

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



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)

- Apertura comercial desde y hacia el extranjero.
- Buques con más de 14 metros de calado y más de 300 metros de eslora.
- Inversiones en proyectos de dragado e infraestructura.
- Dragado en el Terminal Pacífico Sur Valparaíso (TPSV) para alcanzar la cota -14,5 mNRS.



DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS DRAGADOS

“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.”

DRAGADOS DE PROFUNDIZACIÓN

- Obtención de mayores calados

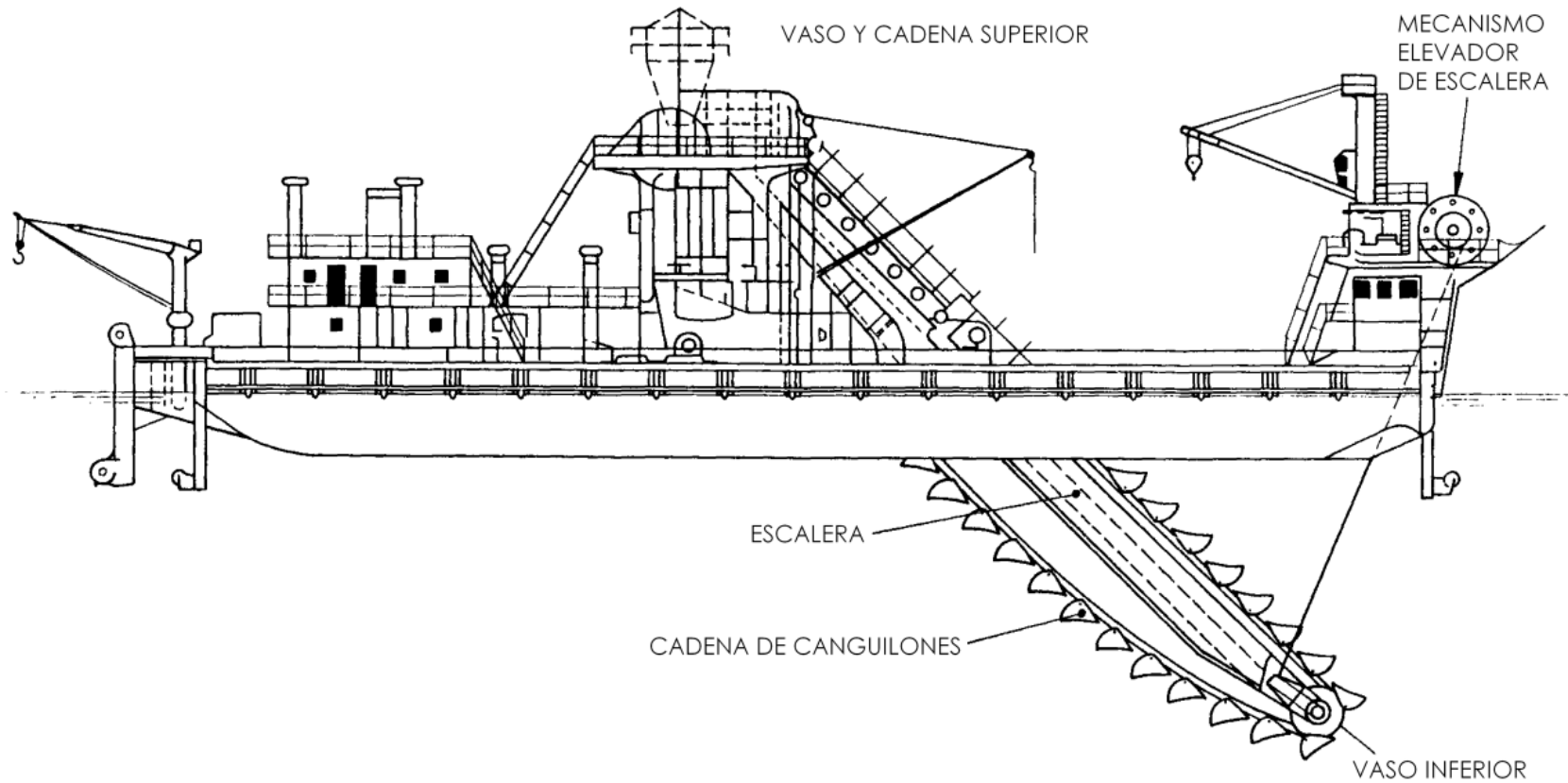
DRAGADOS DE MANTENCIÓN

- Recuperación de profundidades mínimas de operación

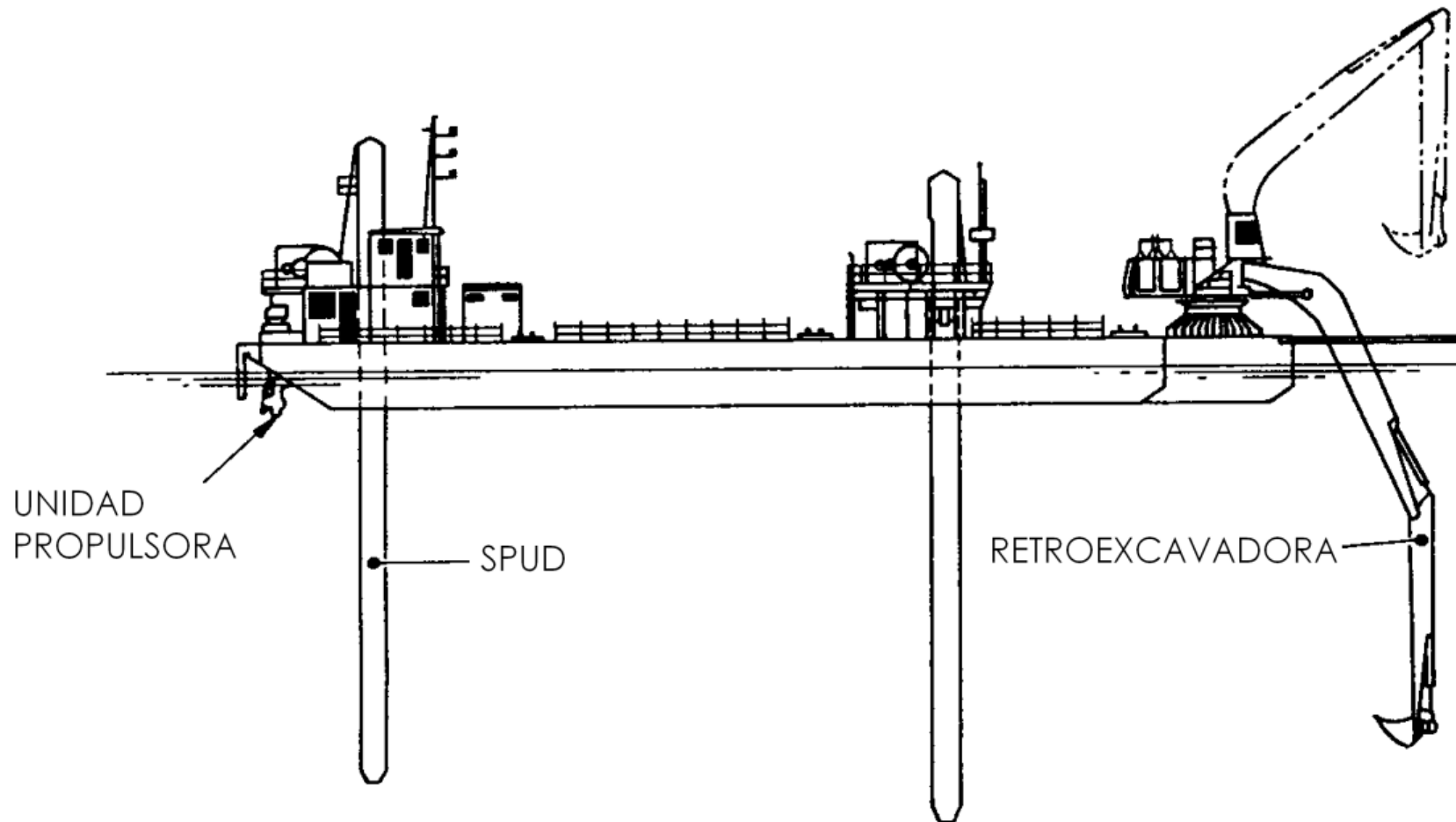


EQUIPOS PARA EL DRAGADO

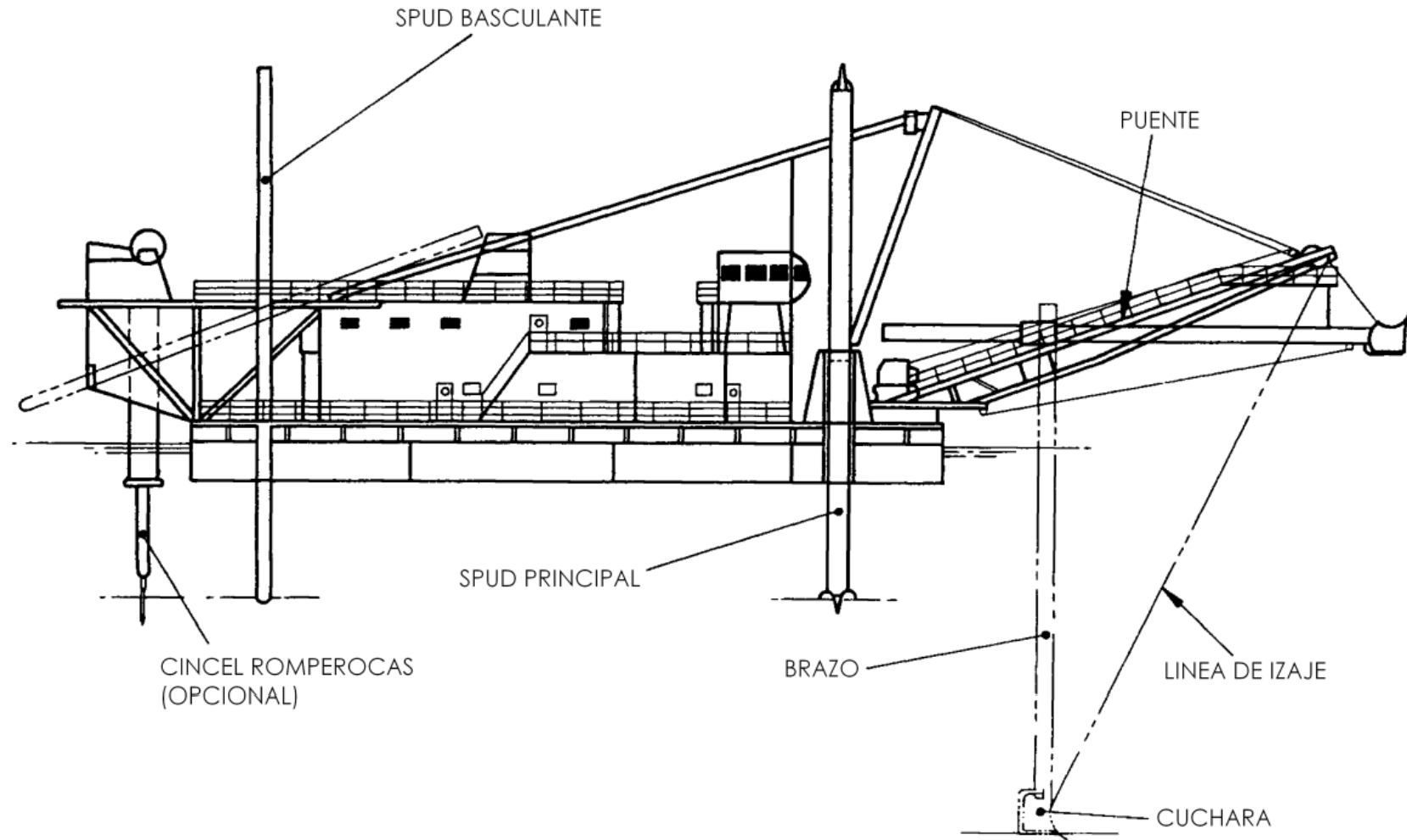
DRAGA DE ROSARIO



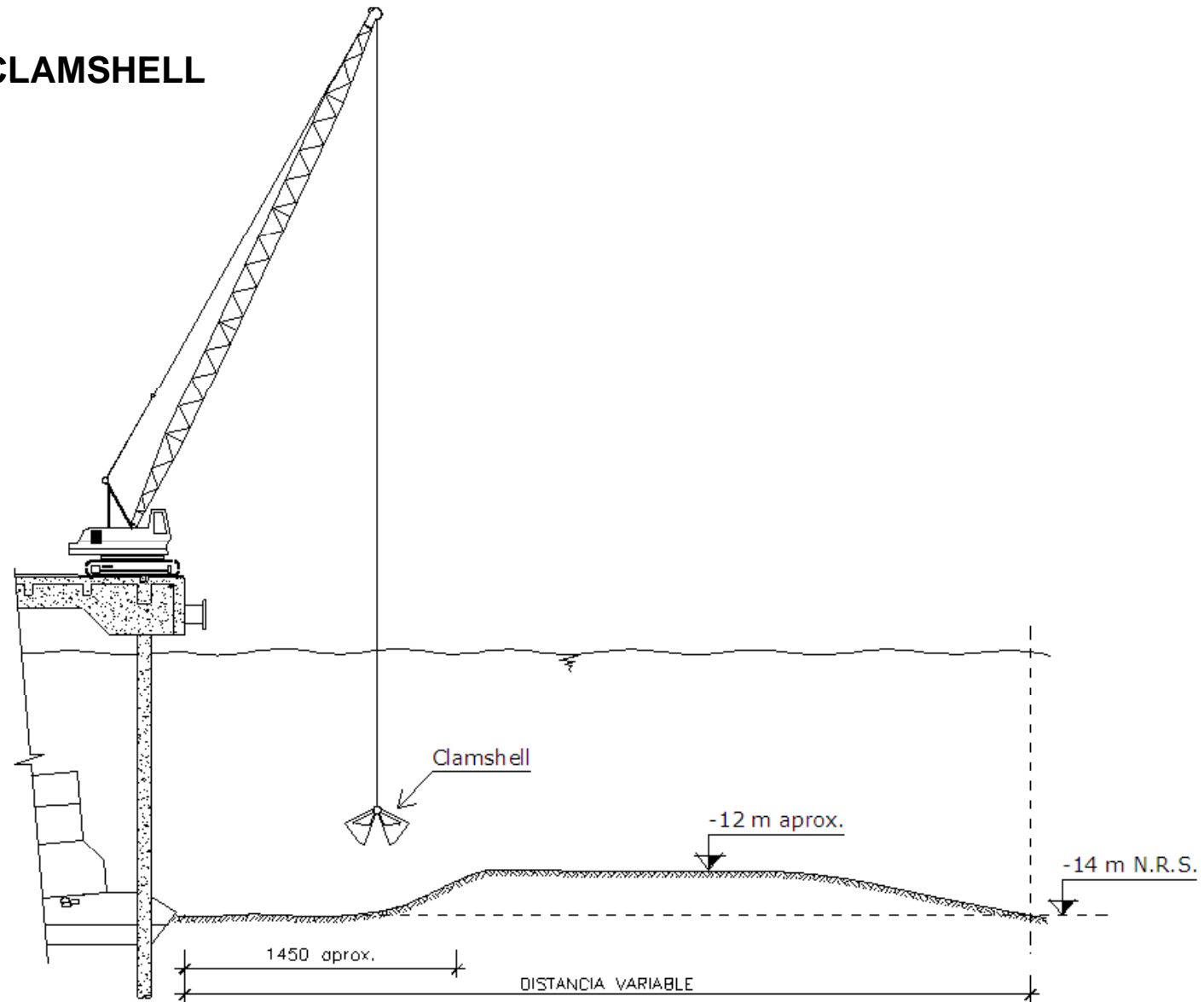
DRAGA DE PALA RETROEXCAVADORA



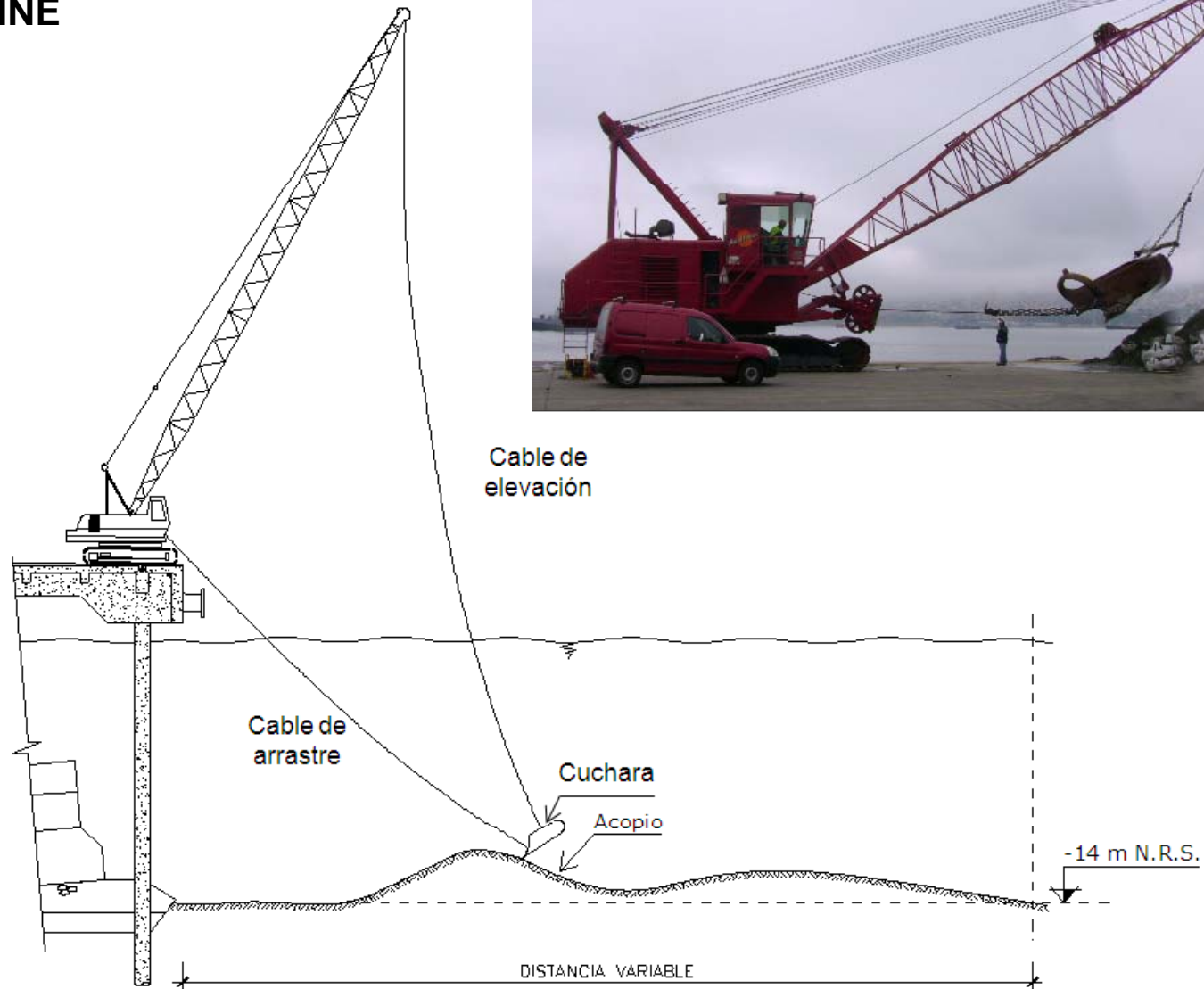
DRAGA DE PALA FRONTAL



DRAGA CLAMSHELL

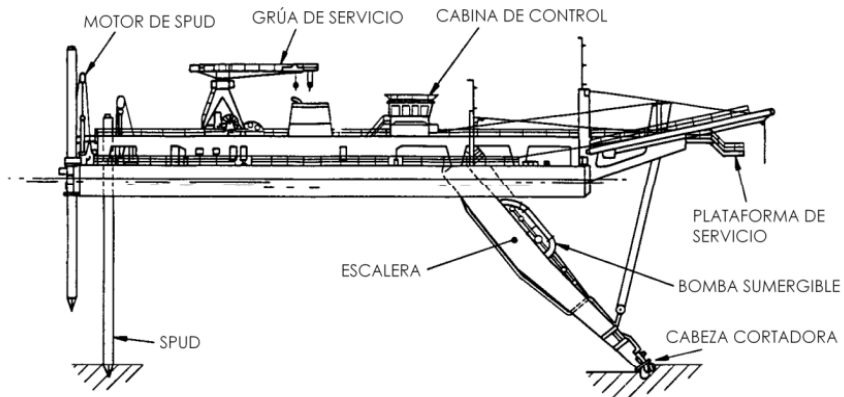


DRAGLINE



OTROS TIPOS DE DRAGAS

DRAGA CUTTER



DRAGA DE SUCCIÓN EN MARCHA



BOMBAS DE SUCCIÓN



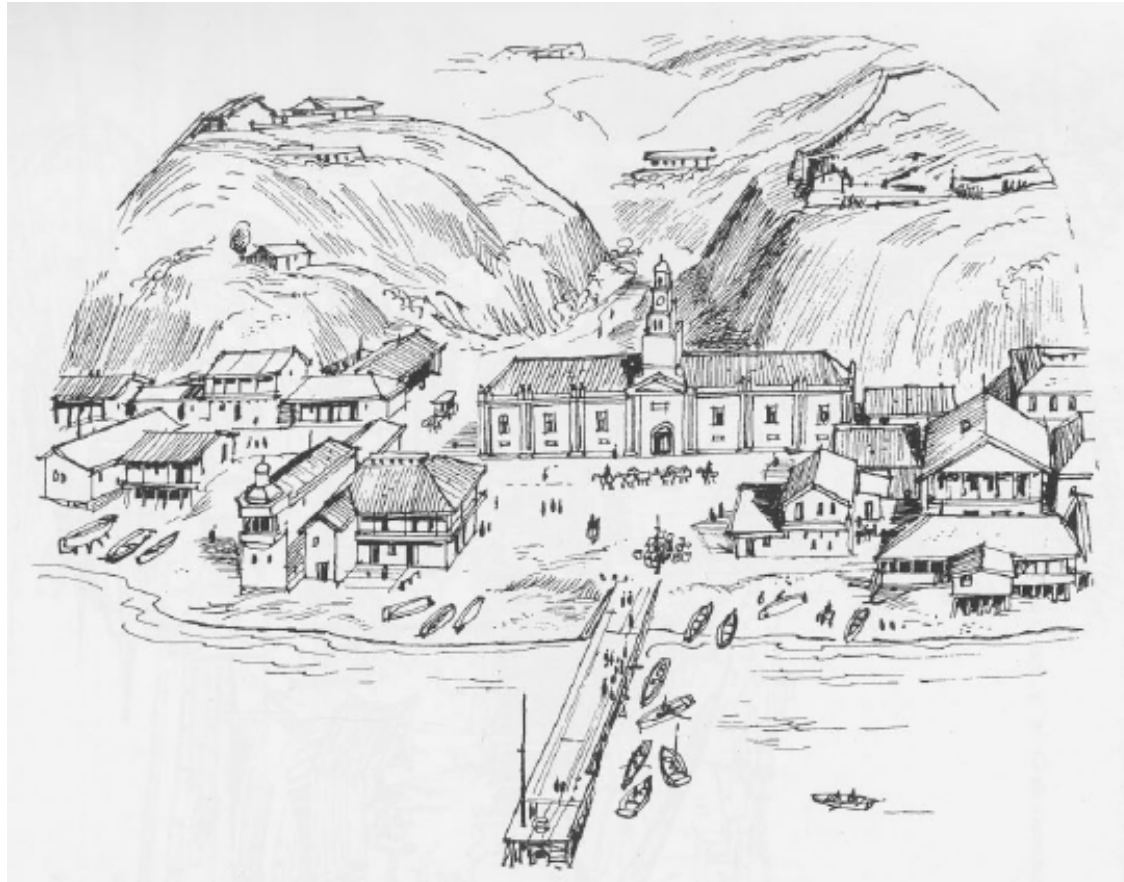
TIPOS DE SUELO SEGÚN DRAGA

<i>PUEDE EXTRAER</i>	<i>TIPO DRAGA</i>						
	<i>ROSARIO</i>	<i>DIPPER</i>	<i>CLAMSHELL</i>	<i>SUCCIÓN EN MARCHA</i>	<i>CUTTER</i>	<i>BOMBA DE SUCCIÓN</i>	<i>DRAGLINE</i>
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



GENERALIDADES DEL PUERTO DE VALPARAÍSO

Sus inicios 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.



- 1810: Primer muelle para la atención de naves de carga.
- Durante su historia fue administrado por el sector portuario estatal.
- 1960: Creación Empresa Portuaria de Chile (EMPORCHI), explotar, administrar y conservar los 10 puertos comerciales de uso público que poseía el Estado.
- 1991: Entrada operadores privados sólo para servicios de estiba, desestiba, transferencia de carga desde el buque al muelle, porteo y almacenaje.
- 1997: Eliminación de EMPORCHI y se crean 10 empresas portuarias estatales encargadas de la administración de estas.

Empresas Estatales	
Empresa Portuaria Arica	
Empresa Portuaria Iquique	
Empresa Portuaria Antofagasta	
Empresa Portuaria Coquimbo	
Empresa Portuaria Valparaíso	
Empresa Portuaria San Antonio	
Empresa Portuaria Talcahuano –	San Vicente
Empresa Portuaria Puerto Montt	
Empresa Portuaria Chacabuco	
Empresa Portuaria Austral	



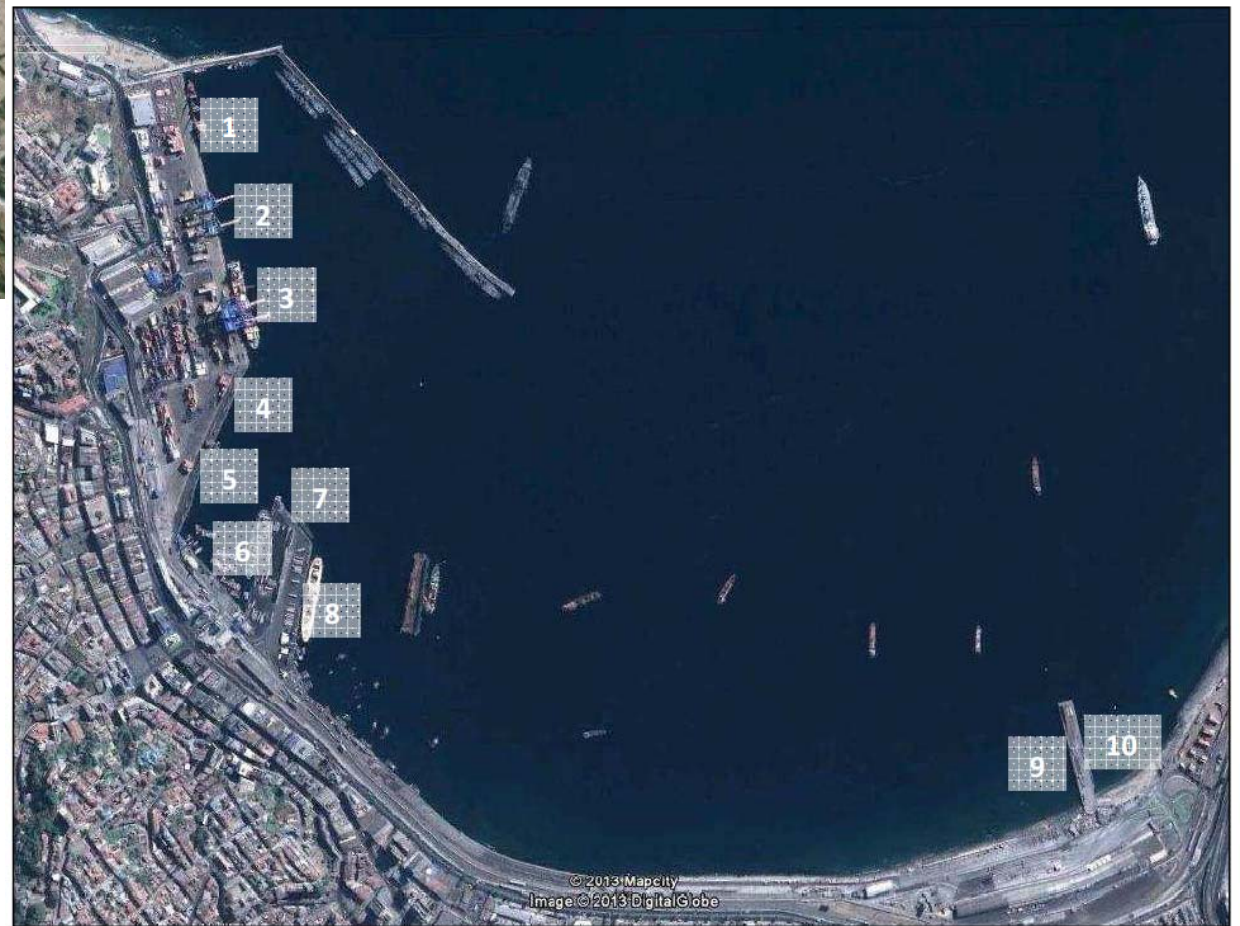
- ④ 1999: Entrega de operación de los sitios 1, 2, 3, 4 y 5 al consorcio Terminal Pacífico Sur Valparaíso S.A. (TPS) que comienza sus funciones el 1º de Enero del año 2000.
- ④ Aumento eficiencia puertos licitados en un 100% → se hace frente al aumento del comercio exterior → inversión en nueva infraestructura y equipamiento → responder a las exigencias de las nuevas naves portacontenedores que comenzaron a construirse.



DIFERENTES DRAGADOS EN CHILE

<i>PUERTO</i>	<i>TIPO DE DRAGADO</i>	<i>VOLUMEN DRAGADO (m3)</i>	<i>VIDA ÚTIL</i>	<i>AÑO</i>
Empresa portuaria Talcahuano-San Vicente	Mantenición	15.000		1997
Sitios 1, 2 y 3 TPSV ¹⁰	Profundización	40.976	10	1997-1999
Sitio 6 EPV	Mantenición	12.000	5	2003
SVTI	Mantenición	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

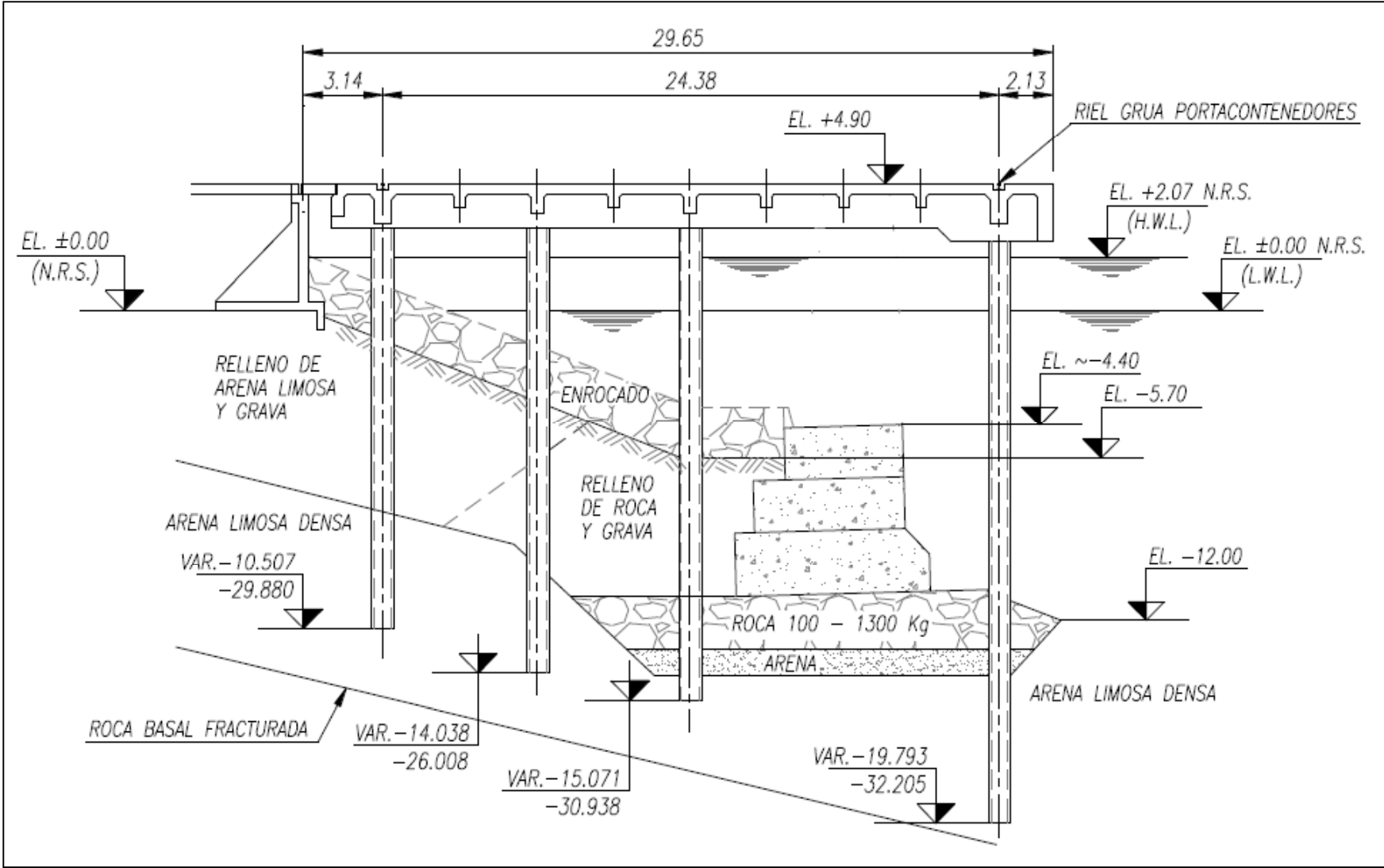




Área a dragar en Terminal Pacífico Sur Valparaíso



SECCIÓN TIPO SITIOS 1, 2 y 3



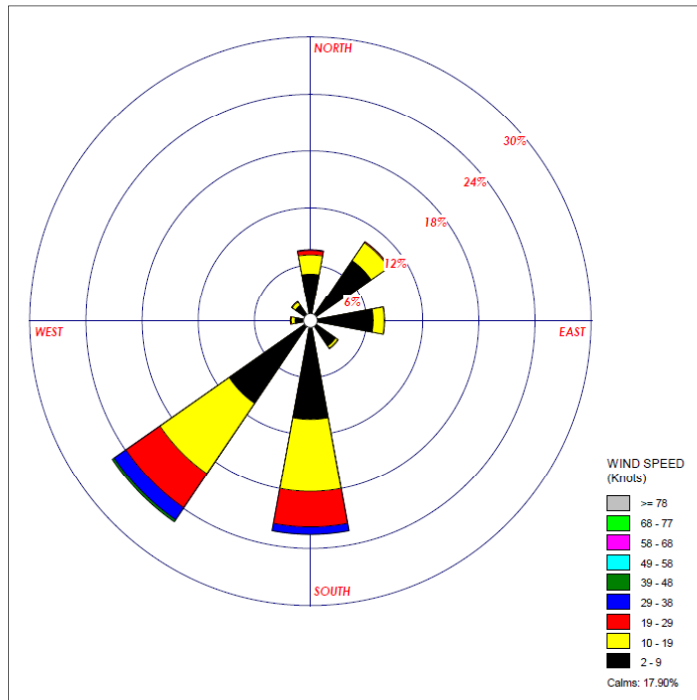
CONDICIONES NATURALES

OLEAJE EXTREMO

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



VIENTO

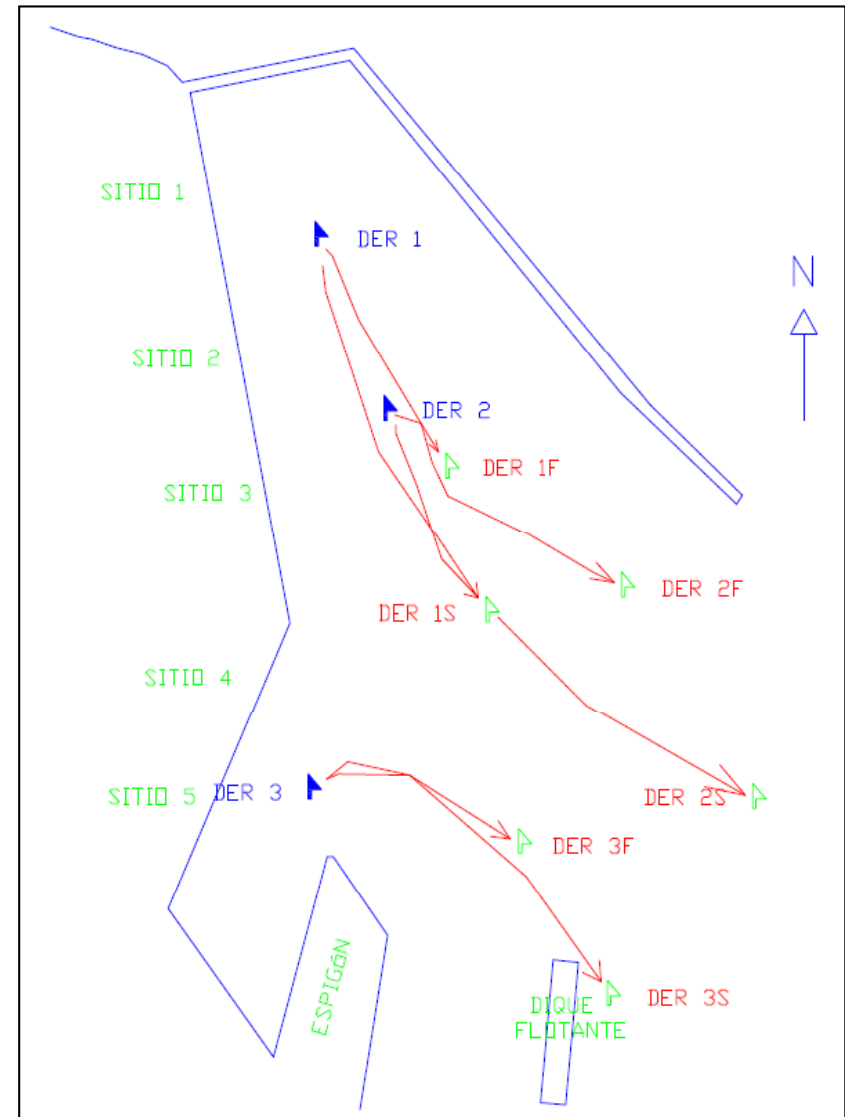


V knots	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	suma	%	% rel
1 - 5	790	1198	1094	650	1605	1365	293	353	7348	19.42	23.57
5 - 10	1111	1789	1454	589	2356	2639	343	391	10672	28.21	34.23
10 - 15	527	701	396	97	1736	2138	94	124	5813	15.36	18.64
15 - 20	223	157	44	16	1139	1258	53	35	2925	7.73	9.38
20 - 25	130	40	11	10	968	1107	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



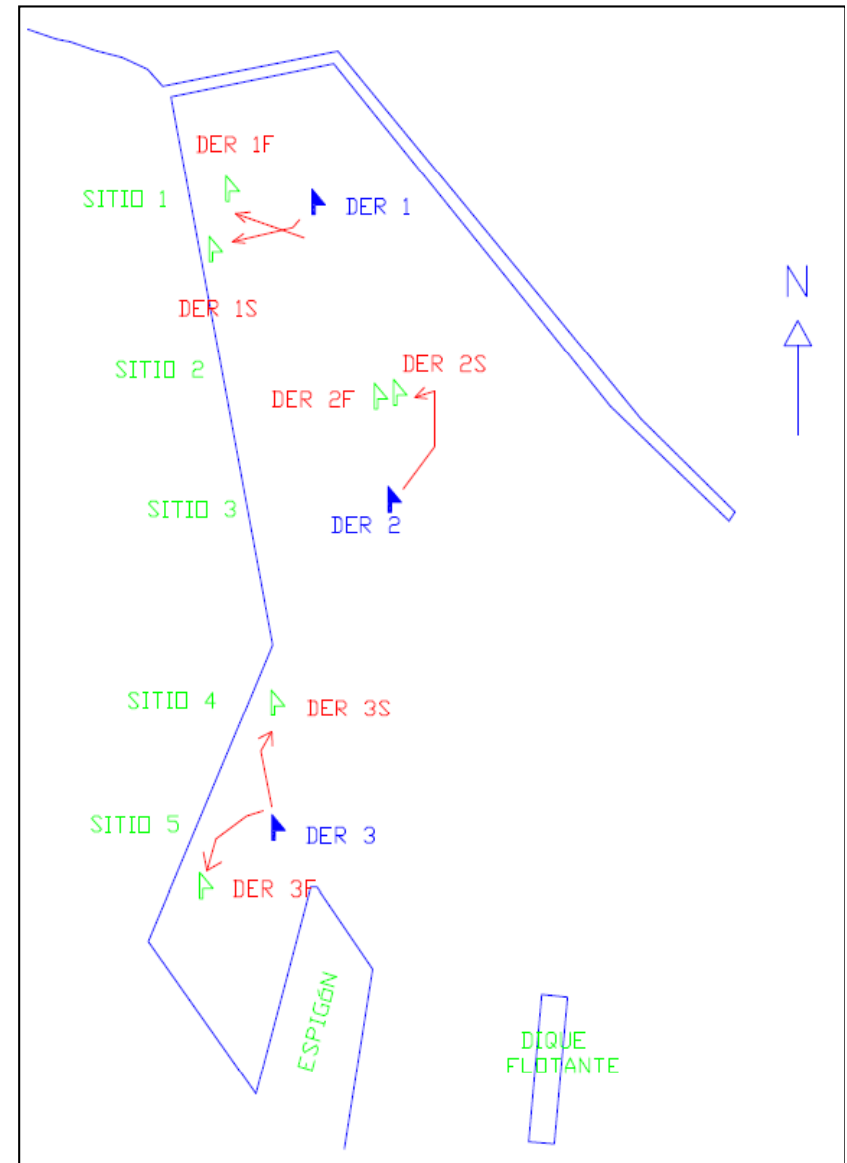
CORRIENTES vaciante

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



CORRIENTES llenante

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



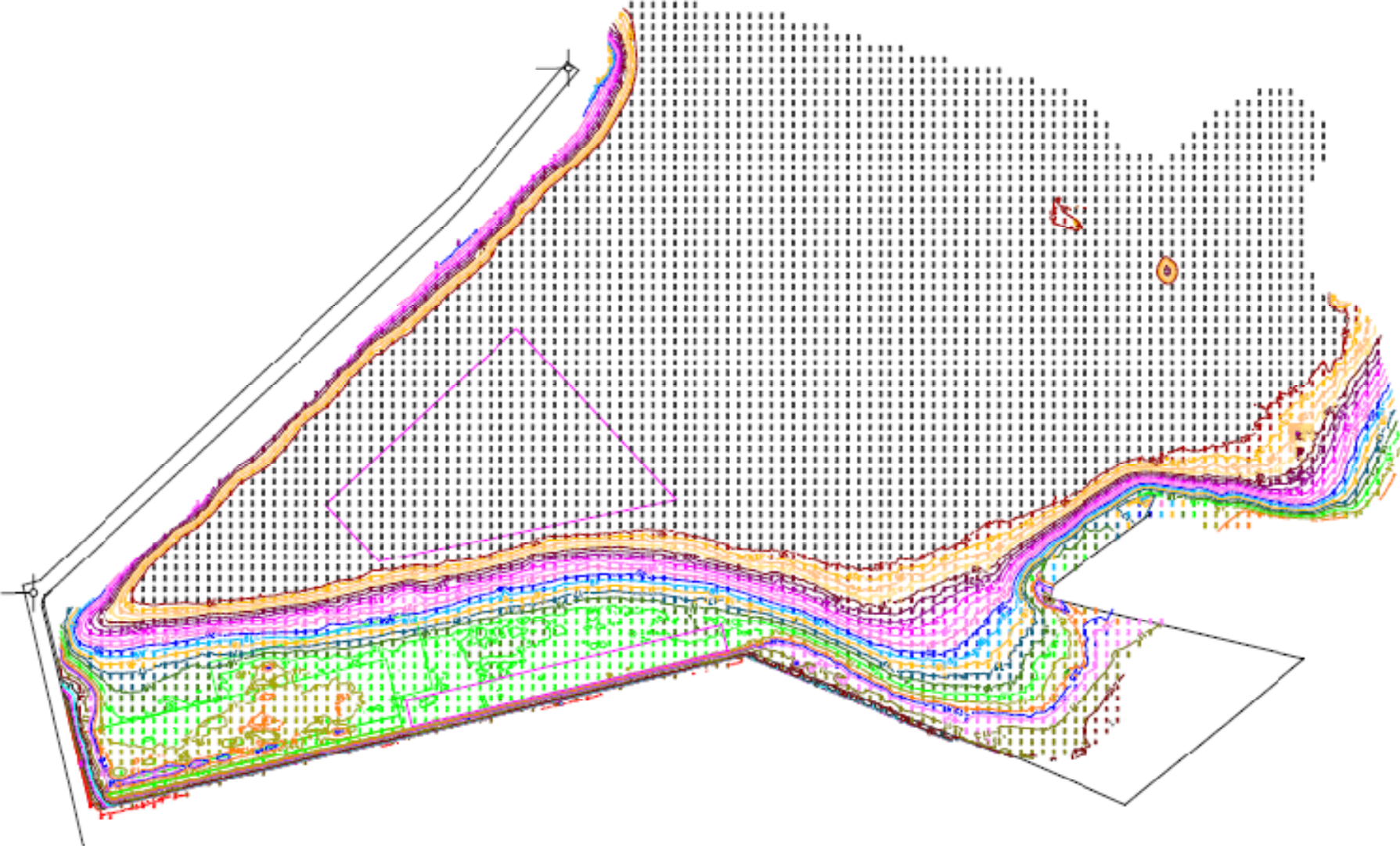
MAREA

Régimen mixto semidiurno

<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



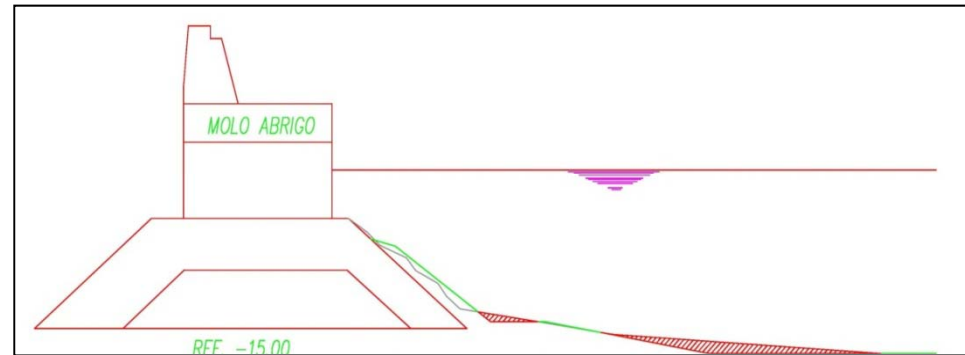
BATIMETRÍA



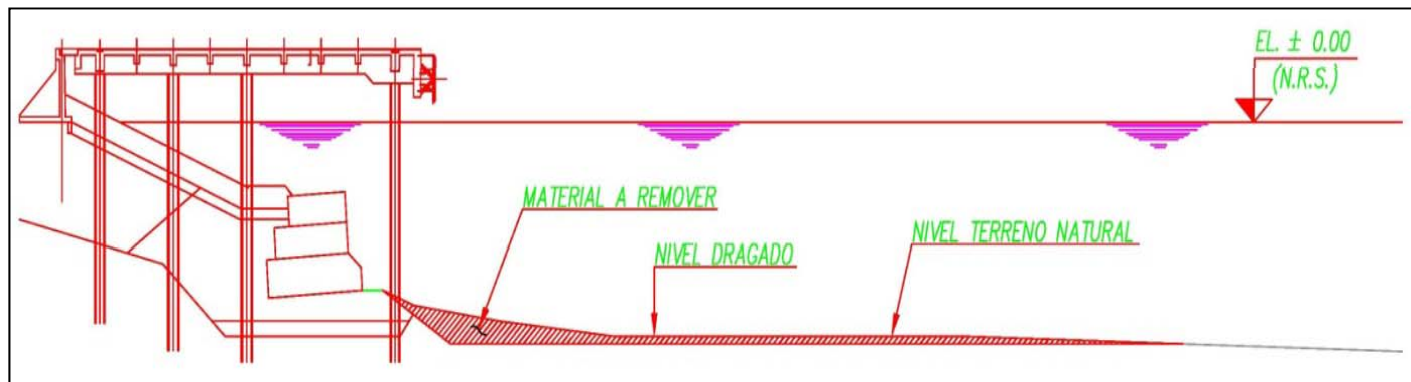
VOLUMEN A DRAGAR

- 51933 m³ de sedimentos a dragar
- 39,174 m² de área

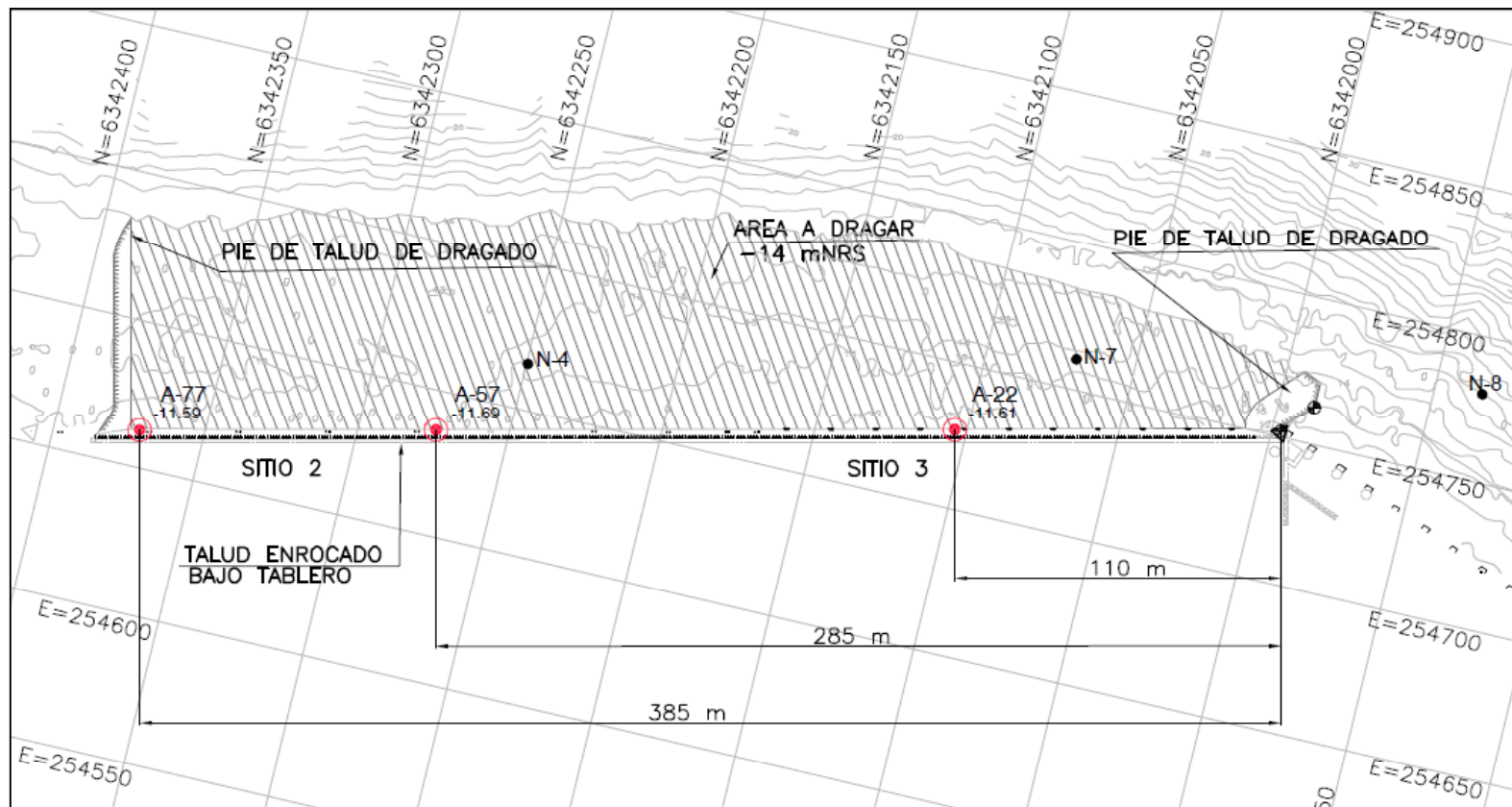
- 4 perfiles trazados cada 22 metros paralelos al muelle



- 23 perfiles cada 26 metros perpendiculares al muelle



ESTRATIGRAFÍA DEL SECTOR A DRAGAR



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

A-22

Arena fina	0,125	0,25	Compacidad densa	1 - 2.8
Arena media	0,25	0,05		
Arena gruesa	0,05	1,00		

	Diámetros (mm)		Estado	Profundidad (m)
Arena fina	0,25	0,125	Material algo limoso, compacidad suelta	0 - 0,94
Arena media	0,50	0,25		
Grava fina	8,00	4,00		

A-57

Grava arenosa	4,00	2,00	Compacidad densa	0,94 - 2,05
---------------	------	------	------------------	-------------

Arena fina	0,25	0,125	Compacidad densa	2,05 - 3,5
Arena media	0,50	0,25		
Arena gruesa	1,00	0,50		
Grava fina	8,00	4,00		

	Diámetros (mm)		Estado	Profundidad (m)
Arena fina	0,25	0,125	Compacidad suelta	0 - 1,53
Arena media	0,50	0,25		
Grava fina	8,00	4,00		

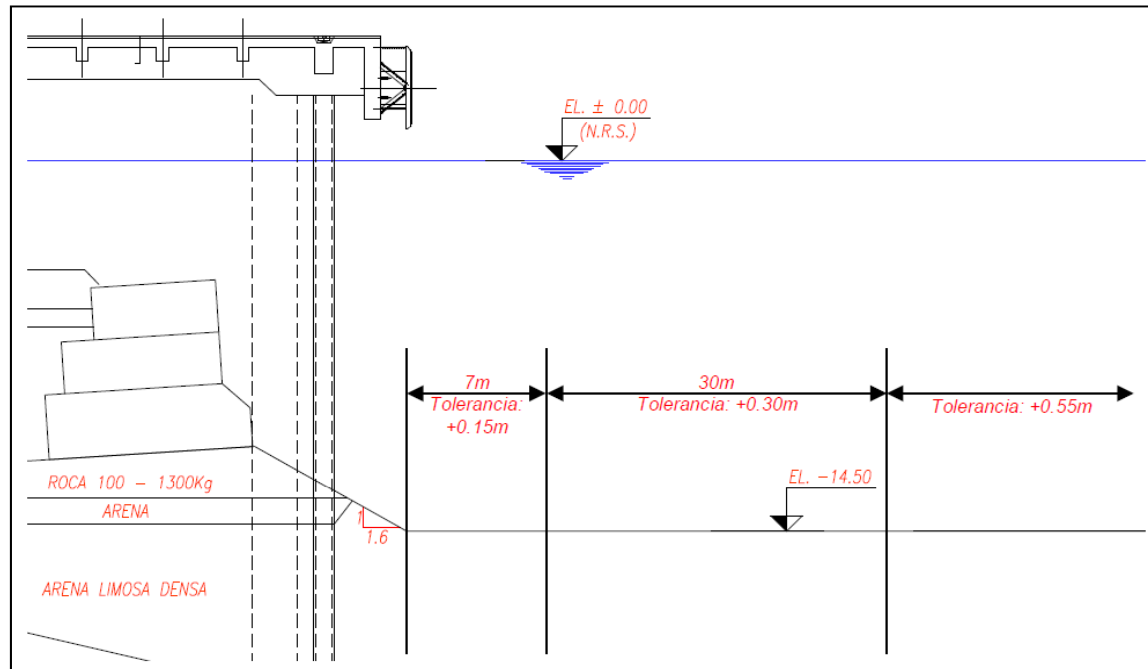
A-77

Arena fina	0,25	0,125	Compacidad suelta a media	1,53 - 3,75
Arena media	0,50	0,25		
Grava fina	8,00	4,00		



PRECISIÓN DE UN DRAGADO

- Capacidad de profundizar hasta la cota requerida controladamente, es decir, sin sobrepasarla.
- Su importancia dependerá del proyecto a ejecutar.
- Dragado aumenta área expuesta de los pilotes.
- Pilotes hincados en roca basal.
- Capacidad de soporte controlada por características estructurales de estos.
- Se debe tener en consideración para efectos de estabilidad de taludes sumergidos.



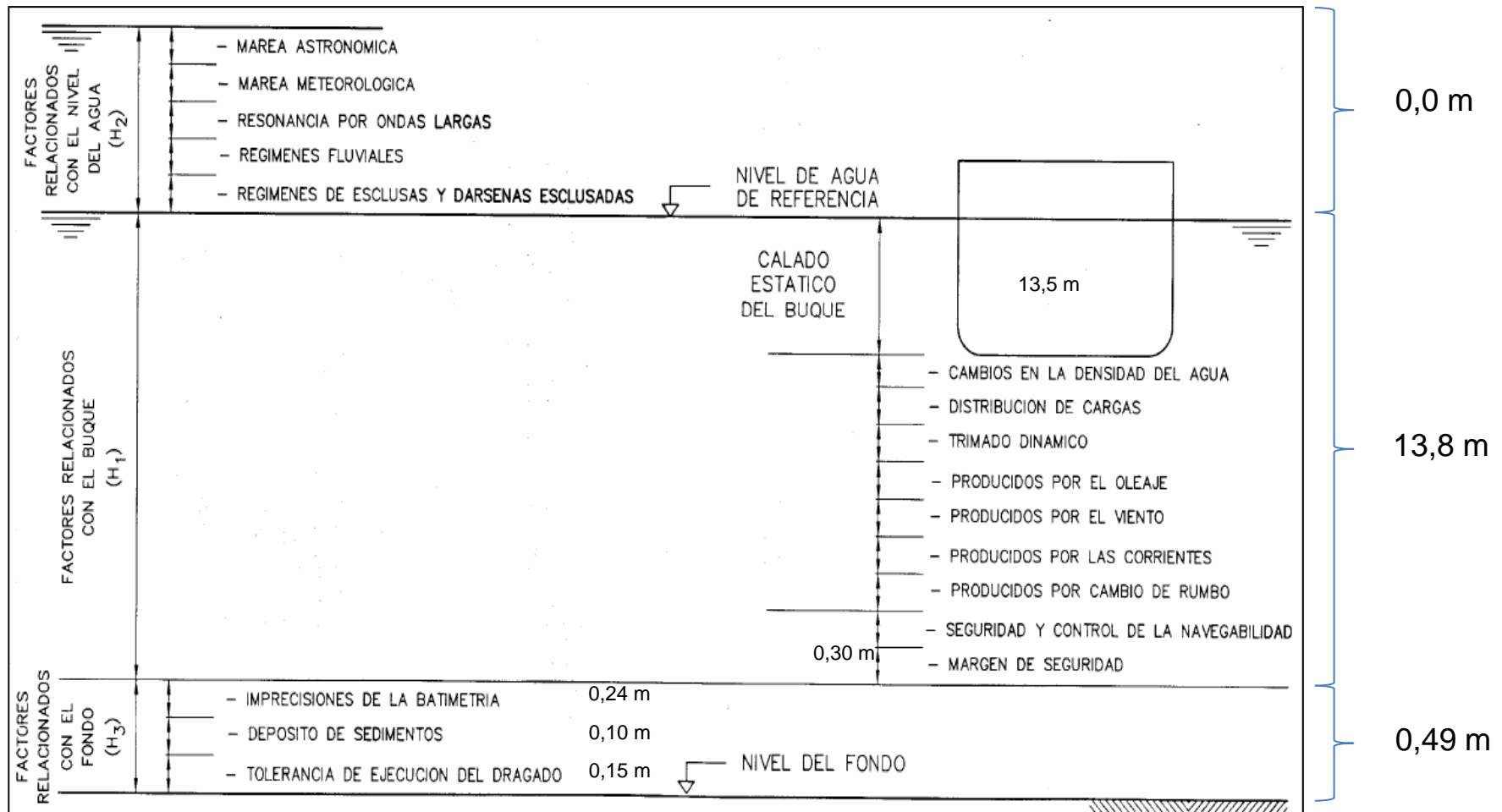
PROTECCIÓN DEL FONDO MARINO POST - DRAGADO

- El oleaje no es la acción dinámica que domina el diseño de la protección
- Eficiente abrigo del molo
- Importancia de corrientes y turbulencias generadas por las hélices
- Para la proyección del elemento es importante conocer la 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



UKC



$$UKC = H_1 + H_3 - D_e = 0,79 \text{ m}$$

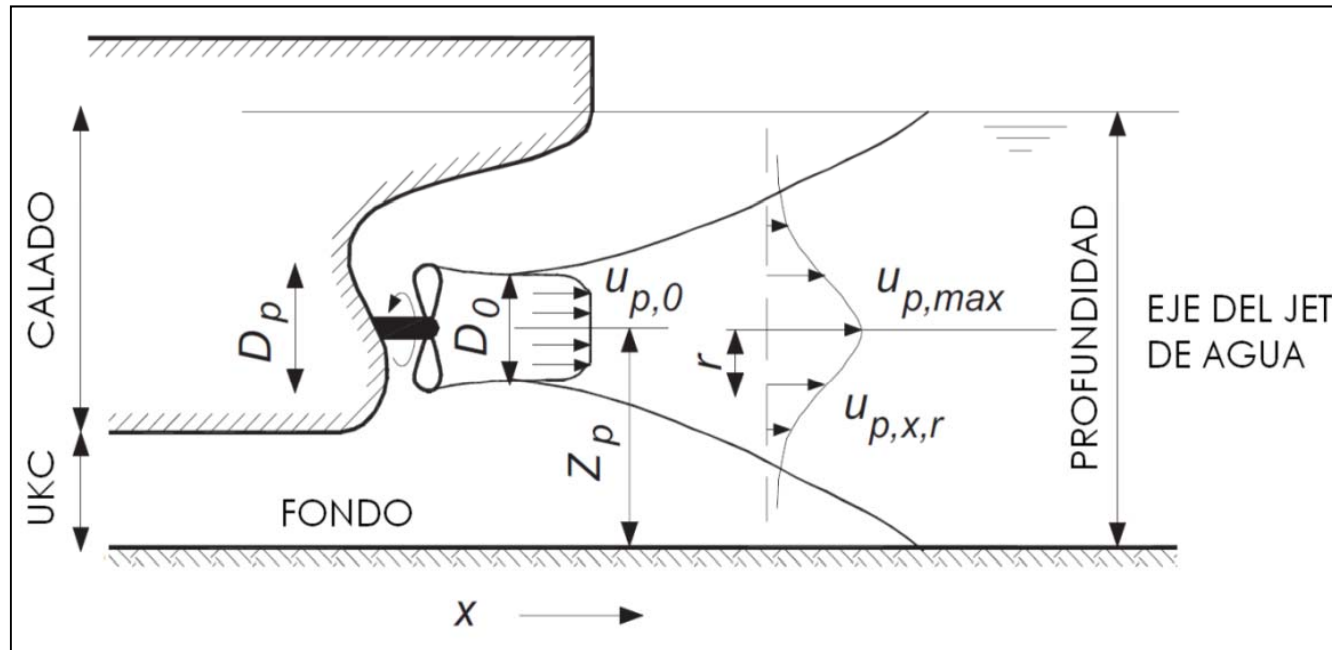


El UKC final será de 0,9 metros debido a que se proyectó que la protección del fondo marino tuviera 0,1 metros de espesor y el calado de la nave de diseño es de 13,5 metros, por lo que la profundidad final de dragado será de 14,4 metros.

Si bien este valor difiere de lo calculado con la norma ROM, es preferible tener un mayor UKC por efectos de seguridad.



EFFECTO DE LAS HÉLICES SOBRE EL FONDO MARINO



DETERMINACIÓN VELOCIDAD JET DE AGUA

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



Campo de velocidades flujo agua en el eje de la hélice a diferentes distancias

		x (m) →													
		r (m)	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
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	

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

Velocidad máxima en el fondo

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

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



DETERMINACIÓN GEOMETRIA PROTECCIÓN DEL FONDO

<i>DATOS</i>		
<i>Parámetro</i>	<i>Magnitud</i>	<i>Unidad</i>
ρ_s	2400	kg/m ³
h	14,5	m
U	4,63	m/s
g	9,81	m/s ²
ψ_{cr}	0,035	-
d	0,1	m
h	14,4	m



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

Calado objetivo : 13,5 m

Profundidad nominal : -14,5 mNRS

Profundidad final con rocas : -13,33 mNRS

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

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

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

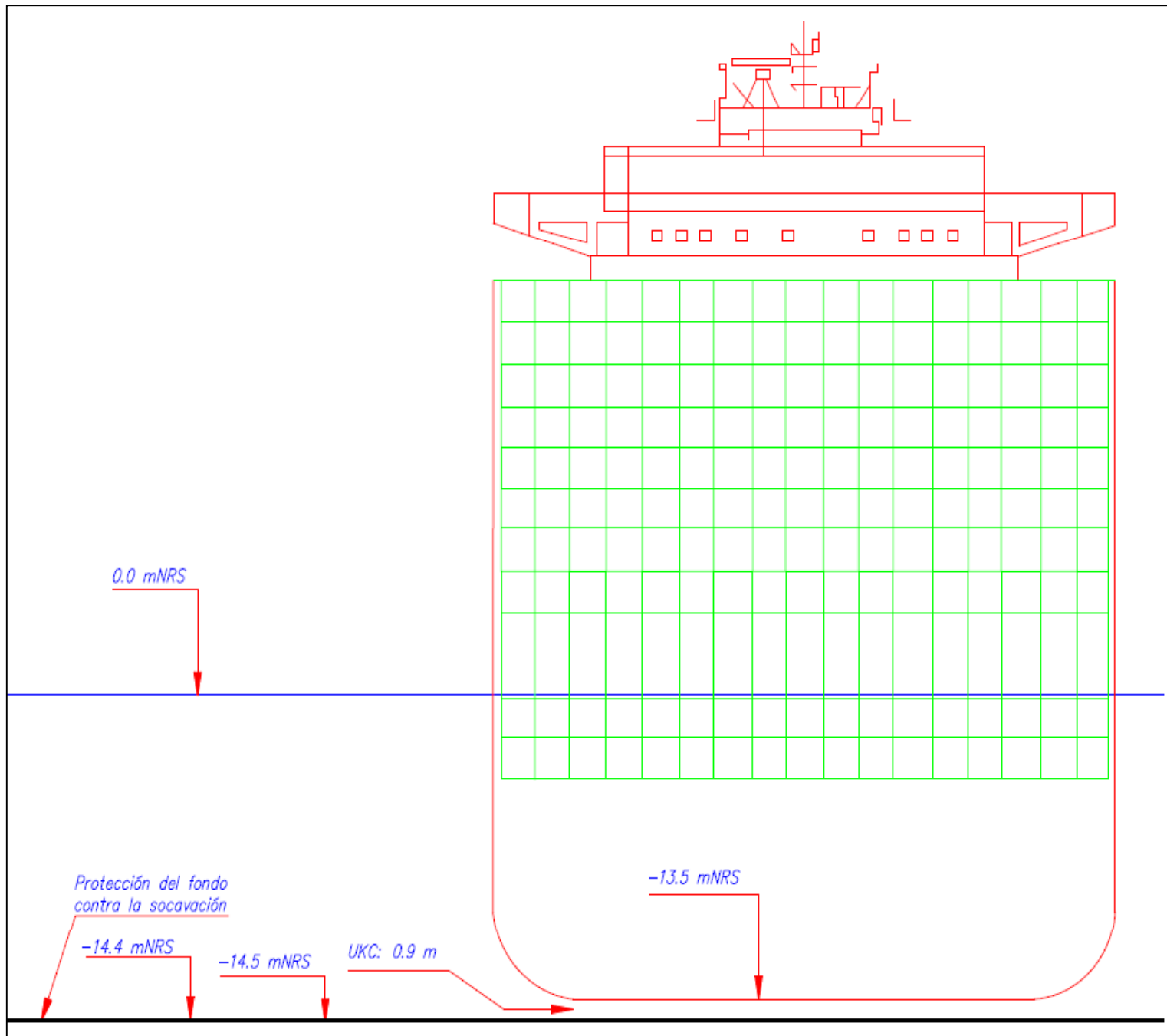
Ancho : 4,0 metros

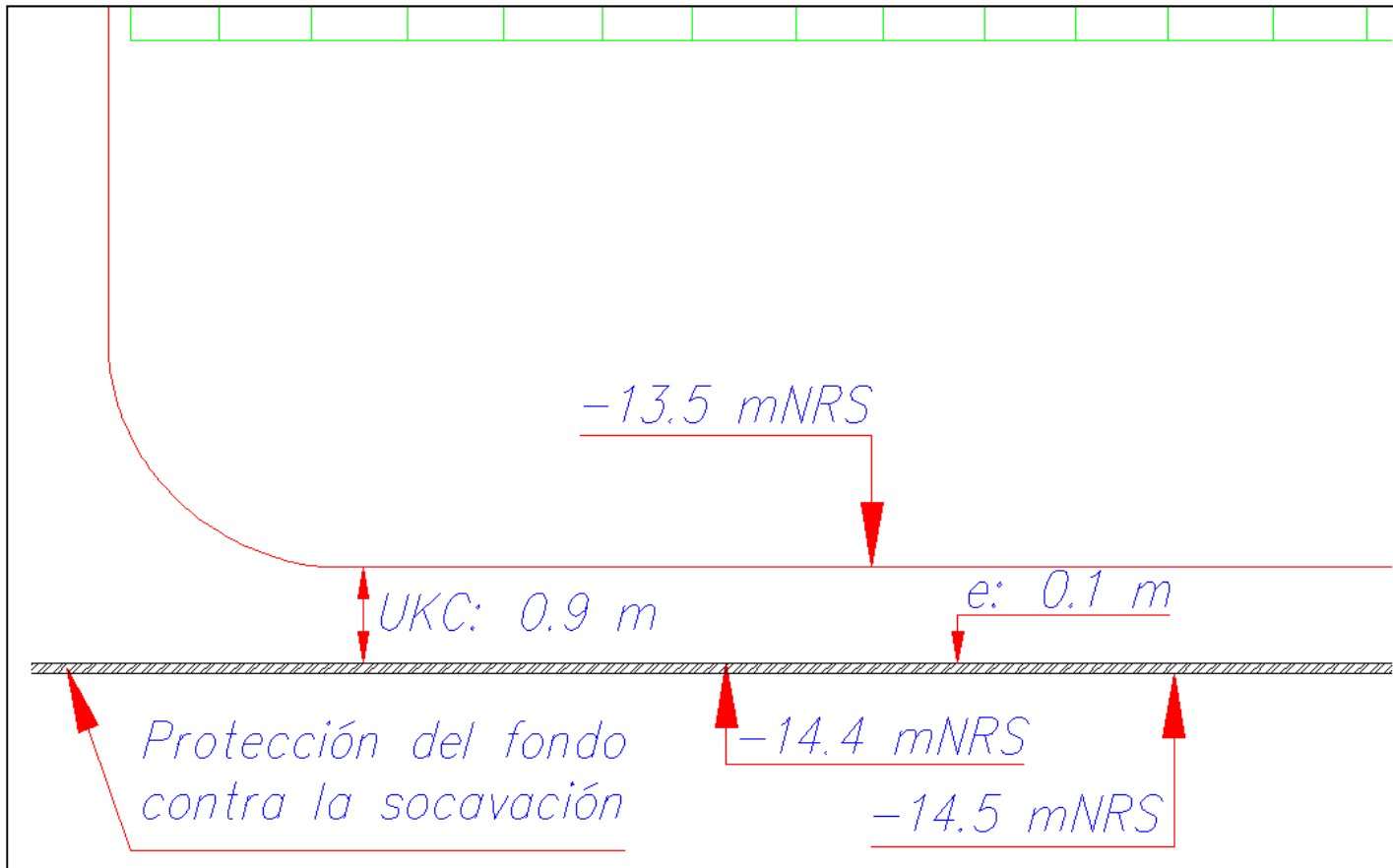
1,6 m³

Espesor especificado de la protección : 0,1 m

Profundidad final con elemento adaptado: -14,4 mNRS







ELECCIÓN DEL MÉTODO DE DRAGADO

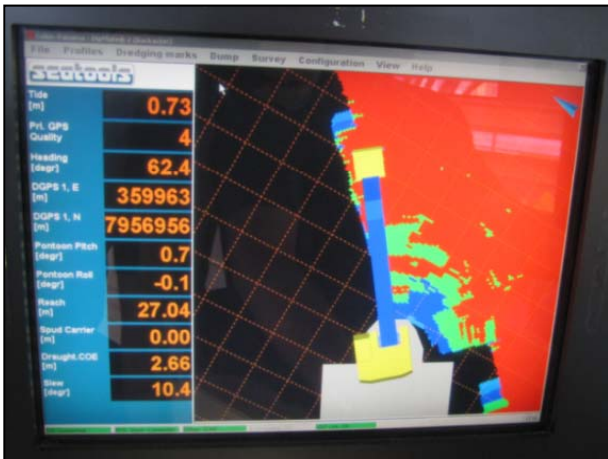
- Para la elección de la maquinaria a utilizar se definió como material predominante a dragar **arena gruesa y compacta**, esto considerando una posición conservadora. Con esto es posible utilizar las dragas de rosario, dipper, en marcha, cutter y bombas de succión.

	TIPO DRAGA				
PUEDE EXTRAER	ROSARIO	DIPPER	EN MARCHA	CUTTER	BOMBA DE SUCCIÓN
Arena gruesa compacta	X	X	X	X	X

- 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 encuentra y la segunda dado que se conoce su radio de acción al momento de succionar el sedimento.

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







CONCLUSIÓN

- 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 operacional y extremo.
- 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.



RECOMENDACIONES

- Realización de los trabajos en época estival, cuando las condiciones de olaje son más favorables.
- 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 draga DIPPER ya que puede comprometer la estabilidad del talud existente bajo el muelle, la integridad de los pilotes, las defensas de atraque y el muelle.
- Considerar la instalación de protección en el fondo marino, la que cumple doble función:
 - Evitar la socavación por efectos de las hélices de los buques .
 - Ayuda en futuros dragados de mantención, asegurando las cotas del proyecto.



GRACIAS

