Analysis of the dynamic behaviour of the seabed for a correct planning of the maintenance dredging of the access channel to the Deep Water Port of Posorja.

Ing. Guillermo Pacheco Quintana, M.I.¹, Ing. Manuel Gómez de La Torre, MSc.², Ing. Pablo Daza Ramos³
Universidad de Guayaquil, Ecuador, guillermo.pachecoq@ug.edu.ec¹, manuel.gomezdelatorreg@ug.edu.ec²,
pablo.dazar@ug.edu.ec³

Abstract- Prior to the construction of the access channel to the deep water port of Posorja, Ecuador, several studies of the sedimentary behavior in the area of implementation of this waterway were conducted, using numerical models such as FINEL2d, SWAN; and Mike 21. In addition, due to experiences in dredging in the navigation channel to the terminals located in the interior of the Gulf of Guayaquil, the Port Operator, based on recommendations of the Port Authority of Guayaquil, executes a test dredging with the purpose of obtaining real data of the sedimentary behavior of the zones to be intervened. Therefore, the present investigation proposes a comparative analysis between the results obtained in the numerical models used for projections of annual sedimentation rates and the results of the behavior of the sea bed that was generated during the test dredging; with the objective of having accurate data and being able to generate an efficient planning for the maintenance dredging of the access channel to the Deep Water Port of Posorja through the use of the methodology of information collection and results generated in the area by several companies in charge of the design and planning of the channel dredging and also of the processed data from the test dredging of the area.

Keywords: Maintenance Dredging, Posorja Deep Water Port, resedimentation, sedimentation rate, test dredging.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.127>
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

Análisis del comportamiento dinámico del fondo marino para una correcta planificación del dragado de mantenimiento del Canal de acceso al Puerto de Aguas Profundas de Posorja.

Ing. Guillermo Pacheco Quintana, M.I.¹, Ing. Manuel Gómez de La Torre, MSc.², Ing. Pablo Daza Ramos³
Universidad de Guayaquil, Ecuador, guillermo.pachecoq@ug.edu.ec¹, manuel.gomezdelatorreg@ug.edu.ec²,
pablo.dazar@ug.edu.ec³

Resumen- *Previo a la construcción del canal de acceso al Puerto de Aguas Profundas de Posorja, Ecuador, se realizaron varios estudios del comportamiento sedimentario en la zona de implantación de esta hidrovía, para lo cual se utilizaron, modelos numéricos como FINEL2d, SWAN; y Mike 21. Además, debido a experiencias suscitadas en dragados en el canal de navegación a las terminales ubicadas en el interior del Golfo de Guayaquil, el Operador Portuario, en base a recomendaciones de la Autoridad Portuaria de Guayaquil, ejecuta un dragado de prueba con la finalidad de obtener datos reales del comportamiento sedimentario de las zonas a ser intervenidas. Por lo que la presente investigación plantea un análisis comparativo entre los resultados obtenidos en los modelos numéricos usados para proyecciones de tasas de sedimentación anual y los resultados del comportamiento del fondo marino que se generó durante el dragado de prueba; con el objetivo de tener datos precisos y ser capaces de generar una planificación eficiente para el dragado de mantenimiento del canal de acceso al Puerto de Aguas Profundas de Posorja a través del uso de la metodología de recolección de información y resultados generados en la zona por diversas empresas encargadas del diseño y planificación del dragado del canal y también de los datos procesados del dragado de pruebas de la zona. Como resultado del análisis comparativo se obtiene que en los parámetros de entrada de los modelos numéricos no se toman en consideración el efecto de resedimentación, por lo que las tasas de sedimentación para el dragado de mantenimiento no son exactas. Palabra Clave: Dragado de Mantenimiento, Puerto de Aguas Profundas de Posorja, resedimentación, tasa de sedimentación, dragado de prueba.*

Abstract- *Prior to the construction of the access channel to the deep water port of Posorja, Ecuador, several studies of the sedimentary behavior in the area of implementation of this waterway were conducted, using numerical models such as FINEL2d, SWAN; and Mike 21. In addition, due to experiences in dredging in the navigation channel to the terminals located in the interior of the Gulf of Guayaquil, the Port Operator, based on recommendations of the Port Authority of Guayaquil, executes a test dredging with the purpose of obtaining real data of the sedimentary behavior of the zones to be intervened. Therefore, the present investigation proposes a comparative analysis between the results obtained in the numerical models used for projections of annual sedimentation rates and the results of the behavior of the sea bed that was generated during the test dredging; with the objective of having accurate data and being able to generate an efficient planning for the maintenance dredging of the access channel to the Deep Water Port of Posorja through the use of the methodology of information collection and results generated in the area by several companies in charge of the design and planning of the channel dredging and also of the processed data from the test dredging of the area.*

Keywords: *Maintenance Dredging, Posorja Deep Water Port, resedimentation, sedimentation rate, test dredging.*

I. INTRODUCCIÓN

En el contexto del desarrollo Portuario del Ecuador, el canal de Panamá es un enlace muy importante que une a América con países productores y consumidores. La ampliación en la vía del canal, que finalizó el año 2016, facilita a la navegación marítima mundial generando una economía de escala a través de la navegación de buques post Panamax. Sin embargo, aún existe una barrera ante la economía de escala ya que muchos puertos de América Latina y el Caribe no cuentan con capacidad para dichas embarcaciones [1]. Para poder alcanzar los calados de los Puertos para el ingreso de buques Post-Panamax, durante los últimos años se ha priorizado el dragado de los principales Puertos del País, como es el caso del Puerto Marítimo de Guayaquil, además del impulso de la construcción de un Puerto de Aguas Profundas.

El Estado Ecuatoriano a través del Ministerio de Transporte y Obras Públicas MTOP, elaboró el Plan Estratégico de Movilidad (PEM) entre el 2014 y el 2016, documento técnico que sirvió de referencia para la proyección de zonas marítimas que permiten la operación de transportes marítimos de gran calado en el país. En este plan definía que Posorja reunía las características necesarias para desarrollar un puerto de aguas profundas, por lo que a través del régimen de Alianza Público Privada (APP), se suscribió el contrato entre Autoridad Portuaria de Guayaquil (APG) y DP World Posorja, empresa filial de Dubái Port, el 6 de junio del 2016, con una concesión de 50 años, cuyo objetivo principal era generar el desarrollo y la construcción del citado puerto [2].

La primera fase de ejecución del puerto de Posorja comprende: la construcción de una terminal de 400 metros lineales de frente de muelle para bastecer hasta 750,000 TEUS; la construcción de una vía terrestre de conexión de 20 kilómetros aproximadamente, y la obligación de construir un canal de acceso que permita la navegación segura de buques post Panamax con capacidad de hasta 15.500 TEUS y un calado de 15.2 metros como máximo debido a que la profundidad de diseño del canal es de 16.5 metros, respecto al MLWS, con un ancho de 175 metros y una longitud de 21 millas náuticas.[3].

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.127>
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

Fig.1 Configuración de La Terminal de Aguas Profundas Posorja
Fuente: DP WORLD [3]

Dentro de los documentos contractuales se tiene el diseño conceptual de la implantación en el cuerpo de agua, del canal de acceso el cual está dividida en zona A y B debido a que en el estado inicial del fondo marino no contaba con las profundidades requeridas, a más de tener diversas características hidrodinámicas (ver anexos).

Fig.2 Canal De Acceso A La Terminal de Aguas Profundas Posorja, Coordenadas: 583228.78 - 9702494.30
Fuente: Propia del autor

La zona A, es considerada como una zona externa del canal de acceso al puerto de aguas profundas, que se encuentra mayoritariamente en el Golfo de Guayaquil, en la parte más alejada de la línea de costa. El Golfo de Guayaquil es un cuerpo de agua en el cual se tiene presencia de la hidrodinámica marítima que es aquella que tienen como característica principal movimientos de grandes masas de agua, generados por la energía de las olas y la fuerza de los vientos de la zona [4].

La zona B del canal, es considerada por DP World como una zona interna del canal de acceso al puerto de aguas profundas, sin embargo esta presenta características muy diferenciadas a la zona externa A, lo cual se presume que se debe a su ubicación en el lado exterior del estrechamiento que existe entre Posorja y la Isla Puná en la Desembocadura del Estero Salado sobre el Golfo de Guayaquil, cuyo comportamiento se podría comparar con la de un estuario por la cantidad de sedimentación que se ha observado, como se

muestra en la Fig.2. Esta zona está altamente influenciada por la hidrodinámica fluvial (de las mareas), provocando deltas donde se origina una distribución de energía que hace que los sedimentos vayan desde el área de aporte fluvial hasta la zona donde se tienen aportes por corrientes, produciendo un intercambio de partículas en la extensión donde hay la presencia de las mareas capaces de generar sedimentación o erosión dependiendo del estado de equilibrio que tenga el cuerpo de agua [5].

Ambas zonas son expuestas a trabajos de dragados para poder obtener la profundidad deseada y tener navegabilidad segura. Dragado es el proceso de excavación para la remoción de material sólido, que se depositan en el fondo marino a través del transporte de sedimentos [6].

Los principales causales de la sedimentación en una sección dragada, es que este actúa de forma parecida a una trampa de recolección por lo que se genera de manera extraordinaria, o poco común la sedimentación dentro de esta sección [7].

Por regla general en el comportamiento del fondo marino cuando este es modificado o tiene algún tipo de deformación, en este caso por efecto del dragado, busca la manera de hacer reversible el proceso, a lo cual se lo denomina como equilibrio dinámico o resiliencia. Debido a la alteración se produce la ruptura del equilibrio dinámico, por lo que de manera acelerada se obtendrá sedimentación, erosión o socavaciones, según sea el caso [8]. En relación a los niveles de sedimentación a los que están expuestos las vías de acceso y zonas de maniobras de los puertos, los dragados deben de ser planificados de la manera correcta como cualquier obra civil tomando en cuenta los factores mencionados, si no se lleva a cabo una óptima planificación existirán variaciones y alteraciones que conllevarán al incremento de costos [9].

Con lo antes mencionado y en base a la experiencia del Dragado del Puerto de Aguas Profundas de Posorja y dada la dificultad de establecer el plan de mantenimiento del dragado debido a los altos niveles de sedimentación registrados durante el dragado inicial se decidió realizar esta investigación para optimizar la planificación del dragado de mantenimiento del citado puerto, para lo cual se ha planteado como objetivo de esta investigación generar una comparación de los resultados generados en la zona por diversas empresas encargadas del diseño y planificación del dragado del canal, realizado a través de modelación de predicción con respecto a los resultados del comportamiento real del fondo marino que se observaron durante la ejecución del dragado de pruebas, para así tener datos más precisos y ser capaces de generar propuestas y recomendaciones para una planificación eficiente correspondiente al dragado de mantenimiento del canal de acceso al Puerto de Aguas Profundas de Posorja o canales similares.

Previo a la construcción del canal de acceso al puerto de Aguas Profundas, se realizaron diversos estudios basados en modelaciones de predicción. Los estudios de viabilidad fueron realizados por la Compañía SVASEK en el año 2008, contratados por DP World, donde se plantearon dos alternativas un canal norte y un canal sur, decidiéndose por el canal sur ya que presentaría menos sedimentación.

Por otro lado, también se solicitó los estudios para el diseño del dragado del canal de acceso a cargo de Royal Haskoning, los cuales se enfocaron en realizarlo en el área del canal sur propuesto por SVASEK.

En vista que la precisión de los resultados según la compañía SVASEK presentaba un factor de precisión de 2 debido a la incertidumbre en los datos de entrada a pesar de que usaron modelos matemáticos con altos estándares de calidad; se realizó la recomendación de APG hacia DP World Posorja que se realice un dragado de prueba; mediante lo cual con datos reales en el sitio de dragado tomadas de forma periódica, se evaluaron los niveles de sedimentación teniendo una proyección lineal para un periodo de un año a partir los datos generados desde el mes de enero del 2018 hasta el mes de junio del 2018. Este dragado de prueba fue realizado por la compañía Jan De Nul. Los datos batimétricos fueron procesados y analizados en el documento “Análisis multitemporal del comportamiento sedimentario durante el dragado de prueba, previo a la construcción del canal de acceso a la terminal de aguas profundas” [10], el cual consistía en un análisis multitemporal de 6 meses definidos en zona A y B para identificar la sedimentación anual.

Contrastando con otras investigaciones, se muestra también los resultados del dragado del Estero Salado en el Canal de Acceso al Puerto de Guayaquil que fue administrado por la Autoridad Portuaria de Guayaquil (APG) [11], en el cual existe un tramo interno del canal de acceso que presenta una alta sedimentación, previamente ya se contaba con la existencia de un Estudio de planificación de dragado que fue elaborado por Delf Hydraulics en el año 1986 [12], el cual tiene puto de comparación con otro estudio debido a que se refiere a la misma zona del estero salado, este estudio de Dragado fue realizado de manera posterior por la compañía GEOESTUDIOS bajo el requerimiento de la Autoridad Portuaria correspondiente al año 2011 y finalmente se solicitó en el año 2015 un análisis del estudio del dragado que se encontraba en ejecución, debido a que en el proceso se evidenciaba grandes cantidades de sedimentación en la zona, cuyo análisis requerido fue realizado por la compañía contratista SERDRA y el Instituto de Investigación INOCAR, el cual es citado en la Tesis de “Análisis del deslizamiento de taludes de un canal de navegación en una obra de ingeniería de dragado”. [13]

II. METODOLOGIA

Para poder generar esta investigación se partió de la recolección de información sobre el comportamiento sedimentario del canal de acceso a la terminal de aguas profundas de Posorja-DP World. Dentro de la información que se obtiene, se encuentran las siguientes investigaciones:

- Estudio realizado por SVASEK en el año 2008 para definir la viabilidad de la construcción del canal con un periodo de análisis del mes de diciembre del 2007, a manera de resumen se tiene el siguiente esquema de los parámetros de entrada que fueron procesados en este estudio mediante el uso de FINEL2d Y SWAN.

Fig.3 Parámetros de entrada para FINEL2d y SWAN
Fuente: Propia del autor

- Los resultados del estudio de Royal Haskoning fueron obtenidos mediante el uso de MIKE21 ST para poder definir los volúmenes de sedimentación anuales, mediante datos de entrada basados en diversos parámetros resumidos en el siguiente gráfico.

Fig.4 Parámetros de entrada para MIKE21 ST
Fuente: Propia del autor

- El Análisis multitemporal del comportamiento sedimentario durante el dragado de prueba, previo a la construcción del canal de acceso a la terminal de aguas profundas, genera resultados de la sedimentación anual basados en las batimetrías realizadas en campo en un periodo de 6 meses.

Fig.5 Línea de tiempo de batimetrías realizadas en la zona de dragado
Fuente: Propia del autor

La comparación se realiza con los resultados de los modelos utilizados basados en cada uno de los parámetros de entradas desarrollados con FINALD2d y MIKE21 ST respectivamente, versus los resultados que se obtienen a través de la comparación de batimetrías realizadas por Jan de Nul, siendo la primera una batimetría post dragado correspondiente al dragado de prueba, la cual finalizó en el mes de enero del 2018 comparada con la batimetría del pre dragado realizada en el mes de junio, seis meses después, previo a la construcción del canal de acceso al Puerto de Aguas Profundas de Posorja, como se muestra en la Fig.6. Teniendo en consideración que el tipo de suelo de la zona de dragado es de 250 – 500 micrones, en comparación al tamaño de partícula estimado de forma uniforme en los modelos siendo este de 300 micrones.

Fig.6 Cálculo tipo del volumen de sedimentación de la ZONA B
Fuente: [10]

Con la finalidad de generar una contrastación se optó por recolectar información de estudios e investigaciones que fueron desarrolladas en la parte interna del canal de acceso en cuestión, identificándolos como importantes debido a que tienen un área de influencia al canal, siendo los siguientes:

- Delf Hydraulics
- Estudios del canal de acceso al Puerto Marítimo de Guayaquil Puerto Marítimo de Guayaquil (APG-2011)
- Análisis del deslizamiento de taludes de un canal de navegación en una obra de ingeniería de dragado basado en datos de INOCAR

De manera seguida se procede a analizar la estimación de los factores tomados en consideración de cada uno de las investigaciones y realizar una comparación respectiva entre

los resultados de estos estudios que guardan similitud en referencia a la zona de estudio.

Se realiza esta comparativa con la finalidad de poder plasmar los efectos que se puedan producir debido a una mala planificación del dragado a razón de no considerar todos los factores posibles que ayudan a la sedimentación como es la subestimación del efecto del dragado y el efecto del equilibrio dinámico. Además de la correcta determinación del fondo a dragar.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A.-Canal de acceso al de aguas profundas de Posorja-DP World:

Se analizaron los resultados para determinar la correcta planificación del dragado en las zonas A y B del canal de acceso al puerto de aguas profundas de Posorja, esto se logra si se estima con suficiente precisión los niveles de re sedimentación de los canales dragados permitiendo un cálculo de volumen de mantenimiento periódico en función de la capacidad de respuesta del fondo para retornar a su condición original. Debido a lo mencionado se ha realizado un análisis del sector A y B para así poder evaluar los resultados que se obtiene en los modelos usados por DP World y generar una comparativa con lo obtenido en la realidad.

En la zona A se pueden identificar coincidencias debido a que se ve reflejada un área con poca tendencia a la sedimentación por sus características climatológicas.

En la zona B más bien se puede ver reflejadas discrepancias significativas en los resultados obtenidos en los modelos, en comparación con la prueba de dragado, motivo por el cual el análisis de resultados sólo se enfocará en la zona B, con el objeto de optimizar y mejorar los resultados de los modelos utilizados en la etapa de planificación.

En los tres estudios realizados, las profundidades posteriores al dragado fueron relativamente similares, entre 16m y 17.5m, como se muestra en la Fig.7, por lo cual se puede generar un punto de comparación sobre el comportamiento del fondo marino obtenidos en los estudios.

Fig.7 Comparación de profundidades de los tres estudios realizados en la zona de análisis.
Fuente: Propia del autor

Dentro de los tres estudios analizados, mencionados en la metodología se pudo identificar en relación a la sedimentación del área de dragado presentaban discrepancias en los resultados finales del volumen y espesor de sedimentación a lo largo de la zona B del canal de acceso al puerto de aguas profundas. Por lo que a pesar de que se logró obtener la profundidad de dragado, no se tenía un valor certero de los volúmenes de sedimentación para generar el dragado de mantenimiento.

Con respecto al espesor de sedimentación los tres estudios presentan variaciones significativas de los resultados obtenidos entre ellos.

Según los resultados de Royal Haskoning indican que se tienen espesores de 0.15 m/año [14] y los de SVASEK 0.4 m/año [15], mientras que los resultados obtenidos en la realidad casi que triplican los valores del modelo, teniendo así un resultado de 1.28 m/año [10] de sedimentación, como se muestra en la Fig.8.

Fig.8 Comparación de espesores de sedimentación de los tres estudios realizados en la zona de análisis.

Fuente: Propia del autor

En los resultados del modelo generados por Royal Haskoning se puede ver que se tienen una sedimentación de 1'229.000 m³/año [14] mientras que los resultados del modelo presentado por SVASEK es de 1'000.000 m³/año [15], los cuales tienen una gran variación con respecto a los resultados reales obtenidos en la prueba de dragado, siendo estos de 1'970.901,96 m³/año [10]. Como se muestra en la Fig.9.

Fig.9 Comparación de la tasa de sedimentación anual de los tres estudios realizados en la zona de análisis.

Fuente: Propia del autor

A pesar de que los modelos utilizados en estos estudios de viabilidad y diseño de dragado son considerados de alta precisión, en los mismos estudios se indica que se deben de tomar factores de seguridad o de mayoración para tener una idea más aproximada a la realidad de la posible sedimentación que se generaría en el transcurso de un año, estos factores son puestos en consideración debido a la incertidumbre y falta de datos de campo tales como velocidades de corrientes marinas que producen el transporte de los sedimentos y la selección del verdadero fondo marino.

A través de los resultados reales de resedimentación obtenidos en el dragado de prueba, analizados mediante batimetrías periódicas, se puede calibrar la diferencia que existe con respecto a los resultados presentados en los modelos numéricos.

Los modelos usados en estos estudios deben de tener una buena base teórica y práctica para poder partir hacia los resultados ya que de otro modo se puede tener o presentar cálculos de volúmenes muy bajos o muy altos según sea el caso, en comparación a lo que se ve reflejado en la realidad del comportamiento del fondo marino después de la intervención y modificación del mismo. Estas discrepancias en los niveles de sedimentación generarían una mala planificación para los dragados de mantenimiento, como consecuencia, se puede tener el riesgo que con el tiempo por falta de recursos por la mala planificación se tenga un déficit en la capacidad de diseño inicial de calado y se vea afectado el ingreso de los buques de gran calado.

Esta variación considerable en los resultados de los volúmenes de sedimentación, se puede dar debido a la falta de consideración de factores claves que aportan y aceleran el proceso de sedimentación, como es el fenómeno del equilibrio dinámico, la resedimentación por el efecto trampa

que produce la sección dragada y la poca precisión en la identificación del fondo marino a dragar, por lo que quizás se tomó como fondo un estrato denso, despreciando el material de menor densidad que se encuentra en constante movimiento por la fuerza de arrastre de los sedimentos, estas partículas medianamente en suspensión ayudarán a la sedimentación acelerando el proceso y perdiendo profundidad para la navegación segura, por lo que debe de ser considerado en la planificación del dragado de mantenimiento [12].

La compañía SVASEK propuso que se genere un sobre dragado de al menos 2 metros para así retornar dentro de tres años para dar mantenimiento [15]; sin embargo de acuerdo a la comparación de resultados entre las modelaciones de dos estudios ya mencionados y las batimetrías de monitoreo hechas durante el dragado de prueba en el canal propuesto para el Puerto de Aguas Profundas de Posorja, se debería de considerar modificar la propuesta, como por ejemplo realizar un sobre dragado de 3 metros para así retornar a los 2 años, partiendo de la consideración que los resultados obtenidos por batimetría durante la ejecución del dragado de prueba corresponde a 1.28 m/año de espesor lo cual se evidencia si se lo analiza de forma lineal sin considerar otras variables como corrientes, fenómeno del niño, oleaje, mareas, entre otros.

B.-Comparación de resultados de este estudio (área B) en la desembocadura del estero Salado y otro Estudio Realizado por APG del canal de Acceso al puerto de Guayaquil en la parte interna entre la boya 44 y 45.

El Estudio Realizado por APG del canal de Acceso al puerto de Guayaquil en la parte interna entre la boya 44 y 45, como se muestra en la Fig.10, se puede relacionar con el presente estudio por motivo que la Zona B es el punto de desembocadura de los sedimentos provenientes del Estero Salado, por lo cual los patrones verificados de sedimentación podrían tener relación dada la similitud en la carga de fondo y tipos de sedimentos.

Fig.10 Trazado del canal Acceso al puerto de Guayaquil y del canal de acceso al Puerto de aguas profundas de Posorja e identificación de las boyas 44 y 45.

Fuente: Propia del autor- INOCAR [16] – Royal Haskoning [14]

De acuerdo con los resultados que se reflejan en los estudios planteados en el Estero Salado, el cual puede considerarse como área de influencia de la zona B de este estudio, por estar ubicado en la desembocadura del Estero Salado; en la metodología correspondientes a la zona de influencia del canal, como se muestra en la Fig.2, se puede ver que realmente se tienen procesos de sedimentación en el transcurso del año.

Según lo analizado en el año 1986 [12], las tasas de sedimentación de la barra interna en las zonas dragadas pueden llegar a tener espesores de sedimentación de 1cm/día, estos sedimentos con el tiempo y con los procesos climatológicos son los que se van transportando hacia el golfo de Guayaquil, por lo que es evidente y predecible que el canal de acceso al Puerto de Aguas Profundas de Posorja sea una zona altamente sedimentable.

Concuerda de manera parcial con los estudios realizados en la misma zona de influencia en el año 2015 con

colaboración del INOCAR, donde se identifican sedimentaciones de 0.53 cm/día [13].

La sedimentación que se presenta en la zona del Puerto Marítimo de Guayaquil es una sedimentación con características aceleradas que no se encuentra en su totalidad a lo largo del canal, que más bien puede ser representada como una zona puntual donde se depositan estos sedimentos, teniendo un comportamiento similar con la sedimentación en la desembocadura del estero.

Fig.11 Comparación de la tasa de sedimentación anual de los tres estudios realizados APG del canal de Acceso al puerto de Guayaquil en la parte interna entre la boya 44 y 45.

Fuente: Propia del autor

Es correcto tener diferencias en los resultados de sedimentación presentados de forma real en la prueba de dragado de la zona B con respecto a los resultados de los modelos, estos tienen una base fundamentada debido a que de acuerdo a Delf Hydraulics se produce la sedimentación de forma acelerada, en este caso en una sección dragada debido a que existe una intervención antropogénica alterando el equilibrio dinámico, por ende, este fenómeno busca restaurarse lo más rápido posible la profundidad perturbada [12].

Identificar el falso fondo es discutible debido a que las obras de dragado se hacen a los materiales ya consolidados, pero los organismos en cargados de estos estudios para la obras de dragado siguen definiendo el fondo usando alta frecuencia identificando material poco consolidado, de acuerdo a lo propuesto por Del Hydraulics [12], se debe de tomar en consideración como suelos sedimentados a aquellos que superan la densidad de 1.2 t/m³, esto sedimentos se identifican mediante el uso de sistemas de baja frecuencia. Se puede discutir el uso de una metodología donde se usen sistemas de baja frecuencia y alta frecuencia para determinar el espesor del verdadero fondo a dragar para tener un valor más certero de los volúmenes a la hora de ejecutar la obra de dragado, esto es debido a que existen corrientes que producen el transporte de los sedimentos menos densos, manteniéndolos en suspensión creando el falso fondo.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se concluye que la sedimentación acelerada se debe a la perturbación del equilibrio dinámico debido factores de intervención y modificación que se generan por las obras de dragado con el fin de ganar profundidad para la navegabilidad. Por lo cual los modelos de predicción de las tasas de sedimentación, no se están calculando de manera precisa ya que dentro de los parámetros que se utilizan en los modelos no toman en consideración un parámetro muy importante que es el de la resedimentación, el cual afecta a los dragados de mantenimiento ya que los volúmenes reales a dragar no constan dentro de la planificación.

Después de tener un análisis de los tres estudios y notar que existe una gran variación de los resultados en la zona del canal de acceso a la terminal de aguas profundas de Posorja, se da la recomendación de generar una calibración entre los resultados generados en los modelos y los resultados obtenidos en el dragado de prueba. Con estos datos se genera la calibración, donde los cálculos de la tasa de sedimentación ya tendrían en consideración los parámetros de resedimentación por el equilibrio dinámico.

La zona B es analizada con datos obtenidos en campo, solamente desde el punto de vista batimétrico, mas no se consideran otros factores que se presentan de forma real en la zona dragada; tales como parámetros que involucren mareas, corrientes, oleaje y tamaños de partículas sedimentarias, por lo cual se recomienda abrir líneas de investigación que tomen en consideración los factores mencionados para el análisis de las tasas de sedimentación.

V. REFERENCIAS

- [1] R. Sabonge and R. J. Sánchez, "El Canal de Panamá en la economía de América Latina y el Caribe," *Publicación las Nac. Unidas LC/W.231*, p. 71, 2009.
- [2] Ministerio de Transporte y Obras Públicas, "Plan estratégico de movilidad 2013 - 2037," *Minist. Transp. y Obras Publicas*, p. 238, 2016.
- [3] A. Profundas, N. P. Panamax, and E. Puerto, "Boletín de Prensa DP WORLD POSORJA – EL PUERTO DE NUEVAS," 2018.
- [4] R. Petroni, *Hidraulica Maritima y de Estuarios*, Duken. Argentina, 2005.
- [5] L. Giosan and S. L. Goodbred, "FLUVIAL ENVIRONMENTS | Deltaic Environments," *Encycl. Quat. Sci.*, no. March 2018, pp. 704–716, 2007, doi: 10.1016/b0-44-452747-8/00120-4.
- [6] V. E. Chapapría, *Obras Marítimas*. 2004.
- [7] A. Menendez, L. D. Kazimierski, and M. Re, "Sedimentación extraordinaria en los canales de navegación de Martín García," no. November, pp. 1–11, 2017.
- [8] T. Ochoa, *Hidráulica de ríos y procesos morfológicos*. 2011.
- [9] V. Cruz-Machado and P. Rosa, "Modelo de Planificación Basado en Construcción Ajustada para Obras de Corta Duración," *Inf. tecnológica*, vol. 18, no. 1, pp. 107–118, 2007, doi: 10.4067/s0718-07642007000100015.
- [10] P. Daza, "ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL COMPORTAMIENTO SEDIMENTARIO DURANTE EL DRAGADO DE PRUEBA, PREVIO A LA CONSTRUCCIÓN DEL CANAL DE ACCESO A LA TERMINAL DE AGUAS PROFUNDAS," Universidad de Guayaquil, 2019.
- [11] GeoEstudios and Consula, "Estudios de Prefactibilidad,

Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.,” Guayaquil, 2011.

- [12] Delf Hydraulics, "Access chanel of Puerto de Maritimos de Guayaquil, Ecuador - Causes of sedimentation and recomendations on remedial measures," 19AD.
- [13] J. Prieto, "ANÁLISIS DEL DESLIZAMIENTO DE TALUDES DE UN CANAL DE NAVEGACIÓN EN UNA OBRA DE INGENIERÍA DE DRAGADO," Universidad De Guayaquil, 2015.
- [14] H. N. B.V., "Navigation Access Channel Investigations," 2017.
- [15] G. Dam and M. Van den Boomgaard, "Posorja siltation study," 2008.
- [16] INOCAR, "INOCAR," 2017. [Online]. Available: <https://www.inocar.mil.ec/cartografia/listado.php>.

ANEXOS

Fig.1 Batimetría general del canal de acceso al Puerto de Aguas Profundas Posorja
Fuente: DP WORLD [3]

Fig.2 Batimetría KP11-KP12 del canal de acceso al Puerto de Aguas Profundas Posorja
Fuente: DP WORLD [3]

Fig.3 Batimetría KP12-KP13 del canal de acceso al Puerto de Aguas Profundas Posorja
Fuente: DP WORLD [3]

Fig.4 Batimetría KP13-KP14 del canal de acceso al Puerto de Aguas Profundas Posorja
Fuente: DP WORLD [3]

Fig.5 Batimetría KP14-KP15 del canal de acceso al Puerto de Aguas Profundas Posorja
Fuente: DP WORLD [3]

Fig.6 Batimetría KP19.5-KP20.5 del canal de acceso al Puerto de Aguas Profundas Posorja
Fuente: DP WORLD [3]

Fig.7 Batimetría KP20.5-KP21.5 del canal de acceso al Puerto de Aguas Profundas Posorja
Fuente: DP WORLD [3]

Fig.8 Batimetría KP21.5-KP22.5 del canal de acceso al Puerto de Aguas Profundas Posorja
Fuente: DP WORLD [3]