

**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE CIVIL**

**ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE LA EXTENSIÓN Y/O EVENTUAL
DRAGADO DE UN MUELLE DE SERVICIOS MARÍTIMOS EN EL SECTOR
PACÍFICO DEL CANAL DE PANAMÁ, CONSIDERANDO LA VARIACIÓN DE LA
MAREA.**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar por al título de

INGENIERO CIVIL

Realizado por

Pacheco D., Alfredo J.

Rumbaut S., Román E.

Profesor Guía

Ing. Rafael E. Bécemberg L.

Fecha

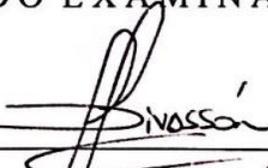
Junio 2018

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE CIVIL

**ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE LA EXTENSIÓN Y/O EVENTUAL
DRAGADO DE UN MUELLE DE SERVICIOS MARÍTIMOS EN EL SECTOR
PACÍFICO DEL CANAL DE PANAMÁ, CONSIDERANDO LA VARIACIÓN DE
LA MAREA.**

**Este Jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo
ha evaluado su contenido con el resultado: 19**

JURADO EXAMINADOR

Firma:  Firma:  Firma: 
Nombre: RAFAEL AVILA D Nombre: JOSE M. DIVASSON Nombre: Rafael Becembers

Realizado por

Profesor Guía

Fecha



Pacheco D., Alfredo J.

Rumbaut S., Román E.

Ing. Rafael E. Bécembere L.

Junio 2018

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecemos a Dios, por estar acompañándonos y guiándonos en habernos guiándonos en todo momento.

A nuestras familias, en especial a nuestros padres, por todos los sacrificios hechos por nosotros, buenas enseñanzas, por su apoyo y paciencia incondicional.

A nuestro tutor, el Ing. Rafael Bécemberg por habernos dado la oportunidad de confiar en nosotros ayudándonos y guiándonos en el desarrollo de esta investigación.

A todos los que a lo largo de este camino pasaron de ser compañeros a ser nuestros amigos y hermanos, haciendo todo el recorrido más alegre y ameno, además del apoyo brindado.

Por último, a nuestra universidad y profesores por brindarnos una formación llena de excelencia, demostrando que el conocimiento no tiene límites.

SINOPSIS

Para el diseño del “Nuevo Terminal de Servicios Marítimos Auxiliares del Sector Pacífico, Corregimiento de Ancón, Distrito y Provincia de Panamá”, no se tomó inicialmente en cuenta la importante variación de marea presente en el sector por lo que la operatividad del muelle se verá afectada ya que el frente del muelle quedaría posicionado en un área que, en mareas bajas, presenta profundidades inferiores a 1 metro.

Para este trabajo de grado se analizaron los Estudios Básicos de Topo-batimetría y Geotécnica del área de estudio realizados por el consorcio INZELVA (Incostas-Zelva) así como las velocidades de corrientes y los resultados de las muestras de concentración de sedimentos en suspensión tomadas por la empresa de Ingeniería de Consultas Incostas.

Con todo lo mencionado anteriormente y los requerimientos de las embarcaciones que utilizarán el muelle, establecidos en las normas náuticas, se definieron las áreas de dragado y se desarrollaron los cálculos de volumen de dragado asociados a cada escenario de extensión del muelle, estimándose además el costo total adicional de la obra para diferentes costos unitarios de dragado. También se estimó el transporte de sedimentos de forma tal de estimar el tiempo que el dragado planteado mantendría las profundidades mínimas necesarias para garantizar la operación segura del muelle.

Finalmente, se hizo la escogencia de la mejor opción en base a los criterios que aseguren el correcto y continuo funcionamiento del muelle a lo largo de su vida útil.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	i
SINOPSIS	ii
ÍNDICE	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE TABLAS	vii
CAPITULO I INTRODUCCIÓN	9
1.1. Planteamiento del problema.....	9
1.2. Antecedentes de la Investigación.....	10
1.3. Alcance y Limitaciones.....	10
1.4. Objetivos.....	11
1.4.1. Objetivo General:	11
1.4.2. Objetivos Específicos:	11
CAPITULO II MARCO TEÓRICO.....	12
2.1 Definición de términos básicos.....	12
2.2 Definición de bases teóricas.....	19
Capítulo III MARCO METODOLÓGICO.....	25
3.1 Nivel de la investigación.....	25
3.2 Diseño de la investigación.....	25
3.3 Definición de las variables	26
3.4 Población y muestra	26
3.5 Recolección de datos e información.....	29
3.6 Procesamiento y análisis de datos	29
CAPITULO IV DESARROLLO	31
4.1 Análisis de resultados de cálculo de costos.....	38

4.2 Análisis y Resultados de transporte de sedimentos.....	53
CAPITULO V CONCLUSIONES	56
CAPITULO VI RECOMENDACIONES.....	58
ANEXO A.....	59
ANEXO B.....	67
ANEXO C.....	73
ANEXO D.....	79
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fases de la luna.....	14
Figura 2. Área de Estudio..	27
Figura 3. Vista Superior Del Eje del Muelle Con Sus Respectivas Progresivas	28
Figura 4. Ubicación de perforaciones de Estudio Geotécnico.....	33
Figura 5. Ubicación Estaciones de Medición de Concentraciones de Sedimentos.....	37
Figura 6. Longitud Extensión y Volumen de Dragado vs Costo Adicional Obra Para un Precio Unitario de Dragado de 10\$.	40
Figura 7. Longitud Extensión y Volumen de Dragado vs Costo Adicional Obra Para un Precio Unitario de Dragado de 12\$.	42
Figura 8. Longitud Extensión y Volumen de Dragado vs Costo Adicional Obra Para un Precio Unitario de Dragado de 14\$......	45
Figura 9. Longitud Extensión y Volumen de Dragado vs Costo Adicional Obra Para un Precio Unitario de Dragado de 15\$......	48
Figura 10. Longitud Extensión y Volumen de Dragado vs Costo Adicional Obra Para un Precio Unitario de Dragado de 18\$......	50
Figura 11. Longitud Extensión y Volumen de Dragado vs Costo Adicional Obra Para un Precio Unitario de Dragado de 20\$.	52
Figura 12. Área de Dragado Caso de Extensión 0m.	59
Figura 13. Secciones de Dragado Caso Extensión 0m Para Progresiva 0+000.....	60
Figura 14. Secciones de Dragado Caso Extensión 0m Para Progresiva 0+020.....	60
Figura 15. Secciones de Dragado Caso Extensión 0m Para Progresiva 0+040.....	60
Figura 16. Secciones de Dragado Caso Extensión 0m Para Progresiva 0+060.....	61
Figura 17. Secciones de Dragado Caso Extensión 0m Para Progresiva 0+080.....	61
Figura 18. Secciones de Dragado Caso Extensión 0m Para Progresiva 0+100.....	61
Figura 19. Secciones de Dragado Caso Extensión 0m Para Progresiva 0+120.....	62
Figura 20. Secciones de Dragado Caso Extensión 0m Para Progresiva 0+140.....	62
Figura 21. Secciones de Dragado Caso Extensión 0m Para Progresiva 0+160.....	62
Figura 22. Secciones de Dragado Caso Extensión 0m Para Progresiva 0+180.....	63
Figura 23. Secciones de Dragado Caso Extensión 0m Para Progresiva 0+200.....	63

Figura 24. Secciones de Dragado Caso Extensión 0m Para Progresiva 0+220.	63
Figura 25. Secciones de Dragado Caso Extensión 0m Para Progresiva 0+240.	64
Figura 26. Secciones de Dragado Caso Extensión 0m Para Progresiva 0+260.	64
Figura 27. Secciones de Dragado Caso Extensión 0m Para Progresiva 0+280.	64
Figura 28. Secciones de Dragado Caso Extensión 0m Para Progresiva 0+300.	65
Figura 29. Área de Dragado Caso de Extensión 135m.	67
Figura 30. Secciones de Dragado Caso Extensión 135m Para progresiva 0+120.	68
Figura 31. Secciones de Dragado Caso Extensión 135m Para progresiva 0+140..	68
Figura 32. Secciones de Dragado Caso Extensión 135m Para progresiva 0+160.	68
Figura 33. Secciones de Dragado Caso Extensión 135m Para progresiva 0+180.	69
Figura 34. Secciones de Dragado Caso Extensión 135m Para progresiva 0+200.	69
Figura 35. Secciones de Dragado Caso Extensión 135m Para progresiva 0+220.	69
Figura 36. Secciones de Dragado Caso Extensión 135m Para progresiva 0+240..	70
Figura 37. Secciones de Dragado Caso Extensión 135m Para progresiva 0+260.	70
Figura 38. Secciones de Dragado Caso Extensión 135m Para progresiva 0+280..	70
Figura 39. Secciones de Dragado Caso Extensión 135m Para progresiva 0+300..	71
Figura 40. Extrapolación de Velocidades y Concentraciones.	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Escala de tamaño de granos de la American Geophysical Union.....	22
Tabla 2. Coordenadas de los vértices que conforman el área de estudio (UTM-WGS84)..	27
Tabla 3. Ubicación y Profundidad de las Perforaciones de Estudio Geotécnico.....	34
Tabla 4. Distribución granulométrica y D ₅₀ Perforación 2..	34
Tabla 5. Distribución granulométrica y D ₅₀ perforación 3	34
Tabla 6. Ángulo de reposo para diseño de canales..	35
Tabla 7. Coordenadas UTM Estaciones de Medición de Concentraciones de Sedimento ..	37
Tabla 8. Cálculo de Costo Adicional de la Obra para un Precio Unitario de Dragado de 10\$.	39
Tabla 9. Cálculo de Costo Adicional de la Obra para un Precio Unitario de Dragado de 12\$.	41
Tabla 10. Resumen Costo Adicional Obra Para Casos de 10\$ y 12\$.	43
Tabla 11. Cálculo de Costo Adicional de la Obra para un Precio Unitario de Dragado de 14\$..	44
Tabla 12. Cálculo de Costo Adicional de la Obra para un Precio Unitario de Dragado de 15\$.	47
Tabla 13. Cálculo de Costo Adicional de la Obra para un Precio Unitario de Dragado de 18\$.	49
Tabla 14. Cálculo de Costo Adicional de la Obra para un Precio Unitario de Dragado de 20\$.	51
Tabla 15. Resumen Costo Adicional Obra Para Casos de 15\$, 18\$ y 20\$.	53
Tabla 16. Resultados Transporte de Carga Suspendida Total Para “Mareas Muertas”.....	54
Tabla 17. Resultados Transporte de Carga Suspendida Total Para “Mareas Vivas”.....	54
Tabla 18. Cálculo Volumen Total de Dragado Caso Extensión 0m.	66
Tabla 19. Cálculo Volumen Total de Dragado Caso Extensión 135m.	72
Tabla 20. Cálculo de Transporte de Carga Suspendida Total Para “Mareas Muertas” Estación 1.	73
Tabla 21. Cálculo de Transporte de Carga Suspendida Total Para “Mareas Muertas” Estación 2.	73

Tabla 22. Cálculo de Transporte de Carga Suspendida Total Para “Mareas Muertas” Estación 3.	74
Tabla 23. Cálculo de Transporte de Carga Suspendida Total Para “Mareas Muertas” Estación 4.	74
Tabla 24. Cálculo de Transporte de Carga Suspendida Total Para “Mareas Muertas” Estación 5.	75
Tabla 25. Cálculo de Transporte de Carga Suspendida Total Para “Mareas Muertas” Estación 6.	75
Tabla 26. Cálculo de Transporte de Carga Suspendida Total Para “Mareas Vivas” Estación 1.	76
Tabla 27. Cálculo de Transporte de Carga Suspendida Total Para “Mareas Vivas” Estación 2.	76
Tabla 28. Cálculo de Transporte de Carga Suspendida Total Para “Mareas Vivas” Estación 3.	77
Tabla 29. Cálculo de Transporte de Carga Suspendida Total Para “Mareas Vivas” Estación 4.	77
Tabla 30. Cálculo de Transporte de Carga Suspendida Total Para “Mareas Vivas” Estación 5.	78
Tabla 31. Cálculo de Transporte de Carga Suspendida Total Para “Mareas Vivas” Estación 6.	78

CAPITULO I INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema.

El proyecto original del muelle ubicado en el Sector Pacífico, Distrito Balboa, al Oeste de la Ciudad de Panamá, a unos 600 metros al Sur Este del Puente de Las Américas, realizado por las autoridades marítimas de Panamá no tomó en cuenta la importante variación de marea presente en el sector (en algunos casos, superior a 5 metros cada 6 horas según las predicciones que emite la Autoridad del Canal de Panamá), por lo que el frente del muelle quedaría posicionado en un área que en mareas bajas presenta profundidades inferiores a 1 metro, lo cual limita de forma importante el tiempo de operatividad del muelle.

En tal sentido, y para solventar esta situación, el Consorcio Marítimo Inzelva realizó una serie de estudios tendientes a corregir esta situación, considerando tres (3) posibilidades, las cuales originarán incrementos significativos del monto original estipulado para la construcción del muelle.

Las tres (3) posibilidades a estudiar son:

1. Extender la longitud del muelle hasta que el frente del muelle se localice en un sector con profundidades naturales que independientemente de la variación de la marea, permitan la entrada y salida de buques hacia y desde el terminal de una forma segura, descartando la posibilidad de efectuar cualquier tipo de dragado.
2. Extender la longitud del muelle hasta que el frente del muelle se localice a una profundidad tal, que conjuntamente con un dragado en sectores específicos, permita alcanzar la profundidad requerida para que este opere en forma segura, sin que la variación de la marea limite su tiempo de operatividad.
3. Dejar intacta la ubicación actual del frente del muelle, efectuando únicamente un dragado de toda el área circundante al muelle, hasta alcanzar la profundidad requerida por las embarcaciones que utilizarán el terminal portuario.

El resultado del presente estudio servirá para determinar la inversión óptima, desde el punto de vista de ingeniería, para la extensión y/o el eventual dragado del muelle de

servicios marítimos en el sector que colinda con el océano Pacífico para lograr su correcto funcionamiento.

El correcto funcionamiento del muelle beneficiaría a numerosos usuarios ya que los servicios marítimos del Canal de Panamá no disponen de su propio muelle por lo que tienen que depender de los demás que se encuentran en el canal, bien sean privados o de clubes.

1.2. Antecedentes de la Investigación.

Se han revisado estudios asociados al comportamiento de la marea como el elaborado por Foreman, G. (1977) titulado “Manual For Tidal Heights Analysis and Prediction” (Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay-Canada) en el cual habla de las mareas, su análisis y predicción.

En el trabajo investigativo de Simón Marcano y Joannys González titulado “Propuesta Conceptual de un Muelle en Caño con Influencia de Marea. Caso de Estudio: Caño Mánamo, Tucupita, Estado Delta Amacuro” (Universidad Central de Venezuela, Caracas-Venezuela) tuvo como objetivo realizar la propuesta conceptual de un muelle en caño con influencia de marea. Para realizar esta propuesta tomaron las mediciones de las mareas e hicieron uso de la batimetría existente a lo largo del canal para determinar la profundidad mínima para el calado de las embarcaciones que navegan en la zona.

Los trabajos de investigación citados anteriormente hacen mención a las mareas y su comportamiento así como también el uso de las predicciones de marea y batimetría de un canal para dimensionar un muelle. No se encontró una investigación donde se trate directamente el tema a desarrollar.

1.3. Alcance y Limitaciones.

- Se encontraron pocos trabajos de investigación que sirvan como referencia.
- No se tomaron datos directos propios.
- Solamente se cuenta con muestras de concentraciones en “mareas vivas” y “mareas muertas” las cuales se tomaron en una sola ocasión.

- La longitud máxima de extensión del muelle está restringida a los límites del canal de navegación.
- No se tiene una alta certeza de cual es el costo exacto por metro cúbico de dragado.
- Debido al alto costo de los estudios de suelos, sólo se cuenta con la información de dos (2) perforaciones.

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo General:

Analizar, desde el punto de vista técnico de ingeniería y el impacto económico, el grado de sensibilidad de la inversión asociada a eventuales extensiones del muelle o al volumen de dragado necesario para alcanzar la profundidad requerida para asegurar un adecuado y seguro funcionamiento del muelle de servicios marítimos en el sector Pacífico del Canal de Panamá, tomando en cuenta la variación de la marea.

1.4.2. Objetivos Específicos:

- Analizar la data existente de las variaciones diarias de la marea, a los fines de entender cómo afectan a las profundidades existentes en el área.
- Analizar la situación planteada bajo las condiciones de la situación actual y de las limitaciones de operatividad asociadas.
- Plantear diferentes escenarios, variando la longitud del muelle y los volúmenes de dragado.
- Comparar los escenarios con los diferentes costos de dragado a fin de encontrar la combinación óptima que desde el punto de vista estrictamente financiero permita minimizar el incremento de los costos actuales.
- Estimar el transporte de carga suspendida total en el área de estudio con el propósito de determinar la duración del dragado.

CAPITULO II MARCO TEÓRICO.

2.1 Definición de términos básicos.

- **Marea.**

Según Mederos, L. (2009), en su publicación “*Las Mareas*” conceptualiza marea como “(...) movimientos periódicos de ascenso y descenso de las aguas del mar. (...)” (p.5)

- **Marea astronómica.**

Grobas, M. (2003), en su publicación “*Variaciones del nivel del mar en el Mediterráneo occidental a partir de los datos suministrados por los mareógrafos*” define a la marea astronómica como “una onda de largo periodo que provoca cambios periódicos en la elevación de la superficie del océano en alguna localidad específica. Está generada por la combinación de las fuerzas de atracción gravitacional de la Luna y el Sol sobre la Tierra.” (p. 5)

- **Mareas diurnas.**

Mederos, L. (2009), en su publicación hace mención a que una mareas son diurnas cuando “solamente una (1) pleamar (nivel máximo que alcanza la superficie libre) y una (1) bajamar (nivel mínimo que alcanza la superficie libre) tienen lugar durante un día lunar.” (p. 9)

- **Mareas semidiurnas.**

Mederos, L. (2009), en la publicación ya mencionada define mareas semidiurnas como “cuando hay dos (2) pleamares y dos (2) bajamares en cada día lunar, con las dos (2) pleamares alcanzando niveles del agua muy parecidos.” (p. 8)

- **Mareas mixtas.**

El autor Mederos, L. (2009), define mareas mixtas como:

Aquellas en que la altura de la marea presenta características comunes a ambos tipos, diurna y semidiurna, simultáneamente, dando lugar a apreciables diferencias entre los niveles del agua

correspondientes a dos (2) pleamares consecutivas. En este tipo de mareas hay normalmente dos (2) pleamares y dos (2) bajamares por día lunar pero ocasionalmente la marea adquiere carácter diurno. (p.9)

- **Marea meteorológica.**

Grobas, M. (2003), en su publicación ya citada define marea meteorológica como:

Aquellas fluctuaciones del nivel del mar asociadas a eventos atmosféricos como viento, presión atmosférica, etc. que, por tanto, no tienen origen astronómico, pero que un mareógrafo también mide junto a la marea astronómica. Así pues, si se restan los valores predichos de altura de marea astronómica de los valores iniciales tomados en el mareógrafo se obtiene un registro que contiene los datos de marea meteorológica. (p. 85)

- **Mareas vivas y mareas muertas.**

Mederos, L. (2009) en la publicación ya citada hace referencia al término “mareas vivas” como:

Las “mareas vivas” se dan cuando el Sol, la Luna y la Tierra se encuentran alineados (posiciones 1 y 5 en la figura 1), es decir, se presentan cuando hay Luna llena o Luna nueva. En el primero de los casos se llama de oposición (el Sol y la Luna están en oposición respecto a la Tierra) mientras que cuando tiene lugar con Luna nueva se denomina de conjunción (pues entonces el Sol y la Luna están, respecto a la Tierra, en conjunción). Tanto en una como en la otra, las fuerzas de marea ejercidas por la Luna y el Sol se suman, consiguiéndose así pleamares más altas y bajamares más bajas que los valores promedios. (p. 6)

También define “mareas muertas” como:

(...) las mareas menos intensas y se dan al encontrarse el sistema Tierra-Sol-Luna en posiciones como la 3 y la 7 de la figura 1, es decir se dan cuando la Luna está en cuarto menguante o en cuarto creciente, puesto que entonces las atracciones gravitatorias de la Luna y el Sol se compensan parcialmente. (p.7)

A continuación se presentará la figura 1:

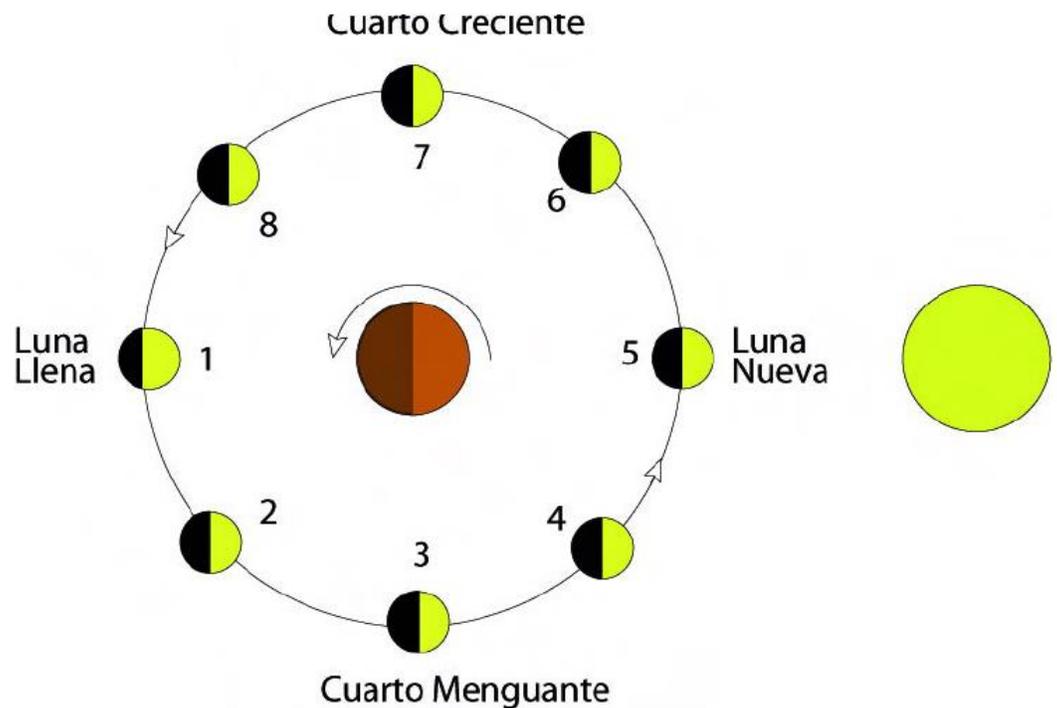


Figura 1. Fases de la luna. Fuente Mederos, L. (2009).

- **Amplitud de la marea.**

Mederos, L. (2009), define amplitud de la marea como

(...) la diferencia en altura entre pleamar y bajamar consecutivas en un lugar determinado (...) la amplitud de la marea en un lugar en particular no es constante, sino que varía día a día. Parte de esta variación es causada por los efectos del viento y del clima, pero mayormente es un fenómeno periódico

relacionado con las posiciones del Sol y de la Luna en relación a la Tierra. (p.9)

- **Bajamar de la marea.**

Pugh, D. (2004), en su publicación “*Changing Sea Levels: Effects of Tides, Weather and Climate*” define la bajamar de una marea como “El menor nivel de agua alcanzado dentro de un ciclo de marea.” (p. 5)

- **Corriente.**

Mederos, L. (2009), se refiere al término corriente como los movimientos horizontales que se producen por el movimiento ascendente y descendente de las mareas. (p.13)

- **Oleaje.**

La definición de oleaje es, según Portillo, G. (2018), “Las olas son movimientos ondulatorios, oscilaciones periódicas de la superficie del mar, formadas por crestas y depresiones que se desplazan horizontalmente.”

- **Pleamar de la marea.**

Mederos, L. (2009) en la publicación ya mencionada, define pleamar de la marea como “La altura máxima que alcanzará el agua (pleamar) un determinado día.” (p.6)

- **Mareógrafo.**

Mederos, L. (2009) define también mareógrafo como “aparatos registradores del nivel del agua. Detectan el nivel del agua en cada instante y transmiten los datos a una central donde son procesados permitiendo obtener gráficas del nivel del agua en función del tiempo.” (p. 13)

- **Nivel medio del mar.**

La definición de nivel medio del mar es, según Mederos, L. (2009), “El nivel medio del mar en un largo período de tiempo (preferiblemente 18,6 años, correspondiente al denominado “Ciclo Metón” ó “Ciclo Nodal Lunar”), equivalente al nivel medio que existiría en ausencia de mareas.” (p.12)

- **Promedio de aguas bajas de sicigia.**

Pugh, D. (2004), también define el promedio de aguas bajas de sicigia como “un datum de mareas que viene del promedio de las mediciones de bajamar medidas en un tiempo determinado” (p.5)

- **Arcillas.**

Según Crespo, C. (2004), hace referencia a la definición de arcillas dada por el Dr. Karl von Terzaghi en su publicación “*Mecánica de suelos y cimentaciones*”, la cual la define como:

(...) partículas sólidas con diámetro menor de 0,005 mm y cuya masa tiene la propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua.(...) La estructura de estos minerales es, generalmente, cristalina y complicada, y sus átomos están dispuestos en forma laminar.(...) En general, las arcillas, ya sean caoliníticas, montmoriloníticas o ilíticas (...), son plásticas, se contraen al secarse, presentan marcada cohesión según su humedad, son compresibles y al aplicárseles una carga en su superficie se comprimen lentamente.(...) la resistencia perdida por el remoldeo se recupera parcialmente con el tiempo.(...) Se puede decir que un contenido mínimo del 15% de arcilla en un suelo le dará a este las propiedades de la arcilla. (Pp.22-25)

- **Arenas.**

De la misma manera, en su publicación Crespo, C. (2004) se refiere a este término como

(...) nombre que se le da a los materiales de granos finos procedentes de la denudación de las

rocas o de su trituración artificial, y cuyas partículas varían entre 2 mm y 0.05 mm de diámetro.

El origen y la existencia de las arenas es análoga a la de las gravas: las dos suelen encontrarse juntas en el mismo depósito. (...) Las arenas estando limpias no se contraen al secarse, no son plásticas, son mucho menos compresibles que la arcilla y si se aplica una carga en su superficie, se comprimen casi de manera instantánea. (p.22)

- **Limo.**

El término es definido por Crespo, C. (2004) como

(...) suelos de granos finos con poca o ninguna plasticidad, pudiendo ser limo *inorgánico* como el producido en canteras, o *limo orgánico* como el que suele encontrarse en los ríos, siendo en este último caso de características plásticas. El diámetro de las partículas de los limos está comprendido entre 0,05 mm y 0,005 mm. Los limos sueltos y saturados son completamente inadecuados para soportar cargas por medio de zapatas. Su color varía desde gris claro a muy oscuro. La permeabilidad de los limos orgánicos es muy baja y su compresibilidad muy alta. Los limos, de no encontrarse en estado denso, a menudo son considerados como suelos pobres para cimentar. (p.22)

- **Granulometría.**

Rico, A. y Del Castillo, H. (1976), en su publicación “*La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres*” definen granulometría como:

Proceso en el cual se divide el suelo en varias fracciones, seleccionadas por el tamaño de las partículas que lo componen. El tamaño de las partículas de cada fracción se caracteriza por encontrarse entre un tamaño máximo y un tamaño mínimo, de tal forma de que el tamaño mínimo de la fracción es el máximo de la fracción que le sigue. Por medio del uso de mallas se logra la separación del suelo en fracciones, cuando el suelo permite el cribado, sin embargo en suelos de grano pequeño se deben establecer métodos más complicados para separar las partículas. (p. 24)

- **Calado.**

Según la Asociación Internacional de Infraestructuras del Transporte Acuático (2016), también conocido como PIANC por sus siglas en inglés el calado es “La profundidad del agua requerida por un buque para flotar. Distancia desde la línea de flotación hasta el punto más bajo de la quilla de un buque.” (p.2)

- **Eslora.**

De acuerdo a PIANC (2016), eslora es la “Longitud total del buque, incluida cualquier estructura accidental que pueda extender esta dimensión.” (p.2)

- **Manga.**

Según PIANC (2016) la manga es “El ancho de un barco en su parte más ancha.” (p.3)

- **Puntal.**

PIANC (2016), también define puntal como “La altura de buque. Se mide desde la quilla hasta la cubierta principal.”(p.3)

2.2 Definición de bases teóricas

Dragado.

Una obra de dragado se define como el conjunto de operaciones necesarias para la extracción, el transporte y el vertido de materiales situados bajo el agua, ya sea en el medio marino, fluvial o lacustre. (Ortego, L. 2009).

El dragado se realiza en tres (3) etapas, el primer paso consiste en extraer el material del fondo, y para ello se requiere una maquinaria específica, las dragas. A continuación se debe efectuar el transporte del material desde el punto de extracción hasta la zona de vertido, y finalmente se debe seleccionar el lugar de vertido, o zona de bote, la cual debe siempre estar autorizada por la autoridad ambiental competente del país donde se ejecute el dragado.

El dragado es una operación necesaria para el desarrollo y el mantenimiento de las infraestructuras en el medio marino y fluvial, y de su realización depende en buena medida el desarrollo de los puertos y del tráfico marítimo.

Para definir correctamente una operación de dragado se debe conocer una serie de aspectos previos sobre las zonas de extracción y de vertido, que pueden resumirse en:

- Batimetría de la zona de dragado y de vertido.
- Características geotécnicas y geológicas del material a dragar.
- Condiciones medioambientales de las zonas involucradas en la operación de dragado.

Su definición es fundamental a la hora de abordar una operación de dragado y por tanto en la minimización de costes tanto ambientales como económicos, así como en el impacto que las operaciones de vertido van a tener sobre la zona.

Batimetría.

En topografía se entiende por batimetría el levantamiento del relieve de superficies submarinas o subacuáticas, abarcando tanto los levantamientos del fondo del mar, como del fondo de cursos de agua, de embalses etc. (Farjas, M. (sf))

Existen diferentes métodos topográficos en batimetría para la determinación de las coordenadas X, Y, Z del fondo submarino, los cuales son el método de posicionamiento planimétrico, altimétrico y 3D. Se profundizará en el método utilizado por la empresa que realizó el estudio batimétrico el cual fue el método de posicionamiento altimétrico, haciendo uso de sondas acústicas.

Método de posicionamiento altimétrico.

La determinación altimétrica consiste en determinar la cota de los puntos midiendo la distancia vertical existente entre la superficie del agua y el punto en el fondo. Estas cotas habrán de referirse siempre, a las coordenadas (X,Y) del punto en el que se está situado en el momento de la obtención de la profundidad. (Farjas, M. (sf))

Sondeo.

Es la parte definitiva de cualquier batimetría y aporta los elementos suficientes para garantizar la seguridad en la navegación al facilitar información de las profundidades submarinas. Un perfecto conocimiento del relieve submarino exige un alto número de puntos de profundidad conocida o puntos sondados esquemáticamente espaciados. (Farjas, M. (sf))

Sondas acústicas.

Permiten una mayor rapidez en el levantamiento, a la par que proporcionan una mejor representación del fondo submarino, al registrar una forma continua la línea que se va levantando.

El principio fundamental consiste simplemente en registrar el tiempo que transcurre desde que un impulso sonoro es emitido desde el buque y recogido nuevamente en él, tras reflejar en el fondo del mar. Se basa en el principio de que todo sonido producido cerca de la superficie del agua se refleja en el fondo y vuelve a la superficie como un eco. Como la velocidad del sonido en el agua es conocida, el problema se reduce a medir el tiempo empleado en el doble recorrido. (Farjas, M. (sf))

Sedimento.

Deposición de material bajo forma sólida en condiciones físico-químicas normales de la superficie terrestre. La sedimentación puede realizarse en medio aéreo o acuoso, comprendiendo la destrucción de rocas preexistentes y posteriormente su transporte, depósito y diagénesis. Los sedimentos se suelen depositar donde el agua, viento, glaciares o gravitación los transportan y donde las condiciones geomorfológicas, tales como presencia de cuencas, sean apropiadas para su depósito y retención (Díaz-Naveas, J. y Frutos, J., 2010).

Sedimento Marino.

El material que sedimenta en el ambiente marino puede tener su origen en el continente o en el océano. Por otra parte, este material puede ser de naturaleza inorgánica u orgánica como restos y/o desechos de organismos. Durante el transporte, y dependiendo de la resistencia de las sustancias a los factores ambientales (dada por su composición química), este sedimento puede sufrir diversos procesos de transformación, y modificar su estructura y composición original. Ya que las corrientes marinas generan transporte en diferentes direcciones, mientras que las propiedades físicas y químicas de las masas de agua influyen en las características del material, para finalmente generar depósitos característicos en el fondo del océano (Díaz-Naveas, J. y Frutos, J., 2010).

Tamaño de sedimentos

Usualmente, sedimentos se refiere a grava, arena, limo o arcilla. Estos términos se refieren al tamaño de la partícula de sedimento. La tabla número 1 presenta la escala de tamaño de granos de la American Geophysical Union.

Se encuentran varios métodos para determinar el tamaño de la partícula. Grava, arena y limos son analizados por métodos de tamizado seco o húmedo, mientras que los materiales arcillosos son analizados hidráulicamente utilizando métodos de sedimentación, donde el diámetro de la partícula es calculado a partir de la velocidad de caída de la misma. Los materiales arcillosos también pueden ser analizados con varias técnicas electrónicas como la técnica de difracción laser. Por lo tanto el tamaño de la partícula de sedimento está muy relacionado al método de análisis. (Van Rijn, L. 1993).

Clasificación	Milímetros	Micrómetros
Canto rodado	>256	
Canto	256-64	
Grava	64-2	
Arena muy gruesa	2.0-1.0	2000-1000
Arena gruesa	1.0-0.50	1000-500
Arena media	0.50-0.25	500-250
Arena fina	0.25-0.125	250-125
Arena muy fina	0.125-0.062	125-62
Limo grueso	0.062-0.031	62-31
Limo medio	0.031-0.016	31-16
Limo fino	0.016-0.008	16-8
Limo muy fino	0.008-0.004	8-4
Arcilla gruesa	0.004-0.0020	4-2
Arcilla media	0.0020-0.0010	2-1
Arcilla fina	0.0010-0.0050	1-0.5
Arcilla muy fina	0.0005-0.00024	0.5-0.25
Coloide	<0.0024	<0.24

Tabla 1. Escala de tamaño de granos de la American Geophysical Union. Fuente: Van Rijn, L. (1993).

Transporte de sedimentos

De acuerdo al número de dimensiones espaciales y orientación espacial, cuatro (4) clases de modelos son considerados: tridimensional (3D), bidimensional vertical (2DV), bidimensional horizontal (2DH) y modelos unidimensionales (1D). El número de dimensiones a ser modelado está fuertemente relacionado a la escala del proceso involucrado y el problema estudiado.

Usualmente, los modos de movimiento de las partículas de fondo se pueden caracterizar y englobar y asociar como:

- Rodamiento y deslizamiento
- Saltos
- Suspensión

Cuando el valor de la velocidad de corte en el fondo excede el valor crítico para la iniciación del movimiento, las partículas comenzaran a rodar y deslizarse en contacto continuo con el fondo. Para valores superiores de esfuerzo cortante en el fondo las partículas realizaran saltos más o menos regulares.

Cuando el valor de la velocidad de corte en el fondo excede la velocidad de caída de la partícula, las partículas pueden ser levantadas a un nivel en el cual las fuerzas

ascendentes de turbulencia son comparables o mayores que el peso sumergido de la misma, como resultado, de forma ocasional y aleatoria la partícula puede quedar en suspensión. Usualmente, el comportamiento de las partículas de sedimento suspendidas es descrito en términos de concentración de sedimentos, el cual es el volumen sólido (m^3) por unidad de volumen de fluido o masa del sólido por unidad de volumen de fluido (Kg/m^3).

Observaciones de Van Rijn, L. (1993) muestran que las concentraciones de sedimentos suspendidos disminuyen a medida que disminuye la profundidad. La tasa de disminución depende de la relación entre la velocidad de caída y la velocidad de corte en el fondo.

En la literatura se pueden encontrar diferentes modelos morfológicos para estimar el transporte de sedimentos.

Modelos de caja

El transporte de carga de fondo en condiciones no uniformes y no permanentes puede ser modelado con un enfoque tipo fórmula porque el ajuste del proceso de transporte para las nuevas condiciones hidráulicas ocurre rápidamente.

Basado en esto, un enfoque bidimensional horizontal o unidimensional es el enfoque más eficiente, siempre que la magnitud y dirección del esfuerzo cortante de fondo pueda ser estimada con suficiente exactitud. Si es necesario, un modelo de flujo tridimensional puede ser aplicado para obtener el esfuerzo cortante de fondo en situaciones complicadas como flujo en curvas, marea, viento y flujo producto de oleaje.

Modelos Continuos

El transporte de carga en suspensión no se ajusta rápidamente a nuevas condiciones hidráulicas porque toma tiempo y espacio para que el flujo transporte las partículas hacia arriba y abajo en toda la profundidad, lo que hace necesario modelar procesos convectivos y difusivos.

El modelado de procesos de pequeña escala y corto tiempo requieren modelos tridimensionales o bidimensionales verticales, por ejemplo, socavación y deposición cerca de estructuras y puertos. Modelos unidimensionales o bidimensionales horizontales con

integración de la profundidad pueden ser usados para modelado en gran escala y largo tiempo para transporte en ríos y aguas de marea poco profundas.

Ángulo de reposo natural

El ángulo de reposo natural es una propiedad de comportamiento de las partículas de arena. Los granos acumulados unos sobre otros tienen una pendiente de equilibrio que es comúnmente identificada como: el ángulo natural de reposo. (Van Rijn, L. 1993).

Este parámetro parece ser una función del tamaño, forma y porosidad. El ángulo aumenta con la disminución de la redondez. Valores en la literatura están en el rango de 30° a 40° para partículas de arena desde 0.001 a 0.01 m, mientras que observaciones en la naturaleza de dunas en el desierto y dunas de lechos de ríos también presentan este rango de valores.

El ángulo natural de reposo también es llamado ángulo de fricción interna, es un ángulo característico relacionado a la estabilidad de la partícula en una superficie horizontal o inclinada. Usualmente el ángulo de reposo se determina a partir de experimentos de iniciación de movimiento para superficies horizontales e inclinadas.

Capítulo III MARCO METODOLÓGICO

3.1 Nivel de la investigación.

Según Arias, F. en su texto titulado “*El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica*”. (2006) dice que “El nivel de investigación se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto de estudio”. (p. 23), clasificando los niveles de investigación en exploratoria, descriptiva y explicativa. Para efectos de esta investigación debe aplicarse la investigación experimental de tipo descriptiva, explicando que una investigación descriptiva se basa en

(...) la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere. (p. 24)

Dicho esto, se busca con esta investigación evaluar la mejor opción entre extender la longitud del muelle y el volumen de dragado necesario para alcanzar la profundidad requerida para asegurar un adecuado y seguro funcionamiento del muelle de servicios marítimos en el sector Pacífico del Canal de Panamá, tomando en cuenta la variación de la marea.

3.2 Diseño de la investigación

Siguiendo con Arias, F. “El diseño de investigación es la estrategia general que adopta el investigador para responder al problema planteado. En atención al diseño, la investigación se clasifica en: documental, de campo y experimental.”(p.26)

En el mismo orden de ideas, debe aplicarse la investigación experimental, la cual “(...) es un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos, a

determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente)”. (p. 34)

Igualmente, el mismo autor explica que la finalidad de una investigación correlacional es “determinar el grado de relación o asociación (no causal) existente entre dos (2) o más variables.” (p. 36)

3.3 Definición de las variables

Haciendo referencia a Arias, F. en su texto titulado “*El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica*”. (2006) define a variable como “(...) una característica o cualidad; magnitud o cantidad, que puede sufrir cambios, y que es objeto de análisis, medición, manipulación o control en una investigación.” (p. 57)

Dentro de las variables presentes en el trabajo desarrollado se tienen la longitud a extender del muelle, los volúmenes de dragado, el área de dragado, los costos de dragado, los costos de extensión muelle y el costo total; siendo el diseño experimental al que corresponde la presente investigación.

Este trabajo de investigación contempla variables cuantitativas complejas ya que, “(...) son aquellas que se expresan en valores o datos numéricos” (p. 59), y se “(...) pueden descomponer en dos dimensiones como mínimo” (p. 60), ya que poseen variables dependientes, independientes, intervinientes y ajenas, que influyen en la decisión a recomendar.

3.4 Población y muestra

La población o “población objetivo”, definida por el autor Arias, F. (2006), es el término que se refiere al “(...) conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio”. (p.81) Correspondiendo en este caso la población al área de 15,5 Ha ubicada en el Sector Pacífico, Distrito Balboa, al Oeste de la Ciudad de Panamá, a unos 600 metros al Sur Este del Puente de Las Américas,

en la zona de influencia del Canal, tal como se muestra esquemáticamente en la figura 2, mientras que en la tabla 2 se muestran en proyección UTM, Datum WGS-84 de cada uno de los vértices que delimitan el área de estudio.



Figura 2. Área de Estudio. Fuente: Consorcio Marítimo Inzelva.

Vértice	Este	Norte
V-1	658.540	988.794
V-2	658.794	988.601
V-3	658.424	988.251
V-4	658.199	988.490

Tabla 2. Coordenadas de los vértices que conforman el área de estudio (UTM-WGS84). Fuente: Consorcio Marítimo Inzelva.

Continuando con la idea del autor mencionado anteriormente

La muestra es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible. En este sentido, una muestra representativa es aquella que por su tamaño y características similares a las del conjunto permite hacer inferencias o generalizar los resultados al resto de la población con un margen de error conocido. (p.83)

Por lo que, la muestra corresponde desde la progresiva 0+000 hasta la progresiva 0+280 con respecto al eje del muelle, como muestra la figura 3.

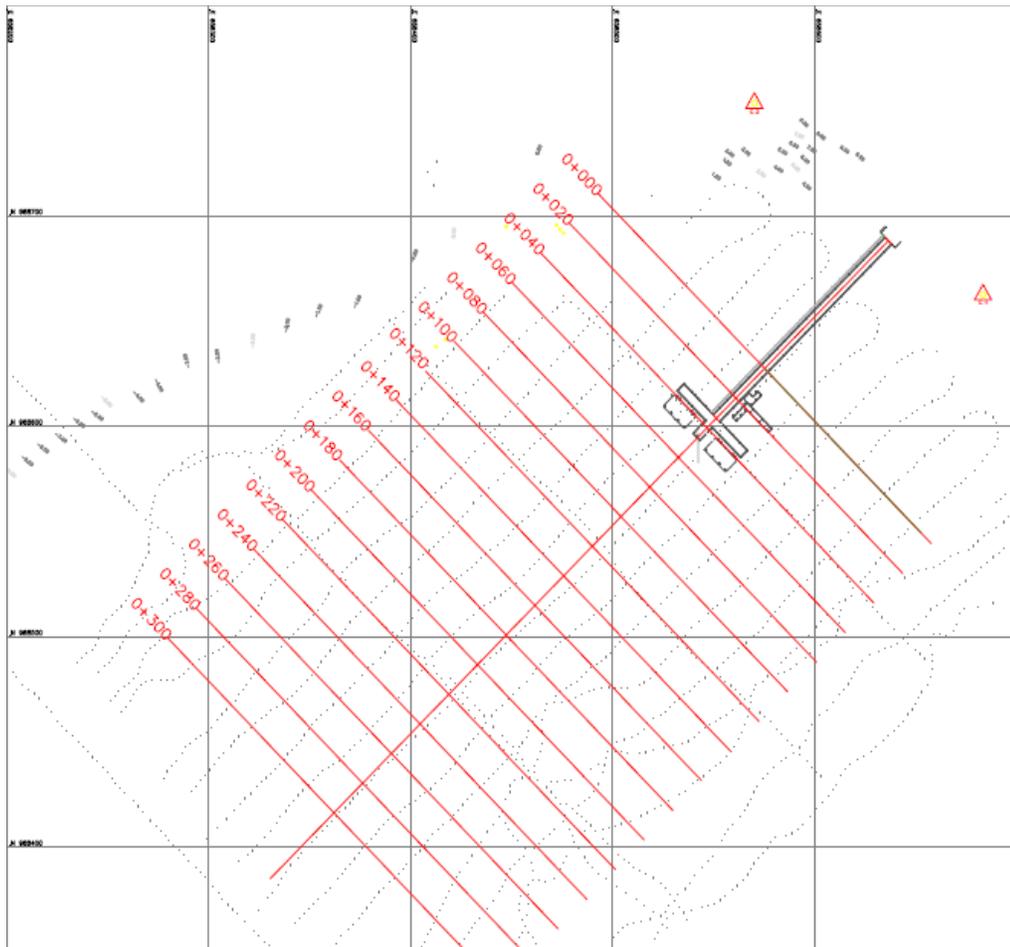


Figura 3. Vista Superior Del Eje del Muelle Con Sus Respectivas Progresivas. Fuente: Consorcio Marítimo Inzelva.

3.5 Recolección de datos e información

Partiendo de lo que expone el autor Arias, F. en su libro citado anteriormente, “Se entenderá por técnica, el procedimiento o forma particular de obtener datos o información. Las técnicas son particulares y específicas de una disciplina, por lo que sirven de complemento al método científico, el cual posee una aplicabilidad general.” (p.67)

Así mismo el “instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información.” (p.69), con la finalidad de cumplir con los objetivos planteados en el presente trabajo de grado.

Inicialmente, se busca revisar la mayor cantidad de bibliografía con la finalidad de recolectar toda la información necesaria para profundizar sobre el tema a estudiar. Se buscarán las predicciones de mareas emitidas por la autoridad marítima de canal de Panamá, se solicitará el proyecto inicial al igual que el estudio de batimetría, estudios de suelos, los resultados obtenidos de las muestras de sólidos de suspensión tomadas en el lugar. Así como también, la obtención de los costos de cada metro lineal de extensión y cada metro cúbico de dragado.

3.6 Procesamiento y análisis de datos

Con la información recopilada, se verificó que el diseño inicial del muelle no cumple los requerimientos de la flota que va a hacer uso del mismo, lo que dio pie para el planteamiento de diferentes escenarios y posteriormente haciendo uso del programa de diseño asistido AutoCAD, definir el área de dragado, dibujar las secciones del fondo marino cada 20 metros, para finalmente obtener los volúmenes de dragado asociados a cada escenario hipotético planteado.

Una vez determinados los volúmenes de dragado se procede a calcular los costos totales asociados tanto al dragado, como a la extensión del muelle para cada combinación planteada y así comparar los diferentes costos resultantes para cada costo unitario de dragado.

Se determina el transporte de carga suspendida haciendo uso de la información recopilada de concentraciones y velocidades en diferentes estaciones de medición, con la intención de estimar el tiempo en que el área dragada se volverá a sedimentar.

CAPITULO IV DESARROLLO

El planteamiento inicial de la construcción de un muelle de servicios marítimos en el sector Pacífico del Canal de Panamá no consideró el efecto de la variación de la marea, teniéndose previsto que dos (2) tipos de embarcaciones harán uso del muelle. Dichas embarcaciones, de 150 y 50 pies, tienen las siguientes características:

Embarcaciones de 150 pies o embarcación de suministro:

- Eslora: 150 ft (45,72 m).
- Manga: 14,00 m.
- Puntal: 5,20 m.
- Calado máximo de operación: 3,00 m.
- Tonelaje de Peso Muerto (TPM): 860 t.
- Desplazamiento: 1118 t.

Los datos para las embarcaciones de 50 pies estarán referidos a las embarcaciones propuestas en la norma ROM 0.2-90:

- Eslora: 50 ft (15,24 m.)
- Manga: 7,0 m.
- Calado máximo de operación: 2,00 m.
- Tonelaje de Peso Muerto (TPM): 16,50 t.
- Desplazamiento 22 t.

Después de analizar la batimetría realizada por el Consorcio Marítimo Inzelva, haciendo uso de métodos acústicos el día 10 de enero de 2017, se comparó la profundidad existente en el área de estudio con la requerida por las embarcaciones, pudiéndose observar que el muelle quedará inoperativo gran parte del tiempo ya que la profundidad a nivel de

los puestos de atraque de las embarcaciones es en momentos de marea baja inferior a 1 m, siendo 3 m la profundidad requerida por la embarcación de mayor tamaño.

Cabe destacar que para la reducción de las profundidades al nivel vertical de referencia (MLWS o Mean Low Water Sprint por sus siglas en inglés) sólo se tomó en cuenta la marea astronómica, siendo ésta del tipo semidiurna. La marea meteorológica y el oleaje, pueden en este caso, ser despreciados porque sus efectos no son significativos debido a que históricamente el sector no ha sido impactado por huracanes ya que el área está protegida del oleaje procedente del Golfo de Panamá.

Haciendo estas consideraciones se procedió a plantear las diferentes soluciones para el problema; estas soluciones fueron 28 escenarios de extensión del muelle que van desde una longitud inicial de 135 m hasta llegar a 270 m extendiendo una longitud de 5 m para cada caso. El valor longitudinal en que se incrementó la longitud del muelle, obedece a que dicho valor es la distancia entre pilotes y la longitud de las losas que van sobre ellos, planteada en el proyecto inicial y que está directamente asociada con el método constructivo que se planteó.

Posteriormente se procedió a definir tanto el eje del muelle como progresivas cada 20 m llegando hasta el límite permitido según la autoridad marítima del canal de Panamá para respetar el canal de navegación, y haciendo uso de la batimetría y del programa AutoCAD se caracterizaron las secciones del fondo marino para cada progresiva.

Una vez realizadas las secciones, se definió el área de dragado para cada caso de estudio, considerándose un canal de entrada, cuyo ancho en la base es de cinco (5) veces la manga de la embarcación de mayor tamaño, como indican las Normas PIANC 2016, por lo que se obtiene un canal trapecial de 70 m en la base.

Por otra parte, en el extremo del canal de navegación que converge al cabezal del terminal y los puestos de atraque, se definió un área de maniobra circular, cuyo diámetro debe ser no menor de 1.8 veces la eslora de la embarcación de diseño, alrededor de cada puesto como indican las Normas PIANC 2016, por lo que se tiene un diámetro de 82.3 m para cada puesto.

Con el área de dragado y las secciones del fondo marino definidas, se procedió a trazar en AutoCAD el canal con la profundidad requerida, tomando una profundidad de diseño de 5 m, que considera tanto el calado nominal de la embarcación de diseño (3 m) como factores que toman en cuenta aspectos como: el squat, distancia libre bajo la quilla, etc, cuya acción combinada aumentan la profundidad de dragado en 2 m adicionales, definiéndose de esta forma una profundidad de dragado de 5 m.

Para el canal de navegación se tomó un talud de 1V:4H. La escogencia de esta pendiente de talud se hizo luego de analizar el estudio geotécnico realizado por la empresa LCC Ingeniería S.A. (ver volumen aparte) que incluyó la realización de cuatro (4) perforaciones, dos (2) en tierra y dos (2) marinas. En la figura 4 se muestra la ubicación de las perforaciones del estudio geotécnico, mientras que en la tabla 3 se encuentran en proyección UTM las coordenadas de cada una de las perforaciones.



Figura 4. Ubicación de perforaciones de Estudio Geotécnico. Fuente: Consorcio Marítimo Inzelva.

Sondeo		Prof (m)	Cota (m)	Coordenadas		Nivel Freático
				Este	Norte	
Tierra	P-01	20	12	988700	988700	4.35
	P-04	10.15	9	658585	988751	2.45
Marinas	P-02	18.25	0	658579	988622	-
	P-03	20.65	0	658537	988578	-

Tabla 3. Ubicación y Profundidad de las Perforaciones de Estudio Geotécnico. Fuente: Consorcio Marítimo Inzelva.

A partir de los resultados de las perforaciones se pudo determinar que el tipo de suelo es suelo fino, limoso, arcilloso y cuya distribución granulométrica y D50 se muestran en la Tabla 3 y en la Tabla 4 para las perforaciones 2 y 3 respectivamente. Se analizaron únicamente los resultados obtenidos en estas estaciones ya que son las muestras representativas del fondo marino del área a dragar.

Profundidad (m)	% Grava	% Arena	% Fino	D50 (mm)
1.00-1.45	1.43	71.77	26.80	0.169
3.90-4.35	0.00	32.37	67.63	0.043
5.35-5.95	0.00	34.49	65.51	0.048

Tabla 4. Distribución granulométrica y D₅₀ Perforación 2. Fuente: Elaboración Propia.

Profundidad (m)	% Grava	% Arena	% Fino	D ₅₀ (mm)
1.00-1.45	1.53	41.45	57.02	-
5.35-5.80	0.00	40.81	59.19	0.027

Tabla 5. Distribución granulométrica y D50 perforación 3 Fuente: Elaboración Propia.

Para los D₅₀ obtenidos la bibliografía consultada reporta los ángulos de reposo mostrados en la Tabla 5, por lo que de acuerdo con los valores obtenidos en las perforaciones, el ángulo de reposo del material debería ser del orden de 30°, ángulo que es superior al ángulo propuesto de 1V:4H (equivalente a 14°), lo que indica un diseño conservador que toma en cuenta el hecho de que el tipo del suelo no es necesariamente uniforme para toda el área de dragado. En el mismo estudio se puede evidenciar que el estrato rocoso se encuentra por debajo de los 7 m de profundidad, como se evidencia en el perfil de sondeo del estudio geotécnico (ver volumen aparte), por lo que no habrá inconvenientes para realizar el dragado que alcanzará profundidades máximas de 5 m.

Tamaño d_{50} (m)	Angulo de Reposo (φ)	
	Redonda	Angular
≤ 0.001	30°	35°
0.005	32°	37°
0.01	35°	40°
0.05	37°	42°
≥ 0.1	40°	45°

Tabla 6. Ángulo de reposo para diseño de canales. Fuente: Van Rijn, L. (1993).

Con el canal trazado en AutoCAD y haciendo uso del programa, se calculó el área de dragado transversal de cada sección, para posteriormente hallar el volumen entre cada sección con el área promedio y la separación entre secciones, para finalmente calcular volumen total de dragado.

El volumen se calculó de la siguiente manera:

$$\text{ÁreaProm} = \frac{A_1 + A_2}{2} \quad \text{Ecuación (1)}$$

$$\text{Volumen entre cada sección} = \text{ÁreaProm} * \text{Distancia entre cada sección} \quad \text{Ecuación (2)}$$

$$\text{Volumen Total de Dragado} = \sum \text{Volumen entre cada sección} \quad \text{Ecuación (3)}$$

El área de dragado definida, las secciones de dragado y los cálculos de volumen mencionados anteriormente se pueden observar en el anexo A para el caso de 0m de extensión y en el anexo B para el caso de 135m de extensión, los demás serán entregados en el volumen aparte.

Una vez calculado el volumen de dragado para cada uno de los 28 casos de estudio, se procedió a calcular el costo asociado a cada caso, considerando tanto el costo asociado con la extensión del muelle, el costo asociado a las operaciones de dragado, para finalmente graficar los volúmenes de dragado y longitud de extensión versus el costo adicional de la obra.

Los costos adicionales de la obra calculados anteriormente se estimaron para diferentes costos unitarios de dragado comprendidos entre 10\$ y 20\$ ya que los mismos pueden variar significativamente dependiendo tipo de equipo a utilizar (draga de cortador o

draga de Clam Shell), la cercanía geográfica de los equipos que puede o no significar costos asociados a la movilización de los equipos hasta el sitio del dragado, y de la cercanía o no del área bote del material dragado con respecto al sitio del dragado.

Para la estimación de transporte de sedimentos se estudiaron diferentes métodos (ver anexo D).

Una vez estudiados y analizados los datos disponibles se pudo apreciar que no se realizaron suficientes muestras y las mediciones de corrientes y concentración de sedimentos en suspensión no son lo suficientemente detalladas como para aplicar alguna de los sofisticados métodos descritos en el anexo D. Ante este escenario y para no dejar de hacer algún tipo de estimación de la cantidad de sedimentos en suspensión que son transportados permanentemente a través del área, se procedió a calcular el transporte de carga suspendida de acuerdo con la siguiente expresión, donde (u) es la velocidad del flujo en diferentes profundidades a lo largo de la columna de agua y (c) es la concentración de sedimentos en suspensión medida en diferentes puntos a lo largo de la columna de agua.

$$q_{s,c} = \int_a^h uc dz \quad \text{Ecuación (4)}$$

Se tiene entonces que para la estimación del volumen de sedimentos en suspensión se utilizaron las mediciones disponibles de velocidad y concentraciones a diferentes profundidades (tomadas a 10 cms sobre el fondo, 90% de profundidad, 50% de profundidad y a 5 cms de la superficie), realizadas por la empresa Ingeniería de Consultas Incostas en seis (6) estaciones cuya ubicación relativa se muestra en la figura 5, mientras en la tabla 7 se muestran las coordenadas UTM de cada una de las estaciones.



Figura 5. Ubicación Estaciones de Medición de Concentraciones de Sedimentos. Fuente: Ingeniería de Consultas Incostas.

Estación	Coordenadas	
	Este	Norte
1	658325	988510
2	658370	988550
3	658410	988585
4	658415	988405
5	658460	988450
6	658495	988485

Tabla 7. Coordenadas UTM Estaciones de Medición de Concentraciones de Sedimento. Fuente: Ingeniería de Consultas Incostas.

Se observa que las estaciones 1-2-3 y las estaciones 4-5-6 están dispuestas a lo largo de secciones que son paralelas al muelle y perpendiculares al sentido predominante de la corriente, que es en sentido del canal, estas mediciones fueron tomadas en “mareas vivas” para el día 5 de Junio de 2016 a las 14:30 horas y para las “mareas muertas” las mediciones fueron realizadas el día 14 de junio de 2016 a las 9:00 horas de forma tal de cubrir tanto el escenario donde las mareas y las velocidades de corriente (corrientes de marea) fueran mayores (“mareas vivas”), como un escenario menos crítico asociado al momento de ocurrencia de “mareas muertas”.

La columna de agua se dividió en estratos según las distintas profundidades de medición, calculándose en cada uno de esos estratos la carga de sedimentos en suspensión de acuerdo con la expresión anterior, para luego estimar el transporte total de carga suspendida en la estación, que resulta de sumar la contribución de cada uno de los estratos. En el anexo C se presentan los cálculos de la carga suspendida total en cada estación, tanto para “mareas muertas” como para “mareas vivas”.

Una vez determinado el transporte total de carga suspendida de todas las estaciones se calculó el promedio de transporte total de carga suspendida entre estaciones consecutivas, este promedio se encuentra en Kg/m/s, por lo que se llevó a Kg/día multiplicándolo por la separación entre estaciones y la cantidad de segundos que hay en un día. Sumando el transporte de carga suspendida entre las estaciones 1-2 con el de las estaciones 2-3 se obtiene el total para toda la sección 1-2-3 y de la misma forma para las estaciones 4-5-6.

4.1 Análisis de resultados de cálculo de costos

En las tablas siguientes se presentan los resultados del cálculo de los costos asociados a extensiones (múltiplos de 5 m) del muelle, que van desde la geometría originalmente concebida (135 m) hasta una longitud total de 270 m, siendo el costo unitario vinculado a la extensión del muelle de 10.500 \$ por metro lineal. Igualmente se presentan los costos vinculados con la variación de los volúmenes de dragado asociados a cada extensión del muelle, habiéndose analizado diferentes escenarios de precios que oscilan entre un mínimo de 10 \$/m³ y un máximo de 20\$/m³ de material dragado. Este rango de precios es función directa de la cercanía del lugar de bote del material dragado y del tipo de draga que se puede utilizar para hacer el dragado, existiendo para el presente caso dos (2) posibles tipos de dragas que pudiesen bajo las condiciones de profundidades y de marea existentes, realizar el trabajo. Dichas dragas son: draga de cortador y draga de Clam Shell.

En las figuras siguientes se representa la variación del costo original de la obra para diferentes escenarios de extensiones de la longitud del muelle y de los volúmenes de dragado asociados a con cada longitud.

Los resultados para un costo unitario de 10 \$/m³ y 12 \$/m³ se muestran en las tablas 8 y 9 y en las figuras 6 y 7 respectivamente.

Caso	Longitud Total Muelle (m)	Longitud Extensión Muelle (m)	Costo Total Extensión (\$)	Volumen Total Dragado (m ³)	Costo Total Dragado (\$)	Costo Adicional Obra (\$)
1	135	0	-	159.279	1.592.793	1.592.793
2	140	5	52.500	156.028	1.560.282	1.612.782
3	145	10	105.000	151.989	1.519.888	1.624.888
4	150	15	157.500	148.524	1.485.244	1.642.744
5	155	20	210.000	144.700	1.446.996	1.656.996
6	160	25	262.500	140.882	1.408.817	1.671.317
7	165	30	315.000	136.716	1.367.157	1.682.157
8	170	35	367.500	133.262	1.332.620	1.700.120
9	175	40	420.000	129.400	1.293.999	1.713.999
10	180	45	472.500	125.355	1.253.550	1.726.050
11	185	50	525.000	121.753	1.217.531	1.742.531
12	190	55	577.500	117.018	1.170.180	1.747.680
13	195	60	630.000	114.091	1.140.905	1.770.905
14	200	65	682.500	109.654	1.096.540	1.779.040
15	205	70	735.000	105.916	1.059.163	1.794.163
16	210	75	787.500	102.145	1.021.447	1.808.947
17	215	80	840.000	98.374	983.736	1.823.736
18	220	85	892.500	95.077	950.773	1.843.273
19	225	90	945.000	91.304	913.035	1.858.035
20	230	95	997.500	87.546	875.464	1.872.964
21	235	100	1.050.000	83.754	837.540	1.887.540
22	240	105	1.102.500	80.026	800.260	1.902.760
23	245	110	1.155.000	76.254	762.540	1.917.540
24	250	115	1.207.500	72.356	723.560	1.931.060
25	255	120	1.260.000	68.733	687.331	1.947.331
26	260	125	1.312.500	65.072	650.720	1.963.220
27	265	130	1.365.000	61.367	613.670	1.978.670
28	270	135	1.417.500	58.831	588.315	2.005.815

Tabla 8. Cálculo de Costo Adicional de la Obra para un Precio Unitario de Dragado de 10\$. Fuente: Elaboración Propia.

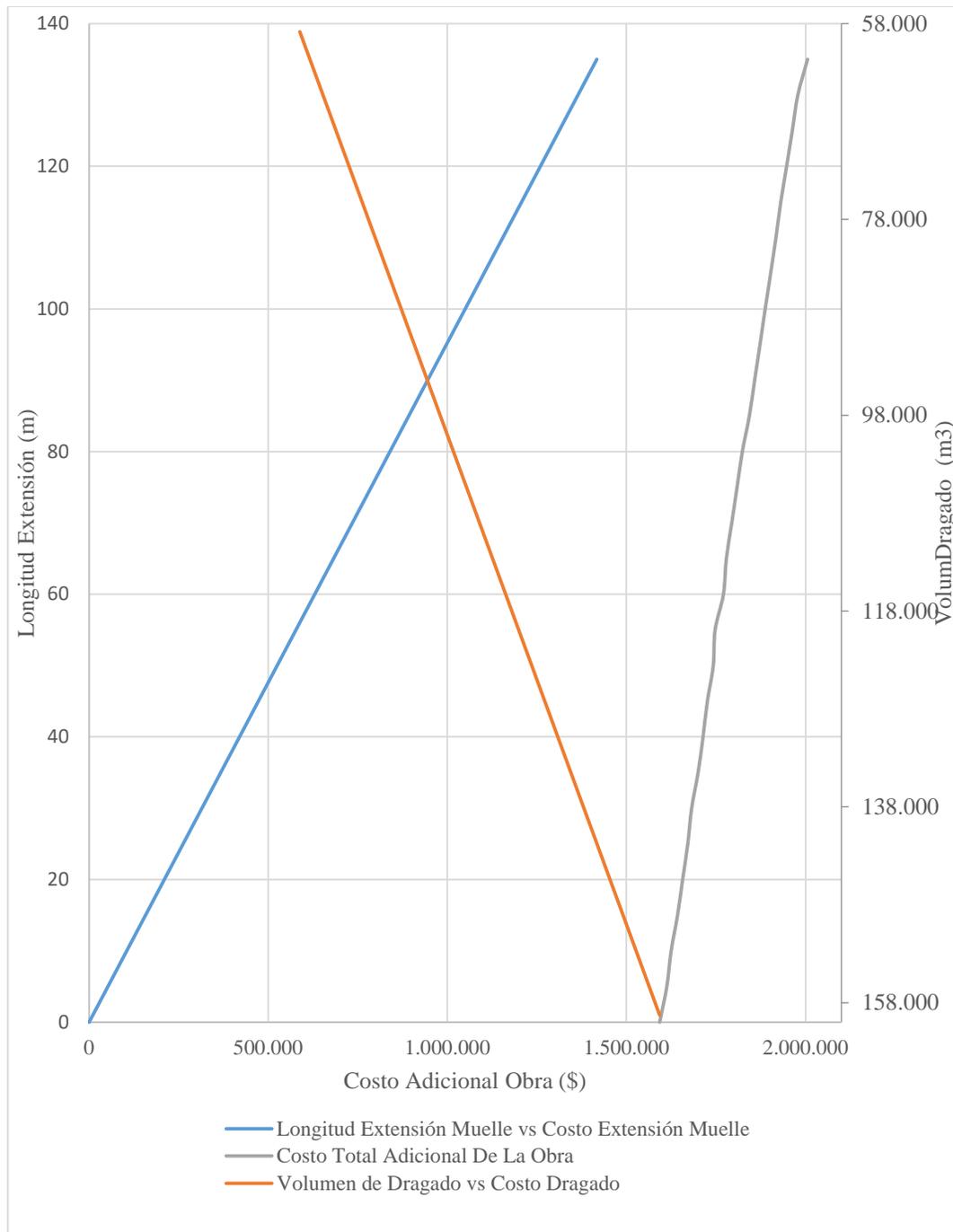


Figura 6. Longitud Extensión y Volumen de Dragado vs Costo Adicional Obra Para un Precio Unitario de Dragado de 10\$. Fuente: Elaboración Propia.

Caso	Longitud Total Muelle (m)	Longitud Extensión Muelle (m)	Costo Total Extensión (\$)	Volumen Total Dragado (m3)	Costo Total Dragado (\$)	Costo Adicional Obra (\$)
1	135	0	-	159.279	1.911.351	1.911.351
2	140	5	52.500	156.028	1.872.338	1.924.838
3	145	10	105.000	151.989	1.823.866	1.928.866
4	150	15	157.500	148.524	1.782.292	1.939.792
5	155	20	210.000	144.700	1.736.396	1.946.396
6	160	25	262.500	140.882	1.690.580	1.953.080
7	165	30	315.000	136.716	1.640.589	1.955.589
8	170	35	367.500	133.262	1.599.144	1.966.644
9	175	40	420.000	129.400	1.552.798	1.972.798
10	180	45	472.500	125.355	1.504.260	1.976.760
11	185	50	525.000	121.753	1.461.037	1.986.037
12	190	55	577.500	117.018	1.404.216	1.981.716
13	195	60	630.000	114.091	1.369.086	1.999.086
14	200	65	682.500	109.654	1.315.848	1.998.348
15	205	70	735.000	105.916	1.270.995	2.005.995
16	210	75	787.500	102.145	1.225.736	2.013.236
17	215	80	840.000	98.374	1.180.483	2.020.483
18	220	85	892.500	95.077	1.140.927	2.033.427
19	225	90	945.000	91.304	1.095.642	2.040.642
20	230	95	997.500	87.546	1.050.557	2.048.057
21	235	100	1.050.000	83.754	1.005.048	2.055.048
22	240	105	1.102.500	80.026	960.312	2.062.812
23	245	110	1.155.000	76.254	915.048	2.070.048
24	250	115	1.207.500	72.356	868.272	2.075.772
25	255	120	1.260.000	68.733	824.797	2.084.797
26	260	125	1.312.500	65.072	780.864	2.093.364
27	265	130	1.365.000	61.367	736.403	2.101.403
28	270	135	1.417.500	58.831	705.978	2.123.478

Tabla 9. Cálculo de Costo Adicional de la Obra para un Precio Unitario de Dragado de 12\$. Fuente: Elaboración Propia.

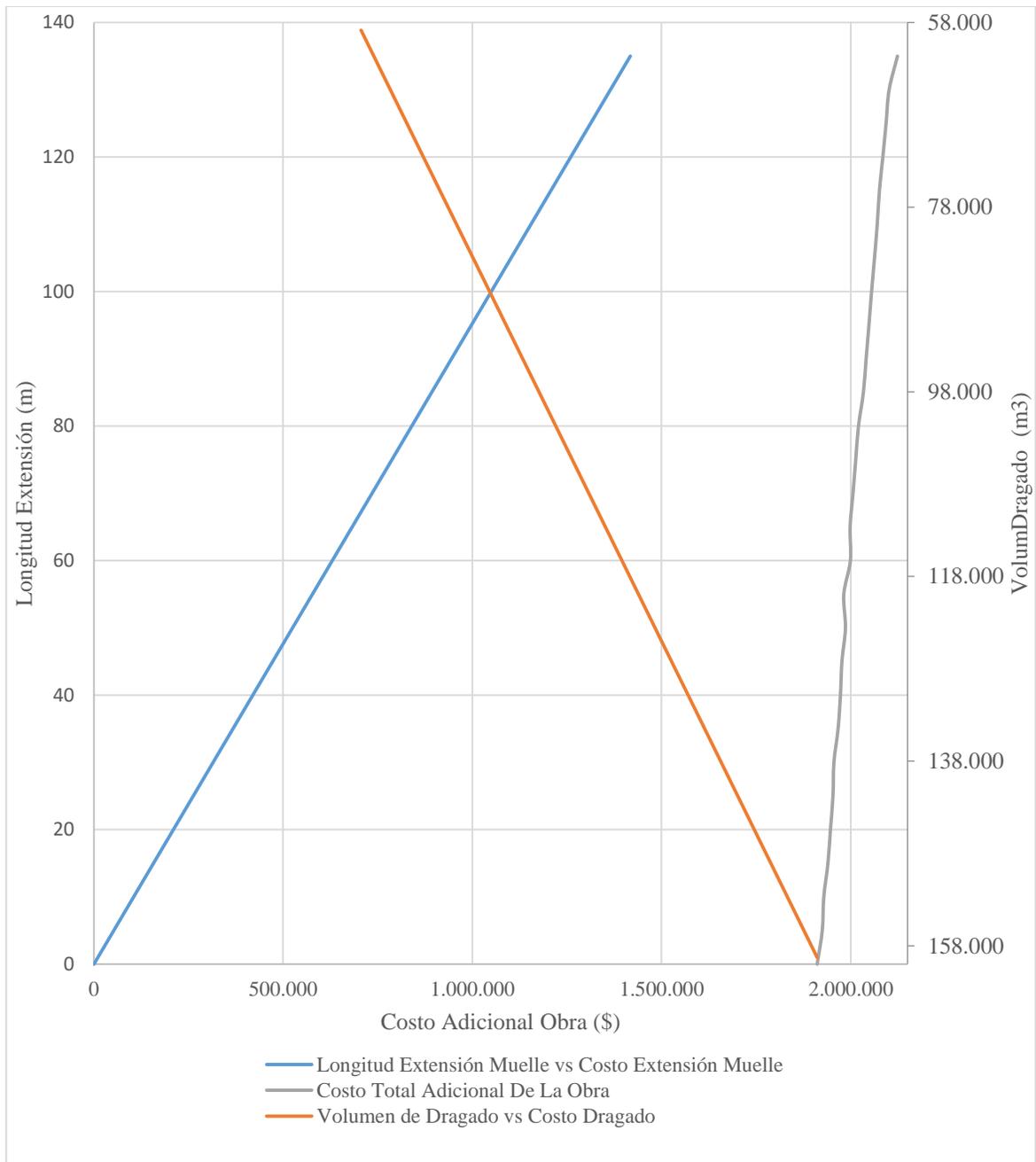


Figura 7. Longitud Extensión y Volumen de Dragado vs Costo Adicional Obra Para un Precio Unitario de Dragado de 12\$. Fuente: Elaboración Propia.

En las gráficas mostradas anteriormente se puede apreciar el punto de intersección de ambas curvas siendo este donde se igualan los costos de extensión del muelle con los de volumen de dragado, demostrando que a menor longitud de extensión del muelle, será mayor el volumen de dragado y viceversa.

Para los escenarios donde el costo de dragado considerado fue de 10 \$/m³ y 12 \$/m³ la propuesta de menor costo sería no extender el muelle y dragar toda el área requerida, como nos confirma la curva de longitud de extensión versus costo adicional de la obra demostrando que el costo se eleva a medida que se extiende el muelle y se reduce el área de dragado.

El volumen de dragado y el costo adicional de la obra más económico para cada caso estudiado se muestra en la tabla 10 presentada a continuación:

Costo de Dragado por m ³	Volumen de Dragado m ³	Costo Adicional Obra
\$ 10,00	159.279,26	\$ 1.592.792,60
\$ 12,00	159.279,26	\$ 1.911.351,12

Tabla 10. Resumen Costo Adicional Obra Para Casos de 10\$ y 12\$. Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla 11 se muestran los cálculos para un costo de dragado de 14\$/m³ y un costo unitario de extensión de 10.500\$. Seguidamente, en la figura 8 se representa la variación del costo adicional de la obra según la longitud de extensión del muelle y volumen de dragado para cada caso.

Caso	Longitud Total Muelle (m)	Longitud Extensión Muelle (m)	Costo Total Extensión (\$)	Volumen Total Dragado (m3)	Costo Total Dragado (\$)	Costo Adicional Obra (\$)
1	135	0	-	159.279	2.229.910	2.229.910
2	140	5	52.500	156.028	2.184.395	2.236.895
3	145	10	105.000	151.989	2.127.843	2.232.843
4	150	15	157.500	148.524	2.079.341	2.236.841
5	155	20	210.000	144.700	2.025.795	2.235.795
6	160	25	262.500	140.882	1.972.343	2.234.843
7	165	30	315.000	136.716	1.914.020	2.229.020
8	170	35	367.500	133.262	1.865.668	2.233.168
9	175	40	420.000	129.400	1.811.598	2.231.598
10	180	45	472.500	125.355	1.754.970	2.227.470
11	185	50	525.000	121.753	1.704.543	2.229.543
12	190	55	577.500	117.018	1.638.253	2.215.753
13	195	60	630.000	114.091	1.597.267	2.227.267
14	200	65	682.500	109.654	1.535.156	2.217.656
15	205	70	735.000	105.916	1.482.828	2.217.828
16	210	75	787.500	102.145	1.430.025	2.217.525
17	215	80	840.000	98.374	1.377.231	2.217.231
18	220	85	892.500	95.077	1.331.082	2.223.582
19	225	90	945.000	91.304	1.278.249	2.223.249
20	230	95	997.500	87.546	1.225.650	2.223.150
21	235	100	1.050.000	83.754	1.172.556	2.222.556
22	240	105	1.102.500	80.026	1.120.364	2.222.864
23	245	110	1.155.000	76.254	1.067.556	2.222.556
24	250	115	1.207.500	72.356	1.012.984	2.220.484
25	255	120	1.260.000	68.733	962.263	2.222.263
26	260	125	1.312.500	65.072	911.008	2.223.508
27	265	130	1.365.000	61.367	859.137	2.224.137
28	270	135	1.417.500	58.831	823.641	2.241.141

Tabla 11. Cálculo de Costo Adicional de la Obra para un Precio Unitario de Dragado de 14\$. Fuente: Elaboración Propia.

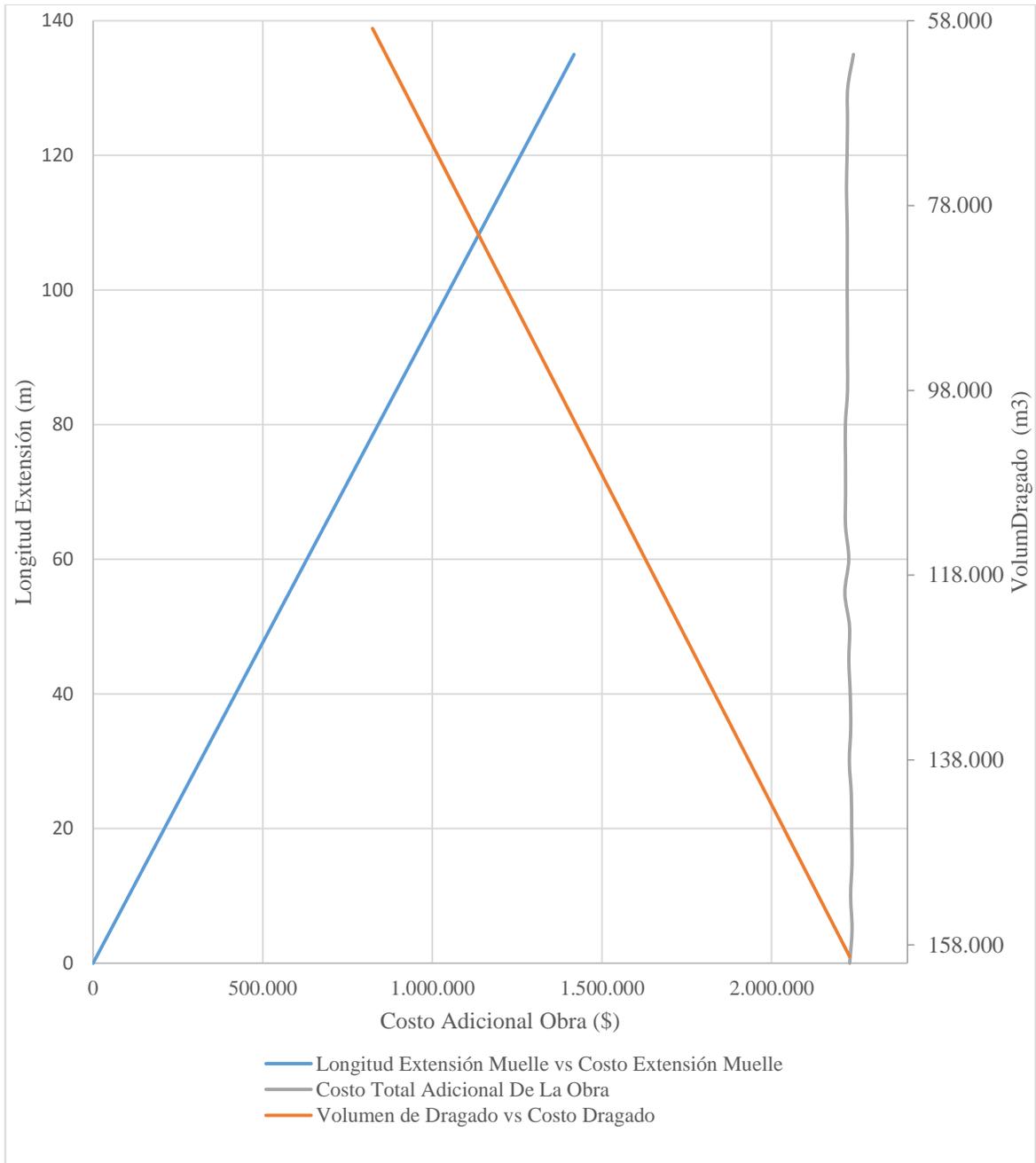


Figura 8. Longitud Extensión y Volumen de Dragado vs Costo Adicional Obra Para un Precio Unitario de Dragado de 14\$. Fuente: Elaboración Propia.

En este caso se puede observar que el comportamiento de la curva de longitud de extensión versus costo adicional de la obra es prácticamente vertical variando muy poco el costo adicional de la obra para las diferentes combinaciones de dragado y extensión del muelle. Siendo la combinación más económica la extensión de 55 m para un volumen de dragado de 117.018,04, resultando en un costo adicional de 2.215.752,56 \$.

Ya para este precio unitario, los costos del dragado comienzan a ser tanto o más significativos que los costos vinculados a la extensión del muelle.

Finalmente, para un costo unitario de dragado de 15\$/m³, 18\$/m³ y 20\$/m³ los cálculos se muestran en las tablas número 12,13 y 14 presentadas a continuación. Consecutivamente, se colocan los gráficos para cada caso, de longitud de extensión del muelle y volumen de dragado versus costo adicional.

Caso	Longitud Total Muelle (m)	Longitud Extensión Muelle (m)	Costo Total Extensión (\$)	Volumen Total Dragado (m3)	Costo Total Dragado (\$)	Costo Adicional Obra (\$)
1	135	0	-	159.279	2.389.189	2.389.189
2	140	5	52.500	156.028	2.340.423	2.392.923
3	145	10	105.000	151.989	2.279.832	2.384.832
4	150	15	157.500	148.524	2.227.866	2.385.366
5	155	20	210.000	144.700	2.170.495	2.380.495
6	160	25	262.500	140.882	2.113.225	2.375.725
7	165	30	315.000	136.716	2.050.736	2.365.736
8	170	35	367.500	133.262	1.998.930	2.366.430
9	175	40	420.000	129.400	1.940.998	2.360.998
10	180	45	472.500	125.355	1.880.325	2.352.825
11	185	50	525.000	121.753	1.826.296	2.351.296
12	190	55	577.500	117.018	1.755.271	2.332.771
13	195	60	630.000	114.091	1.711.358	2.341.358
14	200	65	682.500	109.654	1.644.810	2.327.310
15	205	70	735.000	105.916	1.588.744	2.323.744
16	210	75	787.500	102.145	1.532.170	2.319.670
17	215	80	840.000	98.374	1.475.604	2.315.604
18	220	85	892.500	95.077	1.426.159	2.318.659
19	225	90	945.000	91.304	1.369.553	2.314.553
20	230	95	997.500	87.546	1.313.196	2.310.696
21	235	100	1.050.000	83.754	1.256.310	2.306.310
22	240	105	1.102.500	80.026	1.200.390	2.302.890
23	245	110	1.155.000	76.254	1.143.810	2.298.810
24	250	115	1.207.500	72.356	1.085.340	2.292.840
25	255	120	1.260.000	68.733	1.030.996	2.290.996
26	260	125	1.312.500	65.072	976.080	2.288.580
27	265	130	1.365.000	61.367	920.504	2.285.504
28	270	135	1.417.500	58.831	882.472	2.299.972

Tabla 12. Cálculo de Costo Adicional de la Obra para un Precio Unitario de Dragado de 15\$. Fuente: Elaboración Propia.

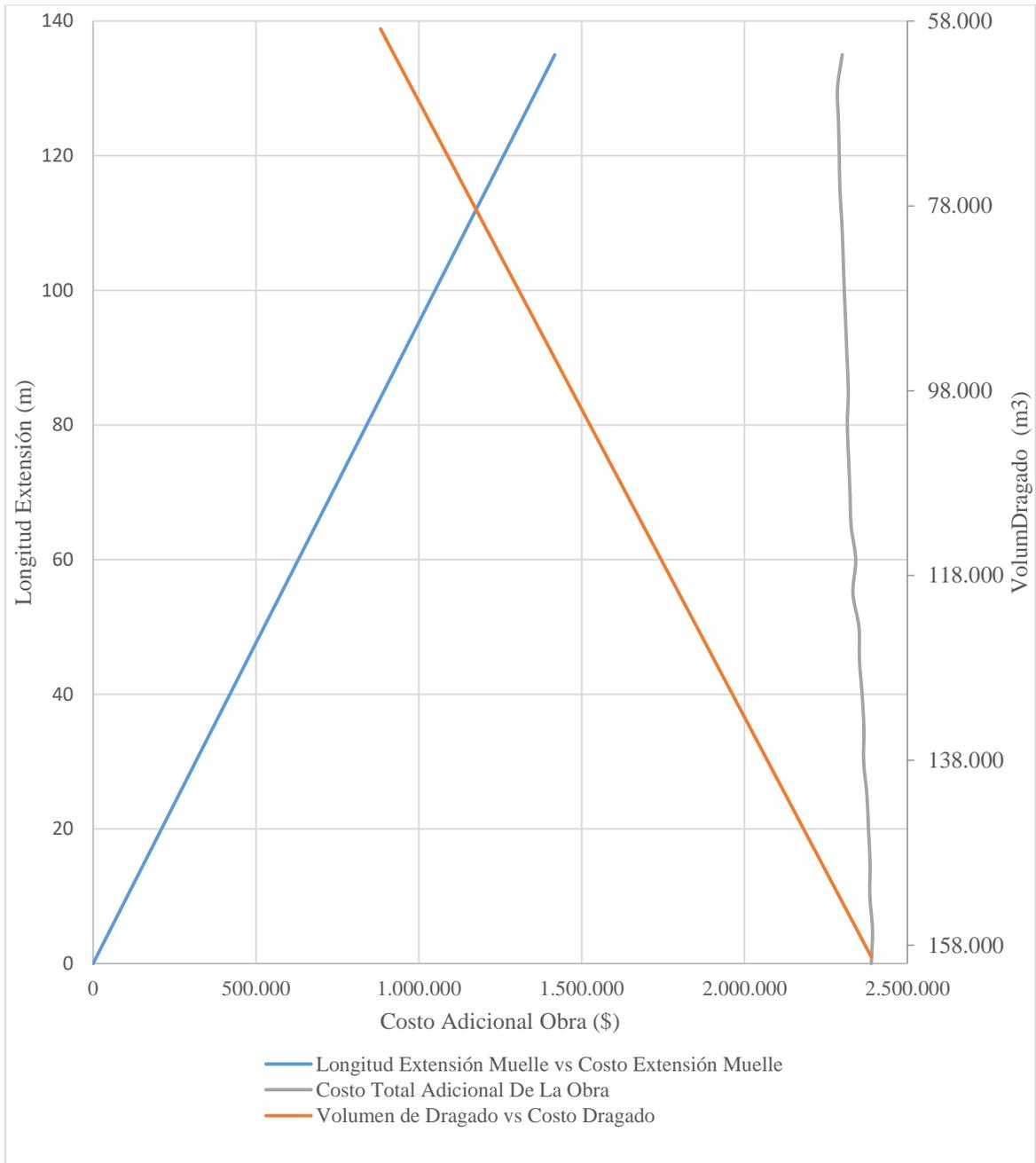


Figura 9. Longitud Extensión y Volumen de Dragado vs Costo Adicional Obra Para un Precio Unitario de Dragado de 15\$. Fuente: Elaboración Propia.

Caso	Longitud Total Muelle (m)	Longitud Extensión Muelle (m)	Costo Total Extensión (\$)	Volumen Total Dragado (m3)	Costo Total Dragado (\$)	Costo Adicional Obra (\$)
1	135	0	-	159.279	2.867.027	2.867.027
2	140	5	52.500	156.028	2.808.507	2.861.007
3	145	10	105.000	151.989	2.735.799	2.840.799
4	150	15	157.500	148.524	2.673.439	2.830.939
5	155	20	210.000	144.700	2.604.594	2.814.594
6	160	25	262.500	140.882	2.535.870	2.798.370
7	165	30	315.000	136.716	2.460.883	2.775.883
8	170	35	367.500	133.262	2.398.716	2.766.216
9	175	40	420.000	129.400	2.329.197	2.749.197
10	180	45	472.500	125.355	2.256.390	2.728.890
11	185	50	525.000	121.753	2.191.555	2.716.555
12	190	55	577.500	117.018	2.106.325	2.683.825
13	195	60	630.000	114.091	2.053.630	2.683.630
14	200	65	682.500	109.654	1.973.772	2.656.272
15	205	70	735.000	105.916	1.906.493	2.641.493
16	210	75	787.500	102.145	1.838.604	2.626.104
17	215	80	840.000	98.374	1.770.725	2.610.725
18	220	85	892.500	95.077	1.711.391	2.603.891
19	225	90	945.000	91.304	1.643.463	2.588.463
20	230	95	997.500	87.546	1.575.835	2.573.335
21	235	100	1.050.000	83.754	1.507.572	2.557.572
22	240	105	1.102.500	80.026	1.440.468	2.542.968
23	245	110	1.155.000	76.254	1.372.572	2.527.572
24	250	115	1.207.500	72.356	1.302.408	2.509.908
25	255	120	1.260.000	68.733	1.237.195	2.497.195
26	260	125	1.312.500	65.072	1.171.296	2.483.796
27	265	130	1.365.000	61.367	1.104.605	2.469.605
28	270	135	1.417.500	58.831	1.058.966	2.476.466

Tabla 13. Cálculo de Costo Adicional de la Obra para un Precio Unitario de Dragado de 18\$. Fuente: Elaboración Propia.

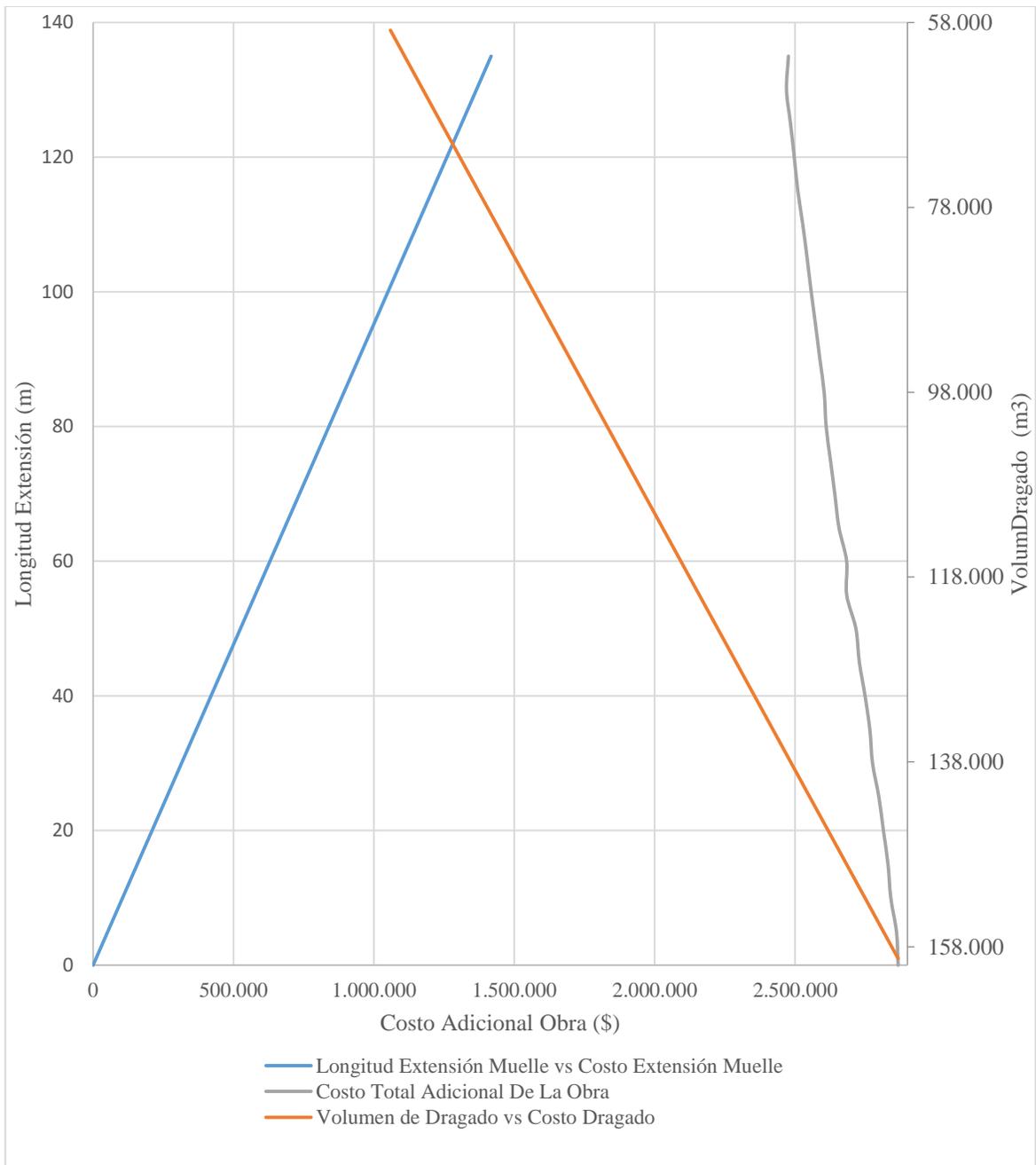


Figura 10. Longitud Extensión y Volumen de Dragado vs Costo Adicional Obra Para un Precio Unitario de Dragado de 18\$. Fuente: Elaboración Propia.

Caso	Longitud Total Muelle (m)	Longitud Extensión Muelle (m)	Costo Total Extensión (\$)	Volumen Total Dragado (m3)	Costo Total Dragado (\$)	Costo Adicional Obra (\$)
1	135	0	-	159.279	3.185.585	3.185.585
2	140	5	52.500	156.028	3.120.564	3.173.064
3	145	10	105.000	151.989	3.039.776	3.144.776
4	150	15	157.500	148.524	2.970.487	3.127.987
5	155	20	210.000	144.700	2.893.993	3.103.993
6	160	25	262.500	140.882	2.817.633	3.080.133
7	165	30	315.000	136.716	2.734.314	3.049.314
8	170	35	367.500	133.262	2.665.240	3.032.740
9	175	40	420.000	129.400	2.587.997	3.007.997
10	180	45	472.500	125.355	2.507.100	2.979.600
11	185	50	525.000	121.753	2.435.061	2.960.061
12	190	55	577.500	117.018	2.340.361	2.917.861
13	195	60	630.000	114.091	2.281.811	2.911.811
14	200	65	682.500	109.654	2.193.080	2.875.580
15	205	70	735.000	105.916	2.118.326	2.853.326
16	210	75	787.500	102.145	2.042.894	2.830.394
17	215	80	840.000	98.374	1.967.472	2.807.472
18	220	85	892.500	95.077	1.901.545	2.794.045
19	225	90	945.000	91.304	1.826.070	2.771.070
20	230	95	997.500	87.546	1.750.928	2.748.428
21	235	100	1.050.000	83.754	1.675.080	2.725.080
22	240	105	1.102.500	80.026	1.600.520	2.703.020
23	245	110	1.155.000	76.254	1.525.080	2.680.080
24	250	115	1.207.500	72.356	1.447.120	2.654.620
25	255	120	1.260.000	68.733	1.374.662	2.634.662
26	260	125	1.312.500	65.072	1.301.440	2.613.940
27	265	130	1.365.000	61.367	1.227.339	2.592.339
28	270	135	1.417.500	58.831	1.176.629	2.594.129

Tabla 14. Cálculo de Costo Adicional de la Obra para un Precio Unitario de Dragado de 20\$. Fuente: Elaboración Propia.

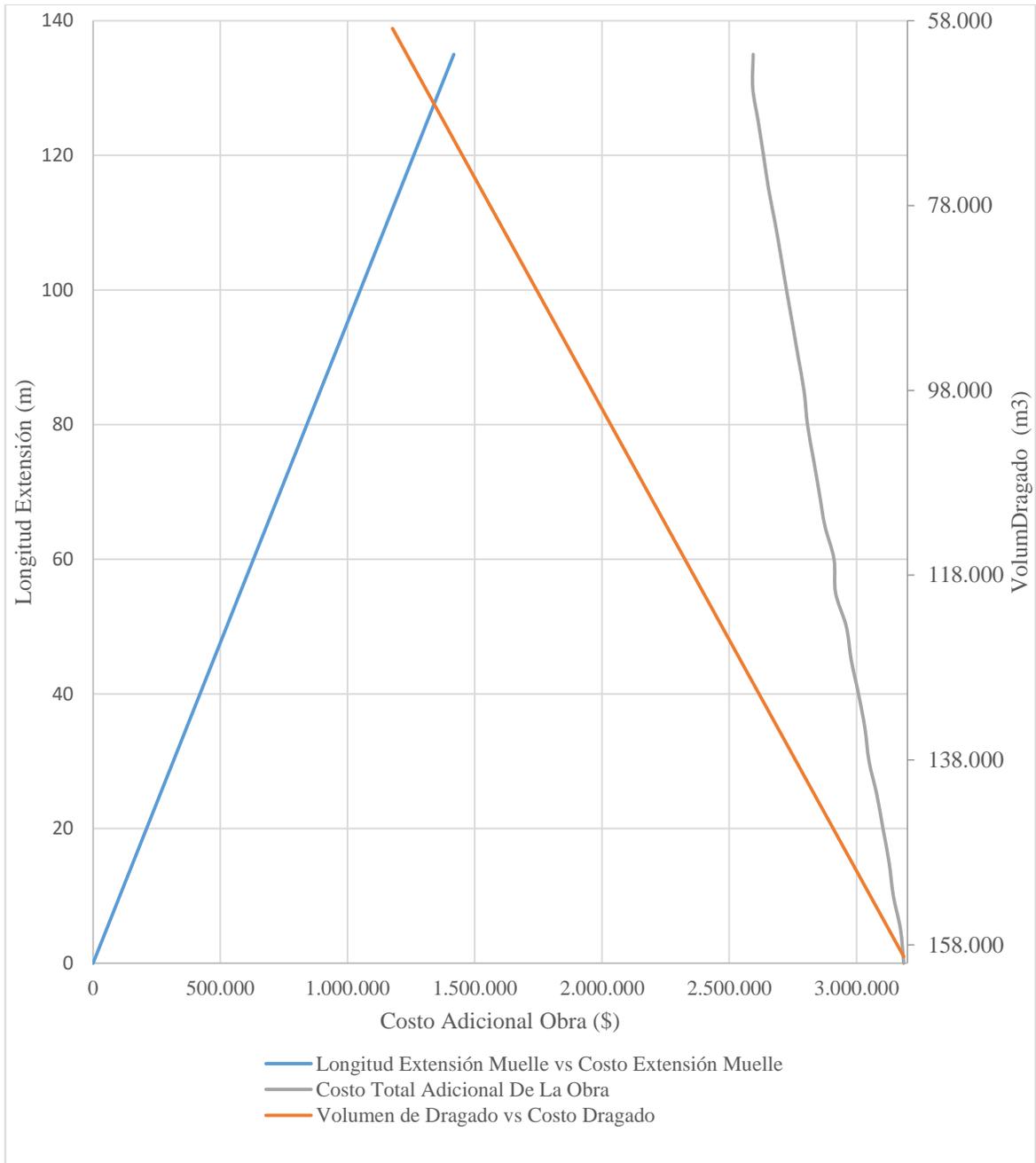


Figura 11. Longitud Extensión y Volumen de Dragado vs Costo Adicional Obra Para un Precio Unitario de Dragado de 20\$. Fuente: Elaboración Propia.

Para los casos estudiados cuyo costo de dragado por metro cúbico es superior a 15\$ se puede observar como el costo adicional de la obra disminuye a medida que aumenta la extensión del muelle manteniéndose este comportamiento hasta la extensión adicional de 130 m, cuyo menor costo adicional y volúmenes de dragado asociados se muestran en la tabla 15.

Costo de Dragado por m ³	Volumen de Dragado m ³	Costo Adicional Obra
\$ 15,00	61.366,95	\$2.285.504,25
\$ 18,00	61.366,95	\$2.469.605,10
\$ 20,00	61.366,95	\$ 2.592.339,00

Tabla 15. Resumen Costo Adicional Obra Para Casos de 15\$, 18\$ y 20\$. Fuente: Elaboración Propia.

En todas las gráficas mostradas anteriormente la curva de longitud del muelle versus costo adicional de la obra se mantuvo constante ya que para todos los casos se mantuvo el mismo costo unitario de extensión.

Cabe destacar que los costos unitarios del dragado por metro cúbico y costos unitarios de extensión del muelle, fueron adquiridos como referencia por Incostas.

4.2 Análisis y Resultados de transporte de sedimentos

Se realizaron los cálculos de transporte de carga suspendida de sedimentos con la metodología mencionada anteriormente, obteniéndose los resultados mostrados en la tabla 16 para el caso de “mareas muertas”, donde se puede evidenciar que el transporte de carga suspendida total para la sección conformada por las estaciones 1,2 y 3 es muy similar al de la sección conformada por las estaciones 4,5 y 6, siendo este 2.8% mayor.

"Mareas Muertas"				
	Transporte de Carga Suspendida Total (Kg/m/s)	Promedio Transporte de Carga Suspendida Total (Kg/m/s)	Transporte de Carga Suspendida Total (Kg/Día)	Transporte de Carga Suspendida Total (Kg/Día)
Estación 1	0.013			182,502.204
Estación 2	0.027	0.020	105,490.761	
Estación 3	0.006	0.017	77,011.443	
Estación 4	0.030			187,685.292
Estación 5	0.018	0.024	132,361.173	
Estación 6	0.008	0.013	55,324.119	

Tabla 16. Resultados Transporte de Carga Suspendida Total Para "Mareas Muertas". Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla 17 se encuentran los resultados para el caso de "mareas vivas" donde se puede apreciar que el transporte de carga suspendida total para la sección conformada por las estaciones 1,2 y 3 es cercano al de la sección conformada por las estaciones 4,5 y 6, siendo este un 19% mayor.

"Mareas Vivas"				
	Transporte de Carga Suspendida Total (Kg/m/s)	Promedio Transporte de Carga Suspendida Total (Kg/m/s)	Transporte de Carga Suspendida Total (Kg/Día)	Transporte de Carga Suspendida Total (Kg/Día)
Estación 1	0.215			1,790,657.460
Estación 2	0.188	0.201	1,048,019.400	
Estación 3	0.136	0.162	742,638.059	
Estación 4	0.219			2,147,353.468
Estación 5	0.240	0.229	1,261,858.962	
Estación 6	0.174	0.207	885,494.506	

Tabla 17. Resultados Transporte de Carga Suspendida Total Para "Mareas Vivas". Fuente: Elaboración Propia.

La diferencia de resultados obtenidos entre las secciones para ambos casos de marea se debe a que la dirección de la corriente no sigue una trayectoria totalmente uniforme y perpendicular a ambas secciones, en especial en “mareas vivas”, por esto la diferencia en ellas es mucho más significativa. Eso explica porque lo que pasa por la primera sección (4-5-6) no es igual a lo que pasa por la segunda sección (1-2-3), pero a su vez es un valor cercano. Esto es una buena aproximación basándose en que la corriente predominante va en sentido del canal.

Igualmente, se puede evidenciar que el transporte de carga suspendida es mucho menor para las mediciones de “mareas muertas” ya que las velocidades de corriente son mucho menores, caso contrario para “mareas vivas”, donde el transporte de carga suspendida es mayor.

Las mediciones de transporte de sedimentos en suspensión, más allá de los resultados obtenidos, lo que evidencian es que el sector de estudio es muy activo desde el punto de vista sedimentario, transportándose diariamente ingentes cantidades de sedimentos en suspensión, asociados con la acción del régimen de mareas y corrientes de marea presentes en el área.

Dado que no se dispone de información batimétrica adicional, no es posible cuantificar cuanto de ese material sólido en suspensión que es transportado por la corriente y la marea, se deposita en el área de estudio.

Esto permitiría estimar tasas de sedimentos en suspensión y consecuentemente permitiría estimar la frecuencia con la cual se deberían realizar dragados de mantenimiento a los fines de restaurar las profundidades necesarias para que el puerto operase con las mínimas condiciones de seguridad.

Por esta razón, y ante la incertidumbre con la cual el área dragada se volvería a sedimentar, es que la selección entre extender el muelle y/o dragar se inclina hacia extender el muelle y minimizar la dependencia del dragado.

CAPITULO V CONCLUSIONES

Después de analizar la data existente se pudo observar que las profundidades son insuficientes para cumplir con los requerimientos de las embarcaciones que harán uso del muelle.

Del mismo modo, una vez determinados los requerimientos de las embarcaciones se procedió a plantear los diferentes escenarios (análisis de sensibilidad) variando la extensión de la longitud del muelle desde la condición inicial hasta una extensión de 135 m para un total de 270 m de longitud, teniendo un total de 28 escenarios en los cuales se variaba la extensión cada 5 m así como los volúmenes de dragado los cuales se calcularon según el área de dragado definida por el espacio de maniobra y el ancho de canal según como indicaba la norma.

Con los volúmenes de dragado y las longitudes de extensión se pudo determinar el costo adicional para cada escenario, también se calculó el costo de cada escenario para distintos costos unitarios de dragado los cuales comprendían entre 10\$ y 20\$, variando el costo adicional de la obra entre \$ 1.592.792,60 y \$ 2.594.129,30.

Se determinó el transporte de carga suspendida total, sin embargo como no se cuentan con mediciones de otros periodos de tiempo y se desconoce el porcentaje de carga suspendida total que se sedimenta, no se pueden hacer estimaciones de la tasa de sedimentación ni de la frecuencia con la cual se deberían hacer los dragados a los fines de mantener las profundidades mínimas necesarias para que el muelle pueda operar con seguridad.

Esta incertidumbre asociada a las tasas de sedimentación hace que la opción de dragar trate de ser minimizada, aún cuando para bajos costos de dragado (menores de 14 \$/m³) dicha opción resulte inicialmente en menores costos adicionales para la obra, siendo por tanto la mejor opción la de extender al máximo el muelle, a los fines de minimizar, tanto los volúmenes de dragado iniciales, como los que eventualmente serían necesarios remover periódicamente en el futuro.

Cabe destacar que por las limitaciones del canal de navegación no es posible extender el muelle hasta una longitud en la que se pueda prescindir totalmente del dragado, por lo que este siempre será necesario.

CAPITULO VI RECOMENDACIONES

- Este proyecto resalta la importancia de recolectar y analizar toda la información de campo que se pueda, ya que el no tomar en consideración alguna o algunas de las variables presentes en el área, puede resultar en diseños de ingeniería inadecuados que comprometan la funcionabilidad de la obra y necesiten ser modificadas, en algunos casos con altos costos asociados.
- Si se tuvieran batimetrías (cuyo costo es insignificante al compararlo con el costo del muelle) realizadas en diferentes instantes de tiempo, se podría cuantificar fácilmente la tasa de sedimentación y se podría definir la frecuencia con la cual deberían realizarse dragados en el área. Ello permitiría afinar la combinación extensión de muelle-volúmenes de dragado y con ello minimizar los costos adicionales de la obra asociados a estas variables.
 - Dado que aún cuando la extensión del muelle sea la máxima permitida, será necesario dragar parte del área de influencia del muelle, es por esto que se recomienda hacer estudios del material dragado para así determinar si el mismo es apto para ser utilizado como material de relleno, ya que dependiendo del escenario de extensión los volúmenes de dragado pueden ser bastante significativos, resultando en ahorros notables en el costo total de la obra ya que el mismo pudiera ser utilizado en el terminal terrestre o pudiera ser vendido para dicho uso. En caso de no ser así, se recomienda hacer un estudio que permita definir con precisión eventuales áreas de vertido del material dragado, las cuales deberán estar situadas lo más cerca posible del área de dragado, a los fines de disminuir los costos asociados al transporte del material desde el área de dragado al área de vertido

ANEXO A

CASO DE ESTUDIO EXTENSIÓN DE 0m

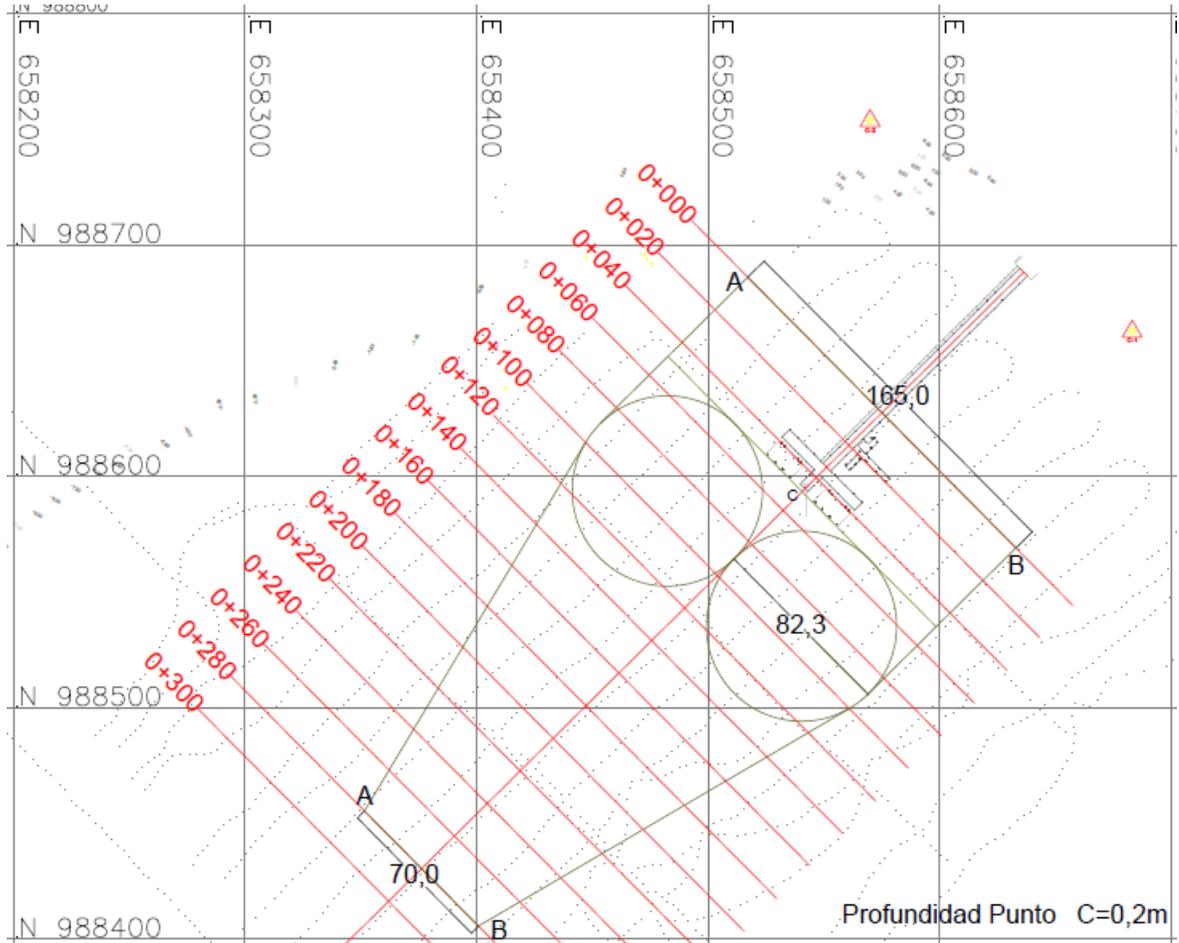


Figura 12. Área de Dragado Caso de Extensión 0m. Fuente: Elaboración Propia.

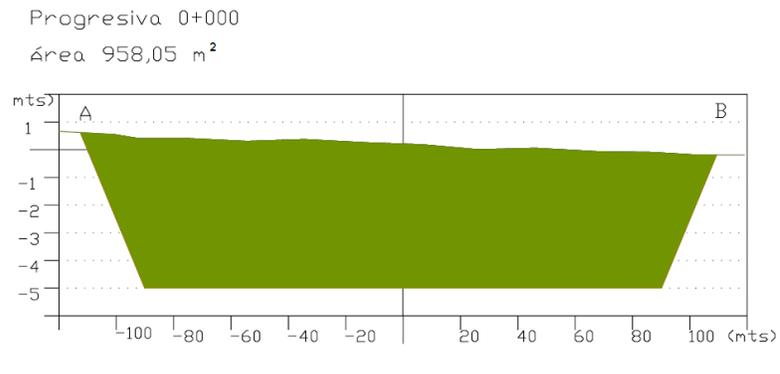


Figura 13. Secciones de Dragado Caso Extensión 0m Para Progresiva 0+000. Fuente: Elaboración Propia.

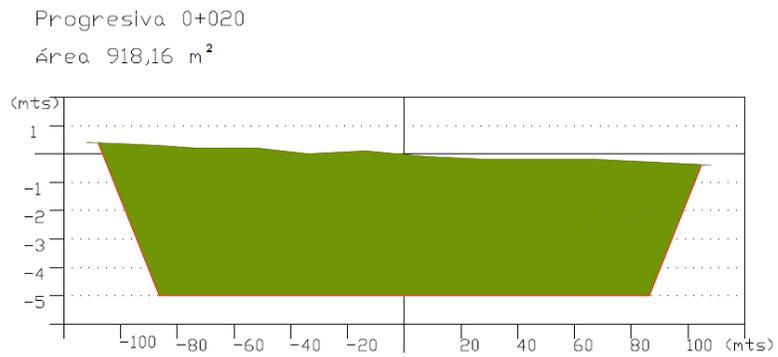


Figura 14. Secciones de Dragado Caso Extensión 0m Para Progresiva 0+020. Fuente: Elaboración Propia.

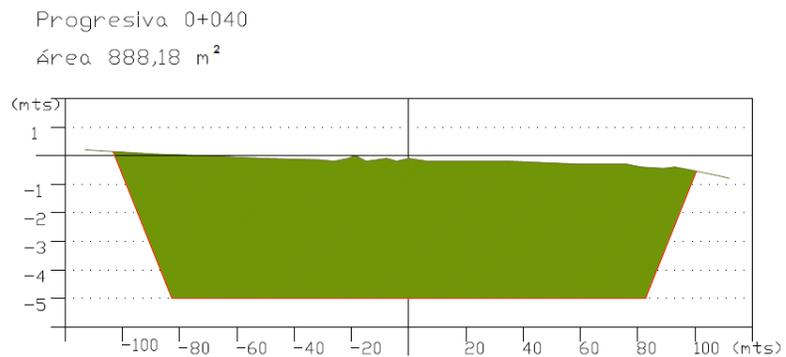


Figura 15. Secciones de Dragado Caso Extensión 0m Para Progresiva 0+040. Fuente: Elaboración Propia.

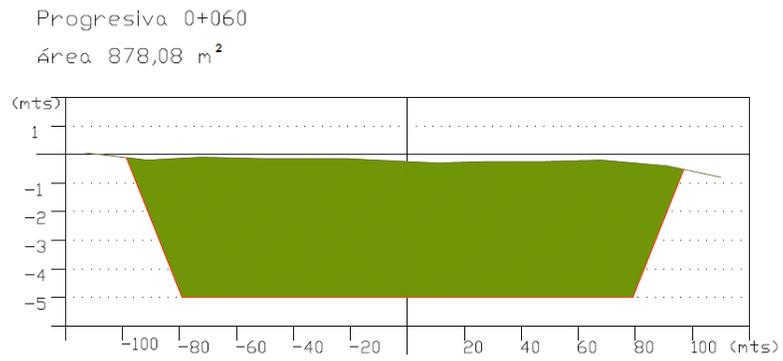


Figura 16. Secciones de Dragado Caso Extensión 0m Para Progresiva 0+060. Fuente: Elaboración Propia.

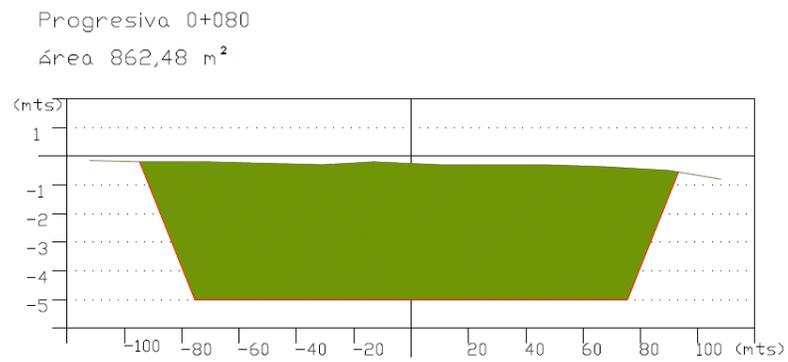


Figura 17. Secciones de Dragado Caso Extensión 0m Para Progresiva 0+080. Fuente: Elaboración Propia.

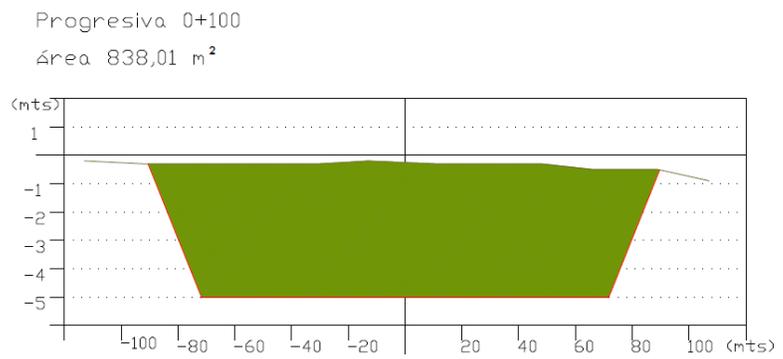


Figura 18. Secciones de Dragado Caso Extensión 0m Para Progresiva 0+100. Fuente: Elaboración Propia.

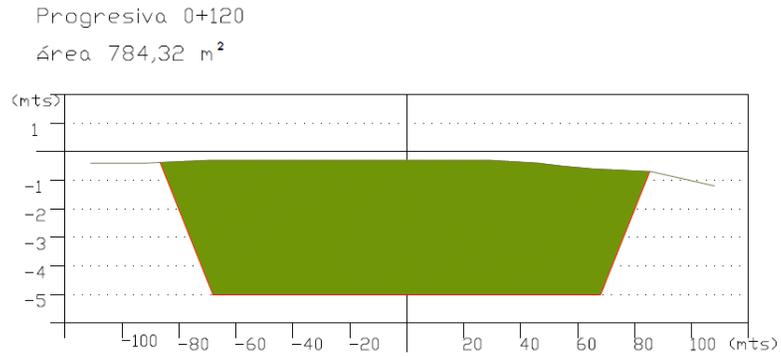


Figura 19. Secciones de Dragado Caso Extensión 0m Para Progresiva 0+120. Fuente: Elaboración Propia.

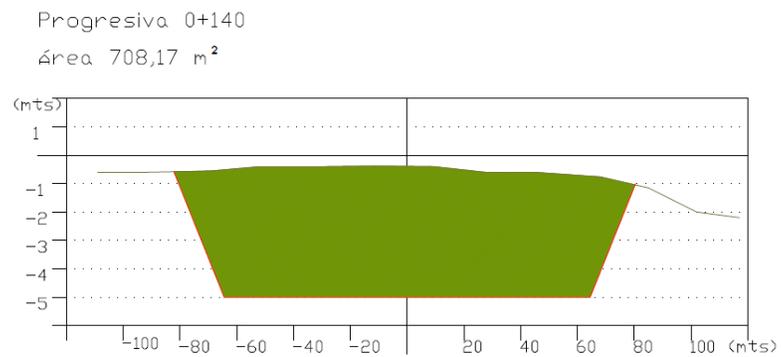


Figura 20. Secciones de Dragado Caso Extensión 0m Para Progresiva 0+140. Fuente: Elaboración Propia.

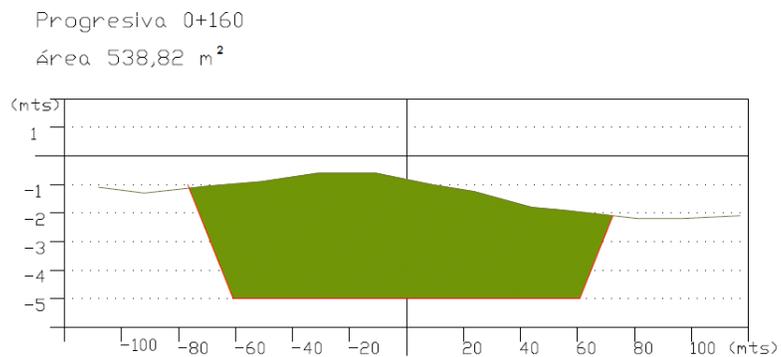


Figura 21. Secciones de Dragado Caso Extensión 0m Para Progresiva 0+160. Fuente: Elaboración Propia.

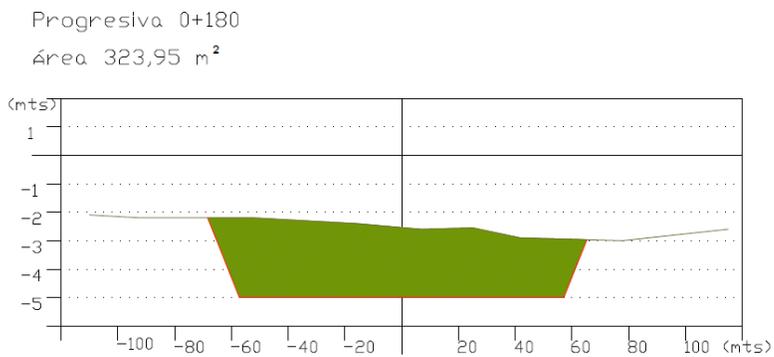


Figura 22. Secciones de Dragado Caso Extensión 0m Para Progresiva 0+180. Fuente: Elaboración Propia.

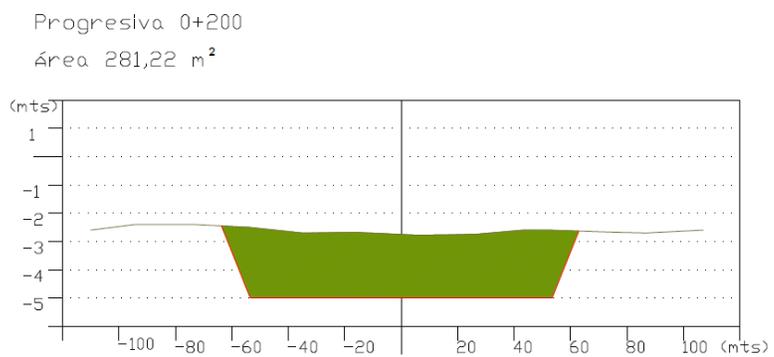


Figura 23. Secciones de Dragado Caso Extensión 0m Para Progresiva 0+200. Fuente: Elaboración Propia.

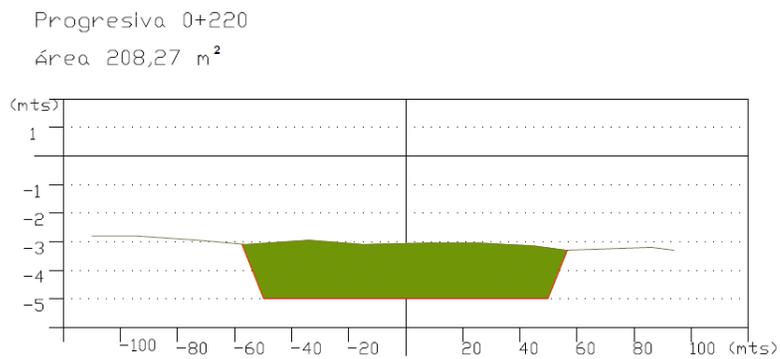


Figura 24. Secciones de Dragado Caso Extensión 0m Para Progresiva 0+220. Fuente: Elaboración Propia.

Progresiva 0+240
Área 163,31 m²

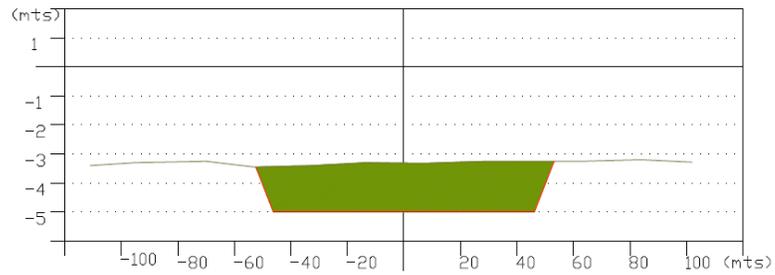


Figura 25. Secciones de Dragado Caso Extensión 0m Para Progresiva 0+240. Fuente: Elaboración Propia.

Progresiva 0+260
Área 90,04 m²

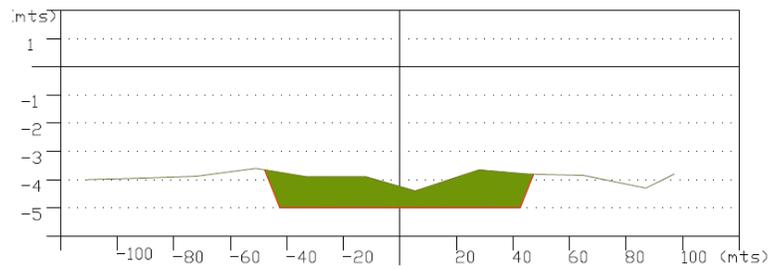


Figura 26. Secciones de Dragado Caso Extensión 0m Para Progresiva 0+260. Fuente: Elaboración Propia.

Progresiva 0+280
Área 1,92 m²

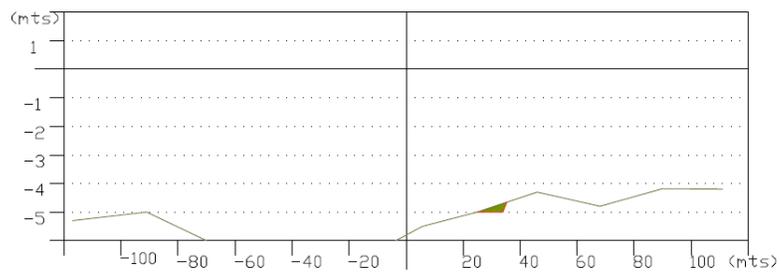


Figura 27. Secciones de Dragado Caso Extensión 0m Para Progresiva 0+280. Fuente: Elaboración Propia.

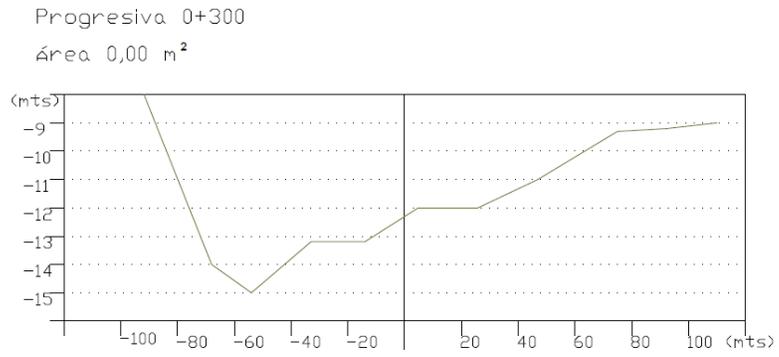


Figura 28. Secciones de Dragado Caso Extensión 0m Para Progresiva 0+300. Fuente: Elaboración Propia.

Progresiva	Área (m2)	Área Promedio	Volumen (m3)	Volumen Acumulado (m3)
0+000	958,05			-
0+020	918,16	938,11	18.762,12	18.762,12
0+040	888,18	903,17	18.063,45	36.825,57
0+060	878,08	883,13	17.662,62	54.488,19
0+080	862,48	870,28	17.405,61	71.893,80
0+100	838,01	850,25	17.004,95	88.898,75
0+120	784,32	811,17	16.223,35	105.122,10
0+140	708,17	746,25	14.924,96	120.047,06
0+160	538,82	623,50	12.469,98	132.517,04
0+180	323,95	431,39	8.627,72	141.144,76
0+200	281,22	302,58	6.051,64	147.196,40
0+220	208,27	244,74	4.894,82	152.091,22
0+240	163,31	185,79	3.715,76	155.806,98
0+260	90,04	126,67	2.533,46	158.340,44
0+280	1,92	45,98	919,59	159.260,03
0+300	-	0,96	19,23	159.279,26
			Volumen Total Dragado	159.279,26

Tabla 18. Cálculo Volumen Total de Dragado Caso Extensión 0m. Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO B

CASO DE ESTUDIO EXTENSION 135 m

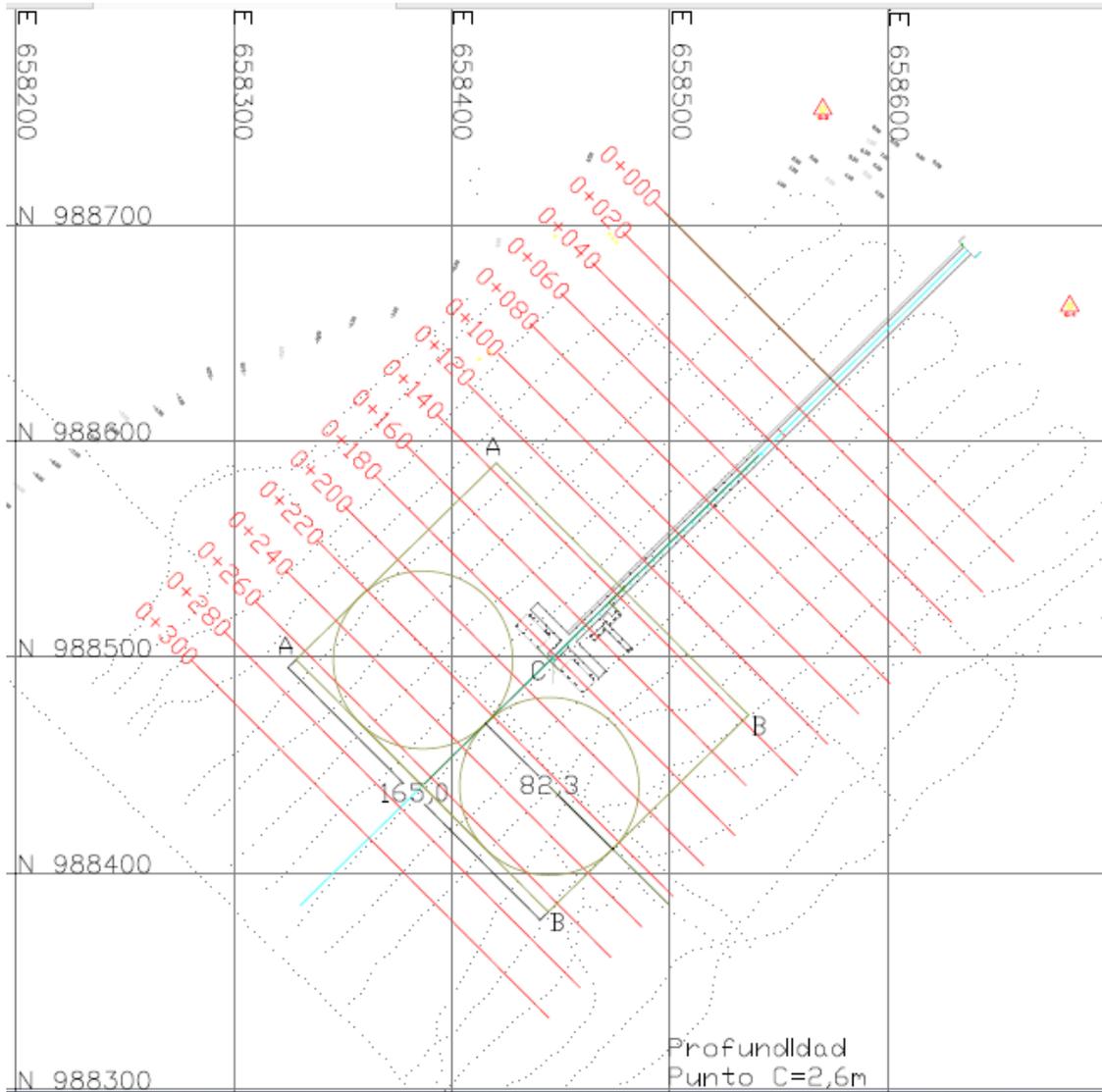


Figura 29. Área de Dragado Caso de Extensión 135m. Fuente: Elaboración Propia.

Progresiva 0+120

Área 839,05 m²

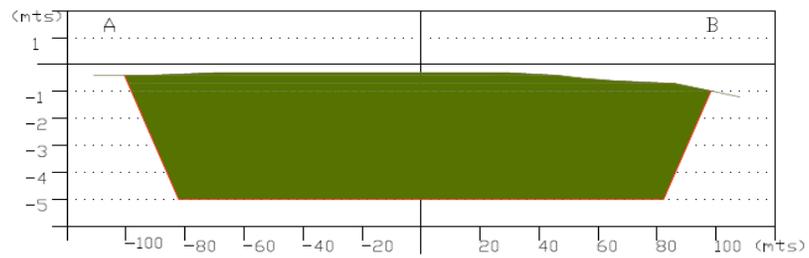


Figura 30. Secciones de Dragado Caso Extensión 135m Para progresiva 0+120. Fuente: Elaboración Propia.

Progresiva 0+140

Área 799,05 m²

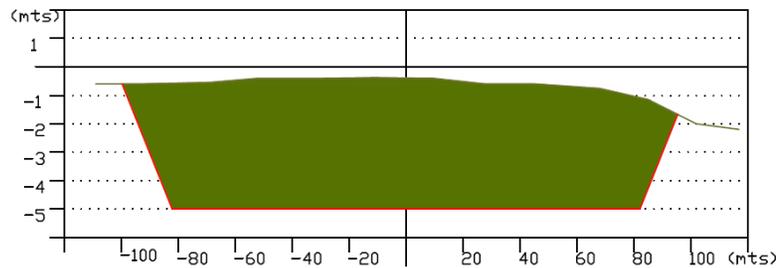


Figura 31. Secciones de Dragado Caso Extensión 135m Para progresiva 0+140. Fuente: Elaboración Propia.

Progresiva 0+160

Área 666,41 m²

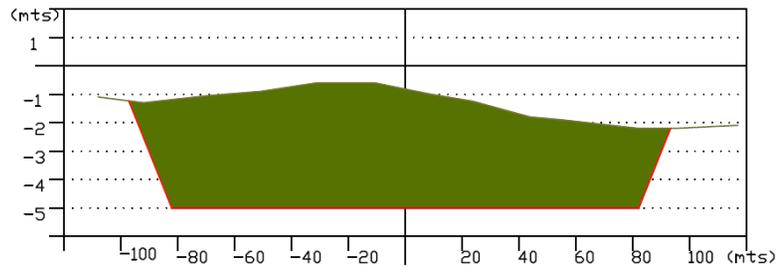


Figura 32. Secciones de Dragado Caso Extensión 135m Para progresiva 0+160. Fuente: Elaboración Propia.

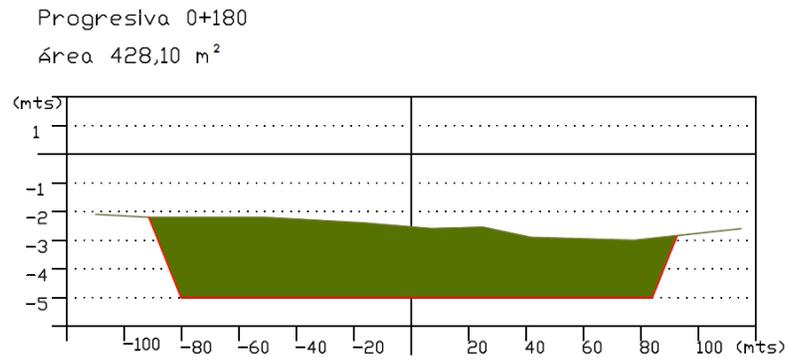


Figura 33. Secciones de Dragado Caso Extensión 135m Para progresiva 0+180. Fuente: Elaboración Propia.

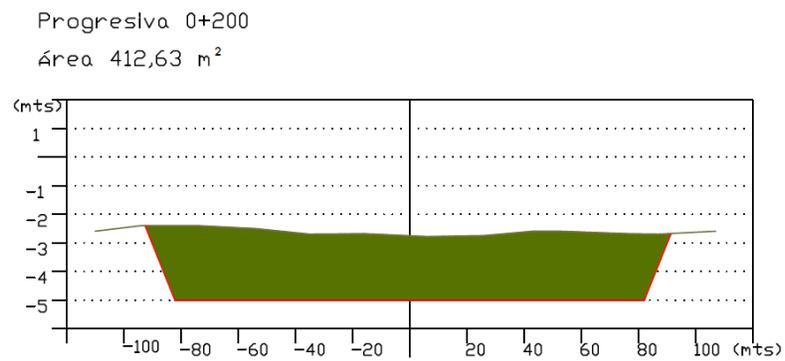


Figura 34. Secciones de Dragado Caso Extensión 135m Para progresiva 0+200. Fuente: Elaboración Propia.

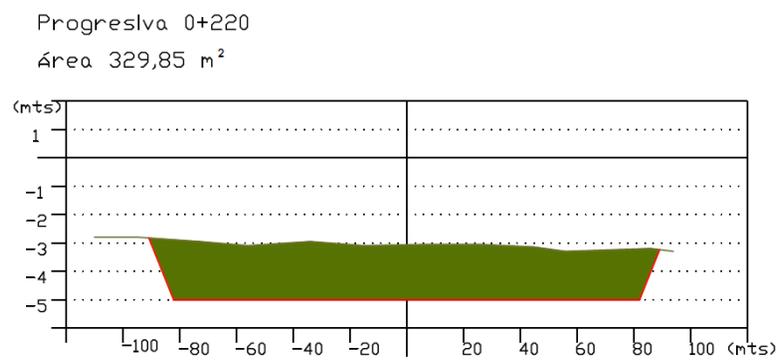


Figura 35. Secciones de Dragado Caso Extensión 135m Para progresiva 0+220. Fuente: Elaboración Propia.

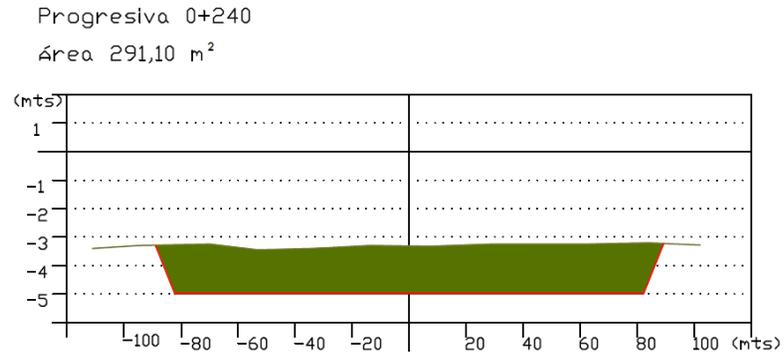


Figura 36. Secciones de Dragado Caso Extensión 135m Para progresiva 0+240. Fuente: Elaboración Propia.

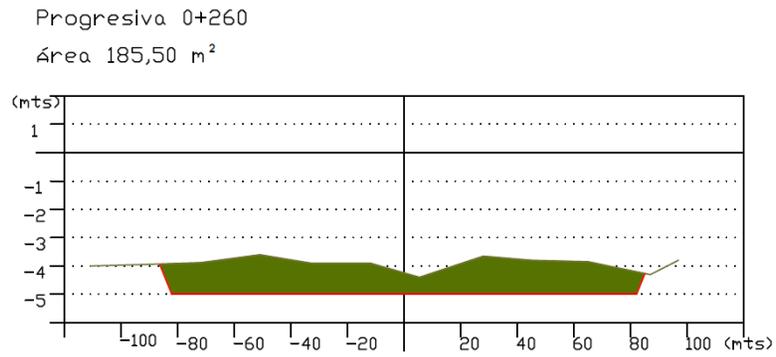


Figura 37. Secciones de Dragado Caso Extensión 135m Para progresiva 0+260. Fuente: Elaboración Propia.

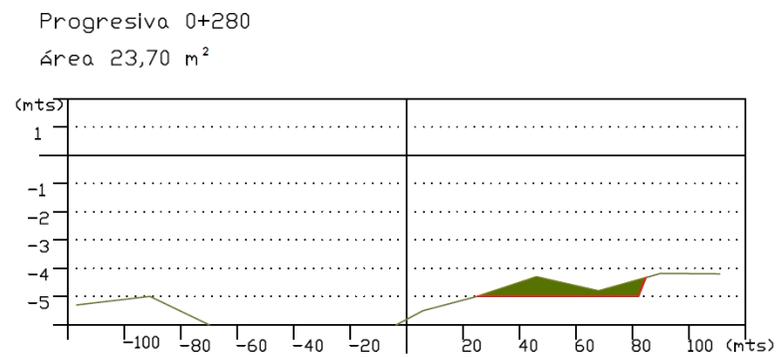


Figura 38. Secciones de Dragado Caso Extensión 135m Para progresiva 0+280. Fuente: Elaboración Propia.

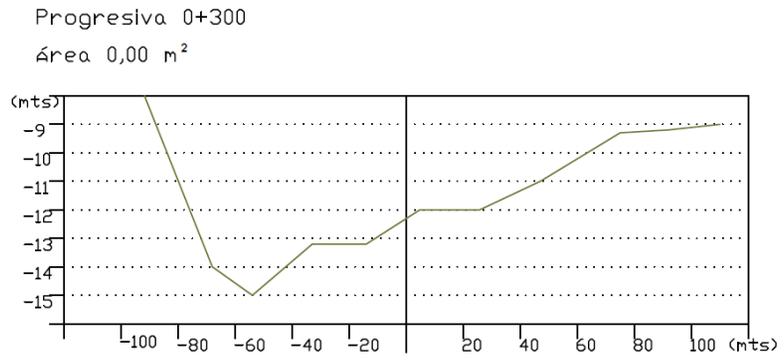


Figura 39. Secciones de Dragado Caso Extensión 135m Para progresiva 0+300. Fuente: Elaboración Propia.

Progresiva	Área Real (m2)	Área Promedio	Volumen (m3)	Volumen Acumulado (m3)
0+000	-			-
0+020	-	-	-	-
0+040	-	-	-	-
0+060	-	-	-	-
0+080	-	-	-	-
0+100	-	-	-	-
0+120	839,05		-	-
0+140	799,05	819,05	4.095,25	4.095,25
0+160	666,41	732,73	14.654,58	18.749,83
0+180	428,10	547,25	10.945,07	29.694,90
0+200	412,63	420,36	8.407,26	38.102,16
0+220	329,85	371,24	7.424,78	45.526,94
0+240	291,10	310,48	6.209,53	51.736,47
0+260	185,50	238,30	4.766,00	56.502,47
0+280	23,70	104,60	2.092,00	58.594,47
0+300	-	11,85	237,00	58.831,47
		Volumen Total Dragado		58.831,47

Tabla 19. Cálculo Volumen Total de Dragado Caso Extensión 135m. Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO C

TRANSPORTE DE CARGA SUSPENDIDA TOTAL

Estación 1								
Profundidad real al momento de la medición (m)		6,66	Momento de la medición de corrientes			14/06/2016 09:00		
	Prof. (m)	Vel (m/s)	Vel Promedio (m/s)	Concentración (mg/l)	Concentración (Kg/m3)	Concentración Promedio (Kg/m3)	Z (m)	Transporte de carga suspendida (Kg/m/s)
Fondo	6,56	0,105	0,105	6,03	0,00603	0,00603	0,1	6,3315E-05
90% de Profundidad	5,994	0,369	0,237	7,08	0,00708	0,006555	0,566	0,001478686
50% de Profundidad	3,33	1,071	0,72	1,96	0,00196	0,00452	2,664	0,005592162
Superficie	0,5	1,694	1,3825	1,26	0,00126	0,00161	2,83	0,006040465
							Transporte de Carga suspendida total	0,013174629

Tabla 20. Cálculo de Transporte de Carga Suspendida Total Para "Mareas Muertas" Estación 1. Fuente: Elaboración Propia.

Estación 2								
Profundidad real al momento de la medición (m)		5,35	Momento de la medición de corrientes			14/06/2016 09:00		
	Prof. (m)	Vel (m/s)	Vel Promedio (m/s)	Concentración (mg/l)	Concentración (Kg/m3)	Concentración Promedio (Kg/m3)	Z (m)	Transporte de carga suspendida (Kg/m/s)
Fondo	5,25	0,091	0,091	3,19	0,00319	0,00319	0,1	2,9029E-05
90% de Profundidad	4,815	0,328	0,2095	4,79	0,00479	0,00399	0,435	0,000683437
50% de Profundidad	2,675	1,115	0,7215	3,54	0,00354	0,004165	2,14	0,008446794
Superficie	0,5	1,887	1,501	4,44	0,00444	0,00399	2,175	0,018222759
							Transporte de Carga suspendida total	0,027382019

Tabla 21. Cálculo de Transporte de Carga Suspendida Total Para "Mareas Muertas" Estación 2. Fuente: Elaboración Propia.

Estación 3								
Profundidad real al momento de la medición (m)		3,8	Momento de la medición de corrientes			14/06/2016 09:00		
	Prof. (m)	Vel (m/s)	Vel Promedio (m/s)	Concentración (mg/l)	Concentración (Kg/m3)	Concentración Promedio (Kg/m3)	Z (m)	Transporte de carga suspendida (Kg/m/s)
Fondo	3,7	0,11	0,11	2,62	0,00262	0,00262	0,1	0,00002882
90% de Profundidad	3,42	0,333	0,2215	2,85	0,00285	0,002735	0,28	0,000265734
50% de Profundidad	1,9	1,263	0,798	1,12	0,00112	0,001985	1,52	0,002150131
Superficie	0,5	2,248	1,7555	1,18	0,00118	0,00115	1,4	0,003713696
Transporte de Carga suspendida total								0,006158381

Tabla 22. Cálculo de Transporte de Carga Suspendida Total Para "Mareas Muertas" Estación 3. Fuente: Elaboración Propia.

Estación 4								
Profundidad real al momento de la medición (m)		6,52	Momento de la medición de corrientes			14/06/2016 09:00		
	Prof. (m)	Vel (m/s)	Vel Promedio (m/s)	Concentración (mg/l)	Concentración (Kg/m3)	Concentración Promedio (Kg/m3)	Z (m)	Transporte de carga suspendida (Kg/m/s)
Fondo	6,42	0,133	0,133	7,76	0,00776	0,00776	0,1	0,000103208
90% de Profundidad	5,868	0,418	0,2755	8,37	0,00837	0,008065	0,552	0,00193126
50% de Profundidad	3,26	1,124	0,771	4,31	0,00431	0,00634	2,608	0,0126343
Superficie	0,5	1,719	1,4215	3,29	0,00329	0,0038	2,76	0,015609208
Transporte de Carga suspendida total								0,030277975

Tabla 23. Cálculo de Transporte de Carga Suspendida Total Para "Mareas Muertas" Estación 4. Fuente: Elaboración Propia.

Estación 5									
Profundidad real al momento de la medición (m)		5,8	Momento de la medición de corrientes			14/06/2016 09:00			
	Prof. (m)	Vel (m/s)	Vel Promedio (m/s)	Concentración (mg/l)	Concentración (Kg/m3)	Concentración Promedio (Kg/m3)	Z (m)	Transporte de carga suspendida (Kg/m/s)	
Fondo	5,7	0,164	0,164	5,76	0,00576	0,00576	0,1	9,4464E-05	
90% de Profundidad	5,22	0,465	0,3145	2,31	0,00231	0,005895	0,48	0,000515592	
50% de Profundidad	2,9	1,206	0,8355	2,44	0,00244	0,004695	2,32	0,006826925	
Superficie	0,5	1,819	1,5125	2,37	0,00237	0,0022	2,4	0,010346472	
							Transporte de Carga suspendida total		0,017783453

Tabla 24. Cálculo de Transporte de Carga Suspendida Total Para "Mareas Muertas" Estación 5. Fuente: Elaboración Propia.

Estación 6									
Profundidad real al momento de la medición (m)		4,7	Momento de la medición de corrientes			14/06/2016 09:00			
	Prof. (m)	Vel (m/s)	Vel Promedio (m/s)	Concentración (mg/l)	Concentración (Kg/m3)	Concentración Promedio (Kg/m3)	Z (m)	Transporte de carga suspendida (Kg/m/s)	
Fondo	4,6	0,124	0,124	2,86	0,00286	0,00286	0,1	3,5464E-05	
90% de Profundidad	4,23	0,381	0,2525	3,02	0,00302	0,00294	0,37	0,000425729	
50% de Profundidad	2,35	1,224	0,8025	1,25	0,00125	0,002135	1,88	0,0028764	
Superficie	0,5	2,022	1,623	1,27	0,00127	0,00126	1,85	0,004750689	
							Transporte de Carga suspendida total		0,008088282

Tabla 25. Cálculo de Transporte de Carga Suspendida Total Para "Mareas Muertas" Estación 6. Fuente: Elaboración Propia.

Estación 1									
Profundidad real al momento de la medición (m)		7,76	Momento de la medición de corrientes			05/06/2016 14:30			
	Prof. (m)	Vel (m/s)	Vel Promedio (m/s)	Concentración (mg/l)	Concentración (Kg/m3)	Concentración Promedio (Kg/m3)	Z (m)	Transporte de carga suspendida (Kg/m/s)	
Fondo	7,66	0,2	0,2	45,5	0,0455	0,0455	0,1	0,00091	
90% de Profundidad	6,984	0,65	0,425	53,47	0,05347	0,049485	0,676	0,023494718	
50% de Profundidad	3,88	1,95	1,3	14,76	0,01476	0,034115	3,104	0,089339328	
Superficie	0,5	3,15	2,55	9,51	0,00951	0,012135	3,38	0,10125297	
							Transporte de Carga suspendida total		0,214997016

Tabla 26. Cálculo de Transporte de Carga Suspendida Total Para "Mareas Vivas" Estación 1. Fuente: Elaboración Propia.

Estación 2									
Profundidad real al momento de la medición (m)		6,75	Momento de la medición de corrientes			05/06/2016 14:30			
	Prof. (m)	Vel (m/s)	Vel Promedio (m/s)	Concentración (mg/l)	Concentración (Kg/m3)	Concentración Promedio (Kg/m3)	Z (m)	Transporte de carga suspendida (Kg/m/s)	
Fondo	6,65	0,1	0,1	35,65	0,03565	0,03565	0,1	0,0003565	
90% de Profundidad	6,075	0,67	0,385	34,16	0,03416	0,034905	0,575	0,01316014	
50% de Profundidad	3,375	1,93	1,3	12,44	0,01244	0,0233	2,7	0,06482484	
Superficie	0,5	3,37	2,65	11,31	0,01131	0,011875	2,875	0,109579763	
							Transporte de Carga suspendida total		0,187921243

Tabla 27. Cálculo de Transporte de Carga Suspendida Total Para "Mareas Vivas" Estación 2. Fuente: Elaboración Propia.

Estación 3								
Profundidad real al momento de la medición (m)		5,2	Momento de la medición de corrientes			05/06/2016 14:30		
	Prof. (m)	Vel (m/s)	Vel Promedio (m/s)	Concentración (mg/l)	Concentración (Kg/m3)	Concentración Promedio	Z (m)	Transporte de carga
Fondo	5,1	0,12	0,12	31,41	0,03141	0,03141	0,1	0,00037692
90% de Profundidad	4,68	0,5	0,31	30,1	0,0301	0,030755	0,42	0,006321
50% de Profundidad	2,6	2,1	1,3	10,96	0,01096	0,02053	2,08	0,04787328
Superficie	0,5	3,87	2,985	9,96	0,00996	0,01046	2,1	0,08094492
Transporte de Carga suspendida total								0,13551612

Tabla 28. Cálculo de Transporte de Carga Suspendida Total Para “Mareas Vivas” Estación 3. Fuente: Elaboración Propia.

Estación 4								
Profundidad real al momento de la medición (m)		7,78	Momento de la medición de corrientes			05/06/2016 14:30		
	Prof. (m)	Vel (m/s)	Vel Promedio (m/s)	Concentración (mg/l)	Concentración (Kg/m3)	Concentración Promedio (Kg/m3)	Z (m)	Transporte de carga suspendida (Kg/m/s)
Fondo	7,68	0,15	0,15	47,29	0,04729	0,04729	0,1	0,00070935
90% de Profundidad	7,002	0,6	0,375	55,57	0,05557	0,05143	0,678	0,022605876
50% de Profundidad	3,89	1,88	1,24	15,34	0,01534	0,035455	3,112	0,08974759
Superficie	0,5	3,15	2,515	9,88	0,00988	0,01261	3,39	0,10550358
Transporte de Carga suspendida total								0,218566396

Tabla 29. Cálculo de Transporte de Carga Suspendida Total Para “Mareas Vivas” Estación 4. Fuente: Elaboración Propia.

Estación 5									
Profundidad real al momento de la medición (m)		7,15	Momento de la medición de corrientes			05/06/2016 14:30			
	Prof. (m)	Vel (m/s)	Vel Promedio (m/s)	Concentración (mg/l)	Concentración (Kg/m3)	Concentración Promedio (Kg/m3)	Z (m)	Transporte de carga suspendida (Kg/m/s)	
Fondo	7,05	0,1	0,1	42,6	0,0426	0,0426	0,1	0,000426	
90% de Profundidad	6,435	0,5	0,3	38,96	0,03896	0,04078	0,615	0,0119802	
50% de Profundidad	3,575	1,87	1,185	15,14	0,01514	0,02705	2,86	0,080971748	
Superficie	0,5	3,28	2,575	14,5	0,0145	0,01482	3,075	0,146247	
							Transporte de Carga suspendida total		0,239624948

Tabla 30. Cálculo de Transporte de Carga Suspendida Total Para "Mareas Vivas" Estación 5. Fuente: Elaboración Propia.

Estación 6									
Profundidad real al momento de la medición (m)		6,05	Momento de la medición de corrientes			05/06/2016 14:30			
	Prof. (m)	Vel (m/s)	Vel Promedio (m/s)	Concentración (mg/l)	Concentración (Kg/m3)	Concentración Promedio (Kg/m3)	Z (m)	Transporte de carga suspendida (Kg/m/s)	
Fondo	5,95	0,11	0,11	27,2	0,0272	0,0272	0,1	0,0002992	
90% de Profundidad	5,445	0,5	0,305	18,27	0,01827	0,022735	0,505	0,004613175	
50% de Profundidad	3,025	1,97	1,235	18,17	0,01817	0,01822	2,42	0,086623658	
Superficie	0,5	3,57	2,77	9,2	0,0092	0,013685	2,525	0,0829311	
							Transporte de Carga suspendida total		0,174467133

Tabla 31. Cálculo de Transporte de Carga Suspendida Total Para "Mareas Vivas" Estación 6. Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO D

ECUACIONES BASICAS Y METODOS DE CALCULO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Según Van Rijn, L (1993), su publicación “*Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries, Coastal Seas and Oceans*” las ecuaciones básicas y métodos de cálculo de transporte de sedimento son los siguientes:

Ecuaciones básicas de transporte de sedimentos

1. Ecuación de balance de masa

Aplicada a variables instantáneas, la ecuación de balance de masa para un volumen unitario viene dada por:

Fluido:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho(1 - C)) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho(1 - C) U_{f,i}) = 0 \quad \text{Ecuación (5)}$$

Sedimento:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho_s C) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho_s C U_{s,i}) = 0 \quad \text{Ecuación (6)}$$

Donde:

C = Concentración de volumen local (-)

U_f = Velocidad local del fluido (m/s)

U_s = Velocidad local del sedimento (m/s)

ρ = Densidad del fluido (Kg/m^3)

ρ_s = Densidad del sedimento (Kg/m^3)

X = Coordenada longitudinal (m)

t = Tiempo (s)

El efecto de la turbulencia puede ser introducido aplicando el conocido procedimiento de Reynolds en el cual las variables son representadas como la suma de un componente promedio de tiempo y un componente de fluctuación, como sigue:

$$U = u + u'$$

Ecuación (7)

$$C = c + c'$$

Ecuación (8)

La sustitución de las ecuaciones (7) y (8) en (5) y (6), promediando en el tiempo, y asumiendo la densidad del fluido y de sedimentos constante, resulta en:

Fluido:

$$\frac{\partial}{\partial t} (1 - c) + \frac{\partial}{\partial x_i} \left((1 - c)u_{f,i} - c'u'_{f,i} \right) = 0 \quad \text{Ecuación (9)}$$

Sedimento:

$$\frac{\partial}{\partial t} c + \frac{\partial}{\partial x_i} (c u_{s,i} + c' u'_{s,i}) = 0 \quad \text{Ecuación (10)}$$

Se asume que el fluido y las partículas de sedimentos se comportan como una mezcla. Además la velocidad de sedimentación se asume igual a la velocidad de la mezcla con la excepción de la dirección vertical la cual se asume igual a la velocidad de caída de la partícula(w_s).

Entonces:

$$u_{s,i} = u_{f,i} - w_s \delta_i \quad (\delta_x = \delta_y = 0, \delta_z = 1) \quad \text{Ecuación (11)}$$

El concepto de viscosidad de remolino (difusión) es aplicado para representar componentes de transporte inducidos por turbulencia. Los coeficientes que expresan la transferencia de momento y masa de sedimento son llamados en lo sucesivo coeficientes de mezclado de fluido y sedimento.

Aplicando el concepto de viscosidad de remolino, los componentes relacionados a la turbulencia son:

$$c'u'_{f,i} = -\varepsilon_f \frac{\partial c}{\partial x_i} \quad \text{Ecuación (12)}$$

$$c' u'_{s,i} = -\varepsilon_s \frac{\partial c}{\partial x_i} \quad \text{Ecuación (13)}$$

En las cuales:

ε_f = Coeficiente de mezcla del fluido (m^2/s)

ε_s = Coeficiente de mezcla del sedimento (m^2/s)

La sustitución de las ecuaciones (11), (12), (13) en (9) y (10) resulta en:

Fluido:

$$\frac{\partial}{\partial t} (1 - c) + \frac{\partial}{\partial x_i} \left((1 - c)u_{f,i} + \varepsilon_f \frac{\partial c}{\partial x_i} \right) = 0 \quad \text{Ecuación (14)}$$

Sedimento:

$$\frac{\partial}{\partial t} c + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(c (u_{f,i} - w_s \delta_i) - \varepsilon_s \frac{\partial c}{\partial x_i} \right) = 0 \quad \text{Ecuación (15)}$$

En el plano longitudinal vertical (xz) las ecuaciones de balance de masa son:

Fluido:

$$\frac{\partial}{\partial t} (1 - c) + \frac{\partial}{\partial x} \left((1 - c)u + \varepsilon_f \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left((1 - c)w + \varepsilon_f \frac{\partial c}{\partial z} \right) = 0 \quad \text{Ecuación (16)}$$

Sedimento:

$$\frac{\partial}{\partial t} c + \frac{\partial}{\partial x} \left(c u - \varepsilon_s \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(c (w - w_s) - \varepsilon_s \frac{\partial c}{\partial z} \right) = 0 \quad \text{Ecuación (17)}$$

En las cuales:

X = coordenada longitudinal

Z = Coordenada vertical

u = velocidad del fluido en dirección x

w = velocidad del fluido en dirección z

Para un flujo permanente y uniforme $\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial c}{\partial x} = 0$ entonces las ecuaciones se reducen a:

Fluido:

$$(1 - c)w + \varepsilon_f \frac{\partial c}{\partial z} = 0 \quad \text{Ecuación (18)}$$

Sedimento:

$$c (w - w_s) - \varepsilon_s \frac{\partial c}{\partial z} = 0 \quad \text{Ecuación (19)}$$

Eliminando la velocidad vertical del fluido:

$$(1 - c) c w_s + \left(\varepsilon_s + c (\varepsilon_f - \varepsilon_s) \right) \frac{\partial c}{\partial z} = 0$$

Ecuación (20)

La ecuación (20), primero propuesta por Hallbron (1949) and Hunt (1954), representa el perfil de concentración de sedimento para condiciones de equilibrio. En las ecuaciones de balance de masa, el retorno vertical de flujo debido al fluido desplazado por las partículas en caída ha sido tomado en cuenta. Asumiendo que los coeficientes de mezcla del fluido y sedimento son aproximadamente iguales ($\varepsilon_f = \varepsilon_s$) se tiene:

$$(1 - c) c w_s + \varepsilon_s \frac{\partial c}{\partial z} = 0 \quad \text{Ecuación (21)}$$

ecuación que también puede ser expresada como:

$$c w_{s,m} + \varepsilon_s \frac{\partial c}{\partial z} = 0 \quad \text{Ecuación (22)}$$

y en la cual:

$$w_{s,m} = (1 - c) c w_s = \text{Velocidad de caída de la partícula en la mezcla fluido - sedimento}$$

La investigación experimental realizada por Richardson y Zaki (1954) ha mostrado que la velocidad de caída no solo es afectada por el retorno del flujo debido al fluido desplazado, sino también por efectos adicionales como: colisiones entre partículas, turbulencia inducida por partículas y coeficientes de arrastre modificados. El efecto total puede ser representado por:

$$w_{s,m} = (1 - c)^\alpha w_s \quad \text{Ecuación (23)}$$

Donde:

w_s = velocidad de caída de la partícula en fluido claro y estático

α = Coeficiente (4 – 5 para partículas en el rango de 50 – 500 μm)

La influencia de las partículas de sedimento en las características de turbulencia resultan en una amortiguación de la turbulencia y por lo tanto una reducción del coeficiente de mezcla efectivo (ε_s), hecho que también debe ser tomado en consideración.

Para concentraciones pequeñas ($1 - c = 1$) la ecuación (18) se reduce a:

$$c w_s + \varepsilon_s \frac{\partial c}{\partial z} = 0 \quad \text{Ecuación (24)}$$

2. Balance de momento para mezcla de fluido y sedimento

Para representar la modificación de los coeficientes de mezcla del fluido y por lo tanto los perfiles de velocidad del fluido debido a la presencia de partículas de sedimentos suspendidos, el balance de momento para mezcla de fluido y sedimento debe ser resuelto. En el análisis presente se asume que la velocidad del fluido y la de los sedimentos son iguales en dirección horizontal, pero hay una velocidad de deslizamiento constante igual a la velocidad de caída de la partícula en la dirección vertical.

Aplicado a variables instantáneas, el balance de momento para mezcla de fluido y sedimento está dado por:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho_m U_{m,i}) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho_m U_{m,i} U_{m,j}) = - \frac{\partial}{\partial x_i} (P_m) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\tau_{m,ij}^V) + \rho_m g \delta_i \quad \text{Ecuación (25)}$$

En la cual:

$$\rho_m = (1 - C)\rho + C\rho_s = \text{Densidad de la mezcla fluido- sedimento (kg/m}^3\text{)}$$

$$U_{m,i} = U_{m,i} - w_s \delta_i = \text{Velocidad local de la mezcla fluido- sedimento (m/s)}$$

$$P_m = \text{Presion local (N/m}^2\text{)}$$

$$g = \text{Aceleracion de gravedad (m}^2\text{/s)}$$

$$\tau_{m,ij}^V = \text{Esfuerzo cortante viscoso}$$

La velocidad local instantánea de la mezcla puede también ser representada como:

$$U_{m,i} = (1 - C) U_{f,i} - C w_s \delta_i \quad \text{Ecuación (26)}$$

El esfuerzo viscoso debido al corte del fluido inter granular y el corte causado por la interacción entre el fluido y las partículas de sedimento puede ser representados por:

$$\tau_{m,ij}^V = \mu_m \frac{\partial U_{m,i}}{\partial x_j} \quad \text{Ecuación (27)}$$

En la cual:

$$\mu_m = \mu_o (1 + \alpha_1 C)^{\alpha_2} = \text{Coeficiente de viscosidad dinámica del fluido modificado por la presencia de partículas (kg/sm)}$$

$$\mu_o = \text{Coeficiente de viscosidad dinámica (kg/sm)}$$

$\alpha_1, \alpha_2 =$ Coeficientes

Usualmente, el esfuerzo viscoso es despreciado en el balance de momento para un flujo claro. Para un flujo de dos fases las concentraciones de sedimento pueden ser relativamente grandes cerca del fondo. En consecuencia, el esfuerzo viscoso de corte cerca del fondo puede ser importante debido al aumento de viscosidad.

Los efectos de la turbulencia son introducidos aplicando el procedimiento de Reynolds como sigue:

$$U_{m,i} = u_{m,i} + u'_{m,i} \quad \text{Ecuación (28)}$$

$$P_m = p_m + p'_m \quad \text{Ecuación (29)}$$

$$\rho_m = \rho_m + \rho'_m \quad \text{Ecuación (30)}$$

La sustitución de las ecuaciones (27), (28), (29) y (30) en (26) y promediando en el tiempo, se obtiene:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho_m U_{m,i}) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho_m U_{m,i} U_{m,j}) = - \frac{\partial}{\partial x_i} (P_m) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\tau_{m,ij}^v + (\tau_{m,ij}^{-t})) + \rho_m g \delta_i \quad \text{Ecuación (31)}$$

En la cual:

$$\tau_{m,ij}^v = \mu_m (\partial u_{m,i} / \partial x_j) = \text{esfuerzo cortante viscoso}$$

$$\tau_{m,ij}^t = -\rho_m u'_{m,i} u'_{m,j} - u_{m,i} \rho'_m u'_{m,j} - u_{m,j} \rho'_m u'_{m,i}$$

= turbulencia inducida por el esfuerzo cortante ($i \neq j$)

$$\rho_m = \rho(1 - c) + \rho_s c = \text{densidad media de la mezcla}$$

$$\mu_m = \mu_o (1 + \alpha_1 c)^{\alpha_2} = \text{viscosidad dinámica de la mezcla}$$

$$\rho_m = (\rho_s - \rho) c' = \text{fluctuación de la densidad de la mezcla}$$

Para derivar la ecuación (30), se despreciaron los siguientes términos:

$$\text{-Fluctuaciones dependientes del tiempo, } \partial(\rho'_m u_{m,i}) / \partial t = 0$$

-Términos de fluctuación debido al esfuerzo cortante viscoso.

$$\text{-Términos de fluctuación del esfuerzo cortante turbulento, } \rho'_m u'_{m,i} u'_{m,i} = 0$$

-Presión inducida por turbulencia, $\rho u'_{m,i} u'_{m,i} = 0$

La turbulencia inducida por el esfuerzo cortante ((τ_m^{-t})) puede ser representada por (i≠j):

$$\tau_{m,ij}^{-t} = -(\rho - \rho c + \rho_s c) \varepsilon_f \frac{\partial u_{m,i}}{\partial x_j} - (\rho_s - \rho) \varepsilon_s u_{m,i} \frac{\partial c}{\partial x_j} \quad \text{Ecuación (32)}$$

La ecuación (32) se lee en el plano x-z con las velocidades u y w:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho_m u) + \frac{\partial}{\partial x} (\rho_m u^2) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho_m u w) = -\frac{\partial p_m}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} (\tau_{m,xz}^{-v} + \tau_{m,xz}^{-t}) \quad \text{Ecuación (33)}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho_m w) + \frac{\partial}{\partial x} (\rho_m u w) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho_m w^2) = -\frac{\partial p_m}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} (\tau_{m,zx}^{-v} + \tau_{m,zx}^{-t}) + \rho_m g \quad \text{Ecuación (34)}$$

$$\tau_{m,zx}^{-v} = \tau_{m,zx}^v = \mu_m \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \quad \text{Ecuación (35)}$$

$$\tau_{m,xz}^{-t} = \tau_{m,zx}^{-t} = -(\rho - \rho c + \rho_s c) (\varepsilon_f) \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) - (\rho_s - \rho) (\varepsilon_s) \left(u \frac{\partial c}{\partial z} + w \frac{\partial c}{\partial x} \right) \quad \text{Ecuación (36)}$$

Las ecuaciones (16), (17), (33) y (34) definen un sistema de 4 ecuaciones con 5 incógnitas, siendo c, u, w, p_m y ε. Relacionando el coeficiente de la mezcla con las variables de flujo local aplicando un modelo longitudinal de mezclado, el sistema puede ser cerrado y solucionado usando las condiciones de borde adecuadas.

Cálculo del transporte de sedimentos

1. Carga de transporte en suspensión por unidad de ancho:

Cuando las muestras de sedimentos suspendidos son recolectadas de forma puntual existen dos métodos para calcular el transporte de carga suspendida. El primero es un método parcial en el que se obtiene el transporte de carga suspendida entre el fondo y el punto de muestreo más alto usando una interpolación lineal entre valores adyacentes medidos.

El segundo es un método integral, en el cual se obtiene el transporte total de carga entre el fondo y la superficie, ajustando una distribución teórica a la velocidad medida del

flujo y a los perfiles de concentración. Aplicando este método la carga suspendida en la zona sin muestrear también es estimada.

Método Parcial

El transporte de carga suspendida por unidad de ancho (kg/sm) puede ser calculado:

$$S_s = [1/2(u_1c_1z_1) + \sum_{i=1}^{n-1} 1/2(u_i c_i + u_{i+1}c_{i+1})(z_{i+1} - z_i)]$$

Ecuación (37)

O

$$S_s = [1/2q_1z_1 + \sum_{i=1}^{n-1} 1/2(q_i + q_{i+1})(z_{i+1} - z_i)]$$

Ecuación (38)

Donde:

-n= Número de puntos de medición en la vertical.

-u_i= Velocidad del flujo en el punto i sobre el fondo (m/s).

-c_i= Concentración en el punto i sobre el fondo.

-z_i= Altura desde el fondo hasta el punto i (m).

-q_i= Transporte de sedimentos suspendidos (método directo) en el punto i sobre el fondo (kg/sm²).

El primer término en las ecuaciones (37) y (38) es una estimación para el transporte entre el punto más bajo de muestreo y el fondo.

La velocidad de flujo promediada con la velocidad (m/s) es:

$$\bar{u} = \frac{1}{z_n} [1/2(u_1z_1) + \sum_{i=1}^{n-1} 1/2(u_i + u_{i+1})(z_{i+1} - z_i)] \quad \text{Ecuación (39)}$$

Donde

Z_n= Altura entre el fondo y el punto más alto de medición (m).

Método Integral

Las velocidades entre el fondo y el primer punto de medición (z_1) se puede representar por la figura 40.

$$v = v_1 \left(\frac{z}{z_1}\right)^2 \text{ para } 0 < z < z_1 \quad \text{Ecuación (40)}$$

Donde:

v_1 = Velocidad del flujo en el primer punto de medición sobre el fondo.

z_1 = Altura del fondo al primer punto de medición.

Las velocidades entre el punto más alto de medición (z_L) y la superficie del agua pueden ser tomadas como la velocidad (v_L) en el punto más alto de medición.

$$v = v_L \text{ para } z_L < z < h \quad \text{Ecuación (41)}$$

Las concentraciones de sedimentos entre el punto de medición más alto y la superficie del agua pueden ser representadas por una función lineal dando una concentración igual a 0 en la superficie, como sigue en la figura 40.

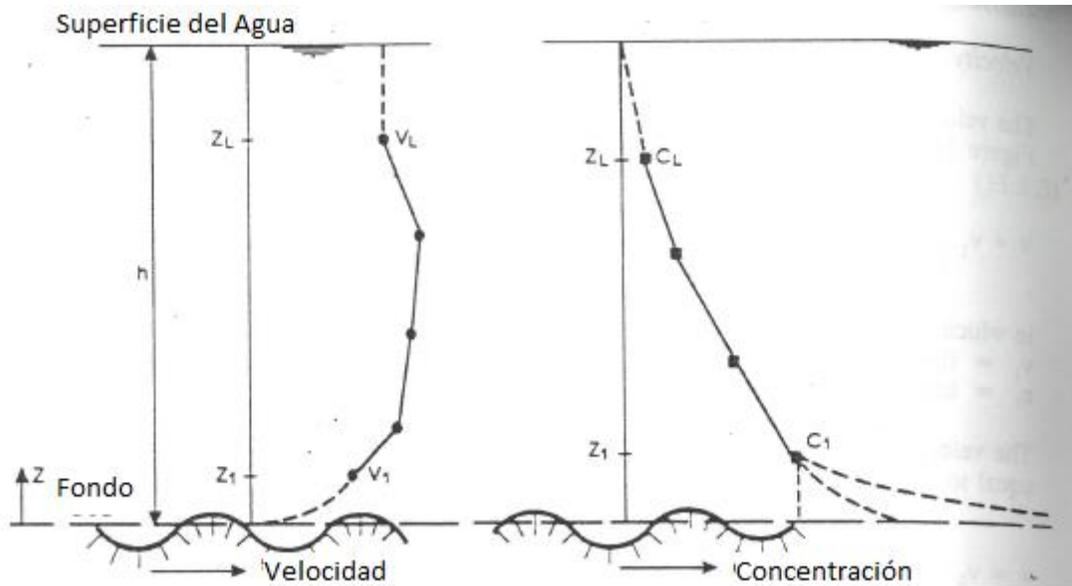


Figura 40. Extrapolación de Velocidades y Concentraciones. Fuente: Van Rijn, L. (1993)

$$c = \left(\frac{h-z}{h-z_L}\right) c_L \text{ para } z_L < z < h \quad \text{Ecuación (42)}$$

Donde:

c_L = Concentración en el punto más alto de medición.

z_L = Distancia entre el fondo y el punto más alto de medición.

Ya que la distribución exacta de las concentraciones de sedimentos en la zona cercana al fondo no es conocida y considerando la importancia relativa de las concentraciones en esta zona, tres métodos distintos de extrapolación pueden ser aplicados para representar el perfil de concentración entre el fondo y el primer punto de medición. El método 1 da como resultado un límite inferior y el método 2 uno superior.

Método 1

Las concentraciones de sedimentos entre el fondo y el primer punto de medición ($z=z_1$) son asumidas igual a la concentración en el primer punto de medición (c_1):

$$c = c_1 \quad \text{para } 0 < z < z_1 \quad \text{Ecuación (43)}$$

Método 2

Las concentraciones de sedimentos entre el fondo y el primer punto de medición son calculadas mediante:

$$c = A Y^B \quad \text{Ecuación (44)}$$

Donde:

$Y = (h-z)/z$ = Coordenada vertical adimensional.

z = Coordenada vertical sobre el fondo.

h = Profundidad del agua

A, B = Coeficientes.

Los coeficientes A y B son determinados por el método de regresión lineal aplicando las concentraciones medidas de los tres primeros puntos de medición por arriba del fondo, como sigue:

Se selecciona $B=0.1$

Calcular:

$$A = \frac{\sum_{k=1}^3 (Y_k^B C_k)}{\sum_{k=1}^3 (Y_k^B Y_k^B)} \quad \text{Ecuación (45)}$$

Calcular:

$$T = \sum_1^3 (A Y_k^B - C_k) \quad \text{Ecuación (46)}$$

Seleccionar B=0.2 (B varia de 0.1 a 5)

Se repite el procedimiento.

Finalmente, los coeficientes A y B correspondientes para un valor mínimo de T son seleccionados como los mejores coeficientes. Aplicando la ecuación (44) las concentraciones de sedimentos se calculan en 50 puntos equidistantes entre el fondo (definido como $z=2d_{50}$) y el primer punto de medición ($z=z_1$). La concentración máxima se asume que es de 1600 kg/m^3 .

Método 3

Las concentraciones de sedimentos entre el fondo y el primer punto de medición son calculadas mediante:

$$c = e^{Az+B} \quad \text{Ecuación (47)}$$

Donde:

z = Altura sobre el fondo.

A, B= Coeficientes.

Los coeficientes A y B son determinados por el método de regresión lineal aplicando las concentraciones medidas de los tres primeros puntos de medición por arriba del fondo, como sigue:

$$A = \frac{3 \sum_1^3 (z_k \ln c_k) - \sum_1^3 (z_k) \sum_1^3 (\ln c_k)}{3 \sum_1^3 (z_k z_k) - (\sum_1^3 z_k)^2} \quad \text{Ecuación (48)}$$

$$B = \frac{\sum_1^3 (z_k z_k) \sum_1^3 (\ln c_k) - \sum_1^3 (z_k) \sum_1^3 (z_k \ln c_k)}{3 \sum_1^3 (z_k z_k) - (\sum_1^3 z_k)^2} \quad \text{Ecuación (49)}$$

Aplicando (47) se calculan las concentraciones de sedimentos en 50 puntos equidistantes entre el fondo (definido como $z=2d_{50}$) y el primer punto de medición ($z=z_1$). La concentración máxima asumida es de 1600 kg/m^3 .

Transporte de sedimentos suspendidos

El cálculo numérico del transporte de sedimentos suspendidos requiere las especificaciones de velocidades y concentraciones a elevaciones iguales por encima del fondo. Cuando los valores de elevaciones de velocidades y concentraciones no son correspondientes, se debe aplicar una interpolación lineal para obtener la data requerida.

$$S_s = \sum_1^N 1/2 (v_i c_i - v_{i-1} c_{i-1})(z_i - z_{i-1}) \quad \text{Ecuación (50)}$$

Donde:

v_i = Velocidad del fluido a la altura z_i sobre el fondo.

c_i = Concentración de sedimento a la altura z_i sobre el fondo.

N = Número total de puntos (incluyendo puntos interpolados y extrapolados)

Ya que tres métodos diferentes son aplicados para representar la concentración de sedimentos en la zona no muestreada cerca del fondo, tres valores diferentes de transporte de sedimentos suspendidos son obtenidos. Estos valores pueden ser promediados para obtener una estimación confiable.

Finalmente, es de notar que estos valores basados en extrapolación para la zona no muestreada pueden ser no confiables, especialmente para partículas relativamente grandes. En ese caso el transporte de sedimentos por debajo del punto más bajo de medición es comparado con el de arriba del punto más bajo de medición y los resultados extrapolados tendrán solo un valor limitado.

Transporte total de carga por unidad de ancho

El Transporte total de carga por unidad de ancho es obtenido por la suma de la carga de fondo y el transporte de carga suspendida por unidad de ancho

Transporte total de carga en una sección transversal

El transporte total de carga en una sección transversal (kg/s) puede ser calculado:

$$S = \sum_1^N (s_{b,k} + s_{s,k}) b_k \quad \text{Ecuación (51)}$$

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Arias, F. (2006). El Proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica. (5ta ed.). Venezuela: Editorial Episteme.

Asociación Internacional de Infraestructuras del Transporte Acuático. (2016) Lineamientos Para Terminales de Crucero (N° 152). Recuperado de <http://www.pianc.org>

Crespo, C. (2004). Mecánica de suelos y cimentaciones. [Libro en línea]. Consultado el 25 de mayo de 2018 en: [http:// https://stehven.files.wordpress.com/2015/06/mecanica-desuelos-y-cimentaciones-crespo-villalaz.pdf](http://https://stehven.files.wordpress.com/2015/06/mecanica-desuelos-y-cimentaciones-crespo-villalaz.pdf)

Díaz-Naveas, J. y Frutos, J. (2010). Geología Marina de Chile. Obtenido el 20 de mayo de 2018 en: http://www.cona.cl/publicaciones/geologia_marina/6.pdf

Farjas, M. (Sin Fecha). Libro Topografía. [Libro en línea]. Consultado el 20 de mayo de 2018 en: <https://es.scribd.com/document/351864031/L-Topografia-M-Farjas>

Foreman, G. (1977). Manual For Tidal Heights Analysis and Prediction. Institute of Ocean Sciences Patricia Bay. British Columbia, Canada.

Grobas, M. (2003). Variaciones del nivel del mar en el Mediterráneo occidental a partir de los datos suministrados por los mareógrafos. (Trabajo de Grado). Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España.

Marcano, S. y González, J. (2008). Propuesta Conceptual de un Muelle en Caño con Influencia de Marea. Caso de Estudio: Caño Mánamo, Tucupita, Estado Delta Amacuro. (Trabajo de Grado) Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.

Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (1990). ROM 0.2-90. Acciones en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias. Madrid, España.

Mederos, L. (2009). Las Mareas. Obtenido el 3 de marzo de 2018 en: <http://rodamedia.com/navastro/mareas/mareas.htm>

Ortego, L. (2009). Técnicas de dragado en ingeniería marítima (Trabajo de Grado). Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España.

Portillo, G. (2018). Oleaje, partes de una ola y olas gigantes. Obtenido el 25 de mayo de 2018 en: http://www7.uc.cl/drsw_educ/geo_mar/html/h621.html

Pugh, D. (2004). Changing Sea Levels: Effect of Tides, Weather and Climate.

Rico, A. y Del Castillo, H. (1976). La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres. [Libro en línea]. Consultado el 25 de mayo de 2018 en: <http://www.elibros.cl/detalle/la-ingenieria-de-suelos-en-las-vias-terrestres-carreteras-ferrocarriles-y-aeropistas/>

Van Rijn, L. (1993). Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries, Coastal Seas and Oceans. Delft, Netherlands.