

Diseño de un Convoy para el Dragado del Canal del Puerto de Guayaquil

Javier Lavayen Saltos¹ Washington Martínez²
Facultad de Ingeniería Marítima Ciencias Biológicas Oceánicas y de Recursos Naturales
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
jaedlava@espol.edu.ec¹ wmarti@espol.edu.ec²

Resumen

Guayaquil es el puerto principal del Ecuador, a través del cual se moviliza el 70% del comercio exterior que maneja el Sistema Portuario Nacional.

La historia del dragado del canal de acceso del Puerto de Guayaquil ha estado marcada por la inoperancia, es por esta razón que mediante el presente proyecto se pretende poner a disposición un convoy de barcazas el cual opere las 24 horas del día para aprovechar todos los recursos y tiempo disponible para así poder dragar el máximo volumen por día la cual se lo compara con la draga de succión en marcha "Francisco de Orellana" que es la que existe en la actualidad.

Por medio de la investigación y los cálculos se determina la capacidad de las barcazas, la draga estacionaria, el empujador que llevaría al convoy del lugar de dragado a la zona de depósito y viceversa con el número de convoyes óptimo para que se opere las 24 horas del día. De un análisis económico se logra determinar la rentabilidad de este proyecto si fuese puesto en marcha por la autoridad portuaria de Guayaquil; así como los cambios positivos que dicho proyecto generaría en el comercio exterior por la vía marítima.

Palabras Claves: Dragado, Canal de acceso, convoy, Barcazas, Draga Estacionaria, Autoridad Portuaria, Empujador.

Abstract

Guayaquil is Ecuador's main port, through which moves 70% of foreign trade handled by the National Port System.

The history of the dredging of the access channel of the Port of Guayaquil has been marked by the failure, it is for this reason that through this project is to make available a convoy of barges which operate 24 hours a day to take advantage of all the resources and time available in order to dredge the maximum volume per day which is compared with the suction dredge up "Francisco de Orellana" which is what exists today.

Through research and calculations determining the capacity of the barges, the dredger stationary pusher convoy that would take the dredging site to the storage area and vice versa with the optimal number of trains that operates for 24 hours day. Economic analysis is done to determine the profitability of this project if implemented by the Port Authority of Guayaquil, as well as the positive changes that the project would generate in foreign trade by sea.

Keywords: Dredging, channel access, convoy, Barges, Dredger Stationary, Port Authority, Pusher.

1. Introducción

Para empezar el estudio del dragado del puerto de Guayaquil primero se empieza por saber el proceso del dragado que es el siguiente:

El proceso de dragado está estructurado en dos pasos. El primero es la extracción de materiales del lugar o la sección previamente definida y el segundo es la disposición de los materiales en un sitio previamente seleccionado. Para realizar un proceso de dragado es necesario considerar las características físicas del lugar de dragado, el sitio de depósito, las propiedades físicas y químicas del material que se quiere extraer, la proporción del material, las particularidades del entorno, entre otras características.

Para el presente proyecto, se ha considerado también las experiencias previas de los diferentes dragados realizados en el canal de acceso y los métodos de depósito de los materiales. Con el fin de tener una mejor idea del proyecto de dragado, es necesario revisar rápidamente el proceso de sedimentación recurrente del canal de acceso y de los dragados realizados.

Previo al año 1960 el puerto marítimo de la ciudad funcionaba en lo que actualmente se conoce como malecón 2000. Las actividades comerciales atraían una gran cantidad de embarcaciones, que con el pasar del tiempo incrementaron su capacidad de carga y de calado.

Paralelamente, el río Guayas se veía afectado por la sedimentación, dificultándose el ingreso de las embarcaciones hasta el malecón. Por esa razón, en 1960 fue implementado el nuevo puerto de Guayaquil en la zona sur de la ciudad. El puerto toma como vía de acceso al Estero Salado, que es una ramificación del Golfo de Guayaquil y que corre paralelamente al cauce del Río Guayas. Seguida a la implementación del Puerto Marítimo, se realizó la construcción de las esclusas que sirvió como nexo entre el Estero Salado y el Río Guayas.

Para el ingreso a las nuevas instalaciones portuarias se construyó el canal de acceso con una profundidad aproximada de 9.76 m por debajo del datum de las cartas náuticas (MLWS). Para alcanzar la profundidad requerida para una navegación sin contratiempos, se recurrió al dragado inicial de algunas secciones del canal, sin embargo, debido al gran aporte de sedimentos del sector varias zonas fueron perdiendo paulatinamente profundidad. La única vía para contrarrestar la sedimentación fue el dragado, por lo que en varias ocasiones se ha recurrido a este proceso.

En la actualidad, el canal de acceso se encuentra sedimentado en ciertos sectores, representando un problema para el tránsito fluvial, los buques de gran calado deben esperar la coincidencia de un ciclo de marea alta para su salida o entrada, esta situación incide en el aumento de los costos de fletes de los buques debido al incremento de los tiempos de espera.

Con lo que con el proyecto que se propone se lo analiza con las mismas características que existen en la actualidad en las zonas críticas que se necesitan dragar, en el que se requiere una profundidad mínima de 9.5m, con el fin de realizarlo en menos tiempo y a un menor costo que el que existe actualmente.

2. Descripción General del Proyecto

El proyecto se lleva a cabo con el fin de que se debe de dragar el puerto de Guayaquil para que los barcos principalmente portacontenedores puedan ingresar al puerto, para ello se debe de tener un dragado para que haya el calado necesario para dichas embarcaciones. Con esto se puede tener un gran flujo de buques en el cual ayudaría a mejorar la economía del país y a tener relaciones internacionales para el progreso y desarrollo tecnológico fluvial de todas las embarcaciones que hay a nivel mundial y aprovechar la zona estratégica en el cual estamos ubicados para las relaciones exteriores con el mundo.

2.1. Dragados Anteriores

El primer dragado lo efectuó la Compañía Costain Blankevoorst entre los años 1961-62, se dragó desde la boya 33 a la 62 en una longitud aproximada de 25 Km.

Entre 1967-68, la compañía BAWER & C.O. ejecutó una nueva obra de dragado entre las boyas 32 y 51.

La draga de balde (tolva) de 600 m³ TIPUTINI en 1974.

En 1990 la Compañía DREDGING INTERNATIONAL fue contratada para realizar otro dragado.

En el 2003 la entidad encargada del proyecto fue el cuerpo de ingenieros del ejército estadounidense, la extracción se realizó entre las Boyas 37 y 66, el material dragado fue colocado al oeste de la isla Puná.

La draga de tolva de 1500 m³ FRANCISCO DE ORELLANA en el 2007 hasta la actualidad.

2.2. Canal de acceso

El acceso al terminal portuario desde el mar se lo realiza a través de un brazo natural que al inicio se lo conoce como Canal del Morro, para luego denominárselo Estero Salado.

El canal se encuentra sujeto a la acción de las mareas, dos pleamares y dos bajamares diarias, que varían a lo largo del mismo y también de acuerdo a la época.

2.3. Zona de Depósito

Se denomina depósito en campo abierto al que se efectúa en lugares sin ningún tipo de cerramiento en el interior del estuario, sea en canales secundarios, depresiones profundas a corta distancia del eje del canal de dragado o en bajos de arena.

El depósito del material dragado en canales secundarios para el depósito de los materiales es conveniente cuando éstos se encuentran cerca del sitio de dragado y no son utilizados para la navegación ni para otra actividad que pueda verse afectada.

La alternativa de depositar material cerca del canal dragado, aguas abajo y en forma paralela a él, no debe realizarse en aguas muy dinámicas porque se corre el riesgo que los sedimentos retornen al canal por procesos de gravedad.

Cuando se deposita en bajos se debe considerar que la distancia no constituya una desventaja. Por lo que la zona depósito se va a localizar al sur de la boya #9 aproximadamente a 2 Km de distancia.

2.4. Objetivos Generales

Seleccionar un sistema de dragado económicamente conveniente para el canal de navegación del puerto de Guayaquil.

2.5. Objetivos Específicos

Determinar las características operacionales del sistema de dragado.

Determinar las características de diseño del sistema actual y el convoy propuesto.

Analizar los costos totales del sistema actual de dragado y del sistema de convoy propuesto.

Comparación de los costos unitarios de cada sistema a fin de seleccionar la alternativa económicamente conveniente.

Demostrar que con la misma inversión actual se puede obtener un mayor calado del canal de navegación a largo plazo.

2.6. Justificación

La obra de dragado consiste en extraer del fondo marino del canal de acceso a Puerto Marítimo de Guayaquil, que corresponde al sistema estuario del Estero Salado, a razón de una tasa promedio a ser dragada de aproximadamente 1.5 millones de metros cúbicos anuales de sedimentos, y transportarlos a la zona de depósito situada al oeste de la isla Puná, en un sitio formado por un círculo de una milla de diámetro, cuyo centro está en las coordenadas geográficas 2° 50' 30" de Latitud Sur, y 80° 16' 22" de Longitud Oeste.

El canal de navegación tiene aproximadamente 94 Km., desde la boya de mar hasta las instalaciones portuarias. La zona de mayor concentración del dragado comprende el sector comprendido entre las Boyas 33 a 67, que representan aproximadamente 33 Km, ya que el resto del canal tiene profundidades mayores que a la fecha no requieren ser dragadas.

El ancho en la base del canal de navegación es de 122 m. en los tramos rectos y de hasta 200 m en los sectores curvos. Su orientación se realiza con el apoyo de boyas instaladas a cada costado, en sitios estratégicos, así como otras ayudas a la navegación constituidas por enfiladas, balizas y faros. El eje de navegación está determinado en la Carta Náutica IOA 107 denominada "Golfo de Guayaquil Estero Salado-Río Guayas", escala 1:100.000, proyección Mercator, Datum WGS 84, editada por el INOCAR en noviembre del 2007

3. Análisis del Canal de acceso

Para el diseño de las dos alternativas que son la que existe en la actualidad que es la draga de succión en marcha que sería la alternativa 1 y el convoy de

barcazas que sería la alternativa 2, para la cual se realiza un análisis del canal de acceso el cual está conformado por boyas y se la va a separar por sectores para analizar principalmente las zonas críticas por lo que queremos es tener como profundidad de 9.5 m para lo cual solo vamos a analizar las zonas donde la profundidad del canal sea menor o igual a 9.5 m de profundidad.

Para el volumen de dragado he dividido al canal de acceso al puerto de Guayaquil en 5 sectores desde la boya 14 hasta la boya 80, la que existen dos sistemas a lo largo del mundo el sistema A y el sistema B, el sistema A que es aplicado en Europa, África, Oceanía y Asia excluidos Japón, Corea y Filipinas. El sistema B aplicado en América del sur, central y norte además de los tres países asiáticos antes mencionados

3.1. Sectores del Canal de Acceso

El canal de acceso se lo divide en 5 sectores que son los siguientes

- Sector # 1: boya 14 – boya 28
- Sector # 2: boya 28 – boya 36
- Sector # 3: boya 36 – boya 54
- Sector # 4: boya 54 – boya 67
- Sector # 5: boya 67 – boya 80

De estos 5 sectores se va a analizar los sectores #3, #4 y #5 que son las zonas críticas, ya que tienen una profundidad que es menor a 9.5m que es lo mínimo que se requiere.

3.2. Volúmenes de Dragado

Como se dijo en el punto anterior se va a analizar la zona crítica, por lo que se calcula el volumen de dragado por sectores.

$$\text{Hdragar} = \text{Hdiseño} - \text{Hactual} \cong 9.5\text{m} - 8.0\text{m} \cong 1.5\text{m}$$

$$\text{B}_{\text{canal}} \cong 122\text{ m}$$

$$\text{V}_{\text{dragado}} = \text{D}_{\text{dragado}} \times \text{Hdragar} \times \text{B}_{\text{canal}}$$

Sector # 3	Sector # 4
Distancia: 20,110 m	Distancia: 15,770 m
Ancho: 122 m	Ancho: 122 m
Profundidad: 8 m	Profundidad: 8 m
$\text{Vol} = \text{distancia} \cdot \text{ancho} \cdot \text{profundidad}$	$\text{Vol} = \text{distancia} \cdot \text{ancho} \cdot \text{profundidad}$
$\text{Vol} = 20,110 \cdot 122 \cdot 1.5$	$\text{Vol} = 15,770 \cdot 122 \cdot 1.5$
Vol = 3'680,130 m³	Vol = 2'885,910 m³

Sector # 5
Distancia: 6,777 m
Ancho: 122 m
Profundidad: 8 m
$\text{Vol} = \text{distancia} \cdot \text{ancho} \cdot \text{profundidad}$
$\text{Vol} = 6,777 \cdot 122 \cdot 1.5$
Vol = 1'240,191 m³

sector	distancia(Km)	*distancia total(Km)	volumenes(m ³)	velocidad(nudos)	tiempoviaje(hr)	tiempodragado(meses)
sector #1	31,85	31,85	**5828550	12	2,9	N/A
sector #2	6,4	38,25	**1171200	12	3,5	N/A
sector #3	20,11	58,36	3680130	12	5,4	30
sector #4	15,77	74,14	2885910	12	6,8	32
sector #5	6,77	80,91	1240191	12	7,5	14

El volumen de dragado para los tres sectores considerando las distancias desde la zona de dragado a la zona de deposito y viceversa se tendrá un volumen de $7\ 806,231\text{m}^3$.

3.3. Diseño de Alternativas

Para el diseño de las alternativas para el dragado del canal de acceso que se explico en el punto 2.4 se tiene dos alternativas, la alternativa # 1 es la que existe en la actualidad que es el dragado por medio de una Draga en succión en marcha y la alternativa # 2 que es la que se esta proponiendo es el convoy de barcazas.

Para la alternativa 1 es una embarcación con maquinaria e instrumentos para la navegación autónoma, succiona sedimentos del mar mientras se mueve por la zona de dragado depositándolo en su tolva.

La alternativa 2 es un convoy de barcazas que es la que se esta proponiendo en la que es grupo de vehículos marítimos, que viajan juntos para darse apoyo mutuo, en este caso el convoy está formado por un número de barcazas de iguales características, estas transportaran el sedimento hasta la zona de depósito, el sedimento será depositado en las barcazas por la draga estacionaria, mientras un convoy de barcazas es transportado desde la zona de dragado hasta la zona de depósito y viceversa, la draga estacionaria continua cargando el otro convoy, de esta manera se maximiza la productividad de todo el proceso ya que en ningún momento dejan de operar las maquinarias.

3.4. Draga Succión en Marcha

Para la draga de succión en marcha Francisco de Orellana con 1500m^3 de capacidad de tolva y con una bomba de dragado de $3000\text{m}^3/\text{hr}$, es decir, que en 30 min se llena la tolva de un material fino y limoso como el que existe en el canal de acceso al puerto de Guayaquil, la cual se dividió en 5 sectores en la que los sectores #1 y # 2 no se los toma en consideración porque superan el calado de diseño que es de 9.5m.

Tabla 1.- Resumen Draga Francisco de Orellana

El tiempo de dragar $7\ 806,231\text{m}^3$ es de 6 años 3 meses por medio de la draga de succión en marcha “Francisco de Orellana”.

3.5. Convoy

El convoy va estar formado por una draga estacionaria, por barcazas que se va analizar el número de barcazas que se necesitan y por un empujador que lleve a la zona de depósito a la zona de dragado y viceversa.

Tabla 2.- Resumen del Convoy de Barcazas

sector	distancia(Km)	*distancia total(Km)	volumenes(m ³)	velocidad(nudos)	tiempo viaje(h)	tiempo dragado(meses)
sector #1	31,85	31,85	**5828550	8	4,4	N/A
sector #2	6,4	38,25	**1171200	8	5,3	N/A
sector #3	20,11	58,36	3680130	8	8	12
sector #4	15,77	74,14	2885910	8	11	9
sector #5	6,77	80,91	1240191	8	12	3,5

El tiempo de dragar $7\ 806,231\text{m}^3$ es de 2 años 1 meses por medio del convoy de barcazas.

3.6. Número de Convoy

Para determinar el número de convoy que necesito tomo en consideración que la draga estacionaria que voy a escoger va a tener una bomba de succión de $800\text{m}^3/\text{hr}$ por lo que para llenar las barcazas de (700m^3) va tener un tiempo de llenado de acuerdo al número de barcazas que se ponga en los convoyes de acuerdo al sector , en el que considerando los 3 sectores que tienen un tiempo de viaje que se especifico en la tabla 3.2 de ir de la zona de depósito y regresar a la zona de dragado, con lo que el número de convoy lo obtengo con lo siguiente:

Sector 3:

- Se tiene 4 barcazas por cada convoy.
- Tiempo de llenado del convoy que es de 4 horas.
- Tiempo de viaje ida y vuelta de 8 horas.
- Dragado del canal de acceso las 24 horas del día.

Sector 4:

- Se tiene 6 barcazas por cada convoy.
- Tiempo de llenado del convoy que es de 5.5 horas.
- Tiempo de viaje ida y vuelta de 11 horas.
- Dragado del canal de acceso las 24 horas del día.

Sector 5:

- Se tiene 7 barcazas por cada convoy.
- Tiempo de llenado del convoy que es de 6 horas.
- Tiempo de viaje ida y vuelta de 12 horas.
- Dragado del canal de acceso las 24 horas del día.

Con lo que el análisis era para un convoy pero como queremos optimizar el tiempo para que haya un total funcionamiento de la draga estacionaria (24 horas al día) se va a necesitar 3 convoyes para los sectores #3, #4 y #5, para dragar el canal de acceso al puerto de Guayaquil.

3.8. Draga Estacionaria

Las dragas de succión estacionaria consisten en una embarcación que porta una tubería conectada a una bomba que absorbe el material del fondo.

Para escoger la draga estacionaria que necesito para el convoy tome en cuenta las siguientes características que necesito para el dragado:

El tiempo de succión y descarga necesario para que trabaje las 24 horas del día.

Capacidad de la bomba (m³/hr).

Para lo cual se escogió una draga estacionaria con las siguientes características principales:

Tabla3.- Características principales de la Draga estacionaria

DIMENSIONES PRINCIPALES	
Eslora(m)	8
Manga moldeada(m)	6,02
Puntal(m)	1,01
CAPACIDAD DE DRAGADO	
Profundidad de dragado(m)	40
Capacidad (m ³ /hr)	800
BOMBA HIDRAULICA	
Modelo	HY 85-160HC
Capacidad (m ³ /hr)	800
Peso(Kg)	1100
Diámetro del cilindro(mm)	250
Velocidad(rpm)	1450
Potencia Kw(HP)	115(154)
MAQUINA PRINCIPAL	
Cilindros	6 en línea
Peso(ton)	8,7
Válvulas por Cilindro	4
Radio de Compresión	16:01

Con esto se tiene que la succión de la bomba es de 800(m³/hr).con la que vamos a usar para el dragado, y con una profundidad de dragado de hasta 40 m.

3.9. Barcazas

Para el diseño de las barcazas se tomo en consideración las restricciones que se presentan en el canal de Guayaquil como son las siguientes:

El ancho del mismo es de 122 m de ancho la cual la manga de las barcazas no debe de pasar ese ancho.

El flujo de succión de la bomba de la draga estacionaria la cual es de 800 (m³/hr).

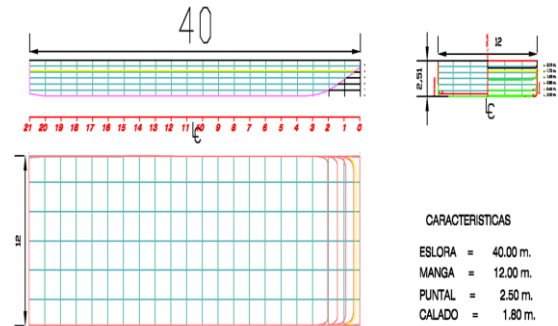
La profundidad mínima del canal es de 8m.

Las características de las barcazas son:

- Eslora: 40 m
- Manga: 12 m
- Puntal: 2.5 m
- Calado: 1.8 m
- Coefficiente bloque: 0.827

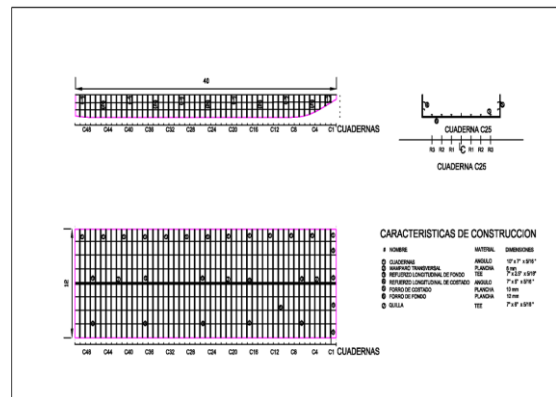
Con lo que con estas características principales se realiza el plano de líneas de forma de la Barcaza.

Fig. 1.- Plano de Líneas de Forma



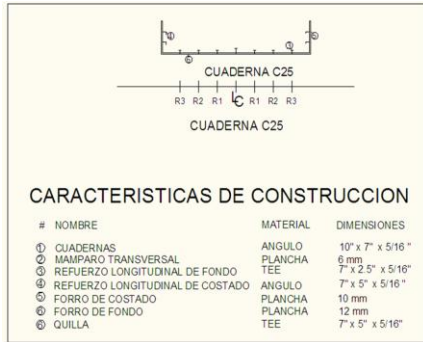
Como la barcaza es mayor a 24 metros se necesita un plano estructural con el que se realiza el escantillonado utilizando las formulas de ABS para Barcazas.

Fig. 2.- Plano Estructural



Se realiza el cálculo de la cuaderna maestra con sus dimensiones que son las siguientes:

Fig. 3.- Cuaderna Maestra



3.9. Empujadores

Un empujador es una embarcación utilizada para ayudar a la maniobra de otras embarcaciones, principalmente al halar o empujar a dichos barcos o similares en puertos, pero también en mar abierto o a través de ríos o canales. También se usan para remolcar barcazas, barcos incapacitados u otros equipos.

Haciendo un calculo de resistencia de la barcaza a 8 nudos se obtiene una resistencia de 48.96 Kn para 7 barcazas que se va empujar se tiene una resistencia total de 293.76 KN que seria 77043.4 LB.

Con esta resistencia total de las 7 barcazas, se calcula la potencia necesaria del empujador para el tren de barcazas que lo va a empujar.

R: resistencia total

V: velocidad del convoy

η : eficiencia propulsiva

P_D = potencia absorbida por la hélice

$$P_D = \frac{77043.4 \text{ lb} \cdot (8 \text{ nudos} \cdot 1.689 \frac{\text{ft}}{\text{seg}})}{0.5 \cdot \frac{550 \text{ lb/ft}^3}{\text{seg HP}}} = 3785.5 \text{ HP}$$

$P_D = 3785.5 \text{ HP}$

Con esta potencia de 3785.5 HP se busca el empujador necesario para el convoy de barcazas.

Tabla4.- Características principales del empujador

DIMENSIONES PRINCIPALES	
Eslora(m)	26,37
Manga moldeada(m)	13,59
Puntal(m)	4
Calado(m)	3,71
Desplazamiento(ton)	657
RENDIMIENTO	
Bollard pull(ton)	53,4
velocidad(nudos)	10,6
SISTEMA PROPULSIVO	
Maquina principal	2* C3512B
Potencia(bhp)	3873
velocidad(rpm)	1600
Helices	2* 2400mm

Con estas especificaciones técnicas del empujador obtengo las características principales del empujador:

Tabla5.-Características principales del empujador

características principales	
L(m)	26,37
B(m)	13,59
D(m)	4
pot(bhp)	3873

Se tiene un empujador de 3873bhp para empujar el convoy de barcazas a una velocidad de 8 nudos de la zona de dragado a la zona de depósito y viceversa.

3.10. Resumen de las Características del Convoy

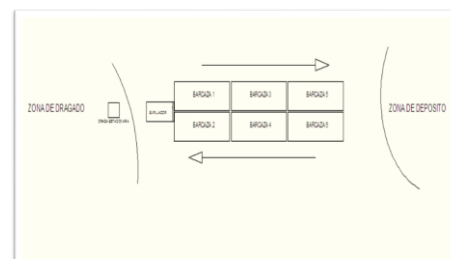
Para el diseño del convoy de barcazas se toma en consideración el volumen total que se va a llevar, el empujador que va a transportar las barcazas desde el lugar de dragado hasta el depósito y viceversa y la draga estacionaria que va a succionar el sedimento del canal de acceso al puerto de Guayaquil

Características del convoy de barcazas:

- Draga estacionaria: 120407-DH($800 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$)
- N° de barcazas: 6(4200m³)
- Empujador: Damen Multi Cat2613(3873bhp)
- Volumen total de carga: 4200 m³
- Velocidad del convoy: 8 nudos

Con esto se muestra de cómo sería el convoy con las barcazas y el empujador a la vez:

Fig. 4.- Flujo convoy de barcazas



Con esto se aprecia gráficamente como queda el convoy de las barcazas, en la que se observa que está conformada de 6 barcazas de 700 m³ de capacidad cada una con un total de 4200 m³ de capacidad total, el cual se las empuja mediante un empujador de 3873bhp de potencia y una draga estacionaria de 800 m³/hr la cual succiona el sedimento en la zona de dragado. El convoy se traslada de la zona de dragado a la zona de depósito y viceversa

4. Análisis Económico

Este capítulo analiza los costos en que incurren la draga de succión en marcha y el convoy de barcazas, a fin de determinar la alternativa económicamente conveniente.

4.1. Modelo de Análisis

Este modelo analiza los costos a que incurre un armador en las fases de adquisición y operación de una embarcación.

Los costos a incluir en el análisis se clasifican en 3 grupos bien definidos:

Capital.- es el costo de adquisición de una embarcación incluyendo el método de financiamiento.

Operación.- Los costos de producción (aquí referidos como costos de operación) son los gastos necesarios para mantener un proyecto, línea de procesamiento o un equipo en funcionamiento, en este caso la embarcación.

Viajes.- costos derivados del movimiento de la embarcación y esta conformada por los costos del combustible, lubricantes, pagos de canales, puertos, movimiento del personal de acuerdo a la potencia de los motores y tiempos de operación y funcionamiento (incluye tiempos improductivos) del equipo especificado, necesario para que la embarcación realice la cantidad de viajes requeridos por año.

A continuación se detalla los elementos de costo de cada grupo:

Los elementos de capital son:

$$A = P(A/P, i\%, n)$$

Los elementos por operación son:

salarios de tripulación
provisiones
abastecimientos
seguros
mantenimiento

Los elementos por viaje son:

combustible
lubricantes
paso del canal
otros

4.2. Dragas de Succión en Marcha

Para los costos de la draga de succión en marcha vamos a considerar los 3 puntos definidos en el modelo de análisis que se detallo en el punto anterior.

Cálculo de los Costos de Capital

Dado que se tiene, que el costo de la draga de succión en marcha es de, aproximadamente, US\$26'400,000.00, y considerando que este valor será cancelado en 20 años con una tasa de interés anual del 8%, se tiene que:

Tabla6.-Costo de capital succión en marcha

COSTO DE CAPITAL	
P(\$)	26400000
i(%)	8
n(años)	20
factor(A/P)	0.10185
costo anual por capital	2'688,840

El costo anual por capital será de \$2'688,840 millones de dólares.

Cálculo de los Costos de Operación

A continuación se computan los costos derivados de los elementos de tripulación, provisiones, abastecimiento, seguros, mantenimiento y reparación de la embarcación.

Tabla7.-Costo de operación draga succión en marcha

COSTOS DE OPERACIÓN	
salarios de tripulación	630144
provisiones	67525
abastecimientos	109451
seguros	194800
mantenimiento	10560
reparaciones	2890800
costo anual de operación	\$ 3.903.280

El costo de operación anual es de \$ 3'903,280 millones de dólares.

Cálculo de los Costos de Viaje

En la tabla siguiente se muestran los costos derivados del combustible, lubricantes y otros (pago por tráfico del canal y puerto, credenciales a tripulantes) de acuerdo a la potencia de los motores y tiempos de operación y funcionamiento (incluye

tiempos improductivos) del equipo especificado, necesario para que la embarcación realice la cantidad de viajes requeridos por año.

Tabla8.-Costo de viaje draga succión en marcha

COSTOS DE VIAJE	
combustible	1753462
lubricantes	128003
otros	52604
costo anual de viaje	1'934,069

El costo por viaje anualmente es de \$1'934,069 millones de dólares.

Cálculo de los Costos Totales

El costo total anual del servicio de dragado del canal de acceso, utilizando la draga de succión en marcha es de:

Tabla9.-Costo total anual draga succión en marcha

	COSTOS
capital	\$ 2.688.840
operación	\$ 3.903.280,00
viaje	\$ 1.934.069,00
costo total anual	\$ 8.526.189

El costo total por el servicio de dragado es de \$ 8'526.189 millones de dólares.

En la siguiente figura, se muestran los costos de capital, operación y viaje, como un porcentaje respecto del costo total de inversión del proyecto.

Fig. 5.- Costo de capital, operación y viaje succión en marcha

4.3. Convoy



El convoy va estar conformado por una draga estacionaria, dos empujadores y barcasas, la cual los costos van a ser calculados de acuerdo al modelo de análisis que se especifico en el punto 4.1.

4.3.1 Cálculos de Costos de la Dragas Estacionaria

El presente apartado se desglosa los costos originados por el capital, operación y viaje de la draga estacionaria.

Cálculo de los Costos de Capital

Dado que se tiene, que el costo de la draga estacionaria es de, aproximadamente, \$ 900,000, y considerando que esté valor será cancelado en 20 años con una tasa de interés anual del 8%, se tiene que:

Tabla10.-Costo de capital draga estacionaria

COSTO DE CAPITAL	
P(\$)	\$ 900.000,00
i(%)	8
n(años)	20
factor(A/P)	0,10185
costo anual por capital	\$ 91.665

El costo anual por capital es de \$ 91,665 dólares.

Cálculo de los Costos de Operación

A continuación se computan los costos derivados de los elementos de tripulación, provisiones, abastecimiento, seguros, mantenimiento y reparación de la embarcación.

Tabla11.-Costo de operación draga estacionaria

COSTOS DE OPERACIÓN	
salarios de tripulación	\$ 381.812
provisiones	38325
abastecimientos	11358
seguros	16300
mantenimiento	360,00
reparaciones	98550
costo anual de operación	\$ 546.704

El costo de operación anual es de \$ 546,704 dólares.

Cálculos de los Costos de Viaje

En la tabla siguiente se muestran los costos derivados del combustible, lubricantes y otros (pago por trafico del canal y puerto, credenciales a tripulantes) de acuerdo a la potencia de los motores y tiempos de operación y funcionamiento (incluye tiempos improductivos) del equipo especificado, necesario para que la embarcación realice la cantidad de viajes disponibles por año.

Tabla12.-Costo de viaje draga estacionaria

COSTOS DE VIAJE	
combustible	893878
lubricantes	65253
otros	8939
costo anual de viaje	\$ 968.070,17

El costo por viaje anualmente es de \$968,070.17 dólares.

Cálculo de los Costos Totales

El costo total anual del servicio de dragado del canal de acceso, utilizando la draga estacionaria es de:

Tabla13.-Costo total anual draga estacionaria

	COSTOS	
capital	\$	91.665
operación	\$	546.704,37
viaje	\$	968.070,17
costo total anual	\$	1.606.439,54

El costo anual de la draga estacionaria es de \$ 1'606.439,54 dólares.

En la siguiente figura, se muestran los costos de capital, operación y viaje, como un porcentaje respecto del costo total de inversión del proyecto, disponible para la draga estacionaria.

Fig. 6.- Costo de capital, operación y viaje draga estacionaria



4.3.2 Cálculo de los Costos del Empujador

El presente apartado se desglosa los costos originados por el capital, operación y viaje del empujador.

Cálculo de los Costos de Capital

Dado que se tiene, que el costo del empujador es de, aproximadamente, \$1'800.000, y considerando que este valor será cancelado en 20 años con una tasa de interés anual del 8%, se tiene que:

Tabla 14.- Costo capital empujador

COSTO DE CAPITAL	
P	1800000
i	8
n	20
factor(A/P)	0.10185
costo anual por capital	183330

El costo de capital anual del empujador es \$ 183,330 dólares.

Cálculo de los Costos de Operación

A continuación se computan los costos derivados de los elementos de tripulación, provisiones, abastecimiento, seguros, mantenimiento y reparación de la embarcación.

Tabla15.-Costo de operación empujador

COSTOS DE OPERACIÓN	
salarios de tripulación	258421
provisiones	27375
abastecimientos	2957
seguros	22600
mantenimiento	720
reparaciones	197100
costo anual de operación	\$ 509.173

El costo anual por operación es de \$509,173 dólares.

Cálculo de los Costos de Viaje

En la tabla siguiente se muestran los costos derivados del combustible, de acuerdo a la potencia de los motores y tiempos de operación y funcionamiento (incluye tiempos improductivos) del equipo especificado, necesario para que la embarcación realice la cantidad de viajes disponibles por año.

Tabla 16.- Costo de viaje empujador

COSTOS DE VIAJE	
combustible	1018386
lubricantes	74342
otros	10184
costo anual de viaje	\$ 1.102.912,51

El costo de viaje por año es de \$ 1'102,912.51 millones de dólares.

Cálculo de los Costos Totales

El costo total anual del servicio de dragado del canal de acceso, utilizando el empujador es de:

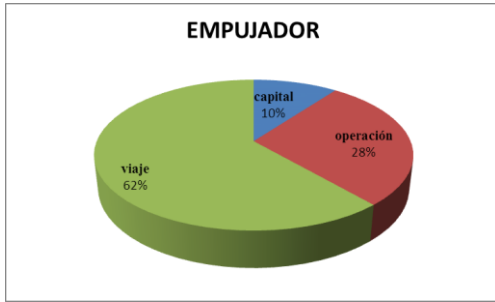
Tabla 17.- Costo total anual empujador

	COSTOS	
capital	\$	183.330,00
operación	\$	509.172,82
viaje	\$	1.102.912,51
costo total anual	\$	1.795.415,33

El precio anual por un empujador es de \$ 1'795,415.33 millones de dólares, como se va a necesitar dos empujadores como se lo explicó en el capítulo 3 por lo que el costo anual por dos empujadores sería de \$3'590,830.66 millones de dólares.

En la siguiente figura, se muestran los costos de capital, operación y viaje, como un porcentaje respecto del costo total de inversión del proyecto, disponible para los dos remolcadores.

Fig.7.- Costo de capital, operación y viaje empujador



4.3.3 Cálculo de los Costos de las Barcazas

Para el costos de las barcazas se realiza el costos por las bombas que se instalan para abrir las compuertas de las barcazas en el fondo de la embarcación para botar el sedimento en el lugar del deposito, los estructurales, protección del casco, diseño y por pruebas de muelles y mar que se va a detallar a continuación.

Tabla 18.- Costo total barcaza

COSTO TOTAL	
estructurales	\$ 285.396
proteccion de casco	\$ 40.100
diseño	\$ 2.000
winches	\$ 40.000
lanzamiento	\$ 1.000
suma	\$ 368.496

El costo total de una barcaza es de \$ 368.496, por lo que por cada convoy se necesita 7 barcazas y como se necesita 3 convoyes para que haya un trabajo las 24 horas del día como se explicó en el capítulo 3, se necesitarían 21 barcazas con un costo total de las mismas de \$ 7738,416 millones de dólares.

Cálculo de los Costos de Capital

Dado que se tiene, que el costo de las 21 barcazas es de \$ 7738,416 millones de dólares y considerando que esté valor será cancelado en 20 años con una tasa de interés anual del 8%, se tiene que:

Tabla 19.- Costo capital barcazas

COSTO DE CAPITAL	
P(\$)	\$ 7.738.416
i(%)	8
n(años)	20
factor(A/P)	0.10185
costo anual por capital	\$ 788.158

El costo anual por capital de las barcazas es de \$ 788,158 dólares.

Cálculo de los Costos de operación

Para el costo de operación como no va a ver tripulantes, solo se tiene seguro, mantenimiento y reparaciones para las barcazas.

Tabla 20.- Costo operación barcazas

COSTO DE OPERACIÓN	
seguros	\$ 12.579.47
mantenimiento	\$ 147.40
reparaciones	\$ 40.350.31
suma	\$ 53.077,18

El costo anual por operación de las barcazas es de \$ 53,077.18 dólares y como son 21 barcazas el costo de operación es de \$ 1114,620.83 millones de dólares.

Cálculo de los Costos Totales

El costo total anual del servicio de dragado del canal de acceso, utilizando las barcazas es de:

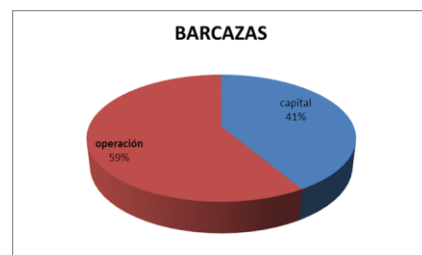
Tabla 21.- Costo Totales barcazas

COSTOS	
capital	\$ 788.157,67
operación	\$ 1.114.620,83
costo total anual	\$ 1.902.778,50

El costo total anual de las barcazas es de \$1902,778.50 millones de dólares.

En la siguiente figura, se muestran los costos de capital y operación como un porcentaje respecto del costo total de inversión del proyecto, disponible para las 21 barcazas.

Fig. 8.- Costo de capital, operación y viaje empujador



4.4 Resumen de Costos

Para el resumen de costos en la draga de succión en marcha se suma los costos por capital operación y viaje y para el convoy se suma lo mismo pero para los tres elementos que lo compone como lo son la draga estacionaria, empujadores y barcazas

Draga de Succión en Marcha

Los costos anuales de la draga en succión en marcha, el cual tiene costos de capital, operación y viajes.

Tabla 22.- Costo anual Draga succión en marcha

COSTO DRAGA SUCCION EN MARCHA	
capital	\$ 2.688.840
operación	\$ 3.903.280,00
viaje	\$ 1.934.069,00
costo total anual	\$ 8.526.189

El costo anual de la draga de succión en marcha es de \$ 8'526,189 millones de dólares.

Convoy

Los costos anuales del convoy, el cual esta conformado por una draga estacionaria, 2 empujadores y 21 barcasas, se obtiene el costo total anual del convoy.

Tabla 23.- Costo anual convoy

COSTO CONVOY	
draga estacionaria(1)	\$ 1.606.439,54
empujador(2)	\$ 3.590.830,65
barcasas(21)	\$ 1.902.778,50
costo total anual	\$ 7.100.048,69

El costo anual del convoy de barcasas es de \$ 7'100,048.96 millones de dólares.

4.5 Comparación de resultado de Costos

Se hace un resumen de los costos anuales para la draga de succión en marcha y para el convoy de barcasas para comparar cual de los dos es más económico.

Tabla 24.- Comparación de costos anuales

COSTO DRAGA SUCCION EN MARCHA		COSTO CONVOY	
capital	\$ 2.688.840	draga estacionaria(1)	\$ 1.606.439,54
operación	\$ 3.903.280,00	empujador(2)	\$ 3.590.830,65
viaje	\$ 1.934.069,00	barcasas(21)	\$ 1.902.778,50
costo total anual	\$ 8.526.189	costo total anual	\$ 7.100.048,69

Se observa que el costo total anual de la alternativa 1 (draga succión en marcha) es de \$ 8'526,189 millones de dólares y el de la alternativa 2 (convoy de barcasas) es de \$ 7'100,048.69millones de dólares, por lo que con la alternativa 2 que es la que se esta

proponiendo se estaría ahorrando \$ 1.426.140,31 al año.

Costo unitario: Es el costo en el que se incurre para producir una unidad de un bien. Es decir, se suman todos los costos (fijos y variables) y eso se lo divide entre las unidades producidas y el resultado es tu costo unitario.

Tabla 26.- Comparación de costos anuales/m³

VOLUMEN TOTAL A DRAGAR = 7'806,231 m ³		
ITEMS	DRAGA SUCCION EN MARCHA	CONVOY DE BARCASAS
m ³ / años(millones)	1,3	3,7
costo total anual(millones)	\$ 8,50	\$ 7,10
costo anual/m ³	\$ 6,54	\$ 1,92
costo (millones)	\$ 51,00	\$ 14,91

El costo en la draga de succión en marcha es de 6.54 dólares por cada metro cubico y en el convoy es de 1.92 dólares por cada metro cubico.

5. Conclusiones

Estas conclusiones se basan en el análisis de las dos alternativas presentadas. El presente proyecto analiza el volumen de canal de navegación del puerto de Guayaquil en el que existen 3 sectores críticos con un volumen total de 7.8 millones de m³a dragar. Aquí compara las dos alternativas antes mencionadas que son la draga en succión en marcha que es la que existe en la actualidad y el convoy que es la alternativa propuesta.

Con relación al volumen el convoy presenta un volumen anual de dragado de 3'717,252.86m³, mientras que la draga de succión en marcha presenta un volumen de dragado de 1'301.038,5 m³anuales, con lo que demuestra que la alternativa propuesta seria un 185 % más eficiente que la alternativa 1.

Con relación al tiempo de dragado se ha estimado en función de las características operacionales de las alternativas en lado que la alternativa 1 (draga de succión en marcha) es de 6 años y para la alternativa 2 (convoy) es de 2.1años, por lo que la alternativa 2 que es la que se esta proponiendo se estaría dragando en un tiempo mucho menor que el que existe en la actualidad.

Con relación a los costos anuales de operación, el costo del dragado con la draga de succión en marcha es de \$ 8.5 millones de dólares anuales y el costo con el convoy es de \$ 7.1 millones de dólares anuales, lo que quiere decir que se estaría ahorrando \$1.426.140,31 dólares anuales con el proyecto que se esta proponiendo.

Con relación al costo unitario la draga de sección en marcha es de \$ 6.54 por cada metro cúbico y el del

convoy es de \$ 1.92 por cada metro cúbico, por lo que el convoy es económicamente mejor que la draga de succión en marcha.

[14] W. Martínez (1979) “Modelo de Avaliação Econômica de Investimento em Navios” tesis de maestría, UFRJ, Brasil

9. Recomendaciones

La Autoridad Portuaria de Guayaquil (APG) debería considerar estos aspectos, que además de la conveniencia en tiempo y costo, se le daría trabajo a personal ecuatoriano en la construcción y operación del convoy

10. Agradecimientos

Agradezco a mi familia por su apoyo incondicional en la realización de mi carrera, a la ESPOL por su contribución en mi formación académica, a los profesores y compañeros que me brindaron su apoyo y sus conocimientos.

Un agradecimiento especial al Ing. Washington Martínez, quien fue mi director en esta Tesis y que me ayudó mucho en la realización de esta Tesis.

11. Referencias

[1] N. Benítez (2008) “PROYECTO DE INVERSIÓN EN EL SERVICIO DE DRAGADO DEL CANAL DE ACCESO DEL PUERTO MARÍTIMO DE GUAYAQUIL A TRAVÉS DE UNA CONCESIÓN PRIVADA” tesis de Grado, ESPOL.

[2] INOCAR (Instituto Oceanográfico de la Armada), Canal de acceso al Puerto de Guayaquil.

[3] INOCAR (2008), ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LOS TRABAJOS DE DRAGADO PERMANENTE DEL CANAL DE ACCESO AL PUERTO MARÍTIMO DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

[4] Autoridad Portuaria de Guayaquil (APG), Canal de acceso al Puerto de Guayaquil.

[5] SERDRA (Servicio de Dragado de la Armada), Draga Succión en Marcha Francisco de Orellana.

[6] MARINE TECHNOLOGY, vol. 20, Julio 1983, Página 209-226.

[7] DAMEN (DREDGE AND MULTI CAT BOAT).

[8] Principles of Naval Architecture (1967), W. Selkirk Owen y H. Todd.

[9] Convenio Internacional sobre Líneas de Carga, 1966.

[10] Introducción a la Mecánica de Sólidos, Egor P. Popov.

[11] Rules for building and classing STEEL BARGES 2009 (ABS).

[12] Notas de clases de Estructura Naval II, PhD José R. Marín.

[13] Notas de clases de Maquinaria Naval I, PhD José R. Marín y Anatoly y V. Motorny 2010.