



FACULTAD DE INGENIERÍA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL OCEÁNICO

**“ASPECTOS TÉCNICOS DE LA REALIZACIÓN DE
DRAGADOS DE PRECISIÓN MEDIANTE DIFERENTES MÉTODOS
EN EL PUERTO DE VALPARAISO”**

CLAUDIO ANDRÉS BENITO ACERO

Enero 2014

APROBACIÓN

**“ASPECTOS TÉCNICOS DE LA REALIZACIÓN DE
DRAGADOS DE PRECISIÓN MEDIANTE DIFERENTES MÉTODOS
EN EL PUERTO DE VALPARAÍSO”**

CLAUDIO ANDRÉS BENITO ACERO

COMISIÓN REVISORA

Nota

Firma

MATÍAS QUEZADA LABRA
PROFESOR GUÍA

FELIPE CASELLI B.
DOCENTE

MAURICIO REYES G.
DOCENTE

DECLARACIÓN

Este trabajo o alguna de sus partes no ha sido presentado anteriormente en la Universidad de Valparaíso, institución universitaria chilena o extranjera u organismo de carácter estatal, para evaluación, comercialización u otros propósitos. Salvo las referencias citadas en el texto, confirmo que el contenido intelectual de este Proyecto de Título es resultado de mis esfuerzos personales.

La Universidad de Valparaíso reconoce expresamente la propiedad intelectual del autor sobre esta Memoria de Titulación. Sin embargo, en caso de ser sometida a evaluación para propósitos de obtención del Título Profesional de Ingeniero Civil Oceánico, el autor renuncia a sus derechos legales sobre la misma y los cede a la Universidad de Valparaíso, la que estará facultada para utilizarla con fines exclusivamente académicos, sin implicar esto algún propósito comercial o fines de lucro, lo cual no podrá ser hecho sin la autorización expresa del autor.

Matías Fernando Quezada Labra
Profesor Guía

Claudio Andrés Benito Acero
Alumno Memorista

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo quiero agradecer a mi familia, en especial a mi madre, que me dio todo el apoyo y confianza para llegar a buen puerto con el desafío que significó la universidad.

Agradecer a Mónica Sanchez, quien me acompañó, apoyó e instó incansablemente para terminar este proceso que muchas veces pareció eterno.

Agradecer a mis amigos, José Cisternas, Francisco Molteni, Soledad Hidalgo y Pablo Gonzalez, quienes a través de los años han sabido estar cuando los he necesitado y sé que siempre podré seguir contando con su amistad incondicional.

Gracias también a Patricio Winckler, quien desde la distancia brindó su apoyo y experiencia.

Agradecer a TPS, mi actual lugar de trabajo, por haberme dado la oportunidad de aplicar lo aprendido.

Agradecer a Ivan Ianiszewski, quien desde el momento de llegar a TPS confió en mí, ayudándome a tomar nuevos desafíos y responsabilidades.

Agradecer a mi profesor guía, quien a pesar de todo tuvo la paciencia para ayudarme en la finalización de este trabajo.

Por último, y no menos importante, a toda la gente de la universidad que estuvo presente en mi proceso de formación como profesional.

Gracias a todos

Claudio Andrés Benito Acero

ASPECTOS TÉCNICOS DE LA REALIZACIÓN DE
DRAGADOS DE PRECISIÓN MEDIANTE DIFERENTES MÉTODOS EN EL PUERTO DE VALPARAÍSO

Dedicado a mi madre, quien se desvivió por verme llegar al final.

LISTA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	2
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3. MARCO TEÓRICO	4
3.1 DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS DRAGADOS	4
3.1.1 DRAGADOS DE PROFUNDIZACIÓN.....	4
3.1.2 DRAGADOS DE MANTENCIÓN	4
3.2 EQUIPOS PARA EL DRAGADO.....	5
3.2.1 DRAGAS MECÁNICAS.	5
3.2.1.1 Draga de rosario.	5
3.2.1.2 Dragas de pala o Dipper.....	7
3.2.1.3 Dragas de cuchara o Clamshell	9
3.2.1.4 Dragline.....	10
3.2.2 DRAGAS HIDRÁULICAS.....	11
3.2.2.1 Dragas de succión en marcha.....	11
3.2.2.2 Dragas de Cortador o Cutter	11
3.2.2.3 Bombas de succión	13
3.3 TIPOS DE DRAGA SEGÚN SUELO.....	14
3.4 PROTECCIÓN DEL FONDO MARINO POST - DRAGADO	15
3.4.1 UKC.....	16
3.4.2 EFECTO DE LAS HÉLICES SOBRE EL FONDO MARINO	18
3.4.3 PROTECCIÓN DEL FONDO MARINO	19
4. ANTECEDENTES GENERALES.....	21
4.1 GENERALIDADES DEL PUERTO DE VALPARAÍSO.....	21
4.2 CONDICIONES NATURALES.....	25
4.2.1 GENERALIDADES.....	25
4.2.1.1 OLEAJE	26
4.2.2 VIENTO	27
4.2.3 CORRIENTES.....	28
4.2.4 BATIMETRÍA.....	33
4.2.5 ESTRATIGRAFÍA DEL SECTOR A DRAGAR	34
4.2.6 MAREA.....	36
4.3 PRECISIÓN DE UN DRAGADO	37
4.4 DETERMINACIÓN DEL UKC.....	39
4.5 DETERMINACIÓN VELOCIDAD JET DE AGUA	40
4.6 DETERMINACIÓN GEOMETRIA PROTECCIÓN DEL FONDO.....	41
5. METODOLOGÍA	44
5.1 VOLUMEN A DRAGAR	44

5.2	ELECCIÓN DEL MÉTODO DE DRAGADO.....	45
6.	CONCLUSIÓN.....	48
7.	REFERENCIAS.....	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1:	Ubicación del área a dragar en los sitios 1, 2 y 3 Puerto de Valparaíso.....	2
Figura 3-1:	Draga de rosario	6
Figura 3-2:	Draga de rosario	6
Figura 3-3:	Draga de pala retroexcavadora.....	7
Figura 3-4:	Draga de pala frontal	8
Figura 3-5:	Draga de cuchara o Clamshell	9
Figura 3-6:	Clamshell	9
Figura 3-7:	Grúa con Dragline.....	10
Figura 3-8:	Grúa con dragline	10
Figura 3-9:	Draga de succión en marcha.....	11
Figura 3-10:	Draga cutter	12
Figura 3-11:	Método de trabajo draga Cutter.	12
Figura 3-12:	Bombas de succión	13
Figura 3-13:	Esquema para determinación del resguardo bajo la quilla.....	16
Figura 3-14:	Movimiento del agua producto de las hélices	18
Figura 3-15:	Esquema de una estructura cercana al fondo marino.	20
Figura 4-1:	Primer muelle construido en la actual Plaza Sotomayor.	21
Figura 4-2:	Sección tipo frente de atraque	23
Figura 4-3:	Sitios de atraque Puerto de Valparaíso.	24
Figura 4-4:	Punta Ángeles, Valparaíso.	26
Figura 4-5:	Derivador Lagrangiano tipo cortina.	28
Figura 4-6:	Desplazamiento de derivadores en marea vaciante.....	30
Figura 4-7:	Desplazamiento de derivadores en marea llenante.	32
Figura 4-8:	Área a dragar delimitada por la isobata -14,5 mNRS.	33
Figura 4-9:	Posición de muestreos.	34
Figura 4-10:	Ubicación mareógrafo en Puerto de Valparaíso.	36
Figura 4-11:	Tolerancias verticales de sobredragado	38
Figura 4-12:	Esquema protección fondo marino post dragado.	43
Figura 5-1:	Perfil batimétrico paralelo al muelle	44
Figura 5-2:	Perfil batimétrico perpendicular al muelle	44
Figura 5-3:	Draga Vitruvius en labores de dragado.....	46
Figura 5-4:	Sistema de monitoreo del dragado	47
Figura 5-5:	Bomba de succión	47

LISTA DE TABLAS

Tabla 3-1: Tipo sedimento y draga	14
Tabla 3-2: Nave de diseño	15
Tabla 4-1: Dragados en diferentes puertos de Chile.....	22
Tabla 4-2: Oleaje extremo dentro de la bahía.	26
Tabla 4-3: Incidencia de vientos 1990 – 2002	27
Tabla 4-4: Velocidad, dirección y desplazamiento derivadores en marea vaciante.....	29
Tabla 4-5: Velocidad, dirección y desplazamiento derivadores en marea llenante.....	31
Tabla 4-6: Estratigrafía punto A-22	34
Tabla 4-7: Estratigrafía punto A-57	35
Tabla 4-8: Estratigrafía punto A-77	35
Tabla 4-9: Rangos de marea para la bahía de Valparaíso, Enero 2009.	36
Tabla 4-10: Tolerancias verticales de dragado.....	38
Tabla 4-11: Parámetros entrada	40
Tabla 4-12: Campo de velocidades flujo agua en el eje de la hélice a diferentes distancias	40
Tabla 4-13: Velocidad máxima en el fondo.	41
Tabla 4-14: Parámetros para el cálculo de la protección del fondo marino.....	41
Tabla 4-15: Diámetro medio y peso de elementos de protección.....	41
Tabla 5-1: Resumen tabla 1 según condiciones de estudio.....	45
Tabla 5-2: dragar a utilizar y sus rendimientos.....	45

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfica 4-1: Rosa de vientos Valparaíso 1990 - 2002.....	27
--	----

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 3-1: Determinación UKC	16
Ecuación 3-2: Trimado dinámico.....	17
Ecuación 3-4: Velocidad detrás de la hélice.....	19
Ecuación 3-5: Velocidad a lo largo del eje de la hélice	19
Ecuación 3-6: Distribución de velocidades	19
Ecuación 3-7: Velocidad máxima en el fondo.....	19
Ecuación 3-8: Diámetro nominal medio de rocas	20
Ecuación 3-9: Intensidad de la turbulencia	20
Ecuación 3-10: Factor de estructura.....	20
Ecuación 3-11: Peso medio de los elementos de protección.....	20

RESUMEN

Desde tiempos muy remotos se ha generado la necesidad de construir nueva y mejor infraestructura para la carga y descarga de embarcaciones, las cuales, con el aumento de la especialización de astilleros, ingeniería, tecnologías, aumento de los volúmenes transportados, etc. ha producido una constante especialización de los actores presentes en la cadena productiva. Es dentro de esta especialización que se encajan los proyectos que tienden a generar un aumento de la capacidad productiva.

Uno de los proyectos de desarrollo que toma vital importancia corresponde a los dragados de profundización, orientados a generar aumento de las profundidades en los puertos y de este modo conseguir atender naves de mayores dimensiones.

El desarrollo del presente documento contempla la elección del equipamiento y maquinaria más idóneo para el desarrollo de un dragado que busca obtener profundidades de -14.5 mNRS a partir de profundidades cercanas a los -12 mNRS, lo que implica la extracción de 51.933 m³ distribuidos en un área de 39.174 m².

Para los diferentes cálculos se utilizaron las formulaciones y recomendaciones entregadas por el PIANC, ROM, Rock manual, British Standard, publicaciones SHOA entre otras fuentes de información, las cuales entregan lineamientos para el desarrollo de los diferentes aspectos relacionados con el documento.

También se identifican aspectos relacionados con las condiciones naturales como viento, corriente, marea y batimetría a fin de caracterizar de manera general la región en la que se encuentra inserto el proyecto.

Con los resultados obtenidos a partir de los documentos estudiados y procedimientos ejecutados es posible establecer que el dragado de precisión se puede ejecutar con draga Dipper y bombas de succión, equipos que cumplen con las condiciones impuestas para la realización de un dragado de precisión en el Terminal Pacífico Sur Valparaíso.

1. INTRODUCCIÓN

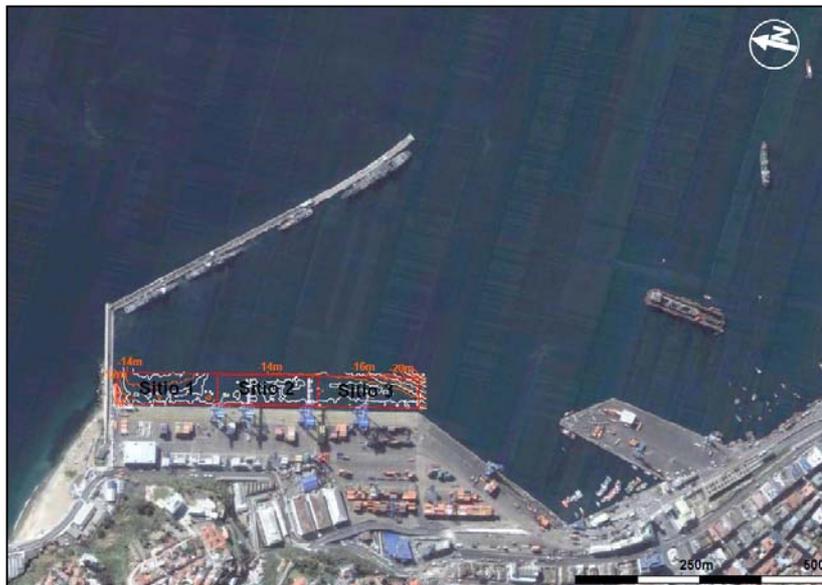
“La economía chilena se ha caracterizado en los últimos años por una profunda apertura comercial, fortalecida con la firma de un conjunto de Tratados de Libre Comercio y acuerdos comerciales con los principales socios comerciales y las principales economías del mundo. Esta estrategia país ha tenido en el sistema portuario local un eficiente aliado, hecho determinante en vista que sobre el 90% del comercio exterior chileno es movilizado a través de los puertos marítimos“ (MOP, 2009)

Esta apertura comercial desde y hacia el extranjero se ha visto potenciada por el aumento del comercio con Asia, la integración vertical entre puertos y líneas navieras, la creciente utilización del contenedor como unidad de carga, el nuevo canal de Panamá y el crecimiento del tamaño de los buques portacontenedores. Este último punto se traduce en buques con más de 14 metros de calado y más de 300 metros de eslora lo que a su vez requiere mayores inversiones en infraestructura portuaria que permitan adaptarse a los estándares internacionales y atender de manera efectiva a naves y clientes cada vez más exigentes.

Dentro de las inversiones antes mencionadas se encuentran los proyectos de dragado que resultan de vital importancia para mantener a los puertos nacionales dentro del creciente mercado competitivo.

Es en este contexto que el Terminal Pacífico Sur Valparaíso (TPSV) ha enfrentado este desafío proyectando una ampliación de sus frentes de atraque y un dragado de profundización para alcanzar la cota -14,5 mNRS, extrayendo así una capa de 2.5 metros de espesor. La figura 1-1 muestra los sitios 1, 2 y 3 del Puerto de Valparaíso y el área a dragar.

Figura 1-1: Ubicación del área a dragar en los sitios 1, 2 y 3 Puerto de Valparaíso



Fuente: (Google Earth V. 5.2.1.1588, 2010)

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Describir los aspectos técnicos para realizar dragados de precisión, utilizando diferentes tipos de maquinarias, sean estas mecánicas, hidráulicas o un sistema mixto con el fin de no incurrir en sobredragados que puedan comprometer la estabilidad del talud del fondo marino y así permitir una profundidad mínima de -14,5 mNRS para la recepción de naves con calados de 13,5 metros.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Describir diferentes tipos de maquinarias asociadas a este tipo de faenas.
2. Describir las condiciones naturales correspondientes a la bahía de Valparaíso, en base a estudios de terceros.
3. Estimar el volumen a dragar mediante el uso de planos batimétricos.
4. Analizar datos estratigráficos para determinar la maquinaria de dragado a utilizar y así maximizar su rendimiento y minimizar el efecto sobre las operaciones portuarias.
5. Analizar la influencia de las hélices de los buques en el fondo dragado y proyectar una protección del fondo marino para evitar socavación.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS DRAGADOS

En general los dragados se definen como *“La operación de limpieza de los sedimentos en cursos de agua, lagos, bahías, accesos a puertos para aumentar la profundidad de un canal navegable o de un río con el fin de aumentar la capacidad de transporte de agua, evitando así las inundaciones aguas arriba y el calado para facilitar el tráfico marítimo minimizando el riesgo de encallamiento.”* (ROM , 2009)

Considerando lo anterior, es posible señalar diferentes motivos para llevar a cabo un dragado, destacándose los siguientes:

- Conseguir mayores calados.
- Obtener materiales de empréstito.
- Alcanzar suelos más resistentes para cimentación de proyectos marítimos.
- Eliminación de materiales contaminantes o contaminados.
- Construcción de playas artificiales.

Dentro de la categoría de dragados para conseguir mayores calados se encuentran dos grupos fundamentales, que se describen de manera general a continuación.

3.1.1 DRAGADOS DE PROFUNDIZACIÓN

Estos corresponden a la remoción de material del fondo marino con la finalidad de profundizarlo, para permitir la operación de naves con mayores calados.

Esta situación se justifica debido a que durante la historia de la navegación marítima las naves han ido aumentando sus dimensiones, potenciado por el gran nivel de especialización de astilleros y desarrollo de nuevas tecnologías. Dicho aumento de los tamaños de las naves se traduce en un crecimiento en su capacidad de carga.

Por otro lado, los puertos deben adaptarse a estos cambios realizando diferentes tipos de inversión como la adquisición de maquinarias especializadas, ampliación de frentes de atraque y aumentos de áreas de acopio, entre otras. Siendo también de vital importancia el desarrollo de proyectos de dragado de profundización que permitan atender naves de mayor envergadura.

Para realizar los dragados, es necesario hacer una serie de estudios que van desde mediciones para conocer la calidad del sustrato y columna de agua hasta la elección de las maquinarias a utilizar en función del tipo del sedimento del fondo marino y rendimiento de estas.

3.1.2 DRAGADOS DE MANTENCIÓN

Los dragados de mantención se realizan para remover material del fondo marino acumulado por la sedimentación producida básicamente por corrientes y oleaje, para el caso de ambientes costeros. Sólo buscan recuperar las profundidades existentes antes de dicha acumulación para poder seguir operando en las mismas condiciones originales y de este modo no comprometer la recalada de naves.

En TPSV estas faenas se realizan en base a los resultados de batimetrías exploratorias ejecutadas cada 2 años según el contrato de concesión existente, indicándose que se deberá dragar cada vez que existan zonas con reducciones de profundidad mayores a 15 cm. Si bien otro método para evaluar el lapso de tiempo entre dragados de mantención es utilizar un estudio de transporte de sedimentos, este no existe, por lo que se continúa realizando en función del control batimétrico.

Las maquinarias utilizadas en la mantención del puerto corresponden a grúas provistas de cucharas o clamshell¹ que operan desde el muelle. El material extraído es transportado por camiones hasta los botaderos autorizados, cabe destacar que esta información es aplicable para dragados realizados desde tierra debido a que los dragados de mantención realizados con elementos flotantes implican interrupción de las operaciones de atraque y zarpe de naves.

3.2 EQUIPOS PARA EL DRAGADO.

Existe una variada gama de maquinarias para realizar dragados, algunas más efectivas y eficientes que otras, pero en general cada una tiene sus ventajas y desventajas. La decisión de cual se utilizará dependerá de factores como la profundidad que se necesita obtener, el tipo de suelo a remover, el volumen a extraer, las condiciones naturales del sector a dragar y el nivel de precisión requerido.

A continuación, se detallan algunas de las dragas existentes en la actualidad:

3.2.1 DRAGAS MECÁNICAS.

3.2.1.1 Draga de rosario.

En las figuras 3-1 y 3-2 se observa esta draga, que corresponde a un barco con una cadena sinfín de cangilones² (rosario) guiado por dos vasos prismáticos situados en los extremos. El prisma superior es el que transmite el movimiento al rosario que al volcar los cangilones descargan en un depósito que vierte a un gánguil³ a través de canaletas.

Pueden trabajar en todo tipo de sedimentos, incluso en suelos con resistencia a la compresión por encima de los 100 Kg/cm² como por ejemplo el granito alterado y así extraer rocas dependiendo del tamaño de los cangilones.

Existen equipos que realizan esta tarea hasta 35 metros de profundidad y su rendimiento varía desde los 2.500 m³/día para roca blanda y 10.000 m³/día para terreno suelto, pudiendo operar con alturas de ola menores 1 metro (Puertos Del Estado, 2008).

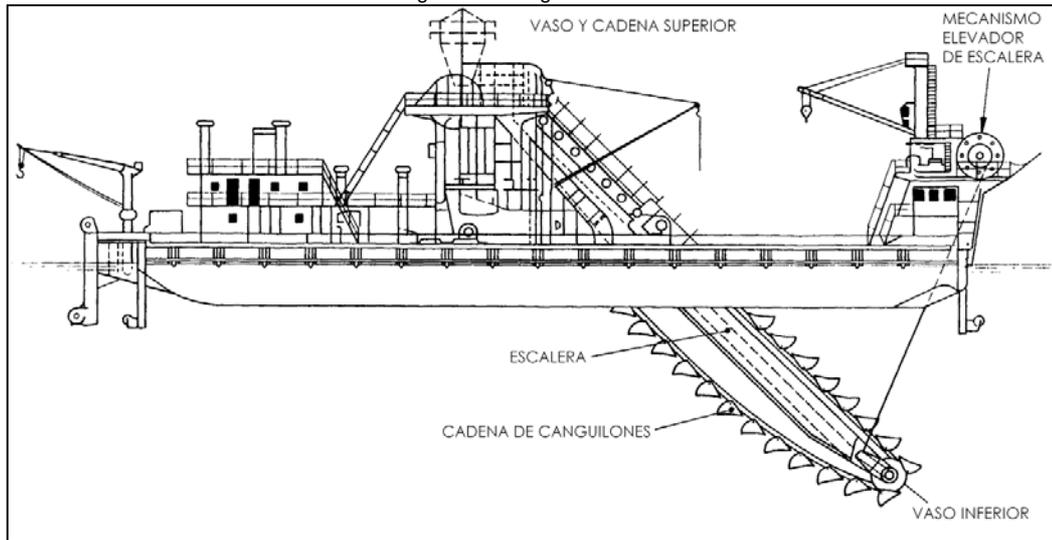
¹ Clamshell: Dispositivo que tiene dos o más secciones que se pliegan mediante una bisagra.

² Cada uno de los recipientes de hierro que forman parte de ciertas dragas y extraen del fondo de los puertos, ríos, etc., el fango, piedras y arena que los obstruyen.

³ Barco destinado a recibir, conducir y verter en alta mar el fango, la arena, la piedra, etc., que extrae la draga.

ASPECTOS TÉCNICOS DE LA REALIZACIÓN DE DRAGADOS DE PRECISIÓN MEDIANTE DIFERENTES MÉTODOS EN EL PUERTO DE VALPARAÍSO

Figura 3-1: Draga de rosario



Fuente: (British Standard, 1991)

Figura 3-2: Draga de rosario



Fuente: (Vlasblom, 2004)

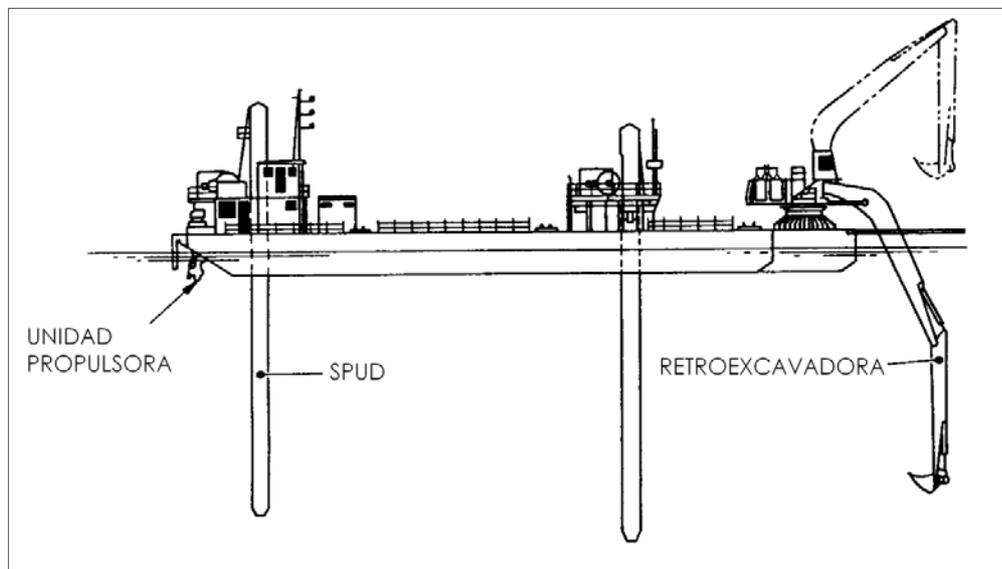
3.2.1.2 Dragas de pala o Dipper

Estas dragas están constituidas por una pala excavadora montada sobre un pontón flotante que está fondeada mediante tres *spuds*⁴ metálicos que aportan la reacción necesaria al esfuerzo de excavación. Las figuras 3-3 y 3-4 muestran que las dragas de pala pueden ser frontales o retroexcavadoras, siendo su funcionamiento muy similar. La diferencia entre ellas reside básicamente en la orientación del bucket o pala y el diseño del brazo excavador.

Las dragas de pala son maquinarias estacionarias, por lo que necesitan descargar el material en barcasas que se sitúan a los costados de esta.

Puede alcanzar profundidades de hasta 32 metros, su pala tiene capacidad de hasta 40 m³, el rendimiento aproximado es de 1.600 m³/día y pueden operar con alturas de ola de hasta 1 metro y en todo tipo de suelos excluyendo roca no fragmentada y tamaños superiores la capacidad de la cuchara.

Figura 3-3: Draga de pala retroexcavadora

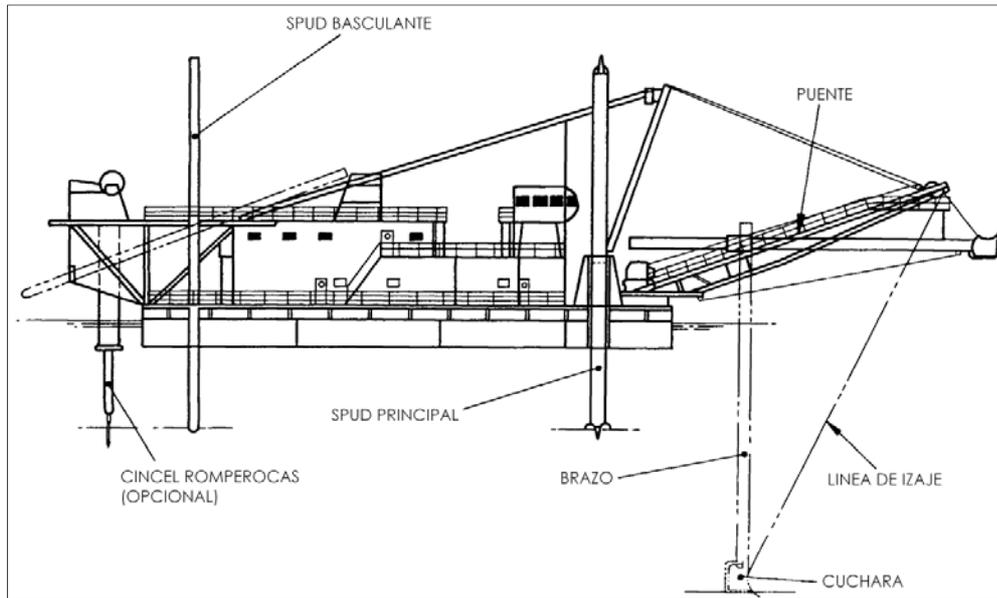


Fuente: (British Standard, 1991)

⁴ Spuds: Patas metálicas que aportan la reacción necesaria al esfuerzo de reacción de la excavadora y a la vez ayudan al posicionamiento del equipo de dragado.

ASPECTOS TÉCNICOS DE LA REALIZACIÓN DE
DRAGADOS DE PRECISIÓN MEDIANTE DIFERENTES MÉTODOS EN EL PUERTO DE VALPARAÍSO

Figura 3-4: Draga de pala frontal

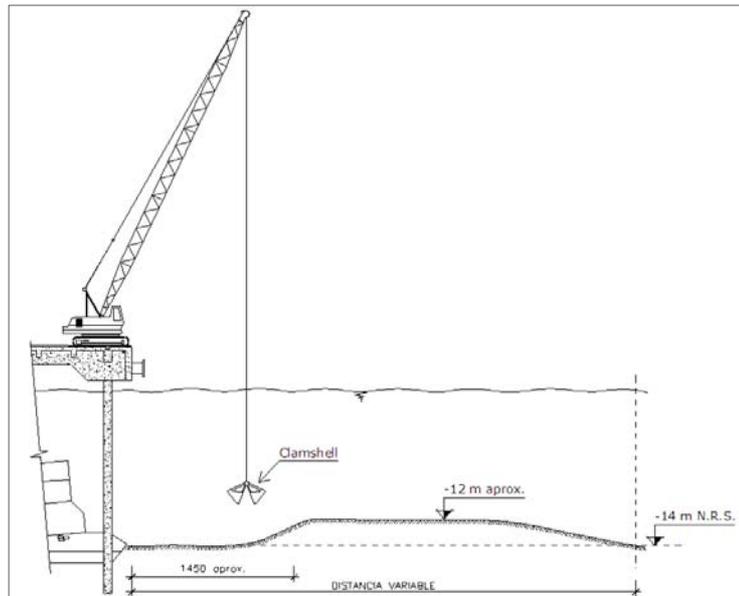


Fuente: (British Standard, 1991)

3.2.1.3 Dragas de cuchara o Clamshell

La figura 3-5 muestra la draga de cuchara. Esta puede operar tanto en tierra como en el agua sobre un pontón. Su nivel de precisión no es el óptimo⁵ pero pueden alcanzar profundidades de 30 metros aproximadamente. El rendimiento es inferior a los 1200 m³/día, condicionado al tipo de suelo ya que solo puede trabajar en terrenos fangosos y sueltos.

Figura 3-5: Draga de cuchara o Clamshell



Fuente: (Pilotes y Entibamientos, 2009)

Figura 3-6: Clamshell



Fuente: Archivo personal

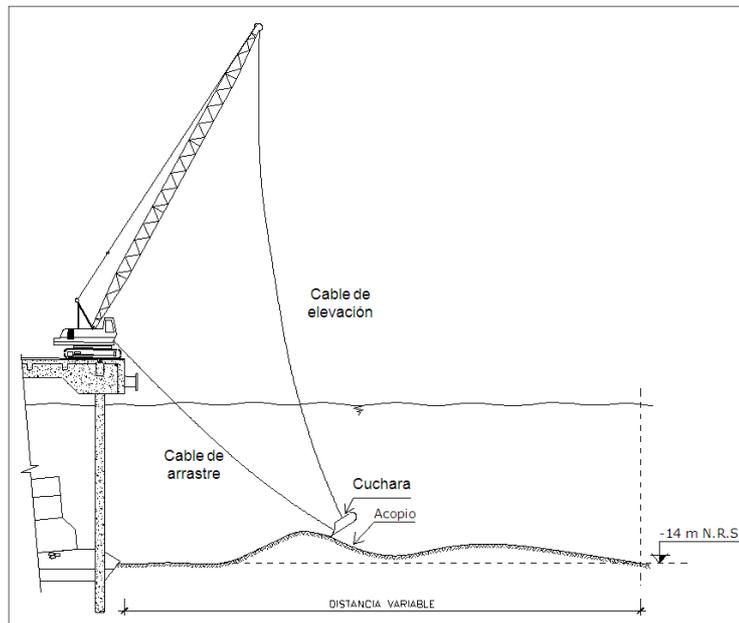
⁵ Se define como óptimo el que arrojen los máximos niveles de sobredragado estipulados según el tipo de suelo, dragado y proyecto.

3.2.1.4 Dragline

Este equipo consta de una “cuchara” que es lanzada agua adentro ya sea aprovechando el giro de la pluma o la tracción mediante de un cable hacia la grúa (péndulo).

La figura 3-7 muestra un dragline que bien podría estar realizando faenas de formación de taludes o para acercar material a la costa y/o extracción de sedimentos. Puede ser apoyada con otro método como un clamshell desde un muelle. Puede operar desde tierra o sobre un pontón flotante. Su rendimiento es inferior a 1000 m³/día y solo tiene efectividad en terrenos sueltos. Tiene la desventaja de que pierde material al ser izada.

Figura 3-7: Grúa con Dragline



Fuente: (Pilotes y Entibamientos, 2009)

Figura 3-8: Grúa con dragline



Fuente: Archivo personal

3.2.2 DRAGAS HIDRÁULICAS

Se caracterizan por utilizar equipos que succionan el material del fondo. La mayoría tiene capacidad de almacenaje por lo que no requieren equipos extras para transporte y vertidos del material.

Las que no cuentan con este sistema pueden evacuar utilizando bombas y tuberías para verter en aguas más profundas o en tierra.

3.2.2.1 Dragas de succión en marcha

En la figura 3-9 se observa que es un barco que dispone de un tubo con un cabezal en el extremo que al pasar por el fondo separa los materiales. Posteriormente, estos son aspirados y depositados en una cántara. Toda la operación la realiza mientras la nave está en movimiento a baja velocidad. Su rendimiento puede alcanzar los 100.000 m³/día en terrenos arenosos y sueltos.

Figura 3-9: Draga de succión en marcha.



Fuente: (Jan De Nul)

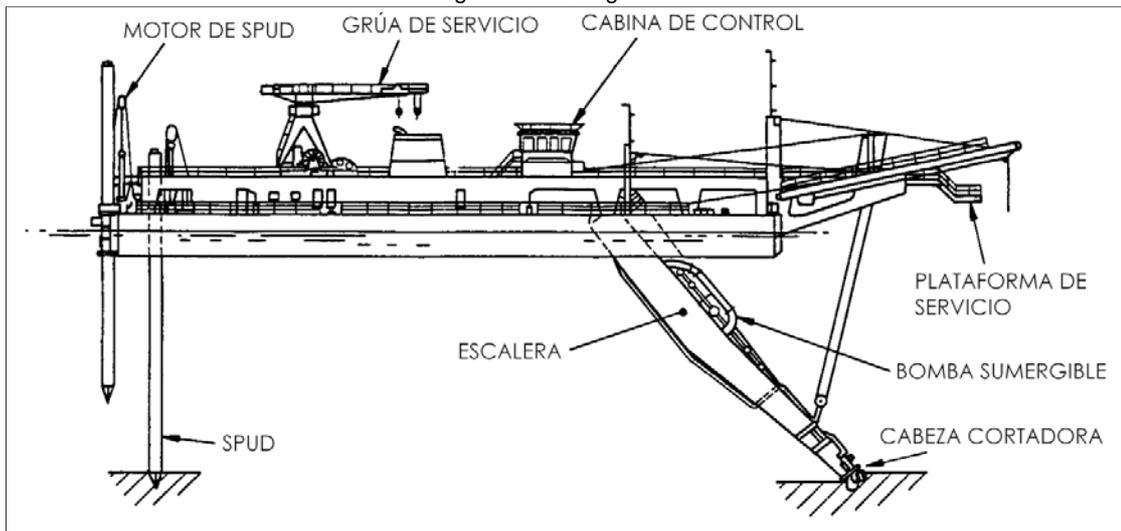
3.2.2.2 Dragas de Cortador o Cutter

Este tipo de draga posee una tubería donde en su extremo inferior hay un elemento cortador giratorio, esquematizado en la figura 3-10. Las bombas de a bordo succionan el material cortado y lo depositan en gánguiles o lo evacúan hacia aguas más profundas. Esta draga es estacionaria y queda anclada mediante spuds y/o anclas.

La figura 3-11 muestra el movimiento necesario para realizar el trabajo de dragado, la cabeza cortadora está unida en su extremo a dos winches que le dan la posibilidad de moverse hacia los lados zigzagueando.

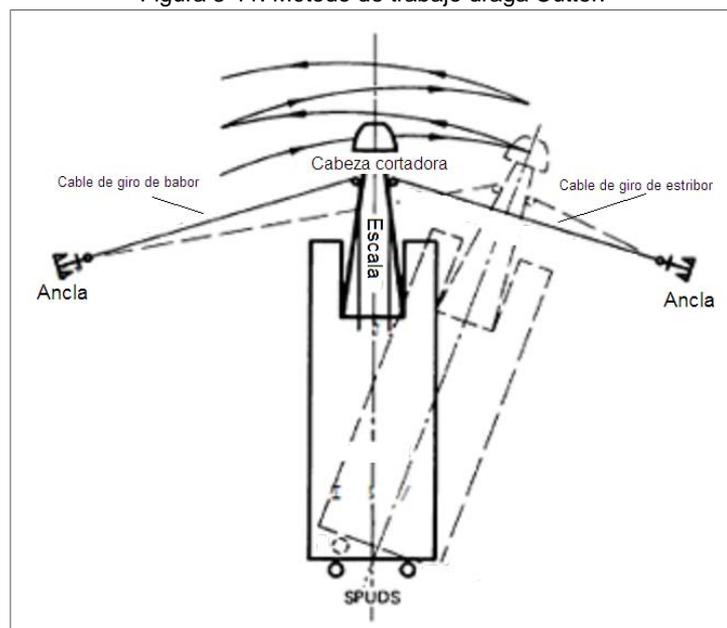
ASPECTOS TÉCNICOS DE LA REALIZACIÓN DE DRAGADOS DE PRECISIÓN MEDIANTE DIFERENTES MÉTODOS EN EL PUERTO DE VALPARAÍSO

Figura 3-10: Draga cutter



Fuente: (British Standard, 1991)

Figura 3-11: Método de trabajo draga Cutter.



Fuente: (USACE, 1983)

3.2.2.3 Bombas de succión

Estas dragas son bastante versátiles y eficientes dependiendo del tipo de material que se encuentre en el fondo marino. Pueden ser adaptadas a la mayoría de las dragas antes descritas y a otras maquinarias según se requiera. Su rendimiento es aproximadamente 540 m³/día y puede trabajar en terrenos sueltos.

La principal diferencia con la draga de succión en marcha es su tamaño y rendimiento.

En la Figura 3-12 se observa una bomba que fue adaptada para trabajar con grúas STS⁶ en el Puerto de Valparaíso.

Poseen un Jet Ring que inyecta agua a alta presión hacia el fondo con la ayuda de bombas sumergibles, poniendo en suspensión los sedimentos facilitando así el trabajo de succión de la bomba.

Para el caso de dragados de precisión las bombas de succión son una buena alternativa, siempre y cuando el tipo de suelo lo permita (ver tabla 1).

Figura 3-12: Bombas de succión



Fuente: Archivo personal, imágenes de bombas de succión utilizadas en dragado del Puerto de Valparaíso.

⁶ STS: Grúa Ship to Shore para estiba y desestiba de buques.

La operatividad de las dragas descritas se puede ver afectada por el viento, oleaje y corrientes dependiendo del sistema de montaje en el que están instaladas; ya que si se montan sobre un pontón⁷ flotante su funcionamiento se verá limitado por la altura de ola con la que dicho pontón pueda operar, la que generalmente no debe ser superior a un metro.

En el caso de que se monten en grúas que operan sobre una plataforma fija como un muelle o plataformas que operan sobre spuds, las variaciones de la superficie del mar no afectarán su operatividad, esto considerado que la altura de ola al interior de la dársena no supera el metro de altura en condición de clima extremo (Instituto de Hidrodinámica Aplicada (INHA), 1998).

3.3 TIPOS DE DRAGA SEGÚN SUELO

Según la experiencia del autor existen diversos factores que determinan finalmente el tipo de maquinaria a utilizar para la faena de dragado como el costo, área a dragar, volumen a extraer, plazos, cota que se desea alcanzar, nivel de precisión requerido, consideraciones medioambientales, finalidad del dragado y tipo de material a dragar. Este último factor es uno de los más relevantes al momento de tomar la decisión ya que de este dependerá la elección de la maquinaria para realizar el trabajo.

En la tabla 3-1 se presenta un resumen con esta información:

Tabla 3-1: Tipo sedimento y draga

PUEDA EXTRAER	TIPO DRAGA						
	ROSARIO	DIPPER	CLAMSHELL	SUCCIÓN EN MARCHA	CUTTER	BOMBA DE SUCCIÓN	DRAGLINE
Arena compacta	X	X		X	X	X	
Arena suelta	X	X		X	X	X	X
Arena fangosa	X	X	X	X		X	X
Fangos	X	X	X	X		X	X
Arcilla suelta	X	X	X		X	X	X
Arcilla plástica	X	X	X		X		
Arcilla compacta	X	X			X		
Arena con grava	X	X	X	X	X		X
Roca	X	X					
Roca suelta	X	X	X		X		X

Fuente: (Puertos Del Estado, 2008)

⁷ Pontón: Artefacto naval de fondo plano.

3.4 PROTECCIÓN DEL FONDO MARINO POST - DRAGADO

Dado que el dragado de profundización considera la extracción de una capa de aproximadamente 2.5 metros de espesor es necesario definir las medidas de mitigación para prevenir efectos de socavación en el lecho marino. Gracias al eficiente abrigo que proporciona el molo al frente de atraque N°1, el oleaje no es necesariamente la acción dinámica que domina el diseño de la protección, si no que se torna más importante la turbulencia y corrientes generadas por las hélices de los buques. Es por esto que se hace necesario buscar un método de protección del fondo, evitando de este modo eventuales socavaciones.

A continuación se muestran las formulaciones necesarias para determinar el efecto que genera el movimiento de las hélices de los buques portacontenedores Post – Panamax en una masa de agua.

Para cuantificar este efecto es necesario conocer las características del buque de diseño que se define para el proyecto como la manga, eslora, calado, desplazamiento, potencia de las máquinas y diámetro de la hélice. La tabla 3-2 muestra algunos de estos datos.

Tabla 3-2: Nave de diseño

<i>Tipo</i>	<i>DWT (t)</i>	<i>Desplazamiento (t)</i>	<i>Eslora (m)</i>	<i>Calado (m)</i>	<i>Manga (m)</i>	<i>Diámetro hélice (m)</i>
<i>Portacontenedores Post-Panamax 6500 TEU</i>	75000	95000	295	13.5	32.3	9.5

Fuente: (PRDW Aldunate Vásquez, 2009c)

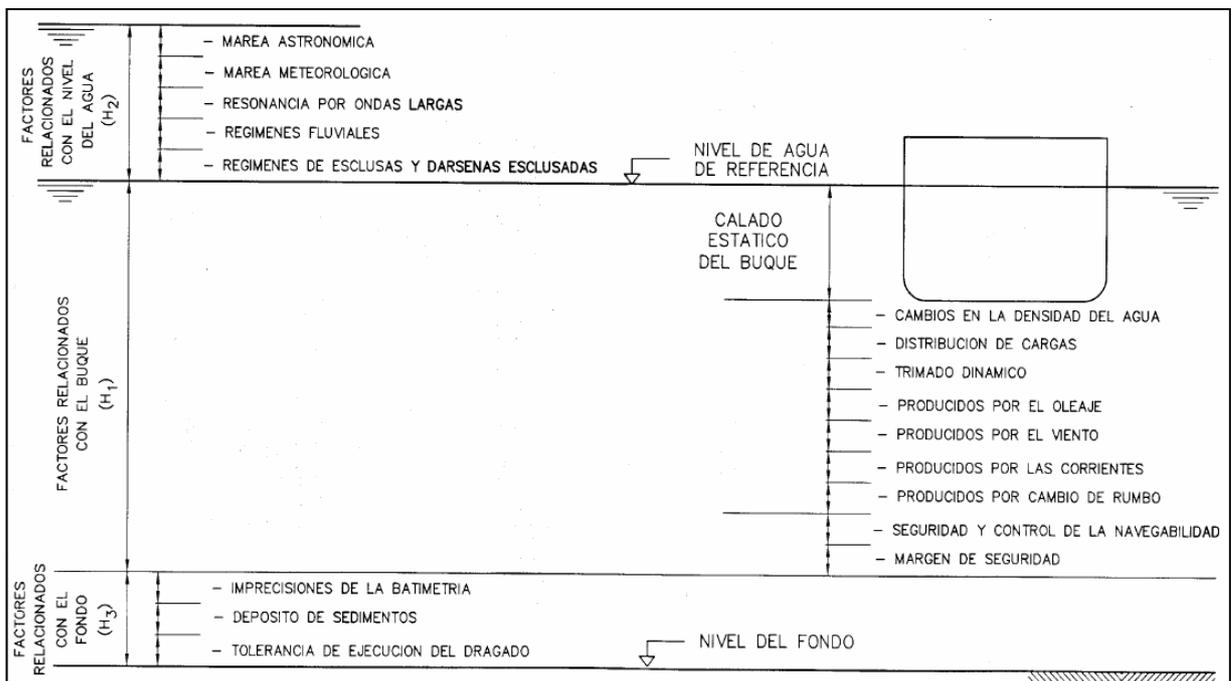
3.4.1 UKC

Uno de los valores que toma vital importancia en los cálculos corresponde al UKC⁸ que sirve para determinar la velocidad del flujo de agua y a la vez para asegurar que la profundidad proyectada de dragado sea la óptima en base a la nave de diseño.

Para calcular este factor se utiliza la metodología propuesta por la recomendación Española ROM 3.1-99.

La figura 3-13 muestra el esquema general de los parámetros considerados para su cálculo.

Figura 3-13: Esquema para determinación del resguardo bajo la quilla.



Fuente: (ROM , 1999)

Como se aprecia en la figura 3-13, el UKC es la suma de los bloques H₁, H₂ y H₃. El bloque H₂ es omitido en este caso dado que la determinación de los calados se efectúa a partir del nivel más bajo que pueden alcanzar las aguas, ya que los niveles del agua están referidos al NRS, por lo tanto el cálculo del UKC queda determinado como la suma de los bloques H₁, H₃ y D_e que corresponde al calado estático del buque.

Por lo tanto la ecuación queda como sigue:

Ecuación 3-1: Determinación UKC

$$UKC = H_1 + H_3 - D_e$$

⁸ UKC: Under Keel Clearance. Corresponde a la distancia entre la quilla del buque y el fondo marino.

El bloque H₁ considera los siguientes parámetros:

- Calado estático del buque (D_e)
- Cambio densidad del agua (d_s)
- Sobrecalado por distribución de carga (d_g)
- Trimado dinámico (d_t)

Ecuación 3-2: Trimado dinámico

$$d_t = 2.4 * \frac{\nabla}{L_{pp}^2} * \frac{F_{nh}^2}{\sqrt{1 - F_{nh}^2}} * K_s$$

Ecuación 3-3: Número de Froude

$$F_{nh} = \frac{V_r}{\sqrt{gh}}$$

Donde:

- ∇ es el desplazamiento de la nave (m³)
- L_{pp} es la eslora entre perpendiculares de la nave (m)
- K_s es el coeficiente para canales sumergidos, $K_s=1$ para canales sin restricción
- F_{nh} es el número de Froude
- V_r es la velocidad relativa de la nave, se asume 0 m/s para nave atracada.
- g es la aceleración de gravedad
- h es el nivel estático del agua

- Movimiento por oleaje (d_w)
- Escoras por viento (d_v)
- Escora por corrientes (d_c)
- Escora por cambio de rumbo (d_r)
- Resguardo de seguridad y control de maniobrabilidad

El bloque H₃ considera lo siguiente para su cálculo:

- Margen de imprecisiones de la batimetría (ff₁)
- Depósito de sedimentos entre dragados (ff₂)
- Tolerancia de ejecución de dragados (ff₃)

El valor del bloque H₃ queda determinado por la suma de sus componentes ff₁, ff₂, y ff₃ (ROM , 1999).

3.4.2 EFECTO DE LAS HÉLICES SOBRE EL FONDO MARINO

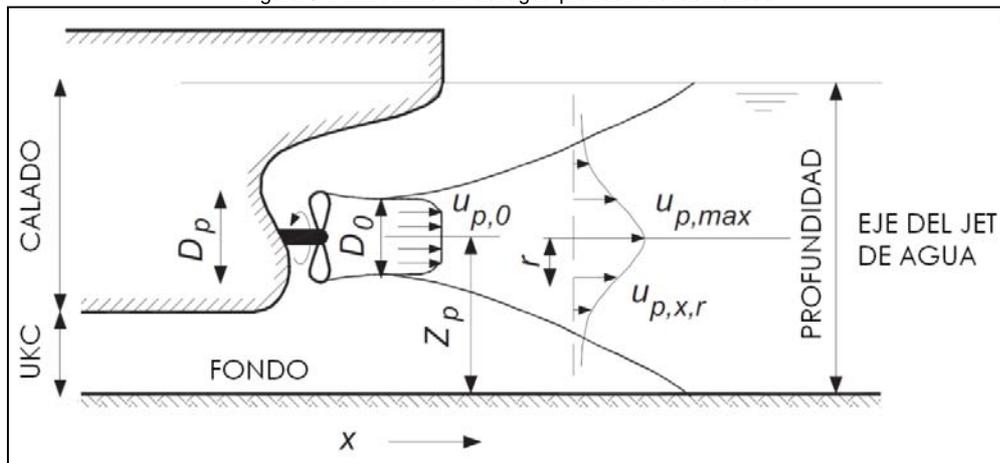
Los mayoría de los buques portacontenedores cuentan con 2 tipos de hélices, las principales que sirven para propulsar al buque y las secundarias o bow thrusters, que sirven para apoyar a los remolcadores en maniobras de atraque y zarpe.

En este caso sólo se analizarán las hélices principales ya que su utilización genera efectos más importantes en el fondo marino dado que cuando el buque necesita repositionarse en el muelle utiliza la hélice principal, pudiendo provocar socavaciones.

Por otro lado, los bow thrusters tienen mayor influencia sobre la socavación en taludes, enrocados de protección, muros verticales, etc., los cuales se pueden ver afectados por estos elementos pero su estudio no forma parte de los alcances del presente documento.

Para el diseño de la protección, considerando las sollicitaciones hidrodinámicas inducidas por la acción de las hélices, se utilizó la metodología propuesta por el CIRIA C683 (CIRIA; CUR; CETMEF, 2007a) que plantea como base del diseño las características de propulsión de la nave de diseño.

Figura 3-14: Movimiento del agua producto de las hélices



Fuente: (CIRIA; CUR; CETMEF, 2007a)

La figura 3-14 muestra un esquema del sistema de propulsión de un buque y el comportamiento del jet de agua generado por su movimiento, para identificar el origen de cada uno de los parámetros asociados a los cálculos.

A continuación se presentan las ecuaciones con las que se puede obtener la velocidad del jet de agua producto del movimiento de la hélice de un buque dentro de la bahía utilizando solo el 70 % de la potencia de sus máquinas, potencia estimada al interior del puerto de Valparaíso por la nave de diseño (PRDW Aldunate Vásquez, 2009a) .

Las ecuaciones 3-4 a 3-7 pueden ser utilizadas para estimar las velocidades del jet de agua producidas por la hélice de un buque.

Ecuación 3-3: Velocidad detrás de la hélice

$$u_{p,0} = 1.15 \left(\frac{P}{\rho_w D_0^2} \right)^{1/3}$$

Ecuación 3-4: Velocidad a lo largo del eje de la hélice

$$u_{p,eje \text{ jet de agua}}(x) = a u_{p,0} \left(\frac{D_0}{x} \right)^m$$

Ecuación 3-5: Distribución de velocidades

$$u_p(x, r) = u_{p,eje \text{ jet de agua}}(x) \exp \left(\frac{-br^2}{x^2} \right)$$

Ecuación 3-6: Velocidad máxima en el fondo

$$u_{p,max \text{ fondo}} = c u_{p,0} \left(\frac{D_0}{z_p} \right)^n$$

- Donde : **P** potencia aplicada a la hélice
 : **D₀** diámetro efectivo de la hélice
 : **u_p** velocidad del flujo de agua
 : **r** radio de la hélice
 : **x** distancia horizontal desde la hélice
 : **m, n, a, c, b** coeficientes adimensionales entregados por diferentes autores para efectos de diseño de acuerdo a pruebas empíricas, dejando de lado el efecto de timones y confinamientos en la velocidad del flujo. Los valores obtenidos y recomendados son 1, 1, 2,8, 15,4 y 0,3 respectivamente (CIRIA; CUR; CETMEF, 2007a).

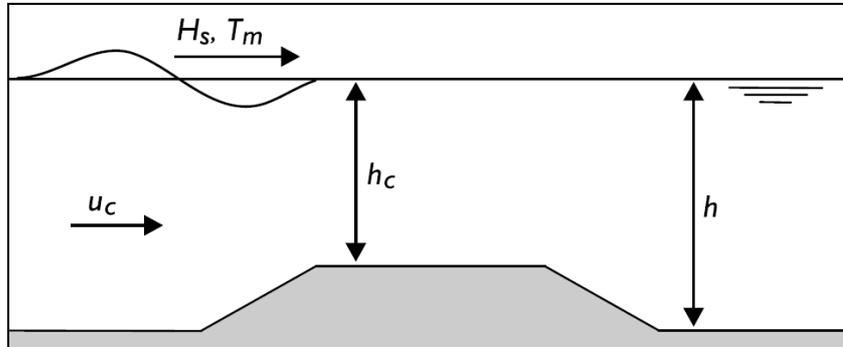
3.4.3 PROTECCIÓN DEL FONDO MARINO

Para dimensionar el tamaño de los elementos de protección del fondo marino se utilizarán las formulaciones propuestas Hoffmans and Akkerman (CIRIA; CUR; CETMEF, 2007b) las cuales son aplicables para estructuras sumergidas construidas en base a rocas; están basadas en el parámetro de Shields para la determinación del inicio del movimiento, además considera que las crestas de las olas son bajas y el rompimiento de estas no tiene una influencia significativa. Es en este caso que las corrientes se tornan más importantes.

Dicha protección cumplirá doble función: por un lado permitirá evitar la socavación del fondo marino producto del efecto de movimiento de masas de agua a gran velocidad y por otro facilitará futuros dragados de mantención debido a que este elemento actuará como limite entre el material a dragar y el suelo natural.

La figura 3-15 muestra el esquema de una estructura en el fondo marino y los parámetros a considerar para los cálculos.

Figura 3-15: Esquema de una estructura cercana al fondo marino.



Fuente: (CIRIA; CUR; CETMEF, 2007b)

Las características de la protección del fondo marino se determinan de acuerdo a las ecuaciones 3-8 a 3-11:

Ecuación 3-7: Diámetro nominal medio de rocas

Ecuación 3-8: Intensidad de la turbulencia

Ecuación 3-9: Factor de estructura

—

Ecuación 3-10: Peso medio de los elementos de protección

- Donde : **U** Velocidad del flujo de agua
 : **g** Aceleración de gravedad
 : Densidad boyante relativa
 : Parámetro de Shields crítico
 : **C** Coeficiente de Chézy
 : **d** Altura de protección del fondo marino
 : Factor de turbulencia
 : **h** Profundidad de agua hasta el fondo marino
 : **ρ_s** Densidad del agua de mar

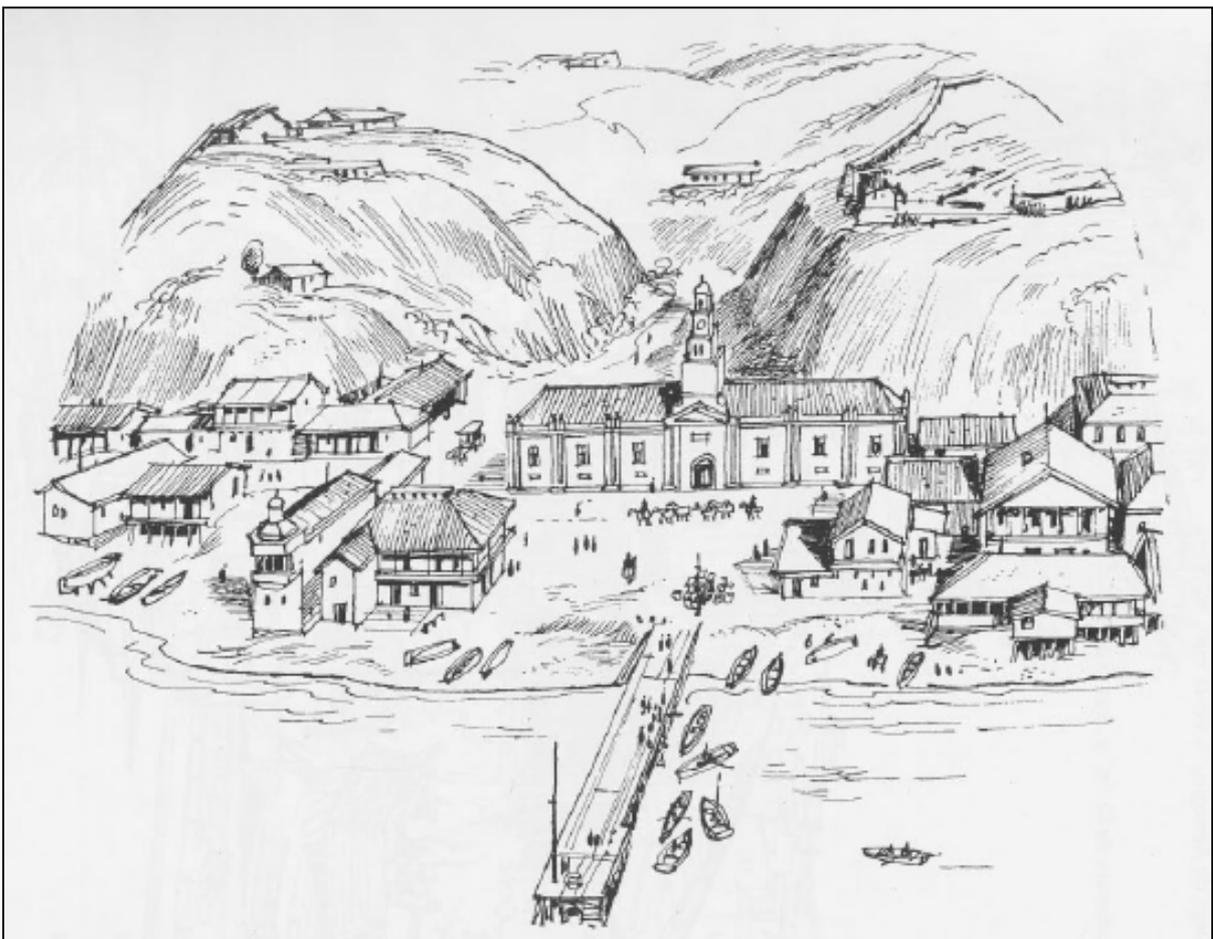
4. ANTECEDENTES GENERALES

4.1 GENERALIDADES DEL PUERTO DE VALPARAÍSO

El puerto de Valparaíso se encuentra inserto en la región del mismo nombre, a 110 Km de la ciudad de Santiago en las coordenadas 33° 4' 0'' S; 71° 37' 0'' W.

Sus inicios⁹ se remontan a Septiembre de 1536 cuando en lo que hoy se conoce como “Plaza Echaurren” atraca el navío Santiaguillo que traía víveres, equipo y herrajes para las cabalgaduras de la expedición de Diego de Almagro.

Figura 4-1: Primer muelle construido en la actual Plaza Sotomayor.



Fuente: (Fundación Renzo Pecchenino, Lukas, 1995)

El primer muelle para la atención de naves de carga fue construido aproximadamente en el año 1810 (Figura 4-1). Durante su historia fue administrado por el sector portuario estatal, en el año 1960 se creó la Empresa Portuaria de Chile (EMPORCHI), dependiente del Ministerio de Obras

⁹ Se dice “inicios” debido a que nunca Valparaíso fue fundado, solo fue descubierto en 1536.

ASPECTOS TÉCNICOS DE LA REALIZACIÓN DE
DRAGADOS DE PRECISIÓN MEDIANTE DIFERENTES MÉTODOS EN EL PUERTO DE VALPARAÍSO

Publicas cuyas labores consistían en explotar, administrar y conservar los 10 puertos comerciales de uso público que poseía el Estado. En el año 1991 se permite la entrada de operadores privados sólo para servicios de estiba, desestiba, transferencia de carga desde el buque al muelle, porteo y almacenaje.

En 1997 se elimina EMPORCHI y se crean 10 empresas portuarias estatales encargadas de la administración de estas, entre las que se encuentra la Empresa Portuaria de Valparaíso (EPV). Posterior a esto comienza el proceso de licitación a operadores portuarios privados, adjudicándose en Agosto de 1999 la operación de los sitios 1, 2, 3, 4 y 5 al consorcio Terminal Pacífico Sur Valparaíso S.A. (TPS) que comienza sus funciones el 1º de Enero del año 2000.

Estos cambios ayudaron a aumentar la eficiencia de los puertos licitados en un 100% según el Ministerio de Obras Públicas y de este modo a hacer frente al aumento del comercio exterior, para lo cual fue necesario invertir en nueva infraestructura y equipamiento y así poder responder a las exigencias de las nuevas naves portacontenedores que comenzaron a construirse (MOPTT, 2005).

Una de las principales características de estas naves corresponde a sus dimensiones, siendo una de las más importantes para los puertos el aumento de la capacidad de transporte de contenedores, que lleva consigo el aumento del calado entre otras dimensiones, razón por la cual las empresas portuarias han debido comenzar a ejecutar proyectos de dragados de mantención y profundización con la finalidad de poder atenderlas y de este modo mantener así su participación en un mercado cada vez más cambiante y competitivo. Como ejemplo en la tabla 4-1 se presentan algunos casos a nivel nacional.

Tabla 4-1: Dragados en diferentes puertos de Chile.

PUERTO	TIPO DE DRAGADO	VOLUMEN DRAGADO (m3)	VIDA ÚTIL	AÑO
Empresa portuaria Talcahuano-San Vicente	Mantención	15.000		1997
Sitios 1, 2 y 3 TPSV ¹⁰	Profundización	40.976	10	1997-1999
Sitio 6 EPV	Mantención	12.000	5	2003
SVTI	Mantención	3.600	3	2003
SVTI	Profundización	70.000	2	2004
Muelle Compañía Siderúrgica Huachipato	Profundización	231.600	10	2007
ITI	Profundización	60.500	10	2008
TPA	Profundización	52.000	20	2008
Puerto Central	Profundización	42.800	20	2011
Puerto Lirquén	Profundización	7.500	20	2012

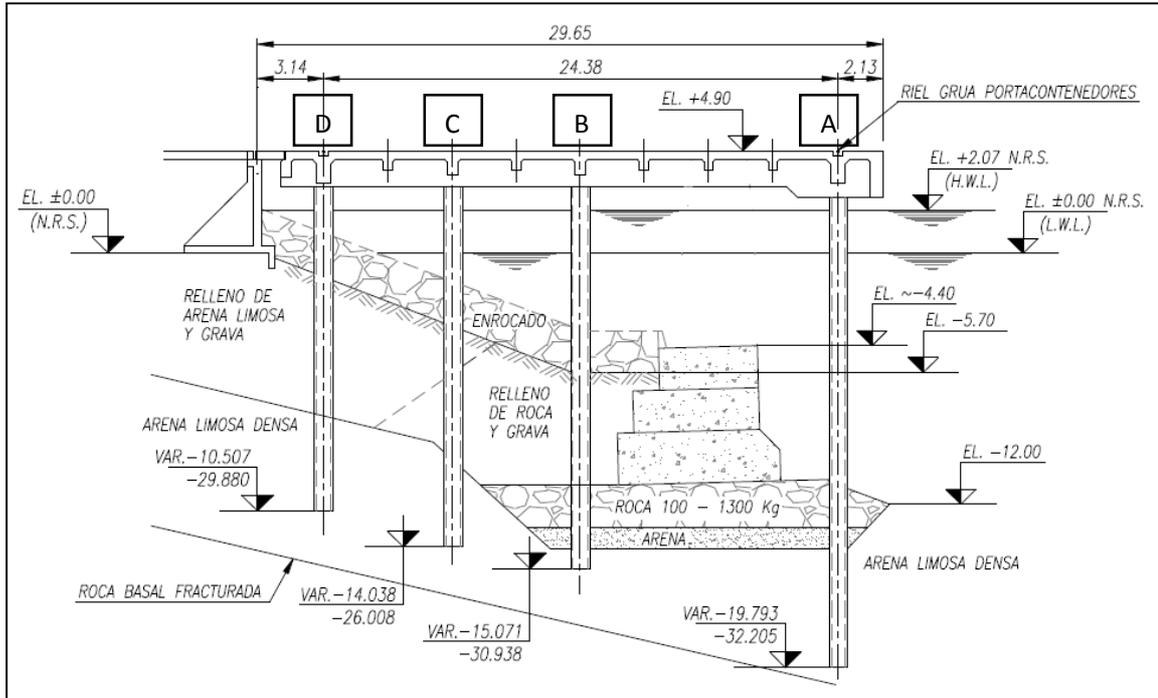
Fuente: (Servicio de Evaluación Ambiental (SEA))

¹⁰ Este dragado se realizó en el entre los años 1997 y 1999, tiempo en que reconstruyeron los sitios 1, 2 y 3 del Puerto de Valparaíso.

ASPECTOS TÉCNICOS DE LA REALIZACIÓN DE DRAGADOS DE PRECISIÓN MEDIANTE DIFERENTES MÉTODOS EN EL PUERTO DE VALPARAÍSO

En la figura 4-2 se muestra una sección tipo de los sitios 1, 2 y 3 del Puerto de Valparaíso.

Figura 4-2: Sección tipo frente de atraque



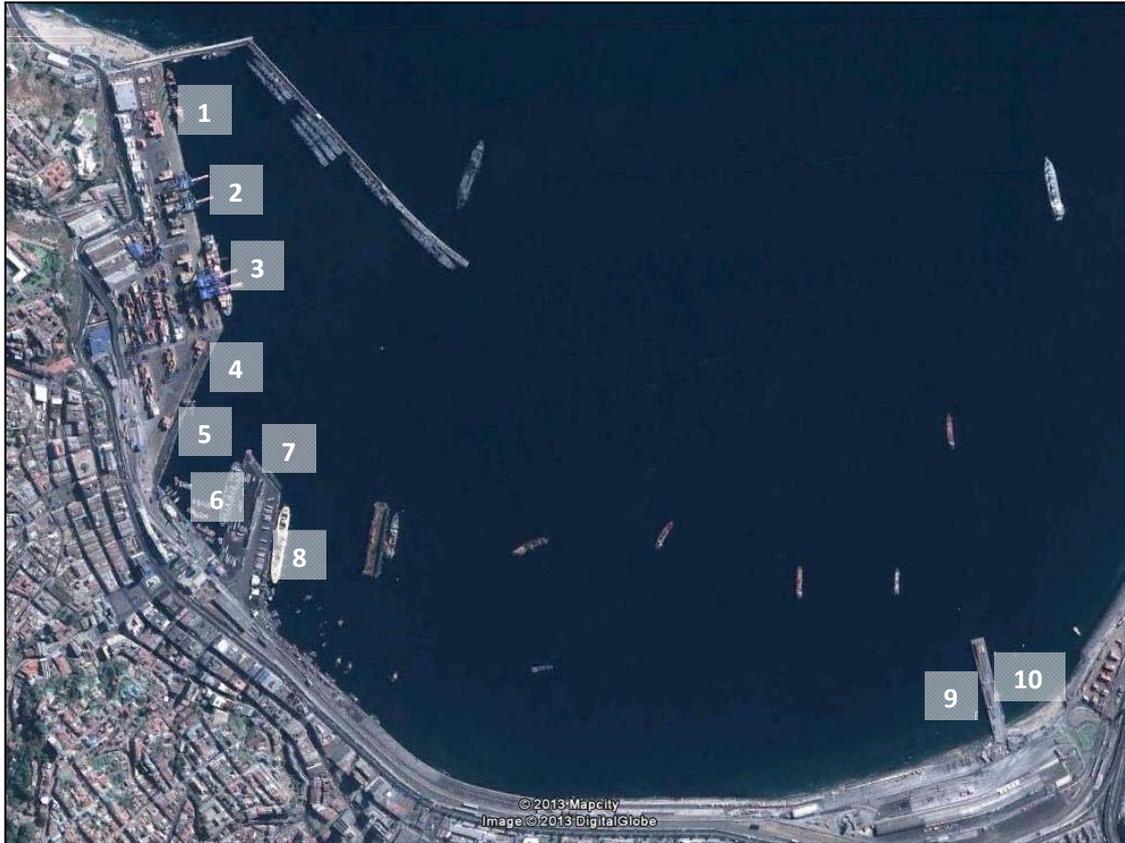
Fuente: (PRDW Aldunate Vásquez, 2009d)

El proyecto de dragado de profundización de precisión se desarrolló en el Terminal Pacífico Sur Valparaíso, el que cuenta con un muelle semitransparente conformado por un sistema de pilotes de acero y una profundidad pre-dragado de -12 mNRS a partir de la línea de atraque (Figura 4-2).

En la actualidad el Puerto de Valparaíso está constituido por 10 sitios de atraque. Los sitios 1 al 5 son administrados por TPSV, los sitios 6 al 8 corresponden al espigón y son administrados por TCVAl (Terminal Cerros VALparaíso), los sitios 9 y 10 se encuentran ubicados en el muelle Barón que en la actualidad está habilitado como paseo peatonal (Figura 4-3).

ASPECTOS TÉCNICOS DE LA REALIZACIÓN DE DRAGADOS DE PRECISIÓN MEDIANTE DIFERENTES MÉTODOS EN EL PUERTO DE VALPARAÍSO

Figura 4-3: Sitios de atraque Puerto de Valparaíso.



Fuente: (Google Earth V. 5.2.1.1588, 2010)

En toda obra de ingeniería marítima es necesario tener en cuenta las condiciones naturales, como el oleaje, viento, corrientes, mareas y batimetrías. Resultan de vital importancia porque a partir de su estudio y análisis es posible determinar cuáles son los agentes que determinarán aspectos operativos tanto de las instalaciones que se construyan como en la eficiencia de los equipos que se utilicen para estas construcciones.

En el caso de los dragados, estas afectarán la eficiencia dependiendo del tipo de maquinaria que se utilice. Por ejemplo, si se decide utilizar maquinarias de muelle para dragar, el único factor que puede causar problemas son las corrientes, que si tienen velocidades muy altas, la pluma de dispersión que se genera al dragar será amplia y es probable que esté limitada por la autoridad medioambiental competente, por lo tanto, se deben considerar medidas de mitigación. Estas medidas corresponden a plantear dentro de la DIA¹¹ dragar solamente en periodos de marea llenante, para evitar de este modo la propagación de la pluma fuera de la dársena¹².

¹¹ Declaración de Impacto Ambiental

¹² Dársena: En aguas navegables parte resguardada artificialmente para la cómoda carga y descarga de embarcaciones

4.2 CONDICIONES NATURALES

4.2.1 GENERALIDADES

La generación de oleaje se debe principalmente a las turbulencias e inestabilidades de la interface aire-agua. Los constantes cambios del viento provocan fluctuaciones en la tensión normal (presión) y tangencial a la superficie del mar, generando ondas capilares que evolucionan hasta formar el oleaje.

Las ondas capilares, con longitudes de pocos centímetros, tienen un papel esencial en la formación del oleaje por el viento, pero una vez generado éste tienen un papel despreciable en su evolución. Una particularidad de estas ondas es que adicionalmente a la fuerza gravitatoria, la tensión superficial actúa en ellas como una fuerza restauradora.

En general en el océano se encuentran dos tipos de oleaje: *sea* y *swell*; diferenciándose entre ellos por la zona de generación y sus características físicas. El *sea* es de generación local, es decir, se genera relativamente cerca de la costa y se distingue por tener un comportamiento completamente caótico ya que no cuenta con periodos y alturas bien definidos, las olas se propagan en todas direcciones aunque su orientación principal es la que el viento les imprime.

El *swell* por su parte es oleaje de generación lejana y su principal característica radica en que es alineado, con crestas y valles bien definidos, se aprecia una dirección predominante, pierden energía al viajar ya que lo hace a expensas de su propio movimiento y al llegar a la costa se ve afectado por la interacción con el fondo marino.

4.2.1.1 OLAJE

En el caso de Valparaíso el oleaje reinante proviene del SW, pero este no afecta mayormente a la bahía debido a la protección natural entregada por Punta Ángeles como muestra la Figura 4-4.

Figura 4-4: Punta Ángeles, Valparaíso.



Fuente: (Google Earth V. 5.2.1.1588, 2010)

El clima de oleaje operacional muestra alturas de ola al interior de la bahía de 0,5 metros en los sitios 1 y 3, con periodos entre los 10 y 15 segundos (Instituto de Hidrodinámica Aplicada (INHA), 1998).

Para el clima de oleaje extremo en los sitios 1 y 3 se presenta la tabla 4-2 que contiene las alturas de ola para diferentes periodos de retorno con periodos entre los 8 y 10 segundos con incidencias desde el NNW (Instituto de Hidrodinámica Aplicada (INHA), 1998).

Tabla 4-2: Oleaje extremo dentro de la bahía.

T_r (años)	H_{mo} en sitio 1	H_{mo} en sitio 3
2	0,76	0,83
5	0,86	0,95
10	0,93	1,02
20	0,99	1,09
25	1,01	1,11
50	1,06	1,16
100	1,11	1,22

Fuente: (Instituto de Hidrodinámica Aplicada (INHA), 1998)

4.2.2 VIENTO

Para la caracterización del régimen de vientos en Valparaíso se efectuó el procesamiento de 12 años de datos (1990 a 2002) registrados en Punta Ángeles. La metodología corresponde a un análisis general de las características medias para poder identificar las condiciones existentes de viento en la zona.

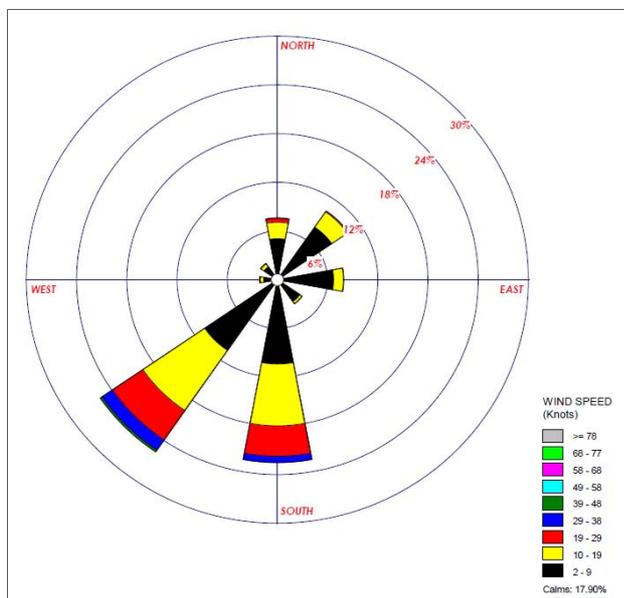
Tabla 4-3: Incidencia de vientos 1990 – 2002

V knots	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	suma	%	% rel
1 - 5	790	1198	1094	650	1605	1365	293	353	7348	19.42	23.57
5 - 10	1111	1789	1454	589	2356	2639	343	391	10672	28.21	34.23
10 - 15	527	701	396	97	1736	2138	94	124	5813	15.36	18.64
15 - 20	223	157	44	16	1139	1258	53	35	2925	7.73	9.38
20 - 25	130	40	11	10	968	1107	23	16	2305	6.09	7.39
25 - 30	47	11	6	5	447	555	9	6	1086	2.87	3.48
30 - 35	23	1	2	2	236	415	7	6	692	1.83	2.22
35 - 40	5		1	1	59	166	3	1	236	0.62	0.76
40 - 45	1				8	72		1	82	0.22	0.26
45 <						21			21	0.06	0.07
suma	2857	3897	3008	1370	8554	9736	825	933	31180	82.41	100
%	7.55	10.30	7.95	3.62	22.61	25.73	2.18	2.47	6653	17.59	calmas
% rel	9.16	12.50	9.65	4.39	27.43	31.23	2.65	2.99	37833	100	Total

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la tabla 4-3, se concluye que los vientos reinantes que inciden en Punta Ángeles provienen de las direcciones S y SW, 22,61 % y 25,73 % respectivamente y que los vientos dominantes tienen intensidades de 5 a 15 nudos, con un 28,21 % y 15,36 % para cada caso.

Gráfica 4-1: Rosa de vientos Valparaíso 1990 - 2002



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica 4-1 se observan las direcciones de incidencia del viento ilustrando la información entregada por la tabla 4-3.

Los vientos reinantes y dominantes provienen de las direcciones SW y S con intensidades máximas de 42 y 48 nudos respectivamente. Las calmas corresponden al 17,9% del total de los datos procesados.

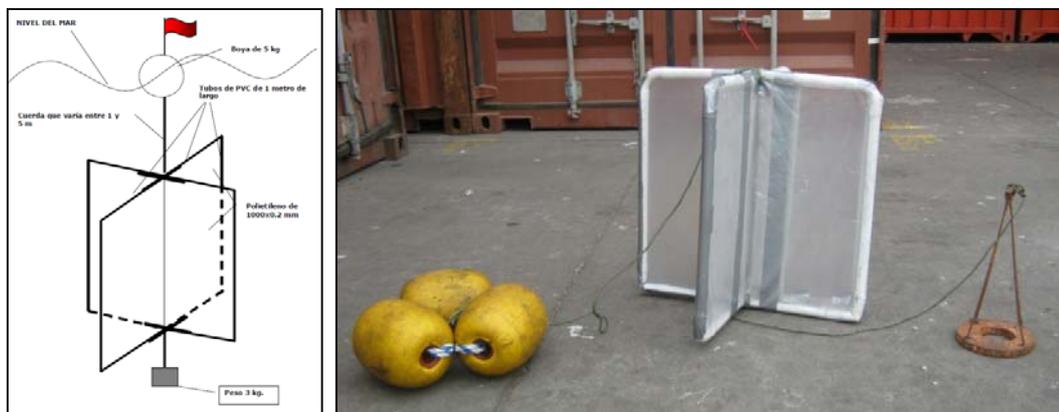
4.2.3 CORRIENTES.

A efectos de estudiar la dinámica del agua al interior del molo de abrigo del Puerto de Valparaíso y caracterizar las corrientes durante condiciones de marea vaciante y llenante se hicieron mediciones Lagrangianas con derivadores dentro de la poza de abrigo. Para la realización de las mediciones, se utilizaron derivadores del tipo cortina, en los niveles de 0,5 m (“superficial”) y 12 m (“fondo”) de profundidad.

Estas mediciones fueron ejecutadas por el autor de este documento y no contemplan todas las exigencias determinadas por la normativa del SHOA en su publicación 3201, que establecen que las mediciones de corrientes se deben realizar en épocas de sicigias¹³ y cuadraturas durante un periodo de 30 días. En este caso solo se realizaron en un día en vaciante y llenante objeto de aproximar el comportamiento de la masa de agua al interior de la dársena, esto debido a que el movimiento de naves dificulta el desplazamiento de embarcaciones menores y elementos ajenos a la navegación.

Para minimizar el efecto del viento sobre el desplazamiento del derivador se dejó la boya de flotación sumergida casi en su totalidad.

Figura 4-5: Derivador Lagrangiano tipo cortina.



Fuente: Elaboración propia.

Las mediciones se realizaron el día 11 de Enero de 2012, en condiciones de vaciante (mañana) y llenante (tarde), liberándose los derivadores en tres puntos situados al interior de la poza de abrigo. La figura 4-5 muestra un esquema de derivador y el derivador fabricado para las mediciones.

¹³ Conjunción u oposición de la Luna con el Sol.

Mediciones en marea vaciante

Las mediciones se extendieron entre las 14:00 y las 16:18 horas. Las velocidades a nivel superficial fluctuaron entre 5,9 y 8,2 cm/s, mientras a nivel de fondo el rango observado fue entre 3,6 y 4,7 cm/s, por lo tanto las velocidades superficiales fueron mayores que a 12 m de profundidad, lo cual se reflejó en un mayor desplazamiento de los derivadores a este nivel (Tabla 4-4). En general, los derivadores realizaron un desplazamiento hacia la salida de la poza de abrigo del puerto, es decir, siguiendo una trayectoria con dirección SSE para los derivadores DER 1 y DER 2, y en dirección ESE para el derivador DER 3, liberado frente al sitio 4.

Tabla 4-4: Velocidad, dirección y desplazamiento derivadores en marea vaciante.

<i>ID derivador</i>	<i>Inicio medición</i>	<i>Fin medición</i>	<i>Velocidad (cm/s)</i>	<i>Dirección (°)</i>	<i>Desplazamiento (m)</i>
<i>DER 1 S¹⁴</i>	14:00	16:18	6,0	153	493
<i>DER 1 F¹⁵</i>			3,8	148	314
<i>DER 2 S</i>			8,2	134	676
<i>DER 2 F</i>			4,7	124	389
<i>DER 3 S</i>			5,9	122	492
<i>DER 3 F</i>			3,6	103	300

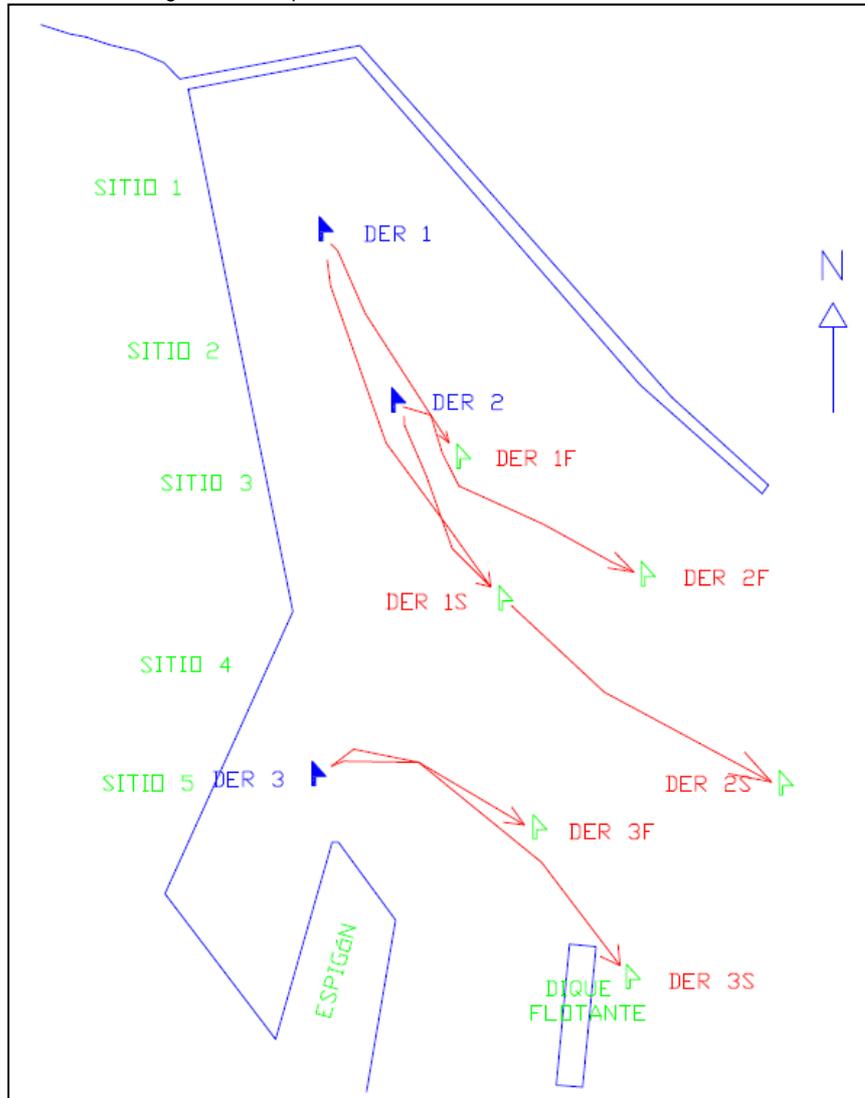
Fuente: Elaboración propia.

¹⁴ S: Superficial

¹⁵ F: Fondo

La figura 4-6 muestra un esquema de los puntos de lanzamiento (en azul) y los movimientos de los derivadores liberados en marea vaciante (en rojo).

Figura 4-6: Desplazamiento de derivadores en marea vaciante.



Fuente: Elaboración propia

Mediciones en marea llenante

Las mediciones se extendieron entre las 10:00 y las 11:13 horas. Las velocidades superficiales fluctuaron entre 3,1 y 4,3 cm/s, mientras a nivel de fondo el rango observado fue entre 1,4 y 3,7 cm/s.

Al igual que en vaciante, las velocidades superficiales fueron mayores que a 12 m de profundidad (Tabla 4-5). Se observó una tendencia de los derivadores a moverse hacia el muelle (DER 1 y DER 2) y siguiendo la línea de éste (DER 3).

En comparación a los resultados obtenidos en marea vaciante, estos mostraron velocidades y desplazamientos considerablemente menores. Por otra parte, el desplazamiento neto de las aguas fue hacia el interior de la poza de abrigo, mientras que en régimen vaciante se presentó una tendencia a la salida del agua desde la poza.

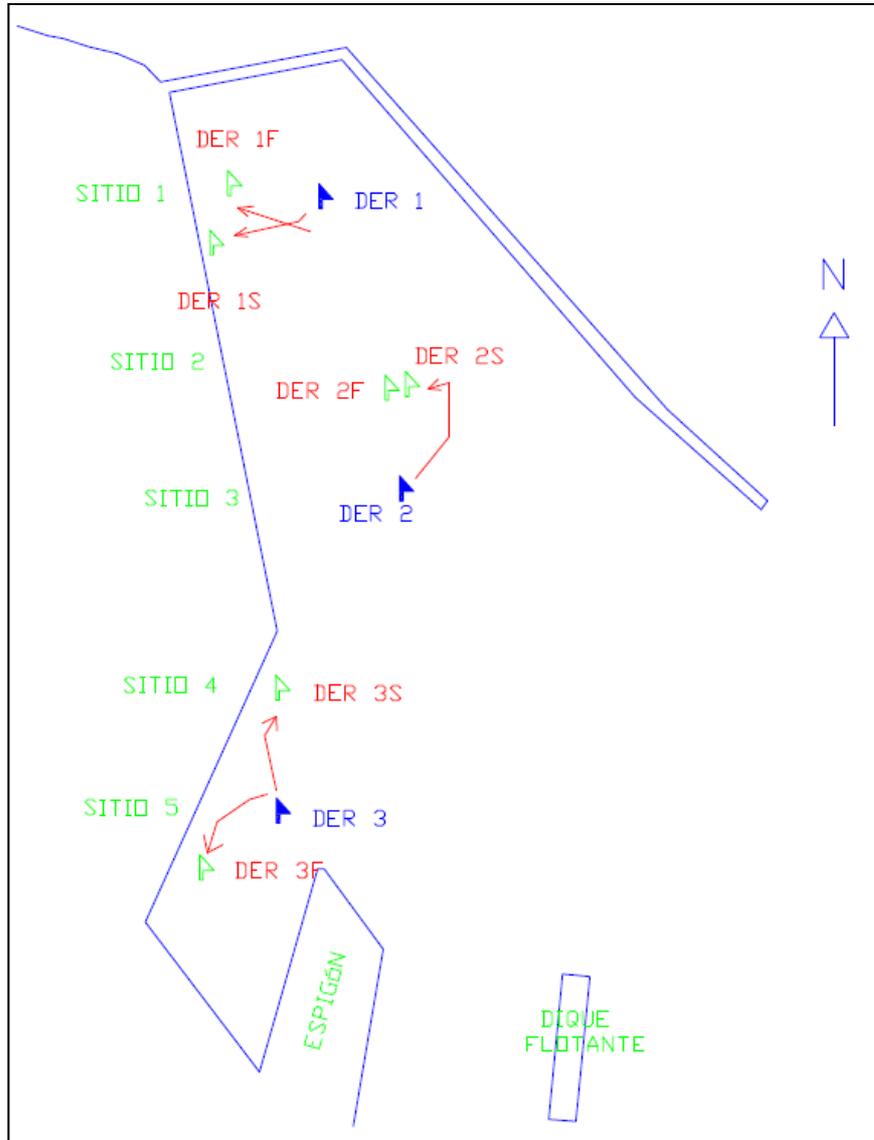
Tabla 4-5: Velocidad, dirección y desplazamiento derivadores en marea llenante.

<i>ID derivador</i>	<i>Inicio medición</i>	<i>Fin medición</i>	<i>Velocidad (cm/s)</i>	<i>Dirección (°)</i>	<i>Desplazamiento (m)</i>
<i>DER 1 S</i>	10:00	11:13	3,1	247	135
<i>DER 1 F</i>			3,5	277	152
<i>DER 2 S</i>			4,3	183	190
<i>DER 2 F</i>			1,4	262	62
<i>DER 3 S</i>			3,4	359	150
<i>DER 3 F</i>			3,7	234	163

Fuente: Elaboración propia.

La figura 4-7 muestra un esquema de los puntos de lanzamiento (en azul) y los movimientos de los derivadores liberados en marea vaciante (en rojo).

Figura 4-7: Desplazamiento de derivadores en marea llenante.



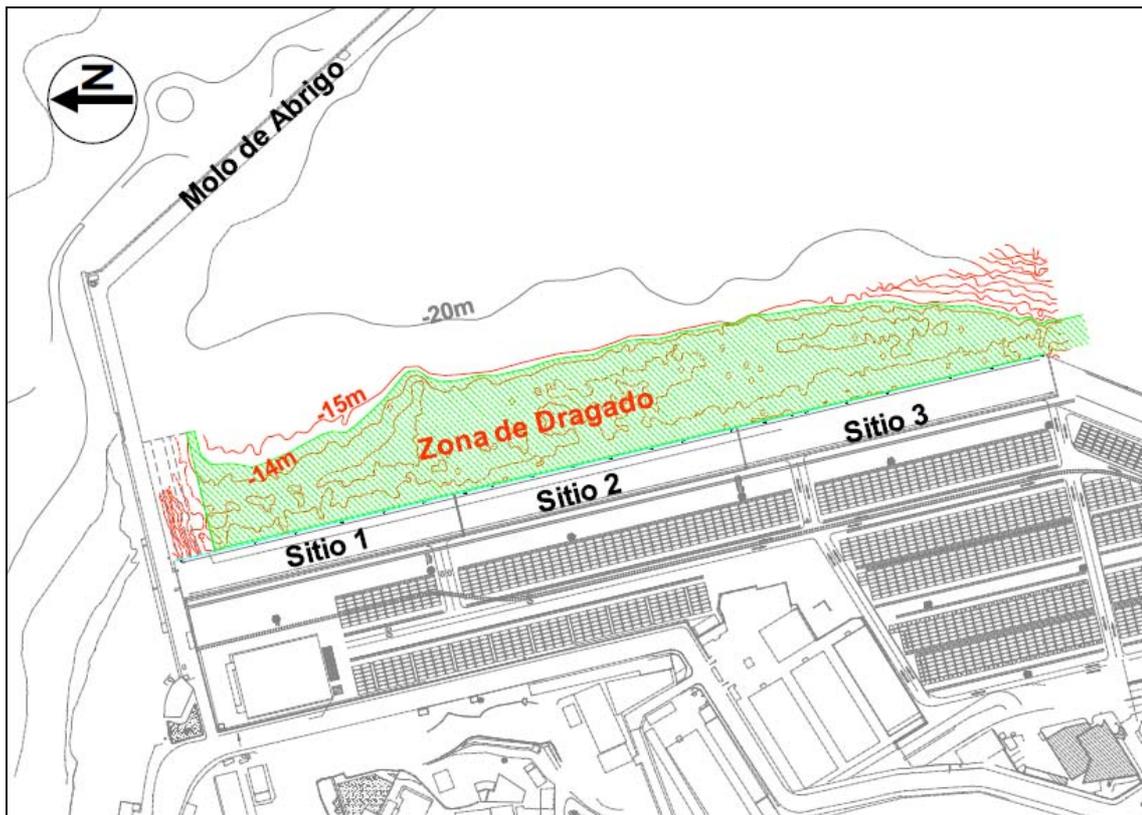
Fuente: Elaboración propia

En resumen, se puede plantear que durante marea llenante se produce un menor desplazamiento del agua y que éste tiende a ir hacia el interior de la poza de abrigo. Por otra parte, en marea vaciante hay un mayor transporte de agua el cual se produce en dirección a la salida de la poza de abrigo.

4.2.4 BATIMETRÍA.

La bahía de Valparaíso cuenta profundidades dentro de la dársena que fluctúan entre los -5 y -47 mNRS (Cia. CHILENA de DRAGADOS S.A. (CCD), 2011) en la intersección del sitio 1 con el molo de abrigo y el centro de ésta respectivamente. Con ésta información obtenida a través de un plano batimétrico es posible delimitar el área de dragado identificando la isobata -14,5 mNRS que corresponde a la profundidad a dragar. La figura 4-8 muestra el área a dragar frente a los sitio 1, 2 y 3.

Figura 4-8: Área a dragar delimitada por la isobata -14,5 mNRS.



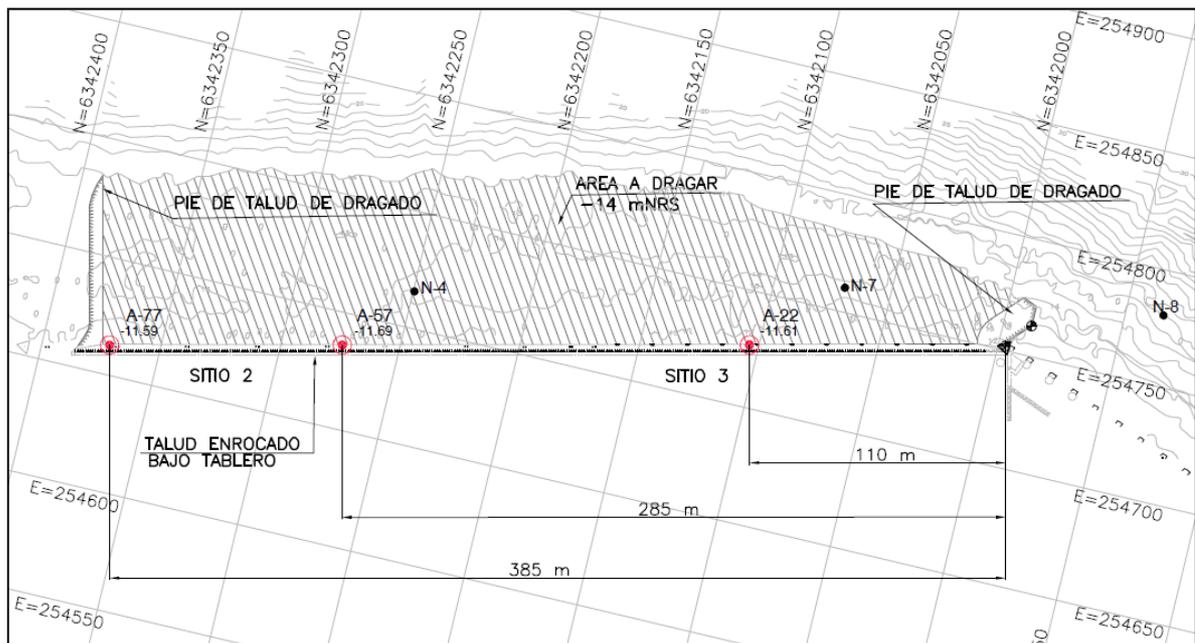
Fuente: (PRDW Aldunate Vásquez, 2009b)

4.2.5 ESTRATIGRAFÍA DEL SECTOR A DRAGAR

Un factor importante en los estudios previos para realización del dragado corresponde a la caracterización estratigráfica del subsuelo.

La figura 4-9 muestra los lugares que se muestrearon, identificándolos con los códigos A-22, A57 y A-77. Los puntos N-4, N-7 y N-8 corresponden a muestreos realizados en el año 1987 por la empresa ROWE - GEOVENOR para la caracterización del subsuelo.

Figura 4-9: Posición de muestreos.



Fuente: (GEOVENOR, 2005)

Las tablas 4-6, 4-7 y 4-8 (GEOVENOR, 2005) muestran los resultados de los muestreos, pero han sido truncadas hasta profundidades cercanas a la cota del dragado ya que lo que se encuentra a mayores profundidades carece de relevancia para el desarrollo del proyecto.

Tabla 4-6: Estratigrafía punto A-22

	Diámetros (mm)		Estado	Profundidad (m)
Arena fina	0,125	0,25	Material limoso, compacidad suelta	0 - 1
Arena media	0,25	0,05		
Arena fina	0,125	0,25	Compacidad densa	1 - 2.8
Arena media	0,25	0,05		
Arena gruesa	0,05	1,00		

Fuente: (GEOVENOR, 2005)

ASPECTOS TÉCNICOS DE LA REALIZACIÓN DE
DRAGADOS DE PRECISIÓN MEDIANTE DIFERENTES MÉTODOS EN EL PUERTO DE VALPARAÍSO

Tabla 4-7: Estratigrafía punto A-57

	Diámetros (mm)		Estado	Profundidad (m)
<i>Arena fina</i>	0,25	0,125	Material algo limoso, compacidad suelta	0 - 0,94
<i>Arena media</i>	0,50	0,25		
<i>Grava fina</i>	8,00	4,00		
<i>Grava arenosa</i>	4,00	2,00	Compacidad densa	0,94 - 2,05
<i>Arena fina</i>	0,25	0,125	Compacidad densa	2,05 - 3,5
<i>Arena media</i>	0,50	0,25		
<i>Arena gruesa</i>	1,00	0,50		
<i>Grava fina</i>	8,00	4,00		

Fuente: (GEOVENOR, 2005)

Tabla 4-8: Estratigrafía punto A-77

	Diámetros (mm)		Estado	Profundidad (m)
<i>Arena fina</i>	0,25	0,125	Compacidad suelta	0 - 1,53
<i>Arena media</i>	0,50	0,25		
<i>Grava fina</i>	8,00	4,00		
<i>Arena fina</i>	0,25	0,125	Compacidad suelta a media	1,53 - 3,75
<i>Arena media</i>	0,50	0,25		
<i>Grava fina</i>	8,00	4,00		

Fuente: (GEOVENOR, 2005)

Los sondajes fueron ejecutados adyacentes al muelle por el lado mar, y frente al pilote correspondiente al eje A (figura 4-2), la numeración asignada a los sondajes corresponde al de la cepa más cercana. La profundidad de los 3 sondajes es 16, 17 y 11,4 para los puntos A-22, -57 y A-77 respectivamente.

De toda la información obtenida con los sondeos se consideró solamente los datos hasta los 2,8, 3,5 y 3,75 metros de profundidad para los puntos A-22, -57 y A-77 respectivamente debido a que el dragado considera extraer una capa de 2,5 metros.

En general se observa que el material existente es arena fina a gruesa con presencia de gravas finas y arenosas según la escala de Wentworth (1922) con compacidades sueltas a densas.

4.2.6 MAREA

Para el estudio de marea las mediciones del nivel del mar fueron obtenidas del registro de un mareógrafo instalado en el vértice de los sitios 3 y 4 en TPS. La serie de nivel del mar compendió un período de medición de 30 días con una frecuencia de muestreo cada 2 minutos. Las mediciones se iniciaron el 5 de Marzo del 2010 al 5 de Abril del 2010.

Los valores de altura están referidos al NRS local y su resumen se muestra en la tabla 4-9.

Tabla 4-9: Rangos de marea para la bahía de Valparaíso, Enero 2009.

<i>Valores no armónicos de marea</i>	<i>Z Astronómica (m)</i>
Altura pleamar máxima	1,96
Rango medio pleamar sicigia	1,82
Altura media pleamar más alta	1,57
Altura media de la pleamar	1,37
Nivel medio del mar	0,91
Nivel medio de la marea	0,91
Altura media de la bajamar	0,46
Altura media de la bajamar más baja	0,40
Rango medio bajamar sicigia	0,21
Altura bajamar mínima	0,08
Rango máximo marea	1,86

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-10: Ubicación mareógrafo en Puerto de Valparaíso.



Fuente: Elaboración propia.

4.3 PRECISIÓN DE UN DRAGADO

El hablar de precisión en un dragado se refiere a la capacidad de profundizar hasta la cota indicada en el proyecto sin sobrepasarla, es decir, haciéndolo de manera controlada. Esto se consigue con una buena planificación de la obra, sistemas de posicionamiento, control permanente mediante batimetrías y utilizando las maquinarias y personal adecuado.

La importancia de los niveles de precisión varía de acuerdo al proyecto que se esté ejecutando, por ejemplo, si se está dragando el canal de acceso a un puerto no es tan importante tener altos niveles de precisión, porque produciría el encarecimiento de la obra al extraer una mayor cantidad de sedimento del que estaba estipulado. Pero si se va a dragar el frente de atraque de un puerto es diferente, porque si este se encuentra constituido por un muelle transparente, al sobredragar en la primera línea de pilotes, no solo subirá el costo del proyecto, sino que se corre el riesgo de comprometer la estabilidad estructural de este, debido a que cada pilote está diseñado para trabajar con una longitud sobre el nivel del suelo, se puede poner en riesgo la estabilidad del talud bajo el muelle y también es posible que se produzca una pérdida de calado.

La cota nominal del puerto en los sitios 1, 2 y 3 es -12 mNRS, con el proyecto de dragado ésta se modifica a -14,5 mNRS aumentando así en 2,5 metros la profundidad.

Lo expuesto anteriormente no resulta relevante en el Puerto de Valparaíso ya que al momento de revisar la situación del pilote con la condición de aumento de área expuesta se encontró que este se encuentra hincado en la roca basal, por lo tanto la capacidad de soporte está controlada por las características estructurales y en menor grado por el sustento de suelo que lo circunda (S y S Ingenieros Consultores LTDA., 2003).

Respecto del talud bajo el muelle este contempla una modificación de su forma para evitar eventuales deterioros.

A pesar de lo anterior se definen las tolerancias verticales de sobredragado sobre todo en las cercanías de los muros verticales o muelles transparentes para no incurrir en costos extras.

Los rangos de estos sobredragados dependen de los siguientes factores: (British Standard, 1991)

- Tipo de material a ser dragado.
- Equipos a utilizar para dragar.
- Experiencia del operador.

ASPECTOS TÉCNICOS DE LA REALIZACIÓN DE
DRAGADOS DE PRECISIÓN MEDIANTE DIFERENTES MÉTODOS EN EL PUERTO DE VALPARAÍSO

Según la tabla 4-10, el sobredragado vertical permisible es de 15 cm para trabajos realizados con Clamshell y 20 cm para la utilización de bombas de succión para efectos de protección del talud y evitar la ejecución de rellenos.

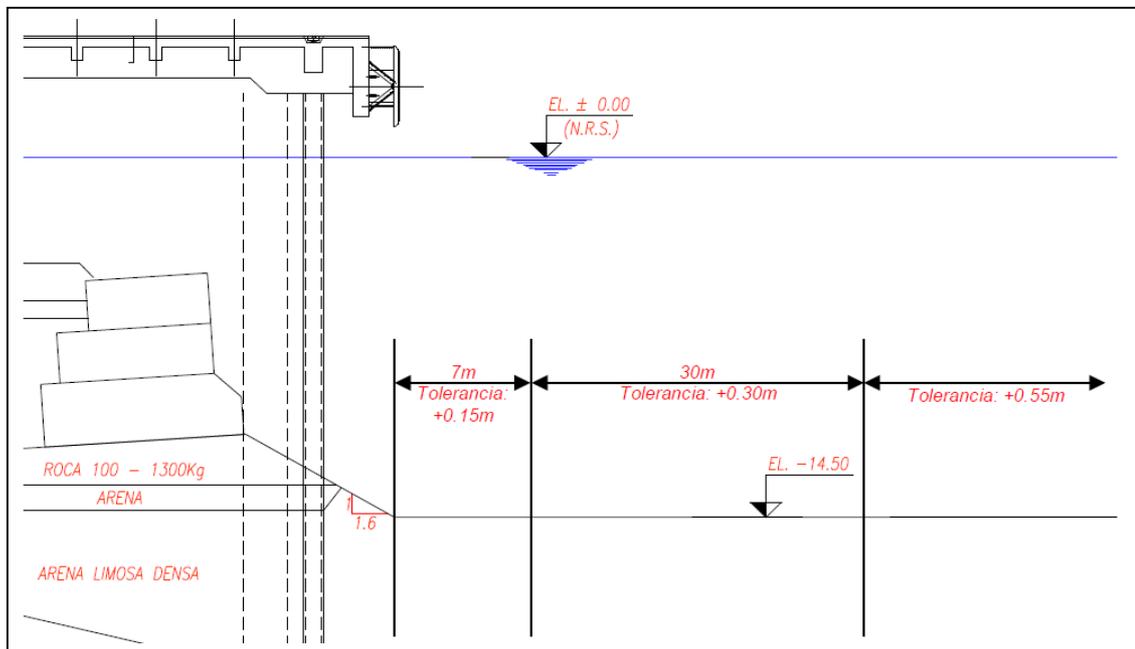
Tabla 4-10: Tolerancias verticales de dragado

Tipo de suelo	
Arena gruesa	
Clamshell	150 mm
Bomba jet ¹⁶	200 mm

Fuente: (British Standard, 1991)

La figura 4-11 ilustra las tolerancias verticales de sobredragado a lo largo de la zona a dragar.

Figura 4-11: Tolerancias verticales de sobredragado



Fuente: (PRDW Aldunate Vásquez, 2009b)

¹⁶ Debido a que en (British Standard, 1991) no se entregan antecedentes para estimar el sobredragado vertical utilizando bomba jet, se consideraron los antecedentes para una draga tipo standard trailer despreciando la acción del oleaje.

4.4 DETERMINACIÓN DEL UKC

Para la determinación del UKC se utilizaron las ecuaciones 3-1 a 3-3 como sigue:

Bloque H_1

- Calado estático del buque (D_e) : 13,5 m
- Cambio densidad del agua (d_s) : 0,00 m
- Sobrecalado por distribución de carga¹⁷ (d_g) : 0,00 m
- Trimado dinámico (d_t) : 0,00 m (nave detenida)
- Movimiento por oleaje (d_w) : 0,00 m
- Escoras por viento (d_v) : 0,04 m
- Escora por corrientes (d_c) : 0,00 m
- Escora por cambio de rumbo (d_r) : 0,00 m
- Resguardo de seguridad y control de maniobrabilidad : 0,30 m

Considerando los parámetros calculados se obtiene el valor del bloque H_1 :

Determinación en la crujía del buque:

$$H_1 = 13,8 \text{ m}$$

Determinación en las bandas de estribor o babor:

$$H_1 = 13,84 \text{ m}$$

Bloque H_3

- Margen de imprecisiones de la batimetría (ff_1) : 0,24 m
- Depósito de sedimentos entre dragados¹⁸ (ff_2) : 0,10 m
- Tolerancia de ejecución de dragados (ff_3) : 0,15 m

El valor del bloque H_3 queda determinado por la suma de sus componentes ff_1 , ff_2 y ff_3 obteniéndose lo siguiente:

$$H_3 = 0,49 \text{ m}$$

Con todos los cálculos anteriores se puede establecer que el UKC para las naves que atraquen en el puerto después de la ejecución del dragado debe ser de 0,79 m (ecuación 1), que corresponde a un 6 % del calado de la nave de diseño.

Según la profundidad definida para el dragado (-14,5 mNRS) y teniendo en consideración el espesor de la capa de protección del fondo marino, que se fija en 0,1¹⁹ metros, se tendrá que la cota nominal después del dragado será de -14,4 mNRS, obteniéndose así un UKC de 0,9 metros.

¹⁷ Problema operacional controlado mediante la estiba organizada de la carga

¹⁸ Este valor se estima de acuerdo a la experiencia y datos entregados por batimetrías de control ejecutadas cada 2 años

¹⁹ Se considera una capa de solo 0,1 metros de espesor para no perder mayor calado

4.5 DETERMINACIÓN VELOCIDAD JET DE AGUA

La velocidad del jet de agua se calculó utilizando las ecuaciones 3-4 a 3-7.

Los parámetros de entrada se muestran en la tabla 4-11.

Tabla 4-11: Parámetros entrada

DATOS		
Parámetro	Magnitud	Unidad
P	67	MW
$P_{0.7}$	46,9	MW (70% P)
D_p	9,56	m
D_o	9,56	m
Calado	13,5	m
ρ_o	1025	Kg/m ³
a	2,8	-
m	1	-
$U_{p,0}$	9,13	m/s
UKC	0,90	m

Fuente: Elaboración propia.

(Nota: Los coeficientes a y m son adimensionales según consta en punto 3.4.2)

Tabla 4-12: Campo de velocidades flujo agua en el eje de la hélice a diferentes distancias

	r (m)	x (m) →													
		8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34
Hélice	0.00	30.55	24.44	20.37	17.46	15.28	13.58	12.22	11.11	10.18	9.40	8.73	8.15	7.64	7.19
	0.25	30.10	24.21	20.23	17.37	15.22	13.54	12.19	11.09	10.17	9.39	8.72	8.14	7.63	7.18
	0.50	28.77	23.52	19.83	17.12	15.05	13.42	12.10	11.02	10.12	9.35	8.69	8.11	7.61	7.16
	0.75	26.68	22.41	19.18	16.70	14.77	13.22	11.96	10.91	10.03	9.28	8.63	8.07	7.57	7.14
	1.00	24.02	20.95	18.30	16.14	14.38	12.95	11.76	10.76	9.92	9.19	8.56	8.01	7.52	7.09
	1.25	20.98	19.21	17.23	15.44	13.91	12.61	11.51	10.57	9.77	9.07	8.47	7.93	7.46	7.04
	1.50	17.78	17.28	16.01	14.63	13.34	12.20	11.21	10.34	9.59	8.93	8.35	7.84	7.38	6.98
	1.75	14.62	15.25	14.68	13.72	12.71	11.74	10.86	10.08	9.38	8.77	8.22	7.73	7.29	6.90
	2.00	11.67	13.20	13.28	12.75	12.01	11.23	10.48	9.78	9.15	8.58	8.07	7.61	7.19	6.82
	2.25	9.04	11.21	11.85	11.73	11.27	10.67	10.06	9.46	8.89	8.38	7.90	7.47	7.08	6.72
	2.50	6.79	9.34	10.44	10.68	10.49	10.09	9.61	9.11	8.62	8.15	7.72	7.32	6.95	6.61
	2.75	4.95	7.63	9.07	9.64	9.69	9.48	9.13	8.73	8.32	7.91	7.52	7.16	6.82	6.50
	3.00	3.50	6.11	7.78	8.61	8.89	8.85	8.64	8.34	8.01	7.66	7.31	6.98	6.67	6.38
	3.25	2.41	4.81	6.58	7.61	8.09	8.22	8.14	7.94	7.68	7.39	7.09	6.80	6.52	6.25
	3.50	1.60	3.71	5.50	6.67	7.31	7.59	7.63	7.52	7.34	7.11	6.86	6.61	6.35	6.11
	3.75	1.04	2.80	4.53	5.78	6.56	6.96	7.11	7.10	6.99	6.82	6.62	6.40	6.18	5.96
	4.00	0.65	2.08	3.68	4.97	5.83	6.35	6.60	6.68	6.64	6.53	6.37	6.20	6.00	5.81
4.25	0.40	1.51	2.95	4.22	5.15	5.75	6.10	6.25	6.28	6.23	6.12	5.98	5.82	5.65	
4.50	0.23	1.08	2.34	3.56	4.52	5.19	5.60	5.83	5.93	5.93	5.86	5.76	5.63	5.49	
4.75	0.13	0.76	1.82	2.97	3.93	4.65	5.13	5.42	5.57	5.62	5.60	5.54	5.44	5.32	

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo del campo de velocidades mostrado en la tabla 4-12 se utilizó la ecuación 3-6, obteniendo resultados para diferentes radios de hélices y distancias desde ésta. Además, se consideró una potencia de 46,9 (MW), que corresponde al 70% del total de la potencia del motor de la nave de diseño según lo indicado en punto 3.4.2.

Para el cálculo de la velocidad máxima en el fondo se utilizó la ecuación 3-7. Este valor servirá para determinar las dimensiones del elemento de protección del fondo ya dragado.

El resultado se muestra a continuación:

Tabla 4-13: Velocidad máxima en el fondo.

Parámetro	Magnitud	Unidad
$U_{p,max\ bed}$	4,63	m/s

Fuente: Elaboración propia.

Se observa una magnitud máxima de la corriente sobre el fondo de 4,63 m/s según la tabla 4-13, por lo tanto la protección a diseñar debe ser estable bajo esta condición.

4.6 DETERMINACIÓN GEOMETRIA PROTECCIÓN DEL FONDO

A continuación se muestran los cálculos y los valores obtenidos para la protección del fondo marino postdragado.

A partir de las ecuaciones 3-8 a 3-11 se obtuvo el diámetro nominal y peso de los elementos de protección, que corresponden a rocas. La tabla 4-14 muestra los parámetros utilizados para los cálculos.

Tabla 4-14: Parámetros para el cálculo de la protección del fondo marino.

DATOS		
Parámetro	Magnitud	Unidad
ρ_s	2400	kg/m ³
h	14,5	m
U	4,63	m/s
g	9,81	m/s ²
Δ	1,34	-
ψ_{cr}	0,035	-
r_0	0,19	-
C	37,0	-
c_k	0,025	-
d	0,1	m
h	14,4	m
c_s	0,025	-

Fuente: Elaboración propia.

El diámetro y peso obtenidos para cada elemento se muestran en la tabla 4-15.

Tabla 4-15: Diámetro medio y peso de elementos de protección.

Parámetro	Magnitud	Unidad
D_{n50}	1,17	m
M_{50}	3797,4	Kg

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la tabla 4-15 el diámetro de las rocas a utilizar en el revestimiento del fondo marino es de 1,17 metros con un peso de 3797,4 Kg.

Considerando que el dragado proyecta una profundidad de 14,5 mNRS y el resultado de la tabla 4-15 se obtendrá una profundidad final de 13,33 metros, situación que no se ajusta a los requerimientos de calado antes definidos. Es por esta razón que se utilizarán los valores calculados y se adaptaran a un elemento rectangular limitado a una altura de 0,1 metros, obteniendo así una profundidad final de 14,4 mNRS para permitir calados de 13,5 metros, según lo determinado en el punto 4.4.

El procedimiento de adaptación se realizará utilizando como base el peso de la roca como sigue:

$$V = \frac{m}{\rho_s} = \frac{3797,4}{2400} = 1,58m^3$$

Dado que se definió la altura del elemento en 0,1 metros, queda definir el largo y ancho del elemento.

Espesor	: 0,1 metros
Largo	: 4,0 metros
Ancho	: 4,0 metros

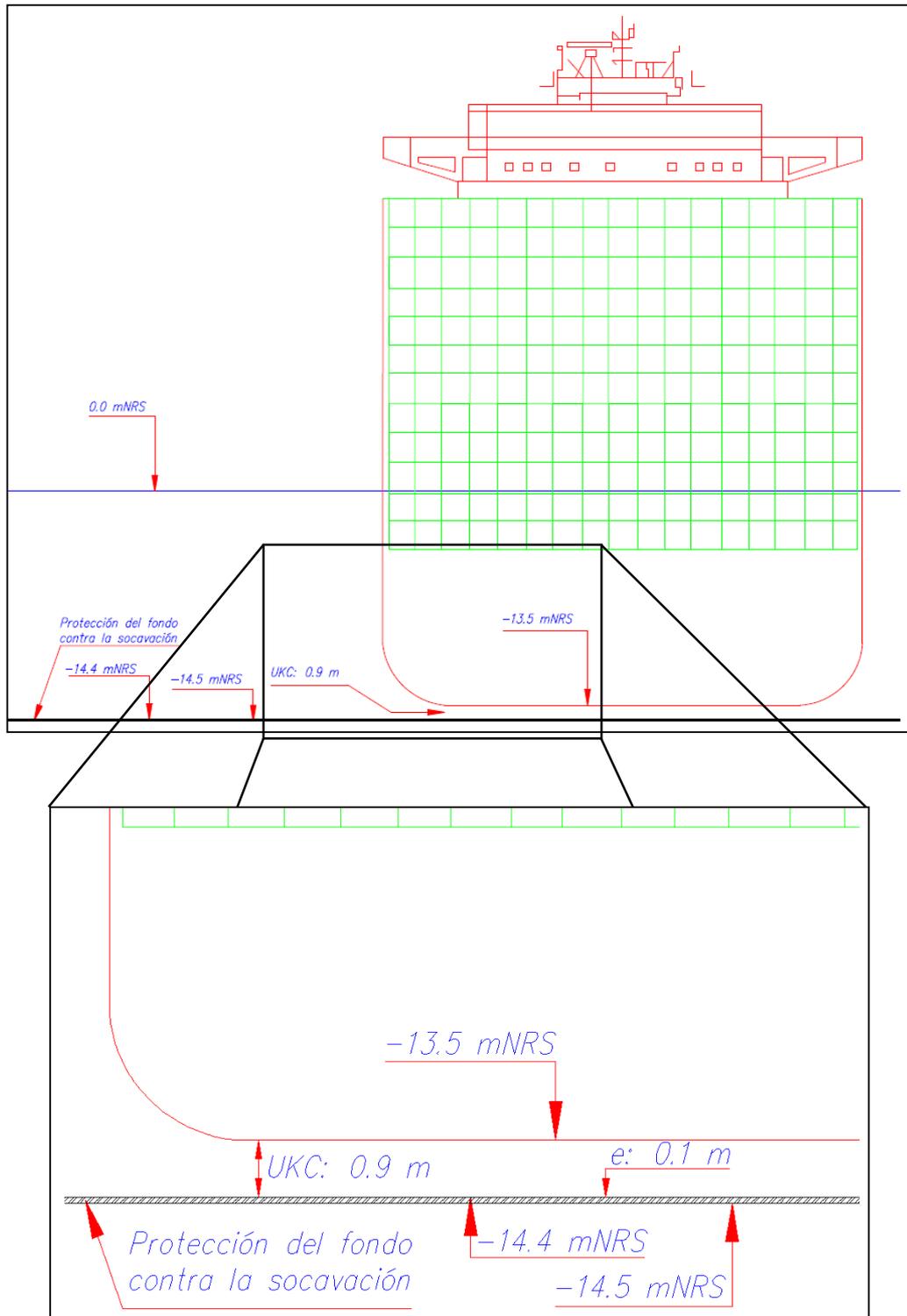
Estas dimensiones entregan un volumen de 1,6 m³, el cual cumple con lo antes calculado y podría ser instalado para prevenir la socavación.

Las dimensiones antes calculadas hacen difícil la manipulación de un elemento de hormigón de esas características por lo que es recomendable dividirlo en unidades de menor tamaño y unir una vez instalado en el fondo marino mediante el uso de cáncamos y grilletes.

La figura 4-12 muestra un esquema de la protección del fondo marino postdragado, el debe ser instalado a partir de la línea de atraque y cubrir hasta 5 metros pasada la quilla del buque (PRDW Aldunate Vásquez, 2009a).

ASPECTOS TÉCNICOS DE LA REALIZACIÓN DE DRAGADOS DE PRECISIÓN MEDIANTE DIFERENTES MÉTODOS EN EL PUERTO DE VALPARAÍSO

Figura 4-12: Esquema protección fondo marino post dragado.



Fuente: Elaboración propia.

5. METODOLOGÍA

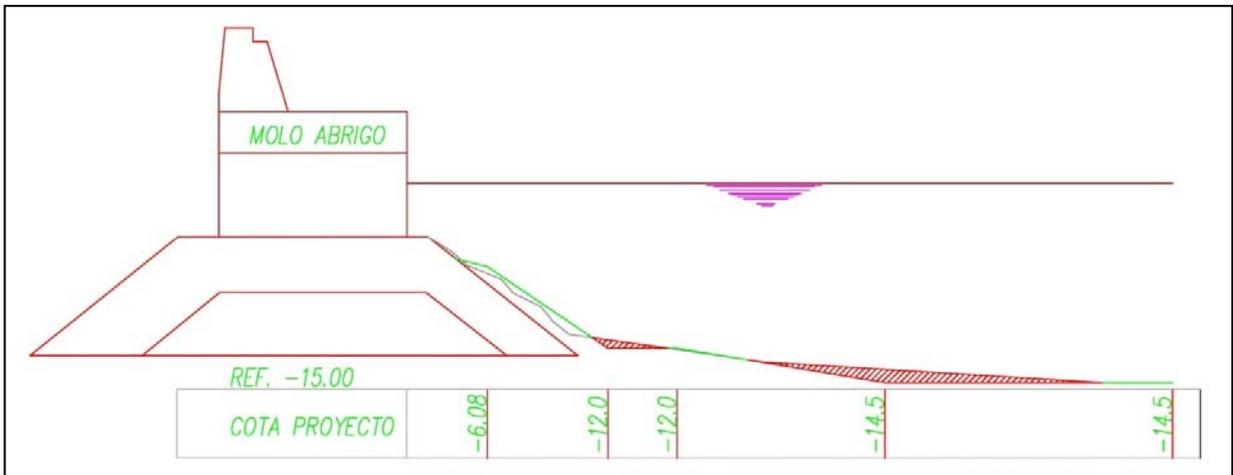
A continuación se describen los detalles asociados al volumen a dragar, tipo de suelo, rendimiento y maquinarias a utilizar.

5.1 VOLUMEN A DRAGAR

Para el cálculo del volumen a dragar se utilizaron 4 perfiles transversales trazados cada 22 metros paralelos al muelle y 23 perfiles cada 26 metros perpendiculares al muelle. Con esta información se determinó que el volumen a dragar es de 51933 m³ aproximadamente y la superficie es de 39,174 m².

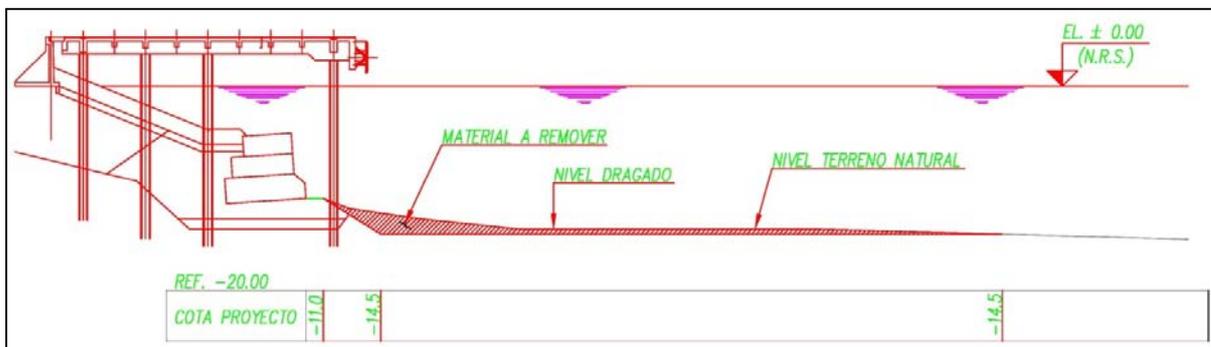
Las figuras 5-1 y 5-2 muestran los perfiles paralelos y perpendiculares al muelle respectivamente.

Figura 5-1: Perfil batimétrico paralelo al muelle



Fuente: (PRDW Aldunate Vásquez, 2009e)

Figura 5-2: Perfil batimétrico perpendicular al muelle



Fuente: (PRDW Aldunate Vásquez, 2009e)

5.2 ELECCIÓN DEL MÉTODO DE DRAGADO

Para efectos de elección de la maquinaria a utilizar se definió como material predominante a dragar arena gruesa y compacta, esto considerando una posición conservadora. Con esto es posible utilizar las dragas de rosario, dipper, en marcha, cutter y bombas de succión.

La tabla 5-1 muestra las dragas que se sirven para dragar el material existente en el lecho marino de TPSV, de estas las que se ajustan a las necesidades de precisión son la draga Dipper y la bomba de succión debido a que la primera tiene un sofisticado sistema de monitoreo de posición de la cuchara que permite ver en todo momento el nivel en que se encuentre y la segunda dado que se conoce su radio de acción al momento de succionar el sedimento.

Tabla 5-1: Resumen tabla 3-1 según condiciones de estudio.

	TIPO DRAGA						
PUEDA EXTRAER	ROSARIO	DIPPER	CLAMSHELL	EN MARCHA	CUTTER	BOMBA DE SUCCIÓN	DRAGLINE
Arena compacta	X	X		X	X	X	

Fuente: Elaboración propia

Los rendimientos de las dragas seleccionadas para el trabajo se muestran en la tabla 5-2 con sus respectivos rendimientos.

Tabla 5-2: dragar a utilizar y sus rendimientos

	TIPO DRAGA	
	DIPPER	BOMBA DE SUCCIÓN
Arena compacta densa	X	X
Rendimiento	1600 m ³ /día	540 m ³ /día

Fuente: Elaboración propia

Se han elegido estas dragas debido a su versatilidad, fácil operación y disminución en los tiempos de ejecución de los trabajos y bajo impacto en la operación portuaria. Este último punto se explica al considerar que la draga Dipper trabaja apoyada sobre spuds, los cuales pueden ser levantados para movilizar la máquina en caso de que se necesite atracar una nave y una vez que esta operación se realiza la draga puede volver a su operación.

En el caso de los sitios 1 y 2, cuando el dragado deba realizarse en el área donde atraca el buque se debe considerar una ventana de tiempo calculada según el siguiente detalle:

Área que ocupa la nave atracada considerando 300 metros de eslora por 40 metros de manga:

$$300 \times 40 = 12000 \text{ m}^2$$

ASPECTOS TÉCNICOS DE LA REALIZACIÓN DE
DRAGADOS DE PRECISIÓN MEDIANTE DIFERENTES MÉTODOS EN EL PUERTO DE VALPARAÍSO

Proyectando un espesor de suelo de 2,5 metros se tiene que el volumen es de 30000 m³, el cual, considerando el rendimiento de la draga Dipper, tomaría 18,75 días en 3 turnos de 8 horas cada uno.

Para el sitio 3 la metodología es la misma, pero con un volumen menor a extraer debido a que al final del sitio de atraque las profundidades aumentan.

Con todo lo anterior el trabajo de la draga Dipper considera 32,5 días de ejecución en condiciones ideales.

Para el caso de la bomba de succión, su uso se limitará a las terminaciones en la línea de atraque y puntos altos que queden una vez que termine el trabajo la draga Dipper debido a que esta última debe ejecutar el trabajo de dragado a partir de los 5 metros de la línea de atraque porque por sus dimensiones podría dañar los pilotes ubicados en el eje A, las defensas de atraque o el muelle.

Es importante considerar que si bien este equipo no está disponible de manera permanente en Chile, es recomendable su uso ya que algunas empresas portuarias requirieron de sus servicios tanto en el norte como en el sur del territorio nacional, como es el caso de los sitios 4-5 del frente de atraque N°2 de ATI (Antofagasta Terminal Internacional) y el sitio N° 7, muelle N° 2 de portuaria Lirquén y aprovechando su presencia puede ser utilizada en las faenas de dragado del Puerto de Valparaíso. Dicha draga cuenta con un sistema computacional de control de dragado donde se observa en diferentes pantallas el estado del trabajo en cada momento, permitiendo un nivel de exactitud que se ajusta a las especificaciones del proyecto.

Las características técnicas de esta draga son las siguientes:

Nombre: **VITRUVIUS**

Eslora	: 64.9 m
Manga	: 18 m
Calado	: 3.35 m
Profundidad de dragado	: 18 – 26 – 32 m
Capacidad bucket	: 15 – 25 – 40 m ³

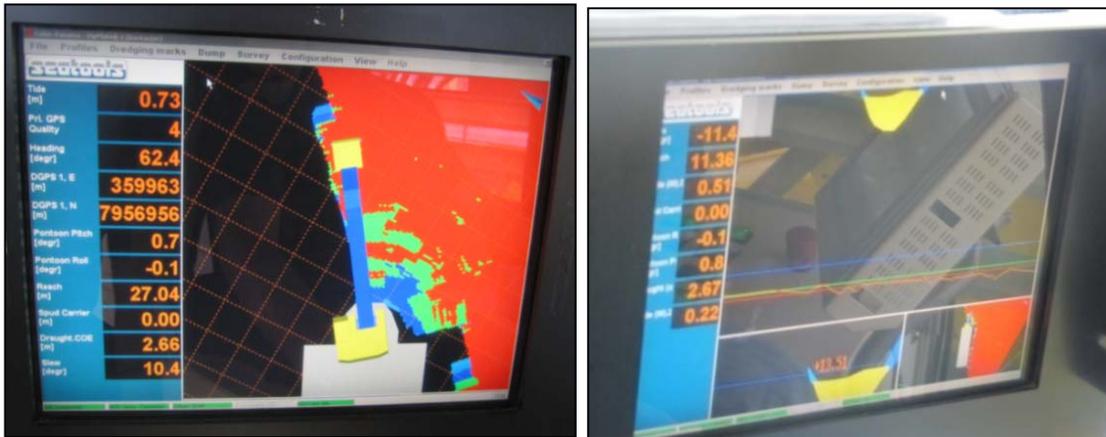
Figura 5-3: Draga Vitruvius en labores de dragado



Fuente: Archivo personal

ASPECTOS TÉCNICOS DE LA REALIZACIÓN DE DRAGADOS DE PRECISIÓN MEDIANTE DIFERENTES MÉTODOS EN EL PUERTO DE VALPARAÍSO

Figura 5-4: Sistema de monitoreo del dragado



Fuente: Archivo personal

Como se observa en la figura 5-3 izquierda, ésta draga es asistida por un buque tolva de casco dividido, el cual una vez que alcanza su capacidad navega hasta la zona de vertido y deposita el sedimento extraído en aguas más profundas.

Además de la draga Dipper se tiene la bomba de succión (figura 5-5) que si bien tiene un rendimiento mucho menor que la draga anterior (540 m³/día) resulta ser una buena alternativa ya que permite alcanzar buenos niveles de precisión en las zonas más críticas como lo es la línea de atraque y puede utilizarse para repasar los detalles que arroje una batimetría de control.

Figura 5-5: Bomba de succión



Fuente: Archivo personal

Otro factor importante en la elección de estos equipos radica en el hecho de que no se ven afectadas por las condiciones de oleaje ya que en el caso de la draga DIPPER la operación se realiza sobre *spuds* y la bomba de succión opera con grúas que están posicionadas en tierra, independiente de elementos flotantes.

6. CONCLUSIÓN

De todos los equipos para realizar dragados se escogieron la draga Dipper y las bombas de succión debido a los niveles de precisión que pueden alcanzar y porque no se ven afectadas por las condiciones naturales del sector como oleaje y viento.

La draga Dipper al contar con spuds supera el problema de operación con oleaje ya que puede trabajar con alturas de ola de hasta 0.5 metros, situación que se cumple para el oleaje operacional dentro de la bahía. Además la recomendación es que los trabajos sean realizados en época estival, cuando las condiciones de oleaje son más favorables. Visto esto y considerando el rendimiento de dicha draga (1600 m³/día) y que el volumen a dragar es aproximadamente 52.000 m³ es posible terminar las faenas en 37 días corridos, trabajando 3 turnos de 8 horas diariamente.

Si bien estos 37 días de trabajo son un tiempo bastante optimista es necesario agregar márgenes ya que el dragado comprende una franja de aproximadamente 80 metros de ancho, 40 de los cuales son utilizados por las naves cuando están atracadas, por lo que se hace necesario coordinar las recaladas de los buques por sectores para utilizar este espacio en los trabajos.

Una vez que las faenas de dragado sean finalizadas por la draga Dipper se procede a utilizar las bombas de succión para afinar los puntos altos que puedan quedar y rematar el área aledaña a la línea de atraque, zona que no puede ser dragada por la retroexcavadora ya que puede comprometer la estabilidad del talud existente bajo el muelle, la integridad de los pilotes, las defensas de atraque y el muelle.

Además de las faenas de dragado se considera la instalación de una protección en el fondo marino, la que cumple doble función: evitar la socavación por efectos de las hélices de los buques y ayuda en futuros dragados de mantención, ya que se puede usar una bomba de succión sin correr el riesgo de sobredragar ya que solo se limpiará la superficie de la protección.

7. REFERENCIAS

- Bray, R. N. (1997). *Environmental aspects of dredging*. Taylor & Francis group.
- British Standard. (1991). *BS 6349-5 - Maritime structures. Part 5: Code of practice for dredging and land reclamation*.
- Cia. CHILENA de DRAGADOS S.A. (CCD). (2011). *Bathy Chart VAL - RQ 0048 001/002 - Preparado para Terminal Pacífico Sur Valparaíso*.
- CIRIA; CUR; CETMEF. (2007a). *The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering (2nd edition) - Chapter 4: Physical site conditions and data collection*. C683, CIRIA, London.
- CIRIA; CUR; CETMEF. (2007b). *The rock manual. The use of rock in hydraulic engineering (2nd edition) - Chapter 5: Physical processes and design tools*.
- Fundación Renzo Pecchenino, Lukas. (1995). *Lukas, Apuntes porteños. Edición conmemorativa de los 450 años del descubrimiento de Valparaíso*. Santiago.
- GEOVENOR. (2005). *Proyecto aumento de calado sitios 2 y 3 Puerto de Valparaíso - Preparado para Terminal Pacífico Sur Valparaíso*.
- Google Earth V. 5.2.1.1588. (01 de Septiembre de 2010).
- Instituto de Hidrodinámica Aplicada (INHA). (1998). *Estudio de agitación en modelo numérico del Puerto de Valparaíso (Chile) - Preparado para Empresa Portuaria de Chile (EMPORCHI)*.
- Jan De Nul. (s.f.). *Trailing Suction Hopper Dredger*. Recuperado el 05 de 2013, de www.jandenu.com/en/equipment/fleet/trailing-suction-hopper-dredger
- MOP. (2009). *Infraestructura portuaria y costera CHILE 2020*.
- MOPTT. (2005). *Sistema Portuario de Chile 2005*.
- Pilotes y Entibamientos. (2009). *Dragado Puerto de Valparaíso Sitios 1, 2 y 3 - Procedimiento preparado para Terminal Pacífico Sur*.
- PRDW Aldunate Vásquez. (2009a). *Estabilidad de Refuerzo de Protección - Preparado para terminal Pacífico Sur Valparaíso*.
- PRDW Aldunate Vásquez. (2009b). *Profundización de los sitios 1, 2 y 3 del Puerto de Valparaíso - Anexo B: Diseño de dragado - Preparado para Terminal Pacífico Sur Valparaíso*.
- PRDW Aldunate Vásquez. (2009c). *Profundización de los sitios 1, 2 y 3 del Puerto de Valparaíso - Anexo D: Protección del talud y fondo marino - Preparado para Terminal Pacífico Sur Valparaíso*.

ASPECTOS TÉCNICOS DE LA REALIZACIÓN DE
DRAGADOS DE PRECISIÓN MEDIANTE DIFERENTES MÉTODOS EN EL PUERTO DE VALPARAÍSO

PRDW Aldunate Vásquez. (2009d). *Profundización de los sitios 1, 2 y 3 del Puerto de Valparaíso - Anexo E: Cálculo de defensas y bitas - Preparado para Terminal Pacífico Sur Valparaíso.*

PRDW Aldunate Vásquez. (2009e). *Profundización de los sitios 1, 2 y 3 del Puerto de Valparaíso - Anexo J: Planos - Preparado para Terminal Pacífico Sur Valparaíso.*

Puertos Del Estado. (2008). *Guía de buenas prácticas para la Ejecución de Obras Marítimas. Capítulo 6.*

ROM . (2009). *ROM 1.0-09 Recomendaciones del diseño y ejecución de las obras de abrigo (Parte Iª. Bases y factores para el proyecto. Agentes climaticos).* España.

ROM . (1999). *ROM 3.1-99 Proyecto de la configuración marítima de los puertos; canales de acceso y áreas de flotación.* España.

S y S Ingenieros Consultores LTDA. (2003). *Verificación sísmica al aumentar la cota de dragado de -12 [m] A -14 [m].* Santiago.

Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). (s.f.). www.sea.gob.cl. Recuperado el 12 de 2013

SHOA PUB. 3201. (2005). *Especificaciones técnicas para mediciones y análisis oceanográficos, 3ª edición.*

USACE. (1983). *Dredging and dredged material disposal, EM 1110-2-5025.* Washington, DC.

Vlasblom, W. (2004). <http://www.dredging.org/documents/ceda/downloads/vlasblom6-the-bucket-or-ladder-dredger.pdf>. Recuperado el 23 de Enero de 2013