamos de describir no tenían mayor esperanza de solución mientras el comercio de la cuenca estuviera limitado a una exportación relativamen

"DRAGADO DE AGITACION CON BRAZO" EN EL CANAL DE MARACAIBO — VENEZUELA



Dibujo No. 2



Dibujo No. 1

COASTAL ENGINEERING

te pequeña de productos agrícolas y pecuarios, y a la importación de valores similares de bienes de consumo. El descubrimiento del petróleo al requerir el transporte de grandes cantidades de ese producto por la vía marítima, transformó completamente la situación y presentó la justificación económica necesaria para la construcción de obras adecuadas de canalización.

CAPITULO II

CONSTRUCCION DEL CANAL

El proyecto original preparado por el Coronel Robinson del Cuerpo de Ingenieros del Ejército Americano (abreviado U.S.A.C.E.) en 1940 y reformado en 1947, sirvió de base para los trabajos. Dicho proyecto consistía en la construcción de un canal rectilíneo con profundidad de 35 pies referida a la marea media baja (M.M.B.), cuyo rumbo quedó fijado en S. 8° 48' 40" 0., tanto para el cruce de la Barra Exterior como para el eje de El Tablazo, con excepción de un pequeño sector al final de este último al cual se le dió un rumbo de S. 29° 11' 20" E., a fin de empatar con el canal natural frente a Punta de Palmas. Este canal quedaba naturalmente dividido en una parte Interior con 182.88 mts. (600 pies) de ancho y 22.560 kilómetros de longitud contados hacia el Sur, a partir del punto Cero situado en Zapara, y una parte Exterior con 304.80 mts. (1 000 pies) de ancho y 12.450 kms. de largo a partir del mismo punto Cero, hacia el Norte. Para la protección de la parte exterior del canal cercana a la costa, se recomendaba la construcción de dos malecones, uno al Este y otro al Oeste, partiendo respectivamente, de las islas de Zapara y San Carlos.

La construcción del Canal Interior se contrató a partir de 0 kms. 600 S. hasta 22 kms. 560 S., se comenzó el 28 de abril de 1953 y la obra fue inaugurada el 7 de diciembre de 1954. En total se extrajeron - - 30 655 170 metros cúbicos de material en 588 días, con las dragas de tubería Caribbean y Jamaica Bay. En general se puede decir que este dragado, no ofreció mayores problemas.

El día 28 de noviembre de 1954 se iniciaron los trabajos en el Canal Exterior contratados a partir del mismo punto 0 kms. 600 S. hasta 12 kms. 450 N., y el 8 de diciembre de 1956 fue inaugurado. En este trabajo tomaron parte en distintas oportunidades tres dragas de tubería, cinco de tolvas y una de brazo, aunque nunca hubo más de tres dragas de tolvas trabajando al mismo tiempo. El volumen removido en los dos años y diez días de trabajo, fue de 20 015 617 metros cúbicos. El dragado del Canal Exterior fue particularmente difícil debido al tipo de material encontrado cerca de la costa, especialmente entre los Kms. 3 y 6 N. y también por lo agitado del mar, usualmente en los meses de diciembre a marzo. Por este último motivo las dragas de tolvas se vie-

"DRAGADO DE AGITACION CON BRAZO" EN EL CANAL DE MARACAIBO—VENEZUELA

ron frecuentemente obligadas a refugiarse en el Canal Interior durante los días de mal tiempo y a fin de realizar trabajo útil dragaban en dicho sector.

Las dragas de tolvas sumaron un total de 46 656 horas, 39 minutos de presencia en su trabajo de construcción del Canal Exterior, distribuido de la manera siguiente: el 61,5% se dedicó al dragado efectivo, es decir, al bombeo de material, el 9,7% a mantenimiento, (reparaciones, abastecimiento y otros servicios), el 18,7% se perdió debido al mal tiempo y el 10,1% permanecieron inactivas por circunstancias varias.

El Malecón del Este se comenzó a construir el día 19 de febrero de 1954 y se terminó al 14 de junio de 1956. Dicha estructura tiene una longitud de 3 250 mts. contados desde su punto de arranque en la Costa Norte de la Isla Zapara hasta la línea de 24 pies de profundidad en el Golfo de Venezuela. Su plataforma de coronamiento tiene 7,20 metros de ancho con taludes de 1:2 del lado Este y de 1:1,5 por el Oeste. La construcción de piedra suelta, se efectuó con caliza de la isla de Toas, y se emplearon en ella 1 100 000 toneladas. La construcción del Malecón del Oeste fue aplazada por existir dudas acerca de su conveniencia o necesidad inmediata.

CAPITULO III

MANTENIMIENTO Y MEJORAS SIN LA DRAGA ZULIA

El 8 de diciembre de 1956, fecha de conclusión de los trabajos contratados para el Canal Exterior, marca el término oficial del período de construcción; sin embargo, por haberse dragado primero la mitad oriental del canal, se permitió el tráfico de salida para tanqueros tipo T2 de 18 000 toneladas (114 000 barriles), con seis meses de anterioridad, es decir desde junio de 1956. Pero la experiencia adquirida durante el último año de construcción y las tendencias mundiales en cuanto al tamaño de tanqueros, indicaban ya la conveniencia de una serie de mejoras a las cuales se dió comienzo inmediatamente después de la inauguración.

En primer lugar se decidió cambiar el nivel de referencia de la marea media baja (M.M.B.) que veníamos usando, y con respecto a la cual teníamos 35 pies de profundidad, por el nivel medio de las mareas mínimas mensuales (M.M.M.) que nos daba solamente $33\frac{1}{2}$ pies, efectuado este cambio, debíamos profundizar el canal $1\frac{1}{2}$ pies para mantener los 35 pies proyectados originalmente. En segundo lugar se resolvió que el Canal Interior no era suficientemente seguro con sólo 600 pies de anchura en el fondo, por lo cual convenía elevar esta cifra a 800 pies y finalmente, se llegó a la conclusión de que era necesario aumentar la profundidad de 35 a 45 pies (M.M.M.) debido al incremento en las dimensiones

COASTAL ENGINEERING

de los tanqueros. En este capítulo se presentan los resultados de los esfuerzos del Instituto para llevar a cabo el anterior programa con los equipos disponibles, sin la ayuda de la draga Zulia.

La nueva profundidad de 45 pies (M.M.M.) significó una extensión del dragado hacia el Norte, de 11 342 metros hacia el Sur de 14 140 metros, además de tres tramos entre el Brazo y la entrada del Lago, con un total de 19 950 metros. El trecho de canal continuo sometido a mantenimiento tiene ahora, por lo tanto, una longitud total de 60 582 metros, y además hay un trecho discontinuo de 40 300 metros lo cual arroja un total por supervisar superior a los cien kilómetros (100 882 metros).

El ensanche y gran parte de la profundización del Canal Interior se efectuaron empleando la draga de tubería Jamaica Bay, la cual había quedado inactiva en la zona a la terminación de los trabajos de construcción. El volumen extraído alcanzó la cantidad de 16 293 155 de metros cúbicos, y el trabajo se realizó en el período del 21 de junio de 1957 al 21 de febrero de 1960, en que dicha draga fue retirada por haber comenzado sus actividades la Zulia tres días antes.

En el mantenimiento y profundización del Canal Exterior, estuvieron trabajando cinco dragas de tolvas (sin incluir la Zulia) la última de las cuales fue retirada el 6 de agosto de 1960. En ningún momento trabajaron más de tres de ellas a la vez y cuando el mal tiempo interrumpía su trabajo pasaban a colaborar en el Canal Interior. El volumen dragado por estas en el período del 5 de diciembre de 1956 al 6 de agosto de 1960, fue de 11 464 335 metros cúbicos para el Canal Exterior y de 7 263 862 metros cúbicos para el Canal Interior.

El dragado en la parte Exterior hizo crisis en 1957 pues con los dos dragas de tolvas que tenía bajo contrato, no solamente estaba el Instituto incapacitado de efectuar la profundización sino que sus esfuerzos por alcanzar y mantener los 35 pies (M.M.M.), no tenían éxito, y en algunos sitios se estaba perdiendo profundidad. En esta emergencia el U.S.A.C.E. arrendo al Instituto, por pocos meses, la draga Chester Harding con ayuda de la cual logró recuperar algo de la profundidad perdida.

Basándose en los resultados obtenidos con la draga HAM-302, el Instituto decidió arrendar la nueva draga HAM-303 de iguales características, la cual comenzó a operar el 30 de octubre de 1958. La crisis del equipo de dragado para el mantenimiento del Canal Exterior quedó así aparentemente resuelta empleando las tres dragas de tolvas: HAM-302, Sandpiper y HAM-303, pero el ritmo del progreso era tan lento que hubiera sido imposible con ellas solas alcanzar dentro de un tiempo, ni remotamente razonable la profundidad de 45 pies. Por otra parte siendo los costos unitarios obtenidos con el empleo de varias dragas

"DRAGADO DE AGITACION CON BRAZO" EN EL CANAL DE MARACAIBO — VENEZUELA

pequeñas, naturalmente superiores a los que se obtendrían con una de gran capacidad, el costo final de la profundización a 45 pies M. M. M. hubiera sido mucho mayor.

Durante el período crítico de 1957, habíamos podido observar el excelente trabajo que estaba realizando en el dragado de Boca Grande, en el Delta del Orinoco, la draga experimental Sealane funcionando con el nuevo sistema de dragado de "agitación" con brazo, que con tan buenos resultados ya habíamos ensayado por tres (3) semanas en el Canal Exterior de Maracaibo en Noviembre de 1956. Este nuevo tipo de draga, descrito con más detalles en el Capítulo que sigue, parecía ofrecer la única solución satisfactoria de los problemas tanto técnicos como económicos que presentaban el mantenimiento y mejoras del Canal de Maracaibo y por ello el Instituto resolvió continuar y llevar a feliz término, las negociaciones iniciadas con la National Bulk Carriers (casa matriz de la Seadredge Company, Inc.), para la construcción y arrendamiento de una gran draga de este tipo, la actual Zulía.

CAPITULO IV

DRAGADO POR AGITACION

EL DRAGADO POR AGITACION CON DRAGAS DE TOLVAS

El "Dragado por agitación", efectuado hasta hace poco únicamente con dragas de tolvas, es un método por medio del cual se hace desbordar sobre la superficie del agua toda la mezcla de líquido y sólidos extraídos del fondo, sin buscar o esperar su concentración en las tolvas, a fin de que una parte importante de dicho material sea transportado por las corrientes litorales, fluviales o de mareas que actúen en la zona de trabajo, hasta alcanzar un área de deposición fuera de los límites del Canal. En el libro "The Hopper Dredge" publicado por U.S.A.C.E. en 1954, se detallan el origen y aplicaciones de este método.

El Dibujo No. 3 ha sido preparado por el I.N.C., siguiendo el presentado en la página 308 del libro citado, igualmente basado en la Ley de Stokes para las siguientes condiciones:

Gravedad específica de la partícula:	2.65
" " del agua:	1.00
Aceleración de la gravedad:	981 cm/seg. 2
Temperatura del agua:	20°, 25° y 30° C

Para el uso de este gráfico es necesario determinar el tiempo (T), en minutos, que tarda en caer, en un metro de profundidad, la partícula de mayor tamaño que llega al área de depósito. A este fin se parte de la fórmula siguiente:

COASTAL ENGINEERING

$$T = 0.0167 \times \frac{D}{p \times v} \text{ (minutos)}$$

donde: D = Distancia entre el punto de caída del material agitado y el sitio de depósito; expresada en me tros.
p = Profundidad del sitio de depósito, en metros.
v = Velocidad de la corriente, en mts./seg.

Por medio de dicho gráfico se puede estimar el porcentaje del material agitado que sale definitivamente fuera de la zona dragada. Para su empleo se deberán efectuar previamente análisis granulométricos del material, a fin de determinar las proporciones en que se encuentran los tamaños de los granos que lo forman; se necesitará además, estudiar la velocidad y dirección de las corrientes principales, la topografía del fondo y las distancias de las probables trayectorias del material agitado.

Una vez analizada la posibilidad teórica de realizar el dragado por el método de agitación deberán efectuarse exhaustivos ensayos prácticos con la draga destinada al trabajo proyectado, en las condiciones más variadas que se espera encontrar en el sitio. Partiendo de estos ensayos y de los volúmenes efectivos a dragar, obtenidos por medio de sondeos, se podrá tomar la decisión acerca del método más adecuado, escogiendo entre el dragado con tolvas, es decir, cargando y transportando lejos al material excavado, y el método de dragado por agitación en el cual la naturaleza se hace cargo del transporte.

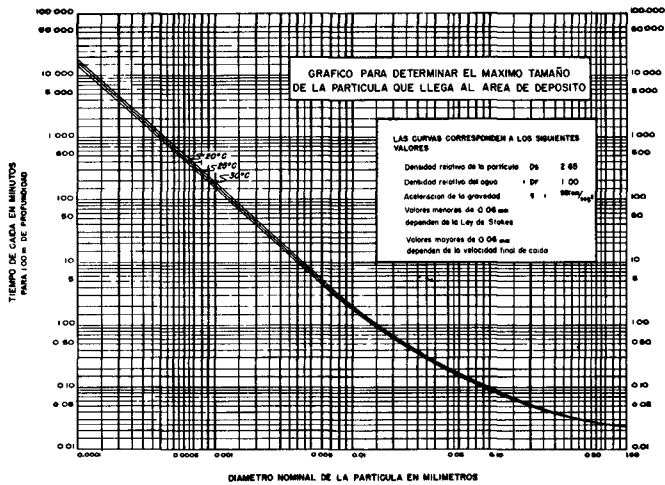
En síntesis, el dragado por agitación con dragas de tolvas, es especialmente ventajoso cuando la mayor parte del material extraído del fondo se deposita naturalmente en sitios de donde no puede regresar a su lugar de origen, en un tiempo razonable. Este método no puede emplearse por lo tanto, cuando se opere en aguas tranquilas, o cuando las corrientes predominantes puedan hacer regresar cantidades apreciables de material dragado al Canal o puerto en construcción, o causar su deposición en algún sitio donde exista la posibilidad de dragados futuros.

EL DRAGADO POR AGITACION CON BRAZO

Casi medio siglo después de iniciado el dragado por agitación se introdujo la variante de lanzar el material extraído lo más lejos posible de la draga, bombeándolo por un conducto o brazo (boom). En esta forma el dragado por agitación se hace aplicable en aguas tranquilas y de mejor rendimiento cuando existen corrientes que arrastren la mayor parte del material dragado fuera de la zona de trabajo. Todos estos aspectos eran de mucho interés en relación con los canales de Maracaibo y del Orinoco.

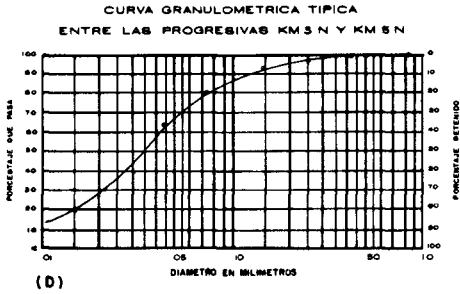
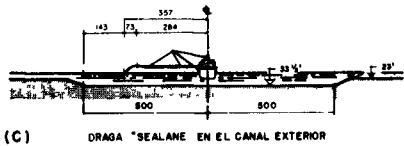
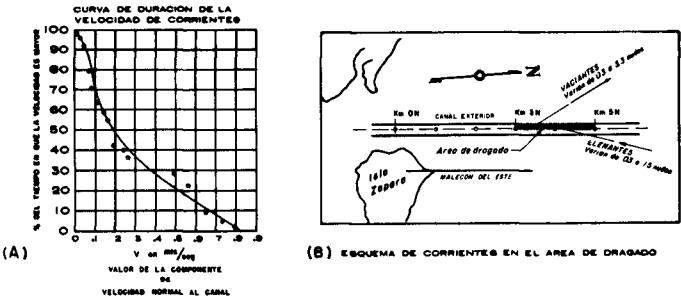
El estudio del régimen de corrientes, comprendiendo no sólo las del

“DRAGADO DE AGITACION CON BRAZO” EN EL CANAL DE MARACAIBO— VENEZUELA



Dibujo No. 3

CANAL DE MARACAIBO OPERACION DE LA DRAGA "SEALANE" DURANTE EL MES DE NOVIEMBRE DE 1956



Dibujo No. 4

COASTAL ENGINEERING

río Orinoco sino las originadas de las mareas, y el de la granulometría del material del lecho, basado en numerosas muestras obtenidas por la Orinoco Mining Company, indicaron condiciones favorables al empleo del dragado de agitación con brazo. Como resultado de todas las circunstancias anteriores, dicha compañía contrató el uso de la draga experimental Sealane.

La Sealane fue construída tomando un tanquero del Tipo T-2 e instalándole una rastra a cada lado con los correspondientes equipos de bombeo y arreglando la descarga en forma que todo el material fuera expulsado por un brazo formado por dos tubos de 25 pulgadas de diámetro y 76,20 metros de largo medidos a partir del costado del buque. El brazo de descarga sostenido por una trípode, era naturalmente rígido y no ofrecía las ventajas que tendría la draga definitiva cuyo brazo estaría montado en una plataforma giratoria.

El Instituto Nacional de Canalizaciones en conocimiento de las tramitaciones anteriormente mencionadas y con vista a las dificultades que se tenían para terminar la construcción del Canal Exterior (ver Capítulo II) de la Barra de Maracaibo, obtuvo de la Orinoco Mining Company, permiso para que la Sealane hiciera su primer ensayo en dicho canal antes de pasar al Orinoco.

La Sealane inició sus trabajos el 7 de noviembre de 1956 y, a fin de utilizar al máximo las corrientes predominantes de la zona las cuales tienen una componente normal al eje del canal, se ordenó limitar el dragado con brazo a la mitad occidental del Canal Exterior, entre las progresivas 3 Kms. 000 N y 5 Kms. 000 N bombeando hacia el Oeste únicamente. De esta manera se buscaba garantizar un mayor volumen de dragado efectivo evitando las contingencias que podían presentarse a consecuencia del bombeo de material hacia el Este, contra la corriente usual, dentro de un canal de 1 000 pies de ancho. En la estimación teórica de la eficiencia de esta operación de dragado que presentaremos más adelante, se podrá apreciar que, efectivamente, esta disposición garantizaba la salida de todo el material bombeado fuera del área del canal.

Por ser éste el primer trabajo de una draga de brazo, creemos interesante presentar un análisis de las condiciones y características del trabajo realizado por la Sealane en el canal de la Barra de Maracaibo.

La distribución del tiempo de trabajo entre las 16:00 horas del 7 de noviembre, cuando comenzó, y las 12:00 del 1º de diciembre cuando terminó, es como sigue:

"DRAGADO DE AGITACION CON BRAZO" EN EL CANAL DE MARACAIBO — VENEZUELA

Horas de bombeo (dragando):	316:55
" en viaje de regreso:	
(sin dragar)	<u>68:18</u>
Total horas de operación	385:13
Demoras por accidentes, re-	
paraciones, etc.:	<u>186:47</u>
Total de horas empleadas	572:00

La producción total estimada a base de las curvas de operación de las bombas fue de 384 670 m3, y de élla se calcularon los siguientes rendimientos:

Producción por hora de bombeo:	1 214 m3/hora
" " " " operación:	999 "
" " " " presencia:	672 "

Las estimaciones teóricas de que la totalidad del material bombeado por el brazo saldría fuera del canal quedaron confirmadas por sondeos posteriores al dragado. Dichas estimaciones se efectuaron con base a los tres elementos que se describen a continuación:

- 1) Un estudio aproximado de corrientes en la zona, el cual nos indicó que tanto las originadas por la marea llenante como por la vaciante, mantenían un componente hacia el oeste, normal al eje del canal según se puede apreciar del Dibujo No. 4-B. Los valores y duración promedio de esta componente transversal al canal se presentan en forma gráfica mediante la curva de duración, del Dibujo No. 4-A, de la misma página.
- 2) Las diversas posiciones del punto de agitación. En el croquis del Dibujo No. 4-C se indica la ubicación del punto de agitación es decir, el punto de caída del chorro de material - en la superficie del agua, cuando la draga está en su posición extrema del área de dragado. Este punto varió entre la distancia máxima indicada en el croquis, 44 mts. (143'), al Este del borde Occidental del Canal, y 109 mts. (357') al Oeste del mismo borde. Para la profundidad media del banco se usó 7 mts. (23').
- 3) La curva granulométrica típica del material dragado por la Sealane, el cual se podría clasificar como un limo fino conteniendo arena muy fina. Esta curva se presenta en el Dibujo No. 4-D.

COASTAL ENGINEERING

De la curva de duración de la componente Oeste de la velocidad de corriente, obtenemos 0.10 mts/seg. como el valor sobre el cual estará la velocidad durante el 80% del tiempo de dragado; dicho valor será usado para obtener las estimaciones de asentamiento del material agitado.

En el cuadro que sigue se calculan los porcentajes de material que salen del canal para varias distancias del punto de agitación a su borde occidental mediante la aplicación del gráfico No. 1 mencionado en la primera sección de este Capítulo, y del uso de la curva granulométrica del material dragado.

Distancia al borde (mts.)	Velocidad corriente mts/seg.	T (minutos)	d m.m.	% que sale del canal
44	0.10	1.136	0.14	93
24	0.10	0.572	0.22	96
12	0.10	0.286	0.35	98

De los valores obtenidos en el cuadro anterior para los porcentajes de material que salen del canal se establecía que, aún en las condiciones más desfavorables de posición de la draga, más del 93% del material - bombeado debía considerarse como efectivamente dragado durante más del 80% del tiempo de operación.

Una vez terminado con éxito este dragado de ensayo en la Barra de Maracaibo, la draga Sealane siguió a la desembocadura del Orinoco para iniciar la construcción del canal de la Barra de Boca Grande. La Sealane comenzó el dragado a las 10:00 horas del 10 de diciembre de 1956 y para el 15 de noviembre de 1958 había terminado la construcción de un canal de 48 150 metros (26 millas) de longitud, 122 mts. (440 pies) de ancho y profundidad mínima de 10.40 mts. (34 pies), además de haber realizado otros dragados de menor magnitud aguas arriba del Orinoco.

El trabajo de la Sealane demostró ampliamente la efectividad y economía del dragado de agitación por brazo. Con el empleo de este método que alteraba a fondo algunos conceptos sostenidos hasta entonces en materia de dragados, se abrían nuevas perspectivas para dragar y mantener canales como el de Maracaibo y el de la Boca Grande del río Orinoco, cuyos problemas eran antes considerados de muy difícil si no de imposible solución.

"DRAGADO DE AGITACION CON BRAZO" EN EL CANAL DE MARACAIBO—VENEZUELA

CAPITULO V

DESCRIPCION DE LA DRAGA ZULIA

La urgente necesidad de acelerar la profundización del canal de Maracaibo y de asegurar adecuadamente su mantenimiento, unidas a la imposibilidad de obtener equipos adicionales de dragado, llevaron al Instituto Nacional de Canalizaciones, como se dijo antes, a la conclusión de que era necesario emplear el nuevo sistema de dragado por agitación con brazo.

Como resultado de esta decisión se contrató con la Seadredge Co. el diseño, construcción y arrendamiento de una draga que pudiera a voluntad, trabajar con brazo o cambiar a tolvas. A esta draga se le dió el nombre "Zulia", en honor del Estado venezolano en el cual se encuentra el Lago de Maracaibo.

La draga Zulia por la ubicación de sus tolvas en el medio del buque, está clasificada como una draga de tolvas tipo tanquero. En su construcción se tuvo en cuenta toda la experiencia adquirida en el funcionamiento de la draga Essayons del U.S.A.C.E., la cual hasta el momento de la botadura de la Zulia, era la más moderna y efectiva draga de tolvas del mundo. Como draga de tolvas, la draga Zulia desplazó a la Essayons del puesto número uno en el mundo y, como draga de brazo, fue la única en su tipo hasta que se construyó en el mismo astillero, para trabajar en el Canal del Orinoco, la draga ICOA que es muy similar a ella.

En el cuadro a continuación pueden compararse las características de la draga Zulia con las de la Essayons:

	<u>Draga Zulia</u>	<u>Draga Essayons</u>
Entrada en servicio	Diciembre 1959	---
Año de construcción	1958	1949
Eslora	548' 6"	525' 0"
Manga	95'	72'
Puntal	40' 0"	40' 5"
Largo del brazo (boom):		
A partir del eje del barco	114.5 mts. (375' 6")	No tiene
" " " costado	100.0 " (378')	" "
Diám. Int. del brazo	1.45 " (57')	" "
Capacidad de tolvas	6 580 m3	6 116 m3
Calado máximo cargada	26' 6"	28' 0"
" en lastre	16'	---

COASTAL ENGINEERING

Profundidad máxima de dragado	60'	60'
Número y diámetro de tubos de succión	2 laterales de 36" 2 en fosas de 36"	2 laterales de 36" No tiene
No. y tipo de rastras	4 - California	2 - California
No. y tipo de muñoneras	2 deslizantes 2 fijas	2 deslizantes No tiene
Bombas de dragado:		
Número y diámetro	4 de 32"	2 de 32"
Impulsión de las bombas	2 turbinas de vapor de 6 000 HP c/u	2 motores eléctricos de 1 850 HP c/u
Propulsión:		
Hélices	2 de paso fijo	2 de paso fijo
Maquinaria	2 turbinas de vapor con engranaje de reducción de 6 000 HP c/u	2 turbinas eléctricas de 4 000 HP c/u
Velocidad máx. cargada	13 nudos	16.55 nudos

NOTA: La draga ICOA, diseñada especialmente para trabajar en el Orinoco, difiere de la Zulia principalmente en su capacidad de tolvas que es sólo de 2 982 metros cúbicos y en el uso de motores diésel en lugar de turbinas a vapor. -

El brazo de la Zulia está constituido por una estructura tubular que soporta, en forma de voladizo, por un lado la tubería aérea de descarga, y por el otro el contrapeso de 1 080 toneladas, necesario para balancear su propio peso y el de la tubería llena de la mezcla dragada.

Mediante un complejo sistema de conexiones, derivaciones, válvulas de paso y válvulas de retención, se combinan las tuberías de descarga de las cuatro bombas y se puede conducir el flujo del material dragado bien sea a las tolvas, bien al brazo. Dichas bombas tienen una capacidad nominal total de 43 150 metros cúbicos por hora para una mezcla con densidad de 1 050 gr/litro, lo cual equivale a una producción aproximada de 5 000 m³/hora de material dragado, considerando una densidad para el material en sitio, igual a 2 000 gr/litro.

La tubería de descarga de 32" de cada bomba empalma en la cubierta principal con una tubería de recolección de 57" y de ahí sube para conectar con la tubería del brazo aéreo de igual diámetro. Todo el sistema de la tubería de descarga, a partir de su empalme con las bombas está recubierto con goma para evitar la abrasión que produciría en la tubería de acero, la mezcla de agua y sólidos dragados, la cual sale, en forma de impresionante chorro, con velocidad aproximada -

"DRAGADO DE AGITACION CON BRAZO" EN EL CANAL DE MARACAIBO — VENEZUELA

de 25 pies por segundo, por la boca de la tubería, situada a 20 metros sobre el nivel del agua.

CAPITULO VI

ESTUDIOS TEORICOS PARA LA OPERACION DE LA DRAGA ZULIA

Mientras se construía la Zulia se comenzaron una serie de estudios con objeto de encontrar la manera mas eficiente de emplearla en el Canal de Maracaibo. Dichos estudios han continuado y se continuarán en el futuro, buscando obtener un rendimiento cada vez mayor y más económico.

Fundamentalmente los estudios consistieron en:

- a) Establecer las condiciones que determinarían la selección del sistema de dragado que se debía usar para cada caso, es decir, si se dragaba con tolvas o se empleaba el dragado de agitación con brazo, y
- b) En caso del dragado con brazo, determinar si se colocaba éste a babor o estribor, en relación con las corrientes predominantes y la granulometría del material dragado.

Para el análisis teórico de estos problemas, se ha preparado el siguiente conjunto de gráficos, en los cuales hacemos uso de las características de sedimentación del material agitado según la composición granulométrica:

1) Un gráfico (Dibujo No. 5) que, hecho a base de la fórmula establecida en el Capítulo IV, relaciona los siguientes elementos:

- a) La componente normal al canal de la velocidad de corrientes;
- b) El cociente que resulta de dividir la distancia (D) del punto de caída del material dragado y la línea de borde del canal, entre la profundidad (p) de dicho borde, y
- c) El diámetro nominal (d) de la partícula de mayor tamaño que se deposita fuera del canal para una temperatura de 25°C y se presentan frente al respectivo valor de "T" en el eje de las abscisas.

2) Sobre un gráfico similar podrían llevarse las curvas granulométricas de los distintos suelos, las cuales nos determinarían los porcen

COASTAL ENGINEERING

tajes de material que, para cada suelo, caen fuera del canal, según el tamaño que determinen la velocidad y la relación $\frac{D}{p}$; tal cosa, sin embargo, no sería práctica por la confusión que significaría el trazado de cien o más curvas en un mismo gráfico. Para evitarlo se han agrupado los suelos según la característica que hemos considerado de mayor importancia en su distribución granulométrica, y la cual se define como - el diámetro nominal de una partícula tal, que el 80% del material sea más fino que ella. Esta característica, a la cual representamos con el símbolo D80, ha sido seleccionada con el fin de determinar con mayor precisión las cualidades del suelo que se identifica, dentro del rango de valores comprendidos entre el 60% y el 100% de la curva granulométrica.

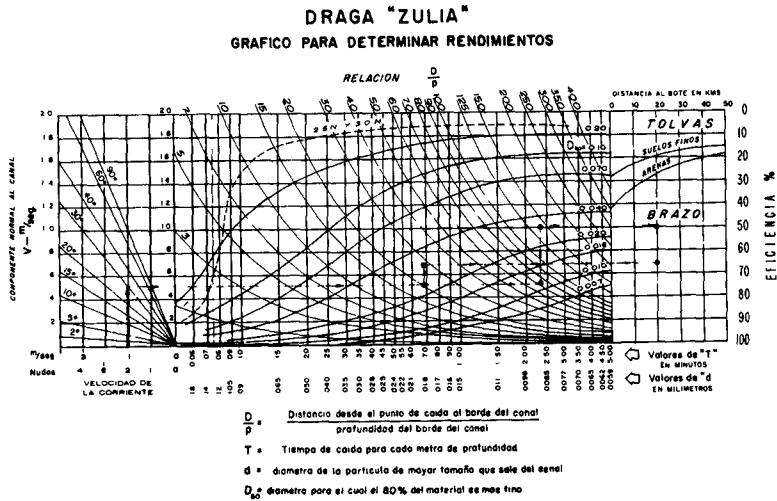
Al hacer el agrupamiento de los suelos según el tamaño fijado del 80% (D80), se notará que hay variación en la distribución granulométrica para suelos de igual valor de D80. Se observó que esta variación es de magnitud mayor a medida que aumentan los tamaños del D80 y también a medida que la curva se aleja de los valores de dicho D80, siendo esto último muy natural por lo explicado en el párrafo anterior. Sin embargo, si se toma en cuenta la precisión dentro de la cual trabajamos, no sólo en lo que se refiere a los métodos de laboratorio utilizados en los análisis de suelos, sino también en lo que se relaciona con lo representativo del muestreo, distribución y medición de la dirección y magnitud de velocidades de corrientes, estimación de distancias y velocidad real de caída de las diferentes partículas, podemos considerar que variaciones que se encuentren dentro del margen del 10% son aceptables - para las estimaciones teóricas que pretendemos realizar.

Basados en este criterio, fueron llevados a un gráfico en escalas semilogarítmicas los porcentajes de material más finos que los diámetros nominales de 0.010; 0.015; 0.025; 0.05 y 0.10, correspondientes a las 72 muestras de suelos tomadas a lo largo del canal, y de acuerdo a sus respectivos valores D80. Para cada diámetro fueron trazadas las curvas promedio obteniéndose la familia de curvas que forman el Dibujo No. 6-A.

Este gráfico nos da, aproximadamente, un promedio de la distribución granulométrica de suelos según su D80, en forma de porcentajes - más finos que las partículas de diámetro "d" que se indican en cada curva. De él sacamos los valores que utilizamos en el trazado de las curvas promedio granulométricas, correspondientes a los suelos con D80 igual a: 0,007; 0,010; 0,015; 0,020; 0,040; 0,070; 0,10 y 0,20, las cuales aparecen superpuestas al gráfico usado para la determinación del diámetro de la partícula de mayor tamaño que sale fuera del canal. (Dibujo No. 5, parte central).

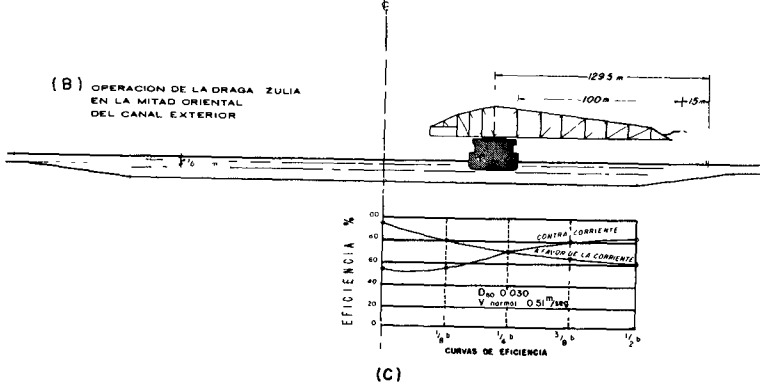
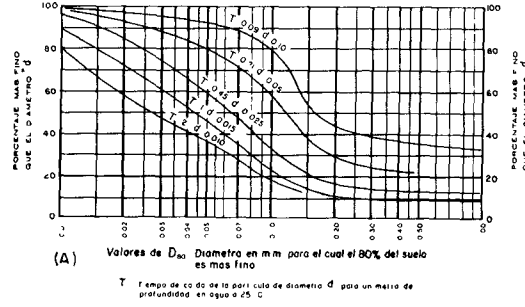
Las curvas granulométricas de aquellos suelos que tengan características muy particulares y que se consideren importantes para el pro-

“DRAGADO DE AGITACION CON BRAZO” EN EL
CANAL DE MARACAIBO — VENEZUELA



Dibujo No. 5

CANAL DE MARACAIBO
CURVAS PROMEDIO DE DISTRIBUCION GRANULOMETRICA
DE LOS SUELOS DEL FONDO DEL CANAL
DE ACUERDO AL TAMAÑO DEL 80% (D_{80})



Dibujo No. 6

COASTAL ENGINEERING

ceso de dragado, pueden incluirse especialmente, dentro del gráfico; tal como se ha hecho con la curva que corresponde al suelo entre las profundidades 2 kms. 500 y 3 kms. 000 Norte, debidamente identificada.

3) El Dibujo No. 5 (parte izquierda) nos da la componente normal al canal, de la velocidad de la corriente. Se ha dibujado adyacente al gráfico principal y en él se entra con la magnitud de la corriente en las abscisas, obteniendo el valor de la componente en las ordenadas, según el ángulo de la corriente con el eje del canal.

4) Curva comparativa entre rendimientos del dragado con brazo y del dragado con tolvas para el caso de la Zulia. El objeto de esta comparación es determinar si el volumen efectivo de dragado con brazo es igual o mayor que el dragado con tolvas para un tiempo igual de presencia, escogiéndose el método que resulte mayor.

La comparación se representa mediante la siguiente desigualdad:

$$P_b \times T_c \times E \geq V_t$$

Donde P_b = Volumen promedio de material bombeado por el brazo en metros cúbicos por minuto.

T_c = Tiempo de ciclo de la operación con tolvas

E = Eficiencia del dragado con brazo

V_t = Volumen transportado en las tolvas en cada ciclo

Considerando a P_b y V_t constantes, tendremos como variables a T_c y E , las cuales se calculan en los dos números siguientes.

5) El tiempo total del ciclo de operación con tolvas está expresado por la ecuación:

$$T_c = t_l + t_e + t_v + t_d + t_r$$

en la cual:

t_l = tiempo de bombeo necesario para llenar las tolvas

t_e = tiempo de evoluciones

t_v = tiempo de viaje al sitio de bote

t_d = tiempo de descarga de las tolvas

t_r = tiempo de regreso al corte

El tiempo de ciclo se puede considerar constante para un sitio de corte y otro de bote determinados, y para un mismo tipo de suelo dragado.

Los factores que hacen variar el tiempo de ciclo del dragado con

"DRAGADO DE AGITACION CON BRAZO" EN EL CANAL DE MARACAIBO — VENEZUELA

tolvas son los siguientes:

a) El tiempo de bombeo necesario para llenar las tolvas (t_l) el cual varía de acuerdo con la velocidad de asentamiento de las partículas que forman el suelo, es decir de su granulometría.

Para suelos de grano grueso, el tiempo de carga es menor que para los suelos finos. Esta característica es muy importante y siempre debe ser tomada en cuenta para la programación de los dragados. En el caso de la Zulia, hemos observado que el tiempo de carga varía entre 160 y 270 minutos según las características de asentamiento del material, pero no se ha tenido todavía la oportunidad de determinar las relaciones que deben existir entre las variaciones granulométricas y las del tiempo de carga. Para tener una idea de cómo nos influiría esto en el dragado, tomaremos las cifras dadas anteriormente para el tiempo de bombeo, como valores extremos entre suelos de grano grueso y suelos de grano fino, aptos para ser dragados con tolvas; esta última observación se debe a que hay suelos cuya granulometría es tan fina que descarta definitivamente el dragado con tolvas por su poco rendimiento.

b) El tiempo de evoluciones (t_e) es la suma de los tiempos que invierte la draga en suspender el bombeo de material para virar al fin de cada pase. Aunque varía según la longitud del corte y el tiempo de carga, puede considerarse constante ya que estas variaciones son muy pequeñas e influyen poco en el tiempo total del ciclo. Para este tiempo hemos tomado el valor de 32 minutos, que es un promedio obtenido de varias operaciones de la draga Zulia.

c) Los tiempos de viaje para descargar (t_v) y de regreso al sitio de corte (t_r) varían con la distancia entre este último y el sitio de bote seleccionado, siempre que se considere uniforme la velocidad de la draga. Por lo regular el sitio de bote permanece fijo, variando estos tiempos solamente según el lugar del corte en el canal. Para nuestro caso, los calcularemos a base de una velocidad de la draga igual a 12 nudos y para los sitios de botes ubicados cerca de las progresivas - 11+000 Norte y 25+000 Sur del Canal de Maracaibo.

En la práctica los viajes de ida al sitio de bote y regreso al de corte se aprovechan dragando con brazo durante el trayecto recorrido en el canal, siendo por lo consiguiente los tiempos invertidos mayores que si se efectuara la operación tradicional con tolvas. Sin embargo, para los efectos comparativos que se persiguen, debemos considerar la operación normal es decir, que la draga navega libremente tanto en su viaje al lugar de bote como al regreso de él.

Los tiempos de viaje serán entonces:

$$t_v = t_r = \frac{L}{v}$$

COASTAL ENGINEERING

Siendo $v = 12$ millas/hora $= 0.20$ millas/min. $= 0.37$ km/min. y estando L expresado en kilómetros tendremos de acuerdo con la fórmula anterior:

$$t_v = t_r = \frac{L}{0.37} \text{ (minutos)} = 2.70 \times L \text{ (minutos)}$$

d) El tiempo de descarga de las tolvas (t_d) es constante e igual a 7 minutos.

e) Sustituyendo los valores obtenidos anteriormente en la relación que nos da el tiempo de ciclo total en minutos, tenemos:

1º) Para suelos de grano grueso que llamaremos arenas

$$t_c = 160 + 32 + 2 \times 2.70 L + 7 = 199 + 5.40 L$$

2º) Para suelos de grano fino

$$t_c = 270 + 32 + 2 \times 2.70 L + 7 = 309 + 5.40 L$$

En ambos casos L será la distancia del sitio de dragado al sitio de bote, expresado en kilómetros.

6) Como valor de la producción del brazo (P_b) utilizaremos el valor garantizado por las especificaciones de construcción y el contrato de arrendamiento, el cual es de 5 070 m³/hora. A esta producción debemos afectarla de un coeficiente de reducción, debido al tiempo necesario para evoluciones, el cual se estima en 30 minutos cada 6 horas, o sea 5 minutos por hora. La producción efectiva será:

$$\frac{(60 - 5)}{60} \times 5\,070 = 4\,647 \text{ m}^3/\text{hora} = 77.45 \text{ m}^3/\text{minuto}$$

7) Volviendo ahora a la desigualdad mencionada en el No. 4 anterior para sustituir en ella los valores que acabamos de determinar para T_c y E y considerando que en la Zulia el volumen de tolvas (V_e) es igual a 6 500 m³ tendremos sustituyendo y despejando E en la desigualdad establecida:

$$77.45 \times T_c \times E \geq 6\,500 \text{ de donde } E \geq \frac{6\,500}{77.45 \times T_c}$$

Sustituyendo a T_c por sus respectivos valores y expresando la eficiencia en porcentajes obtendremos:

$$\text{Para arenas: } E\% \geq \frac{6\,500 \times 100}{77.45 (199 + 5.40 L)} \geq \frac{8\,393}{199 + 5.40 L}$$

"DRAGADO DE AGITACION CON BRAZO" EN EL CANAL DE MARACAIBO—VENEZUELA

$$\text{Para suelos finos: } E\% = \frac{6\,500 \times 100}{77.45 (309 + 5.40 L)} = \frac{8\,393}{309 + 5.40 L}$$

Esta desigualdad se representa en el Dibujo No. 5 (parte derecha), que nos relaciona los valores de E y L, presentado anexo al diagrama que nos da la eficiencia del dragado con brazo, para mayor facilidad.

En este gráfico puede observarse que el tiempo de carga y el de la distancia del sitio de bote, no son los que más influyen en la selección del sistema de dragado, siendo más importantes la relación D/p y la componente normal de velocidad.

De la relación establecida entre la eficiencia del dragado con tolvas y brazo, se deduce además que en todo caso, siempre será más económico dragar con brazo dos veces el mismo material (eficiencia = 50%) que realizar el dragado con tolvas, con la única condición que el material así dragado sea depositado en un sitio donde no pueda regresar al área de excavación.

Iguales consideraciones pueden establecerse para el caso de que sea necesario dragar tres veces el mismo material, (eficiencia: 33.33%) dependiendo esta vez de la distancia del bote y de la granulometría del material, es decir del tiempo de carga de las tolvas. Así tenemos que, para suelos finos, será siempre más económico remover el material tres veces para cualquier distancia al sitio de bote. Para arenas, esto será cierto sólo en el caso de que el sitio de bote esté a una distancia mayor de 10 kilómetros del área de dragado.

A partir de lo establecido anteriormente y de las dimensiones del brazo de la draga Zulía, podemos concluir que no será necesario el uso de tolvas para el dragado del Canal de Maracaibo cuyo ancho, (1.000 pies), garantiza una eficiencia del dragado con brazo, superior al 50% del material bombeado para cualquier condición de corrientes, exceptuando solamente circunstancias especiales como la presencia de obstáculos (por ejemplo las cuatro torres de enfilación) en cuyo caso sería necesario usar las tolvas.

USO DE LOS GRAFICOS

Los gráficos que acompañan nos permiten fácilmente analizar para varias condiciones, los rendimientos del dragado con brazo y con tolvas. El siguiente ejemplo servirá para explicar el uso de ellos:

Supongamos que se desee dragar con la Zulía, un tramo de canal de 1.000 pies de ancho, según el croquis y condiciones que se presentan en el Dibujo No. 6-B.

COASTAL ENGINEERING

Datos:

Velocidad de la corriente = 2 nudos = 3.70 kms/hora
Rumbo " " " = N 21° W
" del eje = N 9° E
Distancia media al sitio de bote = 20 Kms.

La granulometría del suelo señala un D80 = 0.030 mm.

Para estas condiciones de dragado ya hemos establecido anteriormente la mayor economía del dragado con brazo: queda entonces por determinar la posición que debe darse al brazo según el sitio de la draga en el canal.

Supongamos que la draga está trabajando en la mitad occidental del Canal o en el eje del mismo. En este caso es evidente que la posición del brazo debe ser a favor de la corriente es decir hacia el Oeste, aún cuando el chorro de material no caiga sobre el borde del Canal.

Pero supongamos ahora que la draga está trabajando en la mitad oriental del canal bajo las mismas condiciones de corrientes, etc., en cuyo caso el material podría descargarse sobre el banco oriental de donde viene la corriente, y consideremos la posición extrema, es decir, que la draga trabaja a lo largo del borde oriental del Canal. Necesitaremos determinar lo siguiente:

- 1) El material que sedimenta sobre banco oriental del canal
- 2) El material que sedimenta en el canal
- 3) El material que alcanza al banco occidental y se sedimenta allí.

Para el primer punto, partimos de los datos:

$$D = 129.5 \text{ m.} \quad p = 20' \approx 6 \text{ mts.} \quad \frac{D}{p} = 21.5$$

Angulo de la dirección de la corriente con el eje del canal = $21^\circ + 9^\circ = 30^\circ$
Intensidad de la corriente = $V_c = 2 \text{ nudos} = 1.03 \text{ mts/seg.}$

Entramos en el Dibujo No. 5 con el valor $V_c = 1.03 \text{ m/seg.}$ y corriendo la recta correspondiente a los 30° , se determina el valor de la componente normal al canal (v) igual a 0.51 m/seg. . Seguimos paralelamente a las abscisas hasta encontrar el punto correspondiente a $D/p = 21.5$, que nos determina la partícula de mayor tamaño que sale del banco oriental cuyo diámetro nominal es de 0.019 mm. . De aquí se localiza en sentido de las ordenadas el punto de corte con la curva granulométrica.

"DRAGADO DE AGITACION CON BRAZO" EN EL CANAL DE MARACAIBO—VENEZUELA

trica correspondiente a un suelo con $D_{80} = 0.030$, el cual determina una eficiencia del 67%; es decir, que el 33% del material bombeado sedimenta sobre el banco oriental.

Pasando ahora al punto 3° partimos de los siguientes datos:

$$D = 433.5 \quad p = 20' = 6 \text{ mts.} \quad \frac{D}{p} = 72.2$$

Entramos en el gráfico con los mismos valores de corriente y llegamos hasta $D/p = 72.2$, la partícula de mayor tamaño que sedimenta sobre el banco occidental tendrá diámetro nominal igual a 0.0088 m.m. y el punto correspondiente en la familia de curvas granulométricas nos determina una eficiencia del 50%, para lo cual, el gráfico comparativo de rendimientos entre las operaciones con brazo y con tolvas, nos indica la mayor ventaja del dragado con brazo, para la distancia media de bote establecida (20 kms.).

El punto 2° se deduce de los dos anteriores, es decir que en el Canal se deposita el 17% del material bombeado, porcentaje constituido por el material comprendido entre los diámetros nominales de 0.0088 m.m. y 0.019 m.m..

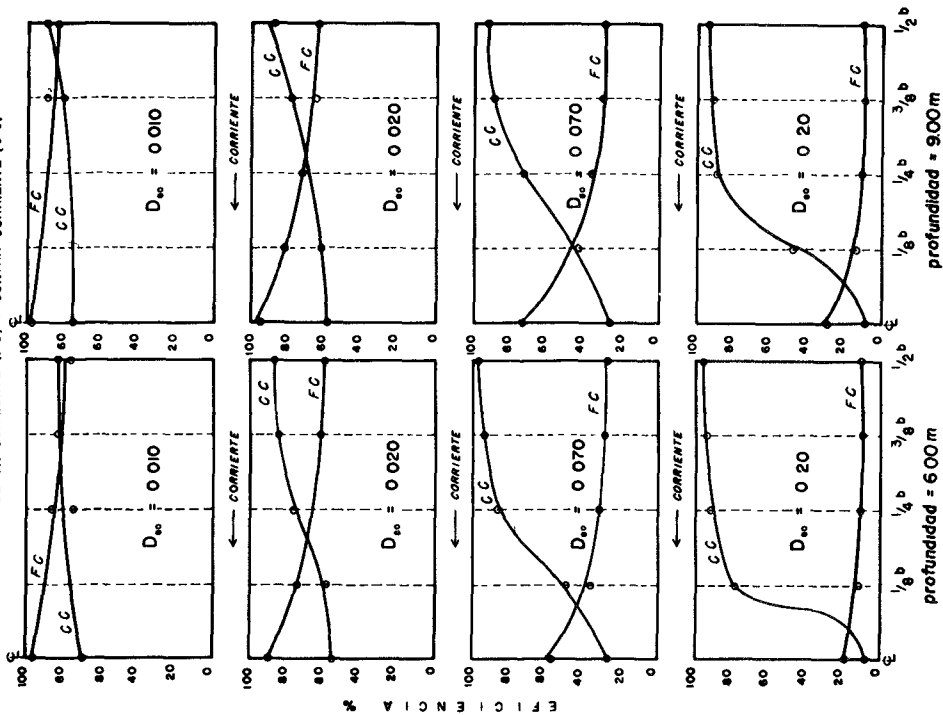
En síntesis, el análisis teórico de la operación de la draga Zulia en estas condiciones nos da un rendimiento total del 83%. Este valor, comparado con el rendimiento del 60% que nos da la operación efectuada con el brazo colocado hacia el oeste, es decir en dirección de la corriente, para el cual $D/p = \frac{174.5}{6} = 29$, nos indica que es más efectiva la descarga contra corriente.

Si, mediante el mismo método, determinamos la eficiencia para las diferentes posiciones que pueda tener la draga en una mitad del canal, obtendremos las curvas que se presentan en el Dibujo No. 6-C las cuales representan los rendimientos comparativos del dragado con brazo a favor de la corriente y en contra de ella. Para este caso y para estas condiciones se observa que a partir del punto medio de la distancia entre el eje y el borde oriental del canal, es más efectivo el dragado contra corriente.

Refiriéndonos a las curvas de eficiencia del Dibujo 6-C, si llamamos "m" la distancia entre el punto de cambio de la orientación del brazo y el eje del canal, podemos establecer que "m" será función de la velocidad (v), de la granulometría del suelo (la cual expresaremos en función de su D_{80}) y de la profundidad de los bancos que limitan el área de dragado (p), o sea:

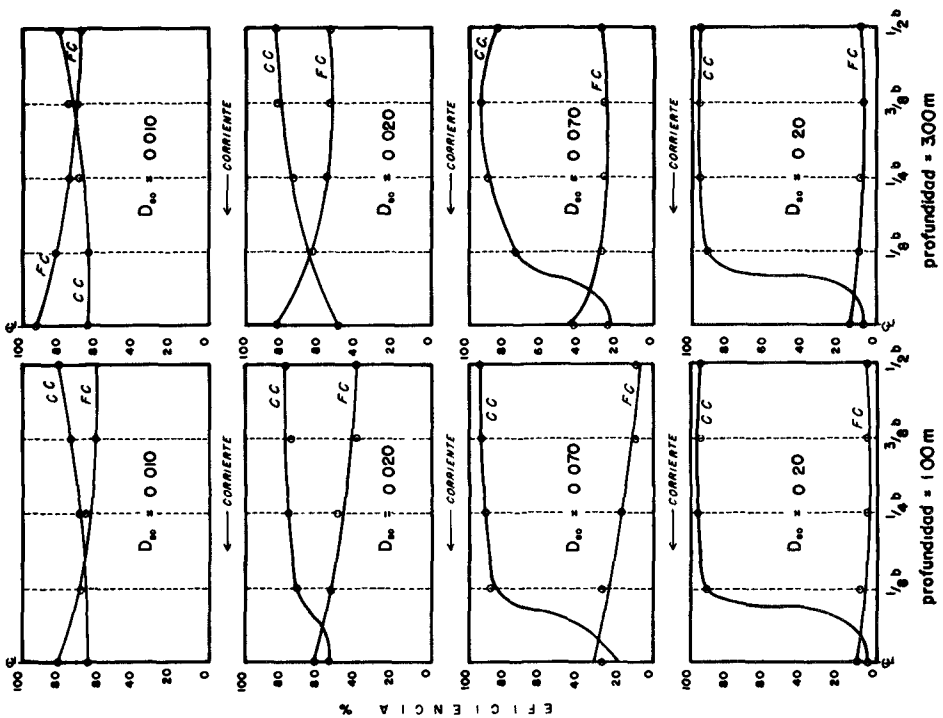
$$m = f(v, D_{80}, p)$$

CURVAS COMPARATIVAS DE EFICIENCIA PARA DRAGADO
A FAVOR DE LA CORRIENTE (FC) Y CONTRA CORRIENTE (CC)



Dibujo No. 8

CURVAS COMPARATIVAS DE EFICIENCIA PARA DRAGADO
A FAVOR DE LA CORRIENTE (FC) Y CONTRA CORRIENTE (CC)



Dibujo No. 7

"DRAGADO DE AGITACION CON BRAZO" EN EL CANAL DE MARACAIBO—VENEZUELA

Si trazamos curvas de eficiencia similares para diferentes valores de los parámetros v , D_{80} y p observaremos, de manera general lo siguiente:

1) Para suelos finos tales como limos y arcillas, y para los valores más frecuentes de la velocidad de corriente, la variación de " m " es mayor que para arenas, sin embargo, la diferencia que existe entre la eficiencia para una y otra condición, no pasa del 15% durante la mayor parte del tiempo.

2) Para suelos arenosos con D_{80} mayor de 0.06 mm. la distancia " m " al punto de cambiar es menor que $1/8$ del ancho del canal, y la eficiencia, dragando contra la corriente a partir de ese punto, es notablemente mayor que operando a favor de ella.

Esto se puede apreciar muy bien de las curvas de eficiencia obtenidas para diferentes profundidades y para suelos con D_{80} igual a 0.010; 0.020; 0.070 y 0.20 milímetros (ver Dibujos Nos. 7 y 8), para los cuales se usa el valor promedio de la componente normal al canal: 0.20 m/seg., obtenido durante los estudios de corriente del canal exterior de Maracaibo. (Veáanse Capítulo IV y Dibujo No. 4-A).

De estos resultados se establece que, en caso de frecuente tráfico por el canal, podría ser ventajoso operar con el brazo hacia el banco más próximo a la draga, independientemente del sentido de la corriente, ya que aún en los casos en que teóricamente exista un ligero aumento de la eficiencia cuando se descarga en sentido contrario, la diferencia podría ser tan pequeña que no compensase el tiempo perdido en maniobras de giración del brazo cada vez que haya que dar paso a los buques que transitan por el canal, ni sea suficiente para justificar el riesgo, por pequeño que este sea, que dicha maniobra conlleva.

Es evidente que análisis teóricos de esta clase, sólo permiten establecer normas generales para la operación de la draga, que estarán más o menos ajustadas a la realidad según la precisión con la cual sean determinados los siguientes parámetros básicos: a) el régimen de corrientes y b) las características y distribución granulométrica del material por dragar.

Las dificultades prácticas existentes para una determinación precisa de estos parámetros a todo lo largo del canal y para cualquier tiempo de operación, obligan a una verificación constante de los rendimientos efectivos del dragado mediante análisis comparativos de operación de la draga, basados en frecuentes sondeos del canal; siendo estos análisis los que en definitiva nos permitirán establecer las mejores normas de trabajo.

COASTAL ENGINEERING

CAPITULO VII

RESULTADOS OBTENIDOS CON LA DRAGA ZULIA

A continuación presentamos un resumen de los resultados de la operación de la Zulia en el Canal de Maracaibo desde el inicio de sus trabajos el 17 de febrero de 1960 hasta el 17 de julio de 1962.

Durante este período de dos años y cinco meses la draga Zulia trabajó a todo lo largo del Canal de Maracaibo desde su extremo norte hasta el extremo sur. La distribución de volúmenes extraídos se señala en los cuadros Nos. 9, 10, 11, 12, 13 y 14.

Puede notarse que en este tiempo la Zulia ha bombeado a través del brazo la cantidad de 104 663 000 m³ de material y dragado por medio de tolvas 2 801 000 m³ lo cual arroja un gran total de 107 464 000 m³. Por otra parte los volúmenes de profundización y de sedimentación, calculados mediante planos de sondeos, indican que el total de material extraído por la Zulia por el método de agitación con brazo, representa un volumen efectivo de dragado igual a 70 462 000 m³., lo cual nos da una eficiencia promedio para dicho método, abarcando todo el canal dentro del período considerado, igual al 67,32%.

Es necesario admitir sin embargo, que existen dificultades para determinar, con la exactitud deseable, los rendimientos efectivos obtenidos en cada kilómetro. Estas dificultades se pueden resumir de la siguiente manera:

1) La máxima precisión que puede obtenerse en el sondeo es de 0.30 mts. (un pie) lo cual representa una posibilidad de error en las estimaciones volumétricas, para un canal de 305 mts. de ancho (1 000'), que puede llegar a ser igual a 50 000 m³/por kilómetro. Este error puede disminuir y aún ser despreciable, en aquellos casos en que el espesor de la capa dragada sea relativamente grande (mayor de cinco pies); sin embargo para volúmenes de dragado relativamente pequeños la inevitable imprecisión instrumental de los sondeos influye en forma importante.

2) La rata de bombeo y el porcentaje de sólidos de la mezcla varían constantemente durante todo el proceso de dragado y los métodos usados para su determinación son relativamente imprecisos. Las cifras que se usan, por lo regular, son promedios estadísticos, válidos solamente para un gran número de valores.

3) La distribución del tiempo de operación por unidad de longitud de canal, sufre también de algunas imprecisiones, por causa de su distribución proporcional en el intervalo comprendido entre las progresivas

“DRAGADO DE AGITACION CON BRAZO” EN EL
CANAL DE MARACAIBO—VENEZUELA

Cuadro No. 9

CARACTERÍSTICAS DEL DRAGADO DE LA ZULIA EN EL CANAL DE MARACAIBO															
PROFUNDIDAD	GRANULOMETRÍA						PROF. MED. DEL CANAL (m)	DENSI- DAD MED. EN g/l	N. DE BOMBEO	VOLUMEN PROFUN- D m³	VOLUMEN SEDIMENT m³	EFICIEN- CIA MEDIA DRAGADO COM. BRASO %	VOLUMEN DRAGADO COM. TOLVAS m³		
	QUE PASA EL CIEZO EN														
	D 80 mm	W 4	10	20	40	60									
NORTE															
0 1	3	100	85	74	19	5	2 10	1925	14 0	2 079 000	533 000	802 000	1 268 000	61 0	67 000
1 2	1 5	100	98	84	40	8	2 40	1935	13 5	2 079 000	733 000	608 000	1 274 080	61 3	67 000
2 3	0 15	100	100	100	94	11	5 20	1950	11 0	3 180 000	997 000	1 192 000	2 189 000	48 8	
3 4	0 082	100	100	100	98	63	7 00	1945	11 0	4 911 000	1 007 000	2 448 000	3 467 000	70 3	
4 3	0 077	100	100	100	99	71	14	1948	13 5	5 405 000	882 000	2 912 000	3 794 000	76 2	
3 6	0 035	100	100	100	100	91	60	1925	15 5	6 069 000	949 000	3 311 000	4 260 000	70 2	
6 7	0 028	100	100	100	100	91	62	1900	17 0	5 846 000	1 012 000	2 397 000	3 799 000	65 0	
7 8	0 026	100	100	100	100	94	64	1850	19 0	4 202 000	970 000	1 931 000	2 921 000	69 3	
8 9	0 028	100	100	100	99	92	63	1820	22	3 131 000	814 000	1 399 000	2 213 000	70 7	
9 10	0 030	100	100	100	100	93	63	1773	24 5	1 983 000	812 000	676 000	1 508 000	76 0	
10 11	0 060	100	100	100	97	84	32	1750	26 5	1 983 000	1 121 000	288 000	1 409 000	74 6	
11 12	0 030	100	100	100	99	85	30	1733	28 0	1 531 000	1 001 000	58 000	1 059 000	69 2	
12 13	0 025	100	100	100	100	93	48	1735	28 5	1 531 000	1 003 000	51 000	1 034 000	68 8	
13 14								1725	29 0	1 551 000	1 123 000	60 000	1 183 000	77 3	
14 15								1723	19 0	1 551 000	1 056 000	61 000	1 117 000	73 0	
13 16								1725—	33 0	1 331 000	984 000	95 000	1 019 000	10 3	
16 17								1723	33 0	1 222 000	875 000	10 000	903 000	73 9	
17 18								1710	34 3	1 038 000	751 000	20 000	771 000	74 3	

Cuadro No. 10

CARACTERÍSTICAS DEL DRAGADO DE LA ZULIA EN EL CANAL DE MARACAIBO															
PROFUNDIDAD	GRANULOMETRIA						PROF MED DEL CANAL (M)	DENSIDAD MEDIO EN g/l	N. DE BOMBEO	VOL USADO PROFUN- D M³	VOLUMEN SEDIMENT M³	VOLUMEN EFECTIVO DRAGADO M³	EFICIENCIA MEDIA DRAGADO CON BRAZO %	VOLUMEN DRAGADO CON TOLVAS M³	
	QUE PASA EL CIEZO EN														
	D 80 m	W 4	10	20	40	60									
NORTE															
19 19							11 90	1680	33 5	933 000	670 000	21 000	691 000	72 4	
19 20							12 20	1643	34 0	933 000	671 000	11 000	682 000	71 4	
20 21							12 50	1650	34 3	933 000	549 000	55 000	604 000	63 2	
21 22							12 80	1643	34 6	955 000	530 000	67 000	397 000	62 3	
22 23							13 10	1645	34 0	614 000	330 000	47 000	377 000	39 3	
TOTAL CANAL EXTERIOR										35 181 000	8 391 000	1 942 000	18 219 000		134 000

Cuadro No. 11

CARACTERÍSTICAS DEL DRAGADO DE LA ZULIA EN EL CANAL DE MARACAIBO															
PROFUNDIDAD	GRANULOMETRÍA						PROF. MED. DEL CANAL m	DENS. MED. DEL SUELO g/cm ³	N. DE BOMBEO	VOLUMEN PROFUN- D m ³	VOLUMEN SEDIMENT m ³	EFICIENCIA MEDIA DRAGADO COM. BRASO %	VOLUMEN DRAGADO COM. TOLVAS m ³		
	QUE PASA EL CIEZO EN														
	D 80 m	W 4	10	20	40	60									
0 1	0 40	100	100	100	77	23	4 85	1910	15 0	1 480 000	462 000	491 000	1 008 000	60 0	185 000
1 2	0 095	100	100	100	99	47	28	1870	17 0	1 376 000	635 000	433 000	825 000	60 0	443 000
2 3	0 11	100	100	100	98	37	17	1850	18 5	1 418 000	729 000	650 000	876 000	68 9	487 000
3 4	0 15	100	100	100	95	18	12	1840	21 5	1 401 000	725 000	621 000	859 000	61 3	487 000
4 5	0 18	100	100	100	98	12	6	1740	23 3	1 451 000	614 000	599 000	869 000	32 6	444 000
5-6	0 10	100	100	100	94	45	23	1770	24 0	1 319 000	631 000	491 000	1 088 000	63 2	234 000
6-7	0 20	100	100	100	95	19	8	1730	27 0	1 473 000	473 000	765 000	1 004 000	60 0	234 000
7-8	0 085	100	100	100	97	67	9	1740	27 3	1 289 000	648 000	368 000	937 000	67 3	39 000
8-9	0 10	100	100	100	99	56	36	1750	28 0	1 312 000	532 000	392 000	883 000	67 3	39 000
9 10	0 07	100	100	100	99	75	29	1730	28 5	1 187 000	540 000	300 000	801 000	67 3	39 000
10-11	0 08	100	100	100	98	64	24	1760	29 0	1 070 000	423 000	308 000	723 000	67 6	
11-12	0 09	100	100	100	97	60	24	1770	29 3	1 098 000	482 000	238 000	720 000	65 6	
12 13	0 09	100	100	100	98	56	20	1775	30 0	1 098 000	456 000	250 000	710 000	64 7	
13 14	0 03	100	100	100	97	90	24	1780	30 0	1 098 000	505 000	250 000	755 000	68 8	
14-15	0 035	100	100	100	97	89	25	1783	29 3	1 098 000	490 000	224 000	714 000	65 6	
15 16	0 10	100	100	100	95	57	13	1790	29 5	1 082 000	461 000	160 000	821 000	37 4	
16 17	0 15	100	100	100	97	38	10	1790	29 5	1 082 000	629 000	278 000	637 000	60 7	
17 18	0 10	100	100	100	99	30	25	1783	29 0	1 082 000	480 000	297 000	777 000	71 3	
18 19	0 09	100	100	100	96	54	22	1780	29 0	1 082 000	556 000	404 000	765 000	70 8	
19 20	0 07	100	100	100	94	78	24	1773	29 6	1 082 000	427 000	190 000	617 000	57 0	

COASTAL ENGINEERING

Cuadro No. 12

CARACTERÍSTICAS DEL DRAGADO DE LA ZULIA EN EL CANAL DE MARACAIBO															
CORTES	GRANULOMETRÍA					PROF MEDIA BOMBEO DEL CANAL (m)	DENSIDAD MEDIA EN SUELO g/l	% DE SOLIDOS	BOMBEO CON BRAZO m³	VOLUMEN PROPULSO m³	VOLUMEN SEDIMENT m³	VOLUMEN EFECTIVO DRAGADO CON BRAZO m³	EFICIENCIA MEDIA DRAGADO CON BRAZO %	VOLUMEN DRAGADO CON VOLAN m³	
	QUE PARA EL DRAGADO SE USO LA 4 10 60 200														
	0.075 mm	0.075 mm	0.075 mm	0.075 mm	0.075 mm										
22-23	0.07	100	100	100	99.71	80	6.70	1775	28.5	1 082.000	477.000	280.000	677.000	62.6	
21-23	0.08	100	100	100	99.65	25	7.90	1770	26.0	1 082.000	532.000	227.000	759.000	70.2	
22-23	0.07	100	100	100	99.79	28	9.49	1765	27.0	2.123.000	580.000	765.000	1.328.000	61.3	
23-26							10.80	1760	15.0	1 482.000	552.000	319.000	871.000	56.7	
26-25							10.10	1755	23.5	1 728.000	952.000	972.000	1.324.000	65.1	
25-24							13.50	1750	23.0	1 355.000	169.000	850.000	541.000	50.0	
24-27							10.10	1740	23.5	1 355.000	46.000	639.000	681.000	80.0	
27-28							11.30	1735	26.0	341.000	67.000	386.000	319.000	59.0	
28-29							11.30	1730	25.0	550.000	53.000	277.000	330.000	60.0	
29-30							12.50	1725	25.5	266.000	86.000	252.000	166.000	67.5	
30-31							14.00	1720	26.5	402.000	133.000	315.000	549.000	61.7	
31-32							12.50	1715	27.0	266.000	47.000	319.000	166.000	67.5	
32-33							12.20	1705	27.5	266.000	132.000	34.000	166.000	67.5	
33-34							12.20	1700	26.0	266.000	100.000	14.000	164.000	67.9	
34-35							11.00	1700	28.5	270.000	70.000	96.000	166.000	61.9	
50-51							15.10	1720	28.5	134.000	90.000		90.000	67.2	
51-52							12.40	1760	29.5	140.000	96.000		96.000	67.1	
52-53							12.50	1750	30.0	328.000	220.000		220.000	67.1	
53-54							12.50	1775	30.0						
54-55							13.10	1815	29.9	630.000	288.000		288.000	67.0	

Cuadro No. 13

CARACTERÍSTICAS DEL DRAGADO DE LA ZULIA EN EL CANAL DE MARACAIBO														
PROFUNDIDAD	GRANULOMETRIA					PROF MEDIA BOMB DEL CANAL (m)	DENSIDAD MEDIA EN SUELO g/l	% DE SOLIDOS	BOMBEO CON BRAZO m³	VOLUMEN PROPULSO m³	VOLUMEN SEDIMENT m³	VOLUMEN EFECTIVO DRAGADO CON BRAZO m³	EFICIENCIA MEDIA DRAGADO CON BRAZO %	VOLUMEN DRAGADO CON VOLAN m³
	QUE PARA EL DRAGADO SE USO LA 4 10 60 200													
SUELO	D 60 mm	U 4	10	60	200									
55-56						12.20	1835	27.5	282.000	169.000		169.000	67.1	
56-57						12.50	1860	23.5						
57-58						14.00	1885	18.0						
58-59						13.10	1920	14.5	65.000	59.000		65.000	72.6	
59-60						12.00	1935	14.5	612.000	463.000		463.000	72.4	
60-61						12.28	1935	16.0	412.000	443.000		443.000	72.4	
61-62						11.80	1950	18.0	622.000	450.000		450.000	72.3	
62-63						11.60	1915	21.0	598.000	473.000		473.000	72.6	
63-64						11.90	1885	23.0	455.000	329.000		329.000	72.3	
64-65						12.40			473.000	342.000		342.000	72.3	
65-66						13.70			91.000	54.000		54.000	72.9	
66-67						14.30								
67-68						14.65								
68-69						13.20	1905	34.0	604.000	225.000	199.000	384.000	63.6	9.38.000
69-70						11.90	1969	33.0	943.000	637.000	158.000	979.000	63.1	9.38.000
70-71						11.50	1943	32.5	943.000	463.000	152.000	621.000	54.9	
71-72						11.80	1970	31.0	943.000	532.000	198.000	690.000	73.2	
72-73						11.90	1875	28.9	944.000	547.000	158.000	709.000	71.6	
TOTAL CANAL INTERIOR									2 282.000	10 838.000	11 976.000	8 215.000		2 657.000

© SERVICIO PUERTO DEL CANAL

Cuadro No. 14

CARACTERISTICAS DEL DRAGADO DE LA ZULIA EN EL CANAL DE MARACAIBO														
SUELO	GRANULOMETRIA					PROF MEDIA BOMB DEL CANAL (m)	DENSIDAD MEDIA EN SUELO g / l	% DE SOLIDOS	BOMBEO CON BRAZO m³	VOLUMEN PROPULSO m³	VOLUMEN SEDIMENT m³	VOLUMEN EFECTIVO DRAGADO CON BRAZO m³	EFICIENCIA MEDIA DRAGADO CON BRAZO %	VOLUMEN DRAGADO CON VOLAN m³
	QUE PASA EL CIEGADO N° 1/4	4	10	60	200									
73-76						12.40			913.000	533.000		533.000	52.4	
76-75						12.80			627.000	450.000		450.000	52.0	
75-74						13.10			589.000	343.000		343.000	52.2	
76-77						13.18			642.000	381.000		381.000	57.6	
TOTAL CANAL INTERIOR									2 282.000	10 838.000	11 976.000	8 215.000		2 657.000
NOTA: SE USÓ BOMBEO Y/O EL DRAGADO CON VOLAN DE EMPLEO DE LOS EQUIPOS DE DREDGEAJE EN LAS OPERACIONES DE DREDGEAJE EN EL CANAL INTERIOR														
SE USÓ BOMBEO Y/O EL DRAGADO CON VOLAN DE EMPLEO DE LOS EQUIPOS DE DREDGEAJE EN LAS OPERACIONES DE DREDGEAJE EN EL CANAL INTERIOR														

"DRAGADO DE AGITACION CON BRAZO" EN EL
CANAL DE MARACAIBO—VENEZUELA

indicadas en las órdenes de dragado, lo cual **no** es rigurosamente cierto.

Sin embargo, las dificultades e imprecisiones anteriores desaparecen cuando se usan cifras globales y se obtienen a partir de ellas los valores promedios de rendimiento y sedimentación. Con estas salvedades, se presentan separadamente para el Canal Interior y Exterior, las cifras de los cuadros siguientes:

RELACION DE VOLUMENES DRAGADOS CON BRAZO
(Del 17-2-60 al 17-7-62)

Descripción	Unid.	Canal Interior	Canal Exterior	Total
Volumen de bombeo	m3	49 482 000	55 181 000	104 663 000
Volumen de profundización (incl. tolvas)	m3	20 858 000	19 391 000	40 249 000
Volumen de sedimentación (incl. tolvas)	m3	13 976 000	18 962 000	32 938 000
Volumen efectivo de dragado	m3	32 243 000	38 219 000	70 462 000
Eficiencia media del dragado		65.16%	69.26%	67.32%

RELACION DE TIEMPOS

TRABAJO EFECTIVO:	Horas	% tiempo de operación
<u>Tolvas:</u>		
Bombeo	1 380.77	7.04
Evoluciones	160.35	0.82
Ida y vuelta a descarga	232.20	1.18
Descarga	64.98	0.33
Total por Tolvas	<u>1 838.30</u>	<u>9.37</u>
<u>Brazo:</u>		
Bombeo hacia el Este	4 466.22	22.78
Bombeo hacia el Oeste	9 686.08	49.40
Evoluciones	613.32	3.13
Total por Brazo	<u>14 765.62</u>	<u>75.31</u>
TRABAJO NO EFECTIVO:		
Mantenimiento y reparaciones	2 738.23	13.97
Transferencias en el trabajo	9.28	0.05
Otras demoras	1.95	0.01
Mal tiempo	2.98	0.02
Tráfico	12.10	0.06
Cese	85.57	0.44
Accidentes	151.47	0.77
Total trabajo no efectivo	<u>3 001.98</u>	<u>15.32</u>
Tiempo total de operac.	19 605.90	100.00

COASTAL ENGINEERING

A partir de las cifras dadas anteriormente, se obtienen los siguientes rendimientos medios:

a) Dragado con brazo:

Volumen bombeado por hora neta de bombeo	7 088 m ³ /hora
Volumen efectivo dragado por hora neta de bombeo	4 772 "

b) Dragado con tolvas:

Volumen dragado por hora de ciclo	1 524 "
-----------------------------------	---------

REFERENCIAS

The Hopper Dredge - Corps of Engineering - U.S. Army Government Printing Office - Washington - 1954.

Fundamentals of Soils Mechanics - Donald W. Taylor - John Wiley & Sons New York - 1948.

Engineering Hydraulics - Hunter Rouse - John Wiley & Sons - New York - 1958.

Paper on Sidecast (Boom) Dredging - Foreign Experience and Local application at A.S. C. E. Fall Meeting by Henry G. A. Hayward - New York - 1961.