

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA LA AMPLIACIÓN DE LA BOCA DE
ENTRADA AL TERMINAL PORTUARIO DEL CALLAO**

INFORME DE COMPETENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

JUAN JOSÉ MIKI NINOMIYA

Lima- Perú

2011

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	4
LISTA DE TABLAS	5
LISTA DE FIGURAS	6
INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO 1: GENERALIDADES.....	9
1.1 DESCRIPCIÓN	9
1.2 OBJETIVOS	10
1.3 UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	10
1.4 BREVE HISTORIA	11
CAPÍTULO 2: EL PUERTO DEL CALLAO	15
2.1. INFRAESTRUCTURA Y EQUIPAMIENTO EXISTENTE.....	15
2.2. DATOS TÉCNICOS RELEVANTES	20
2.2.1 Capacidad Actual	20
2.2.2 Operatividad del Puerto.....	21
2.3. ANÁLISIS DE LA DEMANDA DEL PUERTO	21
2.3.1 Nave de Diseño y Ancho de la Boca de Entrada del TPC.....	23
CAPÍTULO 3: ESTUDIOS BÁSICOS DE INGENIERÍA	26
3.1. INVESTIGACIONES FÍSICAS.....	26
3.1.1. Batimetría.....	26
3.1.2. Topografía.....	26
3.1.3. Oceanografía.....	26
3.1.4. Meteorología	27
3.2. INFORMACIÓN DEL TERMINAL PORTUARIO DEL CALLAO.....	28
3.2.1. Temperatura.....	28
3.2.2. Precipitaciones	28
3.2.3. Viento	28
3.2.4. Mareas	28
3.2.5. Oleaje	29
3.2.6. Estudio de Propagación	30
3.2.7. Estudio de Agitación.....	32
3.2.8. Corrientes.....	35
3.2.9. Estudio Geotécnico	35

	Pág.
CAPÍTULO 4: DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LA BOCA DE ENTRADA DEL TERMINAL PORTUARIO DEL CALLO.....	41
4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESTRUCTURA.....	41
4.2. DESCRIPCIÓN DEL ESTADO INICIAL	41
4.2.1. Rompeolas Norte	41
4.2.2. Rompeolas Sur.....	42
4.2.3. Boca de Entrada.....	42
4.3. ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE LOS ROMPEOLAS.....	43
4.3.1. Características Geométricas	43
4.3.2. Sismicidad	44
4.3.3. Estudio de Estabilidad de la Situación Inicial	45
4.3.4. Estudio de Estabilidad de la Situación Futura	46
4.4. DISEÑO DE DRAGADO	48
4.4.1. Fase 0 – Situación Inicial.....	49
4.4.2. Fase 1A – Dragado a -14m y Modificaciones en los Rompeolas	50
4.4.3. Fase 1-B – Dragado a -14m en la Zona de los Muelles 1 al 4.....	51
4.4.4. Fase 2 – Dragado a -16m Para Naves de 347m de Eslora.....	53
4.5. DISEÑO DE ROMPEOLAS	54
4.5.1. Rompeolas Norte	54
4.5.2. Rompeolas Sur.....	56
4.5.3. Efectos del Dragado Sobre los Rompeolas.....	57
CAPÍTULO 5: DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA AMPLIACIÓN DE LA BOCA DE ENTRADA DEL TERMINAL PORTUARIO DEL CALLAO.....	60
5.1. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	60
5.1.1. Dique de Escollera	60
5.1.2. Gaviones de Tablestacas de Acero.....	61
5.2. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN	65
5.2.1. Rompeolas Norte	65
5.2.2. Rompeolas Sur.....	71
5.2.3. Procedimiento Constructivo.....	73
5.2.4. Resumen de Datos	78
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
6.1. CONCLUSIONES	81
6.2. RECOMENDACIONES	83
BIBLIOGRAFÍA	84
ANEXO	85

RESUMEN

El presente trabajo analiza y describe las alternativas para la ampliación de la Boca de Entrada del Terminal Portuario del Callao, como una de las adecuaciones necesarias para la modernización de su infraestructura portuaria. La ampliación de la boca, o bocana, deberá ser tal que permita el ingreso de manera segura a las embarcaciones de mayor tamaño que, según la demanda creciente, se estima arribarán al Puerto del Callao.

La Ampliación de la Boca de Entrada responde principalmente a tres aspectos: i) el crecimiento del volumen de carga demanda naves de mayor tamaño que permitan reducir costos de transporte; ii) el Terminal Portuario del Callao fue construido en las décadas de 1920 y 1930 con un ancho en el Canal de Ingreso de 180m (en la superficie del mar), que en la actualidad impiden el ingreso de naves post-panamax; y iii) en la costa del Pacífico Sur llegan naves panamax, post pánamax y naves de carga general sin equipo propio de carga y descarga.

Como preámbulo, se resume brevemente los estudios previos de ingeniería necesarios para el diseño de una obra portuaria, tales como condiciones ambientales, estudios de olas, del fondo marino y del subsuelo, entre otros. Todos estos datos condicionan el diseño y funcionamiento del puerto.

Seguidamente, se describen las características de la bocana, al inicio del estudio, donde se levantó información topográfica, fotografías, datos de demanda, entre otros. Bajo este escenario se analizan las condiciones de seguridad para el ingreso de naves en el puerto del Callao, a lo largo del canal de ingreso, el cruce de la bocana y las posteriores maniobras de atraque en los muelles.

Finalmente se proponen diferentes alternativas de ampliación de la bocana, y las variaciones sobre las condiciones portuarias al interior de la dársena

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 2.1 - DISTRIBUCIÓN DE MUELLES EN EL TPC	16
TABLA 2.2 - DISTRIBUCIÓN DE ALMACENES EN EL TPC.....	16
TABLA 2.3 – EQUIPO MÓVIL DEL TPC.....	18
TABLA 2.4 – EQUIPO FIJO DEL TPC	19
TABLA 2.5 – EQUIPOS DE SEGURIDAD E INSTALACIONES DEL TPC	19
TABLA 2.6 – CARGA MOVILIZADA EN EL TPC (MILES DE TONELADAS)	21
TABLA 2.7 – EVOLUCIÓN DE NAVES PORTA CONTENEDORES	22
TABLA 2.8 – PROYECCIÓN DE NAVES PORTACONTENEDORES EN EL TPC.....	23
TABLA 2.9 – ESTIMACIONES DEL ANCHO DE LA BOCA DE ENTRADA.....	25
TABLA 3.1 – RESULTADOS DEL ESTUDIO DE OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS ...	30
TABLA 3.2 – VALORES DE KA AL INGRESO DE LA BOCANA.....	33
TABLA 3.3 – VALORES DE KP AL INGRESO DE LA BOCANA.....	33
TABLA 3.4 – VALORES DE KA AL INGRESO DE LA BOCANA.....	34
TABLA 3.5 – PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE DISEÑO.....	38
TABLA 3.6 – TALUDES EXISTENTES EN EL CANAL DE INGRESO.....	39
TABLA 4.1 – ACELERACIÓN SÍSMICA.....	45
TABLA 4.2 – FACTORES DE SEGURIDAD A LA ESTABILIDAD DE LOS ROMPEOLAS	45
TABLA 4.3 – OTRAS ALTERNATIVAS DE MEJORAMIENTO DE LA ESTABILIDAD DE LOS ROMPEOLAS	48
TABLA 4.4 – DIMENSIONES DEL BUQUE PANAMAX DE DISEÑO	51
TABLA 4.5 – DIMENSIONES DEL BUQUE POST-PANAMAX DE DISEÑO	53
TABLA 5.1 – CUADRO DE VENTAJAS Y DESVENTAJAS.....	62
TABLA 5.2 – RESUMEN DE VOLUMEN DE DRAGADO	78

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1.1 - UBICACIÓN DEL PUERTO DEL CALLAO	11
FIGURA 1.2 – MUELLE DEL CALLAO 1855	12
FIGURA 1.3 – MUELLE Y DÁRSENA DEL CALLAO 1875.....	13
FIGURA 1.4 – NUEVO MUELLE Y DÁRSENA DEL CALLAO 1934	13
FIGURA 1.5 – CONFIGURACIÓN ACTUAL DEL TPC 1960 EN ADELANTE	14
FIGURA 2.1 - DISTRIBUCIÓN DE MUELLES EN EL TPC.....	17
FIGURA 2.2 – EXPRESIONES PARA LA ESTIMACIÓN DEL ANCHO DE LA BOCA DE ENTRADA.....	24
FIGURA 3.1 – UBICACIÓN DEL PUNTO DE AGUAS DE TRANSICIÓN Y SONDA AWAC	32
FIGURA 3.2 – UBICACIÓN DE SONDEOS DE ESTUDIOS GEOTÉCNICOS REALIZADOS EN EL TPC.....	37
FIGURA 3.3 – PERFILES TRANSVERSALES EN LA ZONA DEL CANAL DE INGRESO	39
FIGURA 3.4 – PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL EJE DEL ROMPEOLAS SUR	40
FIGURA 4.1 – SECCIÓN TRANSVERSAL TÍPICA DE LOS ROMPEOLAS.....	42
FIGURA 4.2 – SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA BOCA DE ENTRADA.....	43
FIGURA 4.3 – CARACTERÍSTICAS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL ROMPEOLAS	43
FIGURA 4.4 – HORIZONTES GEOTÉCNICOS EN LA ZONA DE LOS ROMPEOLAS ...	44
FIGURA 4.5 – ESQUEMA DE PILOTES Y DRAGADO EN EL ROMPEOLAS NORTE ...	46
FIGURA 4.6 – ESQUEMA DE PILOTES Y DRAGADO EN EL ROMPEOLAS SUR.....	46
FIGURA 4.7 – ESQUEMA DE PILOTES Y ESCOLLERA DE APOYO	47
FIGURA 4.8 – VISTA EN PLANTA DE LA FASE 0.....	49
FIGURA 4.9 – ADAPTACIÓN DEL DRAGADO A -14M CON EL DRAGADO A -16M	50
FIGURA 4.10 – PLANTA DE DRAGADO FASE 1A.....	51
FIGURA 4.11 – PLANTA DE DRAGADO FASE 1B – CANAL DE INGRESO.....	52
FIGURA 4.12 – PLANTA DE DRAGADO FASE 1B – RADA INTERIOR	53
FIGURA 4.13 – PLANTA DE DRAGADO FASE 2	54
FIGURA 4.14 – ESQUEMA DEL NUEVO ROMPEOLAS NORTE.....	55
FIGURA 4.15 – ELEVACIÓN DEL ROMPEOLAS NORTE – DETALLE DE PLATAFORMA PARA LA BALIZA	56
FIGURA 4.16 – EXTENSIÓN DEL ROMPEOLAS SUR, TRAMO SUMERGIDO	57
FIGURA 4.17 – ESQUEMA DE LA EXTENSIÓN DEL ROMPEOLAS SUR.....	57

	Pág.
FIGURA 4.18 – SECCIÓN DEL ROMPEOLAS SOBRE EL TALUD DE DRAGADO	58
FIGURA 4.19 – SECCIÓN DEL ROMPEOLAS A LA COTA DE DRAGADO	58
FIGURA 4.20 – SECCIÓN FUTURA DEL ROMPEOLAS	59
FIGURA 4.21 – SECCIÓN DEL ROMPEOLAS Y REACOMODO DE ENROCADO POR DRAGADO	59
FIGURA 5.1 – ESQUEMA DE ENROCADO	60
FIGURA 5.2 – GAVIÓN DE TABLESTACAS	61
FIGURA 5.3 – ALTERNATIVA ROMPEOLAS TIPO ENROCADO DEL ESTUDIO DE PERFIL ^[4]	63
FIGURA 5.4 – ALTERNATIVA ROMPEOLAS TIPO TABLESTACAS DEL ESTUDIO DE PERFIL ^[4]	64
FIGURA 5.5 – SECCIÓN CON PILOTES Y BANQUETA DE ENROCADO	66
FIGURA 5.6 – PLANTA DE LA PLATAFORMA Y PILOTES	67
FIGURA 5.7 – UBICACIÓN DE BANQUETA Y EJES DE PILOTES – ROMPEOLAS NORTE	68
FIGURA 5.8 – ESPACIAMIENTO ENTRE PILOTES	68
FIGURA 5.9 – PLANTA DE PLATAFORMA PREFABRICADA CON ESPACIOS PARA LOS PILOTES	69
FIGURA 5.10 – SECCIÓN DEL PREFABRICADO	69
FIGURA 5.11 – DISEÑO DE LOSA VACIADA IN-SITU	70
FIGURA 5.12 – PLANTA DE BANQUETAS LATERALES DEL ROMPEOLAS NORTE	71
FIGURA 5.13 – CAMBIO DE ALINEACIÓN DEL ROMPEOLAS SUR	72
FIGURA 5.14 – EXCAVACIÓN DE LA PRIMERA ZANJA	74
FIGURA 5.15 – EXCAVACIÓN DE LA SEGUNDA ZANJA Y RETIRO DE ENROCADO	75
FIGURA 5.16 – COLOCACIÓN DE PILOTES	75
FIGURA 5.17 – RELLENO DE ZANJA, DRAGADO A -14.00M Y COMPLEMENTO DE ENROCADO Y BANQUETA	76
FIGURA 5.18 – DEMOLICIÓN DE ROMPEOLAS Y NUEVO ROMPEOLAS SUMERGIDO – ROMPEOLAS SUR	77
FIGURA 5.19 – DRAGADO CON LOS TALUDES ESTUDIADOS	78

INTRODUCCIÓN

El tema de los puertos ha cobrado mayor relevancia en el Perú desde hace algunos años, a medida que ha crecido la demanda de servicios relacionados a ellos. Si bien es poco lo que el Estado ha invertido en su desarrollo en las últimas décadas, a través de la Empresa Nacional de Puertos ENAPU S.A., lo cierto es que los puertos privados sí han mostrado ese crecimiento y desarrollo que los ha llevado a niveles de rendimiento y eficiencia cercanos a los puertos de los países vecinos.

El Estado creó la Autoridad Portuaria Nacional, quienes se encargarían, entre otras funciones, de estudiar todos los puertos del país y elaborar un Plan Nacional de Desarrollo, donde establece la necesidad de nuevas facilidades portuarias. Dentro de los lineamientos de este Plan, se diseñaron diversas posibilidades para la ampliación del Puerto del Callao, entre ellas, la alternativa que actualmente conocemos como el Nuevo Terminal de Contenedores Muelle Sur, concesionado a DP World Callao S.A.

En forma simultánea al desarrollo de los estudios para la construcción del Muelle Sur, se elaboraron diseños para adecuaciones a la infraestructura portuaria no contemplados en la Concesión de Muelle Sur. Entre estos diseños se encuentra la Ampliación de la Boca de Entrada del Terminal Portuario del Callao.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 DESCRIPCIÓN

El Terminal Portuario del Callao, en adelante TPC, es el principal puerto del Perú, donde arriban naves de diferentes configuraciones y tipo de carga. La infraestructura de la zona de los Muelles 1 al 4 data de las décadas de 1920 y 1930, y de 1960 en el muelle N° 5. El prolongado tiempo de uso, el crecimiento del tráfico naviero y del volumen de carga, equipos y naves de mayor envergadura, son algunos de los factores que provocaron diversos daños en la estructura de los muelles. Desde la entrega en concesión de Muelle Sur el puerto entró en fases de renovación general, repotenciando muelles, mejorando patios de almacenamiento y adquiriendo equipamiento nuevo.

Desde el punto de vista de las embarcaciones, éstas han variado mucho desde los tiempos del diseño original del puerto. La especialización de la nave por tipo de carga y mayor volumen del mismo por unidad de transporte son factores que han generado cambios en el diseño de las embarcaciones, a los cuales la infraestructura portuaria debe adecuarse.

El ingreso de las naves al TPC se realiza a través del canal de ingreso, en primer lugar, y luego cruzan la bocana, que representa el punto más estrecho entre los rompeolas norte y sur. Por lo expuesto, resulta necesario incrementar la profundidad y ancho de la bocana para adecuarse a las necesidades futuras.

Las alternativas de ampliación de la Boca de Entrada deberán adecuarse a estos cambios, y su diseño deberá dar las mayores condiciones de navegación segura. Debe tomarse en cuenta también los efectos del comportamiento del oleaje sobre el área del puerto. Por lo tanto estamos ante una combinación de dos condiciones independientes sobre las que se fundamenta el diseño de la ampliación.

Finalmente las alternativas de diseño de la ampliación, identificando ventajas y desventajas de cada una de ellas permitirá tener un panorama claro para la selección de la más adecuada.

1.2 OBJETIVOS

PRINCIPAL

- Estudiar las condiciones que caracterizan al Terminal Portuario del Callao, en particular los rompeolas, y determinar las más relevantes al momento de diseñar estructuras portuarias.
- Seleccionar la alternativa de diseño de la ampliación de la Boca de Entrada bajo criterios técnicos-económicos.

SECUNDARIO

- Identificar las alternativas de ampliación de la Boca de Entrada que satisfagan los requerimientos de navegación segura.

1.3 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El Terminal Portuario del Callao está ubicado en la Provincia Constitucional del Callao a 15 Km de la Capital, Lima. Sus coordenadas geográficas son:

Longitud: 77° 08' 25" O

Latitud: 12° 02' 42" S

La Figura 1.1 muestra la ubicación del Puerto del Callao y sus coordenadas geográficas:

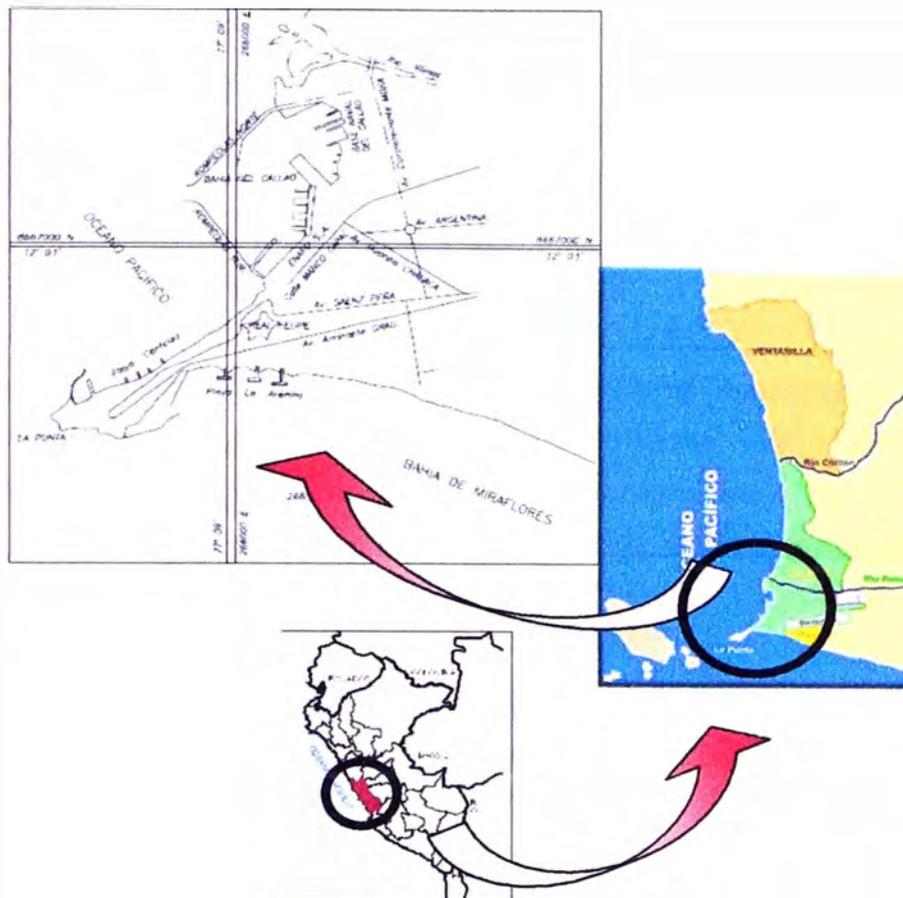


Figura 1.1 - Ubicación del Puerto del Callao

Fuente: Elaboración propia

El Terminal Portuario del Callao está conectado con la zona industrial de la capital y el resto del país, mediante vías de acceso que se dirigen al norte, sur y sierra central. En la dirección norte – sur se conecta con la Carretera Panamericana, mientras que hacia el este se conecta con la Carretera Central, y se empalma con el Ferrocarril Central, el cual cruza la Cordillera de los Andes. Asimismo, se conecta con el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez.

1.4 BREVE HISTORIA

La Historia del Callao como centro poblado, llámese aldeas, asentamientos humanos o ciudad, data de muchos años. Según el Dr. Teodoro Casana, existen vestigios con antigüedad de 10 000 años con características de pobladores dedicados a la pesca y a la guerra. También se han encontrado

restos que relacionan a pobladores de esta zona con culturas como la Chimú y Aymara.

En los primeros años de la Conquista, al Callao se le reconoce como pueblo, y recién en 1555 el Callao tuvo a su primera autoridad municipal, reconociéndola al mismo tiempo como ciudad.

El primer muelle se construyó en 1654, el Virrey Monclava, quien ordena la construcción de una estructura edificada sobre rocas. En 1773 se creó La Aduana del Callao y se aprobó el primer Reglamento de Comercio y Organización de Aduanas. Veinte años después se creó la Escuela Naval con el nombre de "Academia Real de Náutica de Lima".

En 1847 se construyó el Ferrocarril Callao – Lima – Callao, el primero en Sudamérica, con su paradero inicial en la Plaza Matriz del Callao. La Figura 1.2 muestra la configuración del puerto en aquella época:

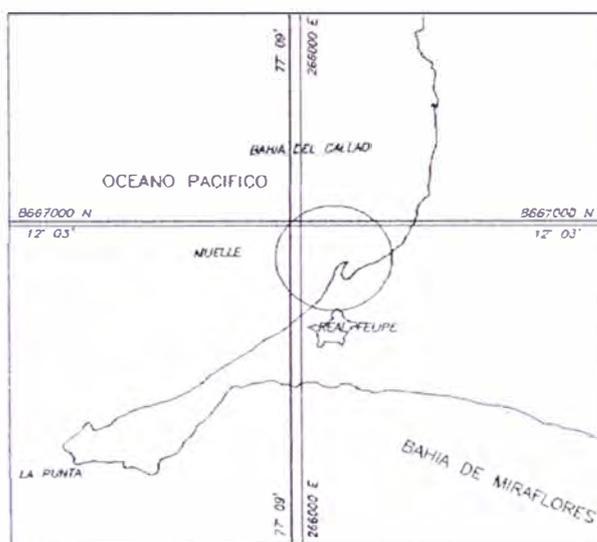


Figura 1.2 – Muelle del Callao 1855

Fuente: Historia Marítima del Perú

Hacia 1869 se encarga la construcción del "Muelle y Dársena del Callao" y se entregó en concesión a empresas extranjeras, entrando en servicio en 1875. La configuración de este muelle y dársena es la que se muestra en la Figura 1.3:

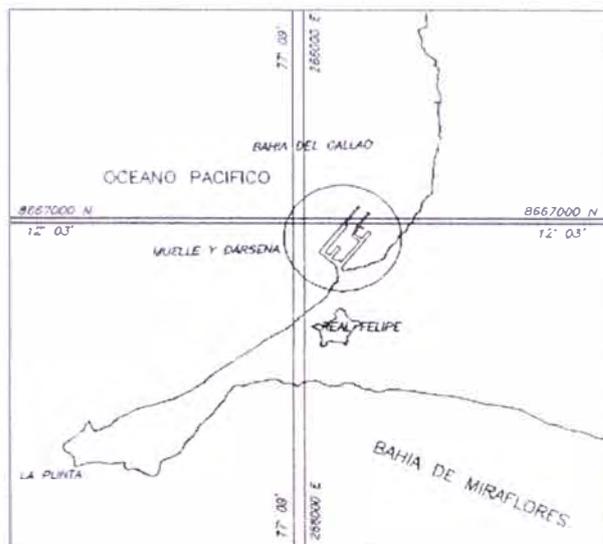


Figura 1.3 – Muelle y Dársena del Callao 1875
Fuente: Historia Marítima del Perú

En el año 1929 el Gobierno peruano adquirió el muelle y dársena del Callao y la entregó en una nueva concesión. El Gobierno solicitó la construcción de una dársena y muelle que resuelva las necesidades de las nuevas embarcaciones y mayor volumen de carga. El proyecto consideró la construcción de cuatro nuevos muelles, así como almacenes y patios para el depósito de la carga, tal como se muestra en la Figura 1.4. El nuevo puerto entró en servicio en el año 1934.

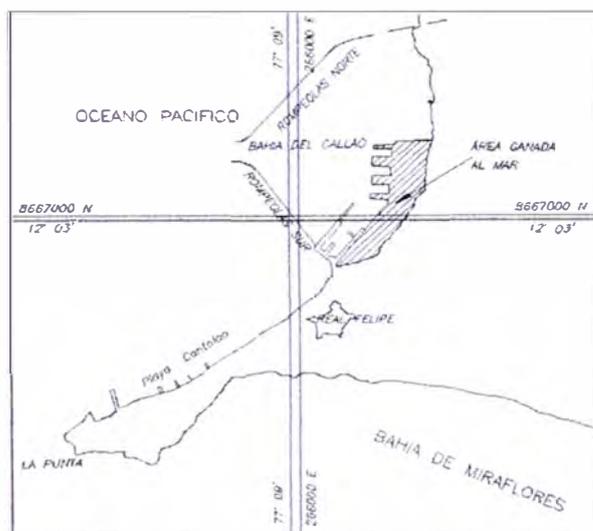


Figura 1.4 – Nuevo Muelle y Dársena del Callao 1934
Fuente: Historia Marítima del Perú

Posteriormente en la década de 1960 a 1970 se construyeron los muelles N° 5 y N° 7 para el manejo de carga general y minerales, el primero, y para la descarga de hidrocarburos, el segundo. Además se ejecutaron obras de modernización en el resto del terminal portuario. Finalmente en el año 2010 se iniciaron las operaciones en el Nuevo Terminal de Contenedores Muelle Sur, con un área total aproximada de 300,000m², de los cuales 80,000m² son en tierra y el resto corresponde a área ganada al mar. La Figura 1.5 muestra la configuración del puerto actual:

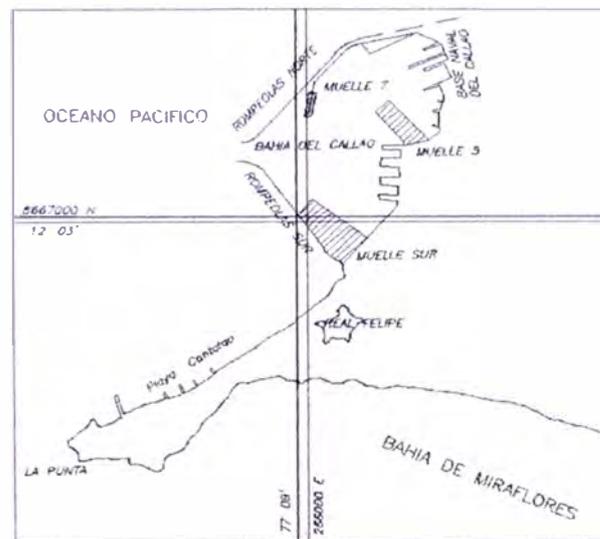


Figura 1.5 – Configuración Actual del TPC 1960 en adelante

Fuente: Estudio de Perfil Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

CAPÍTULO II: EL PUERTO DEL CALLAO

2.1. INFRAESTRUCTURA Y EQUIPAMIENTO EXISTENTE

El TPC cuenta con una infraestructura variada, que ha crecido con el paso del tiempo y con los diversos tipos de embarcaciones y cargamento que ha recibido. De ser un puerto dedicado casi exclusivamente al manejo de bultos o sacos como en sus primeros años de servicio, hoy este puerto brinda sus servicios a buques graneleros, petroleros, mineraleros, entre otros, y a los de mayor uso hoy en día: los buques de contenedores.

Dentro de esta infraestructura tenemos:

- Talleres y equipos flotantes
- Casetas de balanza y pesaje
- Silos
- Almacenes y cámara frigorífica
- Planta térmica
- Subestación eléctrica
- Terminal pesquero
- 11 muelles

Como obras de abrigo se tienen dos rompeolas, identificados como rompeolas Norte y Sur, respectivamente. Ambos rompeolas son del tipo escollera.

La Figura 2.1 muestra la distribución de muelles en el terminal, y en la Tabla 2.1 se detallan las características de los muelles 1, 2, 3, 4, 5, 7 y 11 en cuanto al tipo de espigón, con indicación de sus longitudes, anchos y profundidades.

MUELLE N° 1		MUELLE N° 2		MUELLE N° 3	
Tipo Espigón		Tipo Espigón		Tipo Espigón	
- Largo	182.80 m	- Largo	182.80 m	- Largo	182.80 m
- Ancho	30.50 m	- Ancho	86.00 m	- Ancho	30.50 m
- Profundidad	33-34 pies	- Profundidad	31-32 pies	- Profundidad	33 pies
MUELLE N° 4		MUELLE N° 5		MUELLE N° 7	
Tipo Espigón		Tipo Espigón		Tipo Espigón	
- Largo	182.80 m	- Largo	390.00 m	- Largo	262.80 m
- Ancho	30.50 m	- Ancho	182.80 m	- Ancho	8.32 m
- Profundidad	34-33 pies	- Profundidad	34-36 pies	- Profundidad	34 pies
MUELLE N° 11					
Tipo Marginal					
- Largo	384.00 m				
- Ancho	19.90 m				
- Profundidad	31-32 pies				

Tabla 2.1 - Distribución de Muelles en el TPC

Fuente: ENAPU

La Tabla 2.2 presenta en detalle la distribución de almacenes

Almacenes	Uso	Área
ALMACEN N° 6	Logística	2,420
ALMACEN N° 7	Importaciones	3,721
ALMACEN N° 8	Exportaciones	3,716
ALMACEN N° 9	Carga General	3,156
ALMACEN N° 10	Carga General	4,082
ALMACEN N° 11	ADUANAS	4,080
Zonas		
ZONA N° 1	Contenedores	18,283
ZONA N° 2	Contenedores	48,977
ZONA N° 4	Contenedores	32,396
ZONA N° 6	Contenedores	10,739
Anexos		
ANEXO N° 8	Contenedores	6,737
ANEXO N° 9	Vehículo y Máq.	12,156
ANEXO N° 10	Consolidaciones	7,210
Patio para Contenedores		
PATIO N° 1	Contenedores	38,850
PATIO N° 2 (Muelle 002)	Contenedores	9,185
PATIO N° 3 (Muelle 003)	Contenedores	9,185
PATIO N° 5 (Muelle 005)	Contenedores	27,450
Silos Para Granos	25,765 Toneladas	

Tabla 2.2 - Distribución de Almacenes en el TPC

Fuente: ENAPU

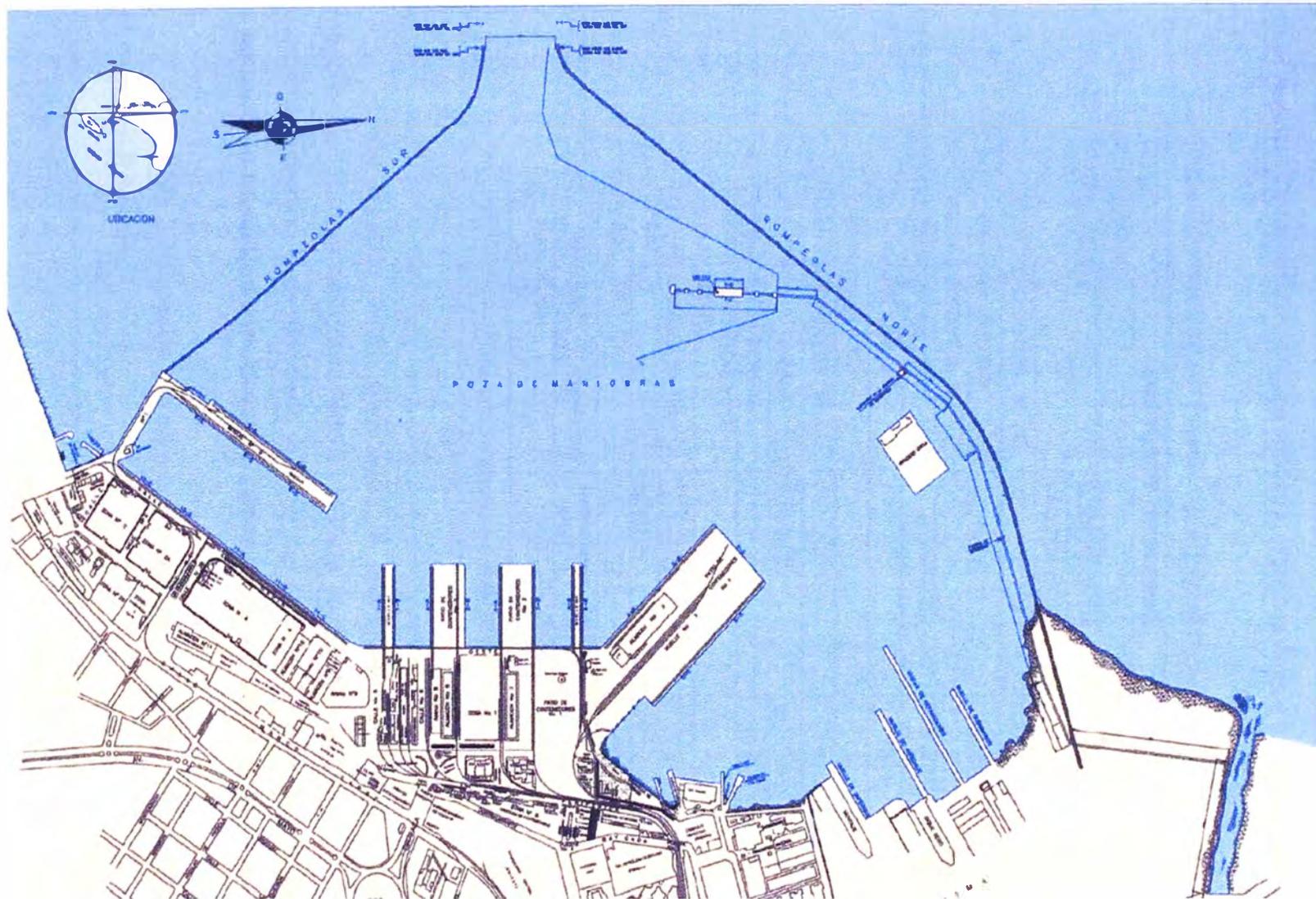


Figura 2.1 - Distribución de Muelles en el TPC

Fuente: Plan Nacional de Desarrollo Portuario. Autoridad Portuaria Nacional

El equipamiento del TPC es variado por lo expuesto anteriormente, y van de acuerdo a las necesidades de las distintas actividades que se llevan a cabo en el puerto. Comprende equipos móviles, equipos fijos e instalaciones diversas.

La Tabla 2.3 muestra un listado de equipos móviles en el puerto:

EQUIPOS DE TRANSPORTE				
EQUIPOS				CANTIDAD
STACKER	LLENOS: 45 TM		9	
	VACIOS: 10 TM		2	
MOVILIZADOR SISU 35 TM				4
TERMINAL TRUCKS				22
ELEVADOR 30 TM				1
ELEVADOR 5.5 TON				3
ELEVADOR 3.2 TM				3
ELEVADOR 2.3 TM				3
TRACTOR TIRO 30 TM				1
GRÚA 16 TM. TADANO				1
GRÚAS 50 TM TEREX				2
GRÚAS PÓRTICO 50 TM RTG-KALMAR				2
GRÚAS MUELLE 50 TM - ZPMC		A CARGO DE PROY. MODERNIZACIÓN M. NORTE		2
TOTAL				55
Almacén	Cantidad	Potencia (HP)	Eslora (m)	Manga (m)
Remolcador	2	1,600	22.50	6.80
Lancha	3	205	13.00	3.90

Tabla 2.3 – Equipo móvil del TPC

Fuente: ENAPU

Estos equipos están dedicados al manipuleo de cargas, que en su mayoría se maneja en contenedores. Este manipuleo comprende carga del depósito al camión o del depósito al barco, el proceso inverso para la descarga, y equipos de traslado del muelle a los patios de contenedores y almacenes.

La Tabla 2.4 muestra las características de los equipos fijos utilizados en el Terminal Portuario:

Otros Equipos	Área	Capacidad
BALANZAS ELECTRONICAS	BALANZA 02	100 Tons.
	BALANZA 04	100 Tons. 80 Tons.
	BALANZA 03	100 Tons.
	BALANZA 03-A	100 Tons.
	BALANZA 06	100 Tons.
GENERADORES	KOHLER	800 Kw
	PERKINS	110 Kw
SISTEMA DE MANIPULEO DE GRANOS		Capacidad
Un Sistema de Traslado de Granos instalado en los amarraderos 11A, 11B y 11C con una extensión de 330 metros.		
CAPACIDAD DE DESCARGA (DISEÑO)		1,100 Tons. / Hora
CAPACIDAD DE DESCARGA (REAL)		800 Tons. / Hora
CAPACIDAD DE ALMACENAJE		25,765 Tons.

Tabla 2.4 – Equipo fijo del TPC

Fuente: ENAPU

Los equipos de seguridad e instalaciones con los que cuenta el TPC se muestran en la Tabla 2.5:

Equipo de Seguridad	Equipo de Seguridad
Unidades móviles	Espuma Tipo AFFF
Autobombas	Kit Control de Fugas
Motobombas	Duchas de descontaminación
Compresoras	Equipo de Recolección Hidrocarburos
Detectores de Vapores orgánicos	Barreras de contención
Equipos de Aire auto contenido	Trajés especiales Nivel A, B y C
Sistema para Descarga y Embarque de Combustible	
Instalación de 3,500 metros lineales de tubería tendida a los largo del Muelle 7 y rompeolas norte, hacia el exterior, distribuida de la siguiente forma:	
Línea de 16 "	Para productos blancos (gasolina, kerosene, solv. y turbo) Presión promedio de trabajo = 100 psi.
Línea de 14"	Para petróleo diesel 2, kerosene y solventes Presión promedio de trabajo = 100 psi
Línea de 12"	Para descarga de GLP (gas licuado de petróleo) y gas Propano y butano Presión promedio de trabajo = 130/150 psi.
Línea de 6"	Para productos químicos acrilonitrilo y dometilnormide, Metano, metilo, metanol Presión promedio de trabajo = 90 psi.
Línea de 22"	Para descarga de productos negros como petróleo 5 y 6, Residual 5 y 6 y asfalto RC-250. Presión promedio de trabajo = 80/100 psi.

Tabla 2.5 – Equipos de seguridad e Instalaciones del TPC

Fuente ENAPU

2.2. DATOS TÉCNICOS RELEVANTES

Se hace referencia a aquellos datos que nos dan una idea del funcionamiento del muelle, los tipos de barcos que puede atender, el manejo de la carga, el rendimiento del puerto. Todo ello se resume en un costo operativo del puerto,

2.2.1 Capacidad Actual

Según datos publicados por ENAPU, el TPC moviliza alrededor del 35% del comercio nacional marítimo, y casi el 80% del movimiento de los puertos públicos en el Perú.

Según el Estudio de Perfil ^[4] de la Ampliación de la Boca de Entrada del TPC, en el año 2006 el 50% de las naves que arribaron al puerto fueron tipo portacontenedores, cerca del 12% fue naves con granel sólido y 9% fue granel líquido, el resto fueron naves de carga general y otros tipos.

Con respecto a la carga, en ese mismo año el 50% fue movilizadada en contenedores, 36% representó carga a granel sólido y 5% represento carga de tipo general.

La infraestructura del TPC, en general, data de la década de 1930. Posteriormente se ejecutaron proyectos de ampliación del puerto y se construyeron nuevos muelles hasta 1968, año en que se construye el Muelle N° 5, el cual es reparado en su totalidad entre 1995 y 1997.

Las condiciones de servicio del diseño original son:

- Manejo de carga general o a granel (bultos).
- Naves de 10 000 DWT.
- Calado máximo de 8m.
- Longitud de amarraderos menor a 200m.

Las condiciones de uso actual de los muelles del TPC son:

- Manejo de carga diversificada: contenedores, granos, minerales, combustibles, etc., requiriendo el uso de maquinaria especializada.

- Naves de 25 000 DWT.
- Calado limitado a 10.5m.
- Eslora de las embarcaciones mayor a 200m.

2.2.2 Operatividad del Puerto

La operatividad del puerto está en función de la eficiencia en la ejecución de las diversas actividades relacionadas con la transferencia de mercadería, ya sea en el mar, de mar a tierra o en tierra. Como se puede deducir, la operatividad implica la evaluación de los equipos que se manejan en el puerto desde el punto de vista de rendimientos, tiempos muertos de trabajo, horarios disponibles de trabajo, capacidad de manejo de carga, etc. En general se trata de una cadena de operaciones, en donde un trabajo eficiente y ordenado determina un costo de servicio del puerto capaz de competir con estándares internacionales.

La infraestructura también juega un papel protagónico en la operatividad del puerto. La maquinaria y equipamiento del puerto exige un área de trabajo determinado para una operación eficiente, además de una plataforma con las condiciones adecuadas de tránsito y de almacenamiento de carga.

2.3. ANÁLISIS DE LA DEMANDA DEL PUERTO

El movimiento en el TPC es intenso, la carga movilizada es variada, sin embargo ésta se concentra en contenedores y graneles, que acumulan el 90% de la carga total movilizada en el puerto, según lo mostrado en la Tabla 2.6.

Tipo de Carga	Años								
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Carga fraccionada	2,005	1,583	845	779	894	681	539	653	777
Carga rodante	-	-	55	40	51	34	29	48	71
Granel sólido	2,710	3,310	3,715	4,291	4,712	4,335	4,634	5,150	5,331
Granel líquido	1,284	1,289	1,547	1,492	1,525	1,308	1,106	1,056	1,130
Contenedores	4,209	4,135	4,711	4,735	4,931	6,167	6,665	6,834	7,419
Total	10,209	10,317	10,874	11,337	12,113	12,525	12,973	13,741	14,728

Tabla 2.6 – Carga movilizada en el TPC (miles de toneladas)

Fuente: Estudio de Perfil Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

En el Estudio de Perfil de Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada del TPC ^[4], se estimó la proyección de movimiento de carga en el puerto para diversos tipos de carga: tales como carga general, contenedores, graneles sólidos y líquidos. En base a ello, se estimó la proyección de movimiento de naves resultando una del tipo portacontenedores como nave de diseño. Esta nave tendría una capacidad aproximada de 5.500 TEU, 275m a 300m de eslora, 40m de manga y 14m de calado, tal como se muestra en la Tabla 2.7.

Cabe destacar que dentro de esta proyección se ha introducido el cambio del tamaño de naves portacontenedores, pasando de 2.400TEU, a 4.000TEU y finalmente 5.500TEU, como se aprecia en la Tabla 2.8.

Generaciones de Naves Portacontenedores					
Generación	Año	TEU	Eslora (m)	Manga (m)	Calado (m)
1	1968	750	180	25	9
2	1972	1,500	225	29	11.5
3	1980	3,000	275	32	12.5
4	1987	4,500	275	39	13.5
5	1997	5,500	300	40	14,0
6	1999	8,000 +	345	43	14.5
7	2006	13,640	398	56	16

Tabla 2.7 – Evolución de naves porta contenedores

Fuente: Elaboración propia

Años	Naves con proyecto			
	2400 TEUs	4000 TEUs	5500 TEUs	Total naves portacontenedores
2,007	1,464	-	-	1,464
2,008	1,577	-	-	1,577
2,009	1,692	-	-	1,692
2,010	1,642	37	-	1,679
2,011	1,592	72	-	1,664
2,012	1,543	109	-	1,652
2,013	1,493	148	-	1,641
2,014	1,443	189	-	1,632
2,015	1,394	231	-	1,625
2,016	1,344	237	25	1,607
2,017	1,295	270	34	1,599
2,018	1,245	303	44	1,592
2,019	1,195	336	55	1,587

Años	Naves con proyecto			Total naves portacontenedores
	2400 TEUs	4000 TEUs	5500 TEUs	
2,020	1,146	369	68	1,583
2,021	1,096	401	83	1,580
2,022	1,047	433	99	1,579
2,023	997	464	118	1,579
2,024	947	494	139	1,580
2,025	898	524	162	1,584
2,026	848	554	187	1,588
2,027	798	582	214	1,595
2,028	749	610	245	1,603
2,029	699	637	278	1,613
2,030	650	662	314	1,625
2,031	600	686	353	1,639
2,032	550	709	395	1,654
2,033	501	730	441	1,672
2,034	451	750	491	1,691
2,035	401	767	544	1,713
2,036	352	783	602	1,736
2,037	302	797	664	1,762
2,038	253	808	730	1,790
2,039	203	816	802	1,821

Tabla 2.8 – Proyección de naves portacontenedores en el TPC

Fuente: Estudio de Perfil – Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

2.3.1 Nave de Diseño y Ancho de la Boca de Entrada del TPC

Se entiende por nave de diseño, aquella cuyas características dominan el diseño de una instalación portuaria. En el caso del TPC, la nave de diseño es del tipo porta contenedores. Sus dimensiones son:

- Eslora: 275m
- Manga: 40m
- Calado: 14m

Es en función a estas características geométricas que se deben dimensionar las estructuras portuarias. En el caso específico de la boca de entrada y el canal de ingreso se cuenta con diversas expresiones para su dimensionamiento. Así, se tiene:

➤ **Estimaciones según Yusen Marine Science:**

Según el consultor Yusen Marine Science, el ancho del canal de ingreso y boca de entrada están en función de la eslora de la nave (B), un margen de seguridad, y un incremento adicional por deriva de la nave. En el siguiente esquema se observa lo mencionado anteriormente:

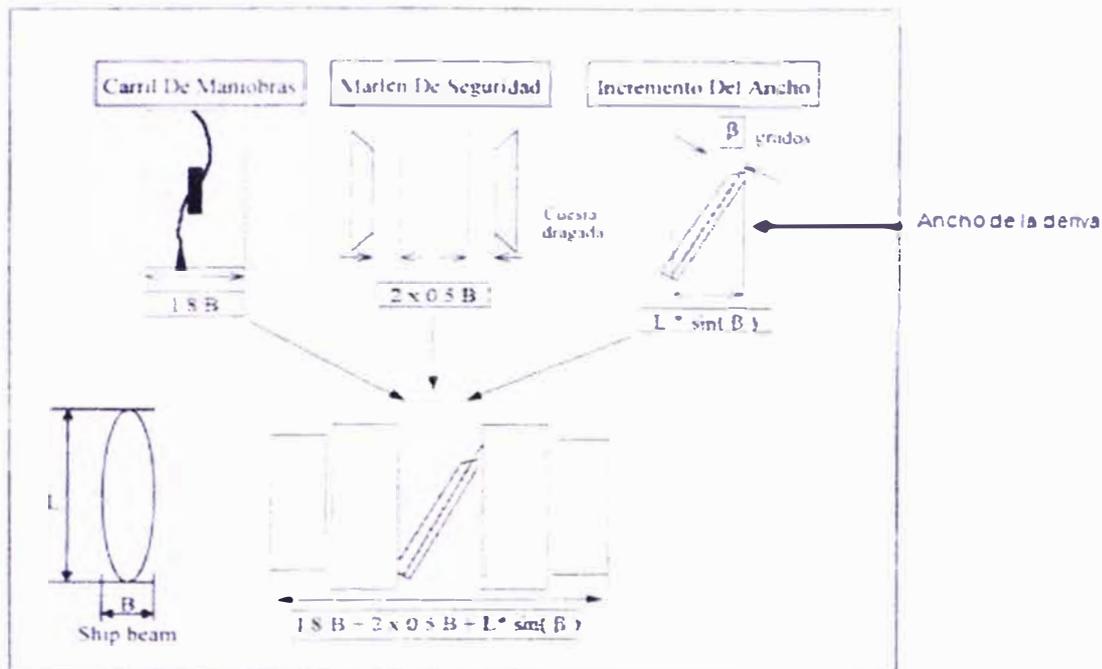


Figura 2.2 – Expresiones para la estimación del ancho de la boca de entrada
Fuente: Estudio de Perfil – Ampliación de la Boca de Entrada

Aplicando los siguientes valores en las fórmulas:

$$B = 40\text{m}$$

$$L = 275\text{m}$$

$$\beta_1 = 5.4^\circ$$

para buena visibilidad

$$\beta_2 = 10.2^\circ$$

para baja visibilidad

$$A_1 = 1.8B + 2 \times 0.5B + L \cdot \text{seno}(\beta_1) = 1.8 \cdot 40 + 40 + 275 \cdot \text{seno}(5.4^\circ) = 137.9\text{m}$$

$$A_2 = 1.8 \cdot 40 + 40 + 275 \cdot \text{seno}(10.4^\circ) = 160.7\text{m}$$

➤ **Estimaciones según Keinosuke Honda:**

El ancho del canal se estima en función de la manga de la nave:

$$A = 4.6 * B = 4.6 * 40 = 184m$$

➤ **Estimaciones según Port Designer's Recommendations and Guidelines Manual [7]:**

“El ancho del fondo del canal de ingreso de un carril deberá ser 3.6 – 6 veces la manga de la nave de diseño dependiendo de las condiciones de viento y marítimas...”

En resumen se tienen los siguientes resultados (en términos de *B*):

Metodología	Mín.	Máx.
Yusen Marine	3.4 B (136m)	4 B (160m)
Keinosuke Honda	4.6 B (184m)	4.6 B (184m)
Port Designer's Recommendations and Guidelines Manual	3.6 B (144m)	6 B (240m)

Tabla 2.9 – Estimaciones del ancho de la boca de entrada

Fuente: Elaboración propia

Finalmente el ancho de la bocana será el valor medio entre los máximos estimados en la Tabla 2.9; es decir, 180m.

CAPÍTULO III: ESTUDIOS BÁSICOS DE INGENIERÍA

Este capítulo estará dedicado a la descripción de las condiciones físicas del entorno del TPC. De manera genérica se señalarán los estudios que se realizan para el diseño de un puerto.

3.1. INVESTIGACIONES FÍSICAS

3.1.1. Batimetría

Está referido al conocimiento de las profundidades marinas y a la calidad del fondo marino, los cuales son muy importantes para la localización y diseño de las instalaciones portuarias. Permitirá definir la cota de dragado necesario para garantizar las profundidades operativas requeridas.

Asimismo, conocer el tipo de material del fondo marino, permitirá precisar la capacidad portante del suelo y brindará información para el diseño de las estructuras portuarias.

3.1.2. Topografía

De manera similar al estudio del fondo marino, la topografía proveerá información sobre el terreno y su conformación. Permitirá conocer la disponibilidad de superficie terrestre y la necesidad de efectuar demoliciones o incluso, construir áreas sobre el mar.

3.1.3. Oceanografía

Comprende el estudio de todo lo relacionado al movimiento marino, sus corrientes, oleaje, nivel de marea, etc., que definen el comportamiento marino en la zona de estudio y las condiciones a las que se someterán las estructuras portuarias. Se incluyen los siguientes estudios:

- a. **Oleaje:** Es una sucesión de ondas en el mar, de diferentes alturas y periodos, generados por acción del viento que sopla sobre la superficie del agua. Es un fenómeno de carácter aleatorio por lo que se recurre a su estudio mediante técnicas estadísticas para identificar un estado de mar.
- b. **Marea Astronómica:** Corresponde a variaciones periódicas del nivel del mar debidas a la atracción de la luna, del sol, y en menor grado de los demás planetas.
- c. **Marea Meteorológica:** Corresponde a variaciones no periódicas del nivel del mar producidas por cambios en la presión atmosférica o por la acción del viento y del oleaje. Esos datos servirán para el dimensionamiento de las obras de abrigo y las barreras de prevención de inundaciones.
- d. **Corrientes:** Corresponde a los movimientos estacionarios de masas de agua, que acondicionan el transporte de sedimentos, posibles socavaciones y los movimientos de los barcos atracados.

3.1.4. Meteorología

Comprende el estudio del clima de la zona, tales como:

- a. **Vientos:** Es fundamental para la orientación de los muelles, sobreelevaciones del nivel del mar.
- b. **Presión Atmosférica:** Esta información permite estimar, mediante tablas o métodos matemáticos, las sobreelevaciones del nivel del mar producidas por las bajas presiones.
- c. **Visibilidad:** La ocurrencia con relativa frecuencia de nieblas puede provocar problemas de navegación en la zona, si no se dispone de los sistemas de señalización y balizamiento adecuados.

- d. **Lluvias:** La presencia de lluvias determinará los sistemas de drenaje y evacuación de agua más apropiados y la necesidad o no de disponer de almacenes techados para el depósito de mercadería.

3.2. INFORMACIÓN DEL TERMINAL PORTUARIO DEL CALLAO

Según los estudios definidos anteriormente, se ha recopilado la información requerida del TPC. En forma resumida estos estudios arrojaron los siguientes resultados:

3.2.1. Temperatura

La temperatura del aire media mensual varía en los 22° C promedio en verano y 17° C en invierno. Por otro lado, la temperatura superficial del mar varía entre los 17° C en verano, y 15° C en invierno.

3.2.2. Precipitaciones

La precipitación es escasa en la zona. Los valores medios mensuales varían entre 0.1mm a 0.6mm de precipitación. La precipitación sólida es nula.

3.2.3. Viento

El viento prevaleciente media mensual se mantiene constante en el año, tiene una dirección Sur y una intensidad de 4.7 nudos en promedio.

3.2.4. Mareas

De acuerdo al Plan Nacional de Desarrollo Portuario ^[1] las mareas son de tipo semidiurnas, con amplitudes promedio del orden de 0.55m; las de sicigias alcanzan valores promedios de 0.73m.

En el año 2007, en el **Perfil del Proyecto “Mejoramiento y/o ampliación de la boca de entrada al Terminal Portuario del Callao”** ^[4] se concluyó, tras una campaña de cuatro días de toma de datos, que la marea es de tipo semidiurna (dos pleamares y dos bajamares en 24horas). Los cálculos y ajustes posteriores mostraron los siguientes resultados:

- Pleamar máxima: 1,16m, Pleamar media: 0,73 m
- Bajamar mínima: -0,18m, Bajamar media: 0.21 m
- Amplitud media: 0,54m, Amplitud sicigia: 0,97 m

En el estudio de Factibilidad del año 2008, las conclusiones fueron similares, con una toma de datos de seis días:

- Pleamar máxima: 1,18 m
- Bajamar mínima: -0,09 m
- Amplitud media: 0,54m, Amplitud sicigia: 0,97 m

3.2.5. Oleaje

Este estudio se enfoca principalmente en el oleaje de aguas profundas, las cuales son generadas por los vientos en zonas alejadas de la costa. Este oleaje es estudiado desde un punto muy alejado de la costa, donde no existen efectos locales como accidentes geográficos.

En el Estudio Definitivo ^[5], la metodología para el estudio de las olas consistió en la recopilación de datos satelitales del oleaje histórico en aguas profundas frente a las costas del Perú. Posteriormente se calibraron mediante regresiones a partir de datos actuales, obteniéndose coeficientes de correlación superiores a 0.80 e índice de dispersión entre 0.100 y 0.170.

A partir de un análisis estadístico de los datos es posible determinar los siguientes parámetros:

- Altura de ola significativa (**Hmo**)
- Dirección media de oleaje (**Mdir** o **Dm**)
- Dirección pico del periodo de pico (**ThTp** o **Dmp**)
- Periodo de pico (**Tp**)
- Periodo medio (de energía) de oleaje (**Tm-10**)
- Periodo de oleaje medio (**Tm01** o **Tmo**)
- Periodo de oleaje medio (**Tm02**) (periodo de paso por cero)

Los valores obtenidos en este estudio son indicados en la Tabla 3.1:

	Rango	Prob.	Media	Prob.	Quartil 98%
Altura de ola significativa	1 m - 4m	97.70%	1m - 3m	93.80%	3.14 m
Dirección media	SSW-SW				
Periodo medio	6s - 14s	93.50%	7.5s - 11s	80.50%	12.35s
Periodo pico	7s - 20s	99.40%	12s - 14s	61.10%	16.48s

Tabla 3.1 – Resultados del estudio de oleaje en aguas profundas

Fuente: Estudio Definitivo "Mejoramiento y Ampliación de la Boca de Entrada"

3.2.6. Estudio de Propagación

El estudio de Propagación tiene como propósito obtener las alturas de ola al pie del rompeolas y evaluar la agitación en el interior del puerto.

Para ello la metodología del estudio consiste en los siguientes pasos:

1. Recopilación de información
2. Estudio del clima marítimo en aguas profundas (evaluación estadística y probabilística)
3. Selección de estados más probables en aguas profundas
4. Propagación de los estados a la zona de estudio, seleccionado como punto de aguas de transición.

Bajo esta metodología, en el **Proyecto de Desarrollo del Puerto del Callao** de 1998, concluyó lo siguiente:

Los registros de olas muestran alturas de ola menores a un metro con altura de ola significativa diaria (H_s) de 1.52 a 0.36m. Las alturas promedio (H) entre 0.98 y 0.29m y alturas máximas diarias ($H_{máx}$) variando entre 1.63 y 0.40m. Los periodos promedio (T) estuvieron entre 15.8 y 11.3 segundos.

De los registros de las alturas y periodos significantes, se puede observar que la mayoría de olas con periodos variando entre 15 y 16 segundos tienen alturas de ola entre 0.25 y 0.40m.

Sin embargo, en el **Estudio Definitivo** ^[5], se modificó la metodología indicada en el punto 3 del apartado 3.2.6, en el sentido de que seleccionaron

todos los estados de mar probables (con probabilidad diferente a cero) y éstas fueron propagadas hasta el punto de transición. Además se añadió un análisis comparativo de resultados del estudio de propagación con el modelo numérico y datos recogidos in-situ.

En resumen, la metodología modificada en el Estudio Definitivo fue la siguiente:

1. Recopilación de información
2. Estudio del clima marítimo en aguas profundas (evaluación estadística y probabilística)
3. Selección de todos los estados probables (probabilidad > 0) en aguas profundas
4. Propagación de los estados seleccionados a la zona de estudio, identificado como punto de aguas de transición.
5. Estudio de transformación del oleaje desde aguas profundas hasta aguas de transición
6. Estudio comparativo de resultados de la propagación con el modelo numérico
7. Selección de estados más probables y/o de mayor energía y determinación de parámetros de estudio

Los resultados obtenidos de este estudio fueron:

- La altura de ola significativa H_s oscila entre 0.2 y 1.5m (probabilidad de 95.2%) concentrándose los valores entre 0.3 y 0.60m (probabilidad 60.1%)
- La dirección media oscila entre SSW y WNW, concentrándose en las direcciones W y WNW
- El periodo medio oscila entre los 2-16s (probabilidad de 99.9%), concentrándose en 5-11s (81%)
- Al comparar el periodo medio contra la dirección media, se observa el mismo comportamiento respecto a la altura de ola. El sector más probable es WNW y W, siendo W la más energética.

En ambos estudios el punto de aguas de transición se ubicó muy cercano al inicio del Canal de Ingreso, como se aprecia en la Figura 3.1.

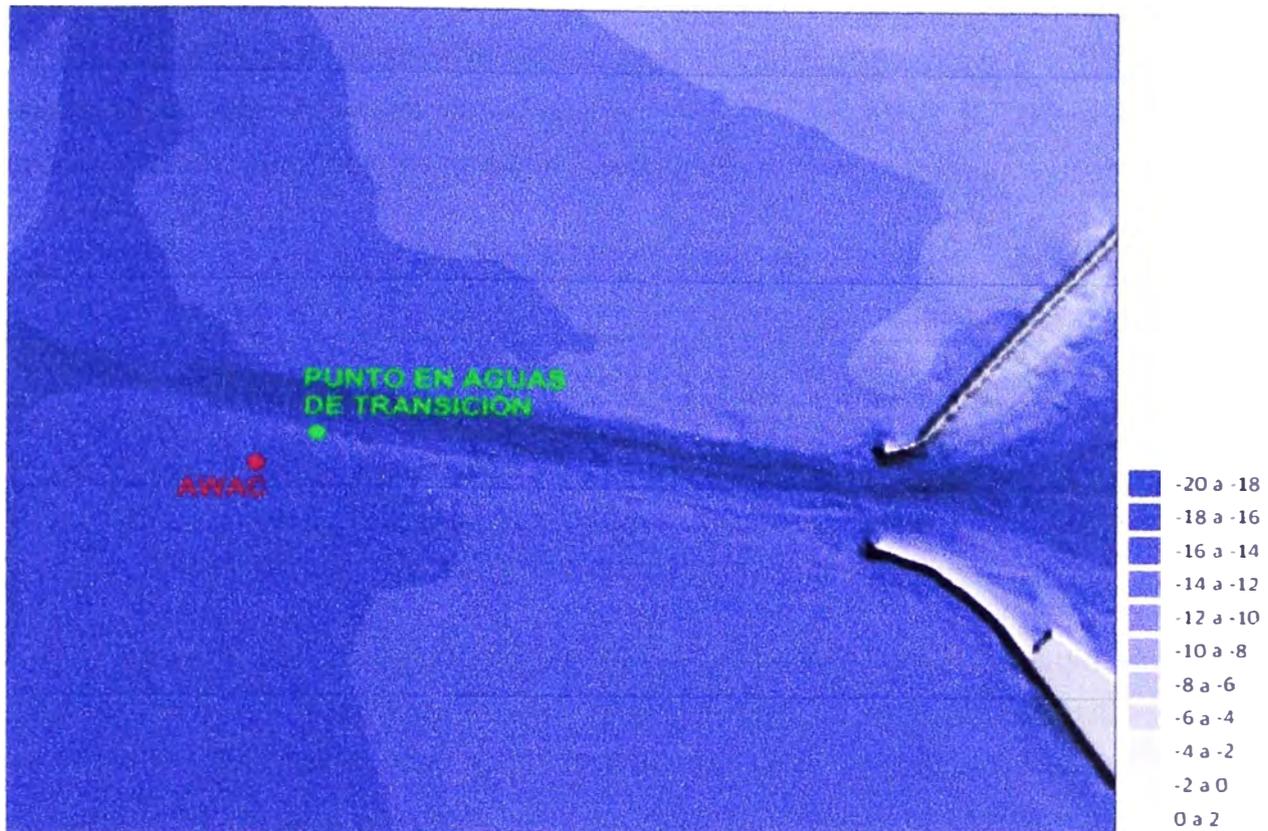


Figura 3.1 – Ubicación del Punto de Aguas de Transición y sonda AWAC

Fuente: Estudio Definitivo del Proyecto “Mejoramiento y Ampliación de la Boca de Entrada

3.2.7. Estudio de Agitación

El objetivo de este estudio es determinar los efectos de las obras portuarias en la agitación de las aguas, dentro y fuera del terminal. El estudio de estos efectos permitirá evaluar la operatividad en el interior del puerto.

El análisis de la agitación se lleva a cabo comparando diferentes escenarios relacionados entre sí. En el caso del TPC el análisis se llevará a cabo en cada fase de desarrollo proyectado, así, las fases serán las siguientes:

- **Fase 0:** representa el estado del terminal sin las obras de Muelle Sur, ancho en la boca de 180m y calado limitado a 11m en la dársena
- **Fase 1:** incluye la ampliación de la boca de entrada a 240m aprox. Y dragado a -14m en la dársena

- **Fase 2:** incluye el dragado a -16m

En el **Estudio de Perfil** ^[4] utilizando el modelo STWAVE y tomando como punto de transición la Boca de Entrada del TPC se obtuvieron coeficientes de agitación K_a como se indican en la Tabla 3.2:

Evento	Dirección	T_p	K_a
1	S 180°	12	0.13
2	SSW 205°	14	0.14
3	SSW 205°	18	0.17
4	SW 225°	14	0.17
5	W 270	14	0.34

Tabla 3.2 – Valores de K_a al ingreso de la bocana

Fuente: Estudio de Perfil "Mejoramiento y Ampliación de la Boca de Entrada"

La altura de ola significativa en aguas profundas considerada en este estudio fue $H_s = 6.50\text{m}$. Así, la altura de ola de diseño, dada por el producto $H_s \times K_a$ oscilaría entre 1.3m y 2.1m al pie de los rompeolas. Mediante la utilización de ábacos se determinó que con la ampliación de la boca la agitación en el interior del puerto, si bien crecía en el orden del 10%, no era relevante y no afectaba las condiciones operacionales del puerto.

En el **Estudio de Factibilidad** se aplicó el modelo numérico elíptico CGWAVE para la simulación de la propagación del oleaje. Los resultados de la simulación de la propagación de aguas profundas a aguas someras se muestran en la Tabla 3.3:

PROPAGACIÓN RÉGIMEN MEDIO			
H_o (m)	Dirección	H_s en bocana	K_p
2	SW	1.6	0.80
	S	0.5	0.25
3	SW	2.4	0.80
	S	0.8	0.27

Tabla 3.3 – Valores de K_p al ingreso de la bocana

Fuente: Estudio Definitivo "Mejoramiento y Ampliación de la Boca de Entrada"

Posteriormente se obtuvieron los coeficientes de agitación en el interior de la dársena:

PROPAGACIÓN RÉGIMEN MEDIO		
Escenario	Dir.	Ka
Situación Inicial	SW	0.30
	W	0.10
Fase 1	SW	0.20
	W	0.05
Fase 2	SW	0.15
	W	0.05

Tabla 3.4 – Valores de Ka al ingreso de la bocana

Fuente: Estudio Definitivo "Mejoramiento y Ampliación de la Boca de Entrada"

Según los resultados de la Tabla 3.4, se observa que los valores de agitación K_a en el interior son mínimos, con alturas de ola entre 5 y 20cm.

En el **Estudio de Definitivo** los resultados fueron los siguientes:

- Los oleajes con dirección **NW** en el punto de control producen una agitación interior en la Situación Inicial en torno a los 0.30-0.50m. Las Fases 1 y 2 reducen la agitación interior.
- Los oleajes con dirección **WNW**, $H_{mo}=0.80m$ o $H_{mo}=1.20m$ y periodo $T_p =10-14s$ en el punto de control, tienen una agitación interior pequeña
- Los oleajes con dirección **WNW**, $H_{mo}=1.20m$ y periodo $T_p =18-22s$ en el punto de control, tienen una agitación en la zona de la entrada del puerto por encima de 0.50m, siendo más energético los estados de mar en Pleamar que en Bajamar. En la Fase 1 y Fase 2 se reduce la agitación interior.
- Los oleajes con dirección **WNW** y $H_{mo}=1.80m$ en el punto de control, tienen una agitación interior y en la entrada del puerto, en la Fase0, superior a los 0.50m. En la Fase 1 y Fase 2: se reduce la agitación interior, siendo más favorable la Fase 2.

- Los oleajes con dirección **W** y $H_{mo}=0.80m$ en el punto de control, se caracterizan porque en todas las Fases la agitación es inferior a los $0.30m$, exceptuando algunas zonas. La agitación en las Fase 1 y 2, mejora en el norte de la dársena pero empeora en la entrada del puerto y en la zona norte del muelle sur.
- Los oleajes con dirección **W** y $H_{mo}=1.20m$ en el punto de control, se caracterizan porque en las Fases 0 y 1 la agitación está en torno a los $0.50m$, mejorando en la Fase 2.
- Los oleajes con dirección **WSW**, se caracterizan porque en la Situación Inicial la agitación interior alcanza valores por encima de los $0.50m$ en algunas zonas de la dársena. La agitación empeora en las Fase 1 y 2, sin embargo esta dirección tiene una probabilidad de ocurrencia de un 14%
- Los oleajes con dirección **SW** y **SSW**, se caracterizan porque en la Situación Inicial la agitación interior alcanza valores por encima de los $0.30m$ en la zona del dique norte. La agitación empeora en las Fase 1 y 2, no obstante la probabilidad de ocurrencia de oleajes en estas dos direcciones es pequeña siendo de un 10%.

3.2.8. Corrientes

Las corrientes en la bahía son de valor poco significativo, del orden de 0.3 a 0.5 nudos y su deriva es hacia el Norte.

3.2.9. Estudio Geotécnico

En lo referido al Estudio Geotécnico se cuenta con amplia información de estudios previos que caracterizan el fondo y sub suelo en la zona del puerto.

Así, de los sucesivos estudios realizados en el Puerto del Callao se pueden resumir lo siguiente:

- **Proyecto de Desarrollo del Puerto 1998**

Se tomaron un total de 32 sondeos a rotación, 26 de ellos en mar y 6 en tierra, con toma de muestras en la zona de los rompeolas norte y sur, y la zona de relleno.

- **Estudio para el Nuevo terminal de Contenedores 2007 y 2008**

Se ejecutaron 15 sondeos a rotación, 10 de ellos en mar y 5 en tierra. Además se realizaron un total de 8 sondeos en el tramo final del rompeolas sur.

- **Estudio de Factibilidad para la Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada 2008**

Se realizaron 8 jet probe en los bordes del canal de ingreso y 4 sondajes.

- **Estudio de Definitivo para la Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada 2008-2009** ^[5]

Se realizaron 3 sondeos en las futuras ubicaciones de los rompeolas y 2 sondeos adicionales en los muelles 2 y 4. Además se realizaron perforaciones jet probe en el canal de ingreso y tres perfiles sísmicos.

La Figura 3.2 muestra la ubicación de los sondeos de estudios geotécnicos realizados en el TPC en los años 1998, 2007, 2008 y 2009.

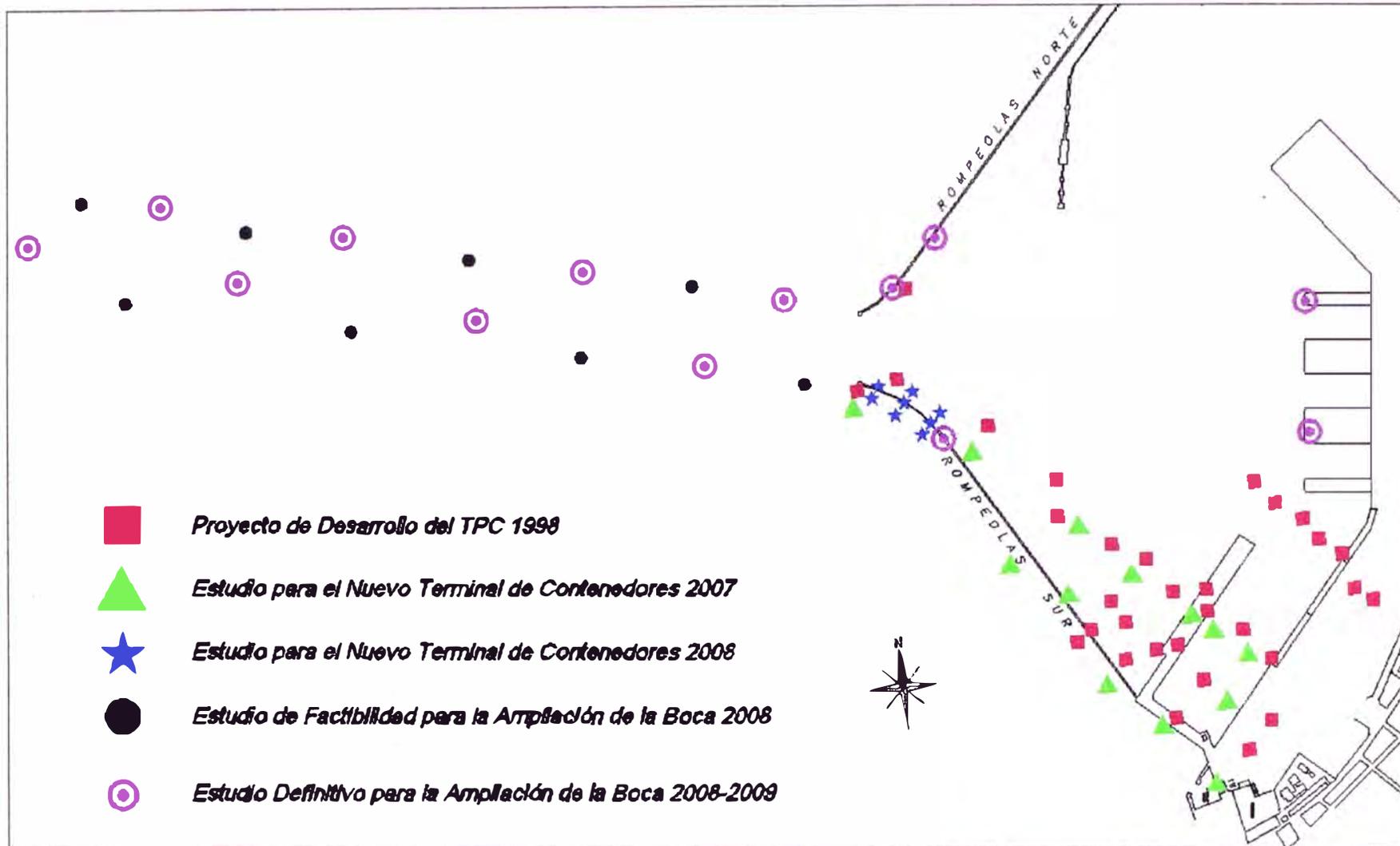


Figura 3.2 – Ubicación de sondeos de estudios geotécnicos realizados en el TPC

Fuente: Estudio Definitivo de la Ampliación de la Boca de Entrada

En resumen el fondo marino está conformado por tres capas identificadas como A-1, A-2 y D-1; y se muestran en la Figura 3.4.

La capa **A-1** está formada por depósitos fluvio-aluviales, procedentes de la desembocadura del Río Rímac. El material por lo general es limoso o arcillo limoso, con alto contenido de materia orgánica, de color gris oscuro a negro. Su profundidad es apreciable, pero variable, de 10m a 20m. Es de consistencia muy blanda y saturada. Este material es consolidable y de muy baja capacidad portante; geotécnicamente, su comportamiento es deficiente.

La capa **A-2** consiste en material arenoso o arcilloso con limos y gravas. Su comportamiento mejora comparado con la capa A-1 gracias a su compacidad densa a medianamente densa y consistencia muy firme a dura. Su potencia es variable, desde 0 hasta 13m.

Por debajo de este estrato se encuentra la capa **D-1**, o la grava de Lima. Son capas de gravas con matriz areno-limoso de amplia granulometría. Es un suelo de gran resistencia mecánica y baja compresibilidad. Suele presentar lentes de capas menos densas de arenas, limos arcilloso y arcillas limosas. La capa D-1 es la capa que debe recibir las cargas de las estructuras, ya que su comportamiento geotécnico es bueno a ciertas profundidades.

Parámetros Geotécnicos Recomendados

En base a los estudios anteriores se seleccionaron los parámetros mostrados en la Tabla 3.5, y fueron utilizados en los cálculos y diseño:

		γ_{sat} (kN/m ³)	c' (kPa)		ϕ' (°)		KH (kN/m ³)	E MPa	n
			Corto Plazo	Largo Plazo	Corto Plazo	Largo Plazo			
A-1	Limo arcilloso muy blando	15.5	22	0	0	20	5	1	0.40
A-2	Arenas y arcillas limosas medianamente densas	18	-	-	5	31	10	10	0.35
D-1	Grava de Lima	21	-	-	0	38	100	150	0.20

Tabla 3.5 – Parámetros geotécnicos de diseño

Fuente: Estudio Definitivo "Mejoramiento y Ampliación de la Boca de Entrada"

Estudio de Taludes en el Fondo Marino

En el levantamiento batimétrico realizado para el Estudio Definitivo se tomaron secciones transversales a cada 50m del canal de ingreso. Dichas secciones se muestran en la Figura 3.3 y Tabla 3.6.

	Lado Norte		Lado Sur	
	H	V	H	V
1	14	1	17	1
2	16	1	19	1
3	16	1	20	1
4	16	1	25	1
5	16	1	19	1
6	14	1	20	1
7	11	1	23	1
8	11	1	25	1
9	12	1	26	1
10	12	1	16	1

Tabla 3.6 – Taludes existentes en el canal de ingreso

Fuente: Estudio Definitivo “Mejoramiento y Ampliación de la Boca de Entrada

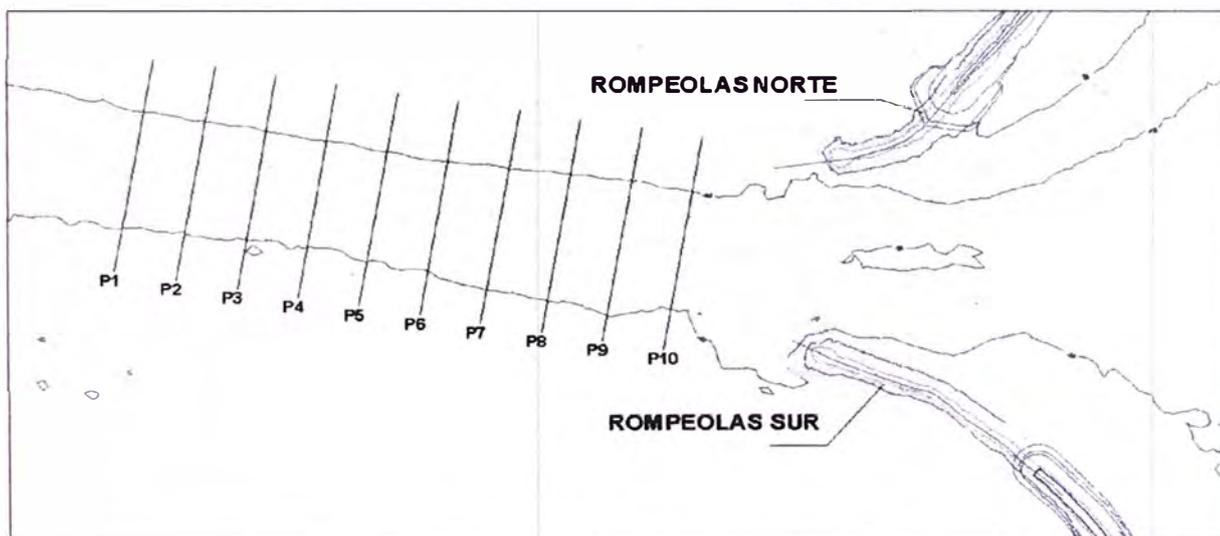


Figura 3.3 – Perfiles transversales en la zona del canal de ingreso

Fuente: Estudio Definitivo de la Ampliación de la Boca de Entrada

De acuerdo a este levantamiento, se observa que el lado sur tiene una talud más tendido que el lado norte, con valores 16H:1V hasta 26H:1V en el lado sur, contra 11H:1V a 16H:1V en el lado norte. Se tomará un valor intermedio, que esté cerca del talud natural más estable y que a largo plazo no sufra mayores modificaciones. El talud será 15H:1V.

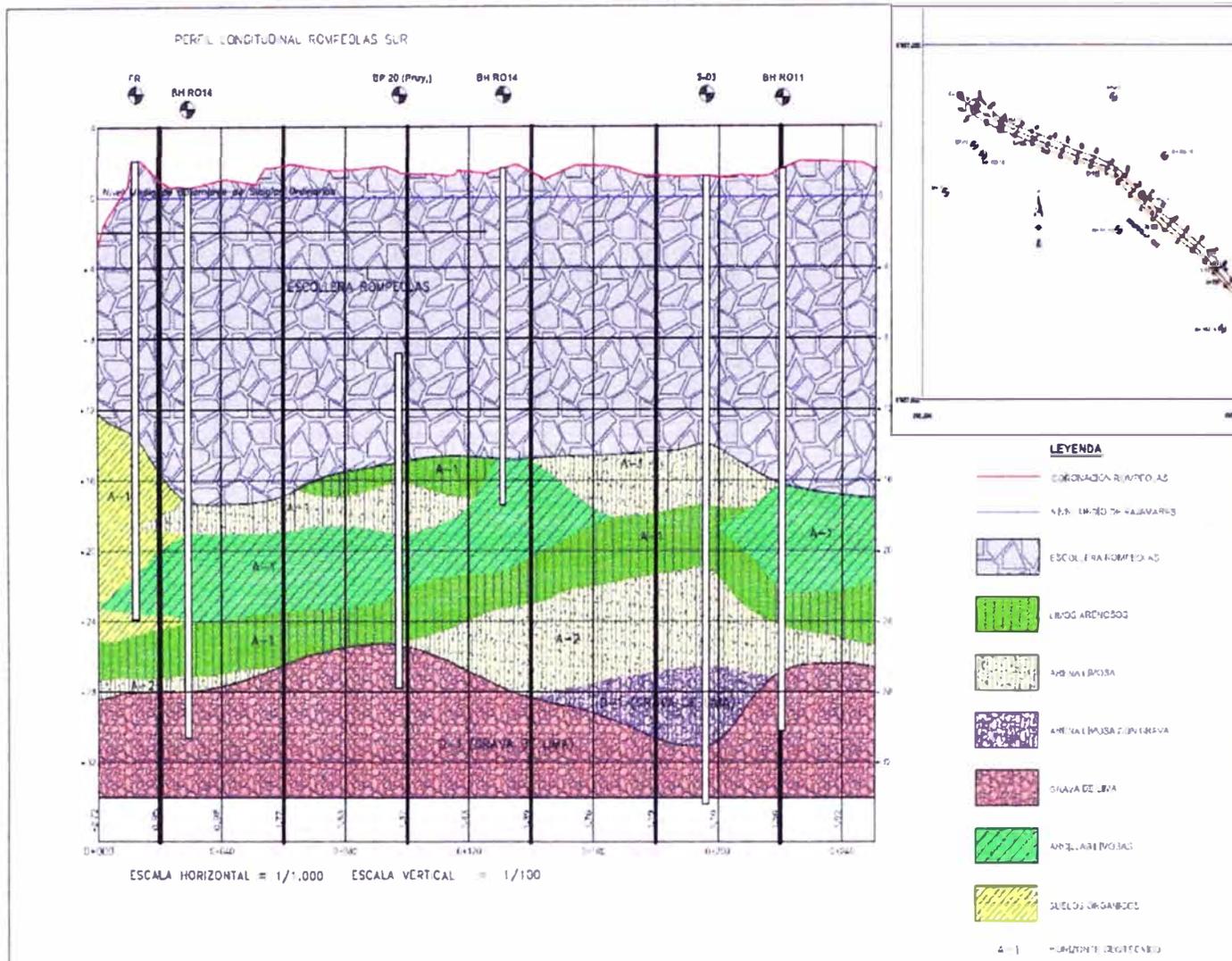


Figura 3.4 – Perfil estratigráfico del eje del rompeolas Sur
Fuente: Estudio Definitivo de la Ampliación de la Boca de Entrada

CAPÍTULO IV: DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LA BOCA DE ENTRADA DEL TERMINAL PORTUARIO DEL CALLO

4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESTRUCTURA

El acceso al Terminal Portuario del Callao consiste en un canal exterior de 1,000m de largo y 180m de ancho, y está demarcado por 2 boyas flotantes y 2 balizas colocadas en los cabezos de los rompeolas sur y norte. Según la información recopilada para el estudio, el canal de ingreso limitaba el acceso a naves con un máximo de 11m de calado.

La Boca de Entrada es el paso crítico donde las naves atraviesan la abertura entre los rompeolas norte y sur y se internan en las aguas del puerto. Esta abertura mide aproximadamente 130m a 140m de ancho en la base del lecho marítimo a una profundidad media de 10m, con respecto al NMBSO. La profundidad de la bocana varía, siendo -14m en su centro y en los extremos entre -10m a -12m, siendo su profundidad segura de 11m, en un ancho de 90m con un talud de fondo marino de 1/5 (V/H).

4.2. DESCRIPCIÓN DEL ESTADO INICIAL

Tanto el rompeolas norte como el sur, consisten en enrocados conformados por bloques rocosos. Para conocer el estado de los rompeolas se realizaron levantamientos topográficos y se elaboraron registros fotográficos.

4.2.1. Rompeolas Norte

El rompeolas norte está orientado en la dirección NE-SW. Tiene una longitud de 1750m aprox, el cual inicia en el área de la Base Naval, sobre el extremo Norte del puerto. Este rompeolas protege al puerto del oleaje proveniente del oeste y norte. Sirve además como barrera de contención

del material fino arrastrado por el río Rímac cuando las corrientes toman el sentido hacia el sur.

El rompeolas norte sirve también como protector de las tuberías y líneas de conducción que conectan el muelle N° 7 de hidrocarburos.

4.2.2. Rompeolas Sur

Por su parte, el rompeolas sur está orientado en la dirección NW-SE. Tiene una longitud total de 1090m aproximadamente. Sobre el primer tramo de su recorrido se ha construido el Nuevo Terminal De Contenedores.

La Figura 4.1 muestra la sección transversal típica de los rompeolas.

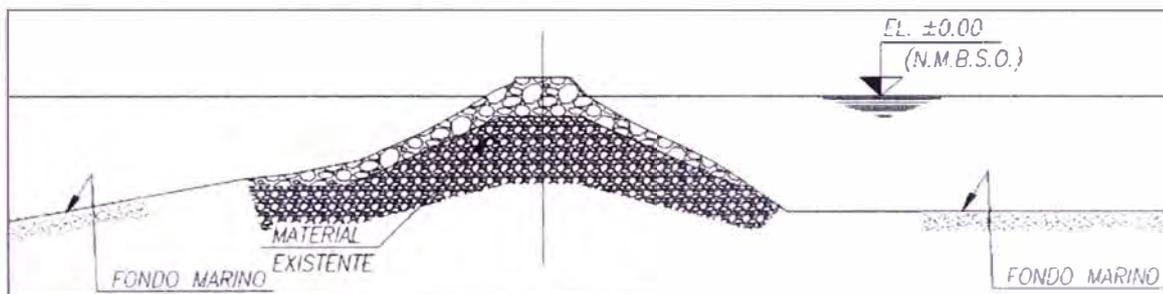


Figura 4.1 – Sección Transversal típica de los rompeolas

Fuente: Elaboración Propia

4.2.3. Boca de Entrada

La Boca de entrada es el lugar por donde las naves ingresan a aguas protegidas y realizan posteriormente las maniobras de atraque. La Boca tiene un ancho de 130m aproximadamente en el fondo, y 180m aprox. al nivel 0.00 del NMBSO como se aprecia en la Figura 4.2. La profundidad varía entre 10m a 12m en los extremos, mientras que en el centro la profundidad puede llegar a 14m.

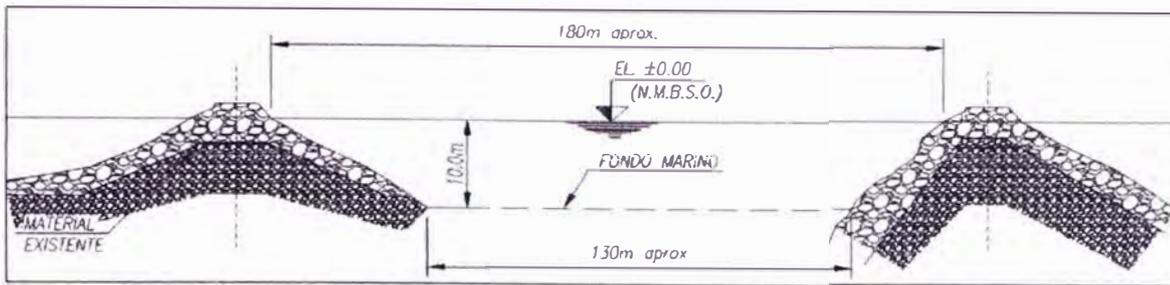


Figura 4.2 – Sección Transversal de la Boca de Entrada
Fuente: Elaboración Propia

4.3. ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE LOS ROMPEOLAS

4.3.1. Características Geométricas

Los diques de cierre de la Boca de Entrada del TPC presentan en la actualidad, en las proximidades de los morros, la geometría siguiente:

- Ancho en coronación: 6,5 a 7 m
- Taludes: 3H:2V
- Cota de coronación: + 2,1 m
- Cota de fondo: -8,5m a - 11 m

Estas características se observan en la Figura 4.3.

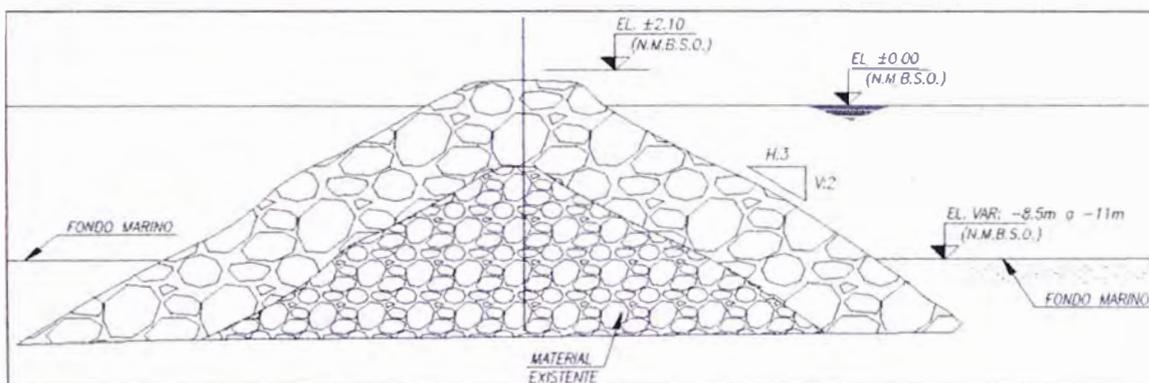


Figura 4.3 – Características de la Sección Transversal del Rompeolas
Fuente: Elaboración Propia

Los valores mostrados se consideran representativos tanto para el rompeolas norte como el sur. La cota de fondo del enrocado, si bien es variable, se puede asumir en -14m.

Desde el punto de vista geotécnico, los rompeolas están asentados en el horizonte A-1 tal como se aprecia en la Figura 4.4:

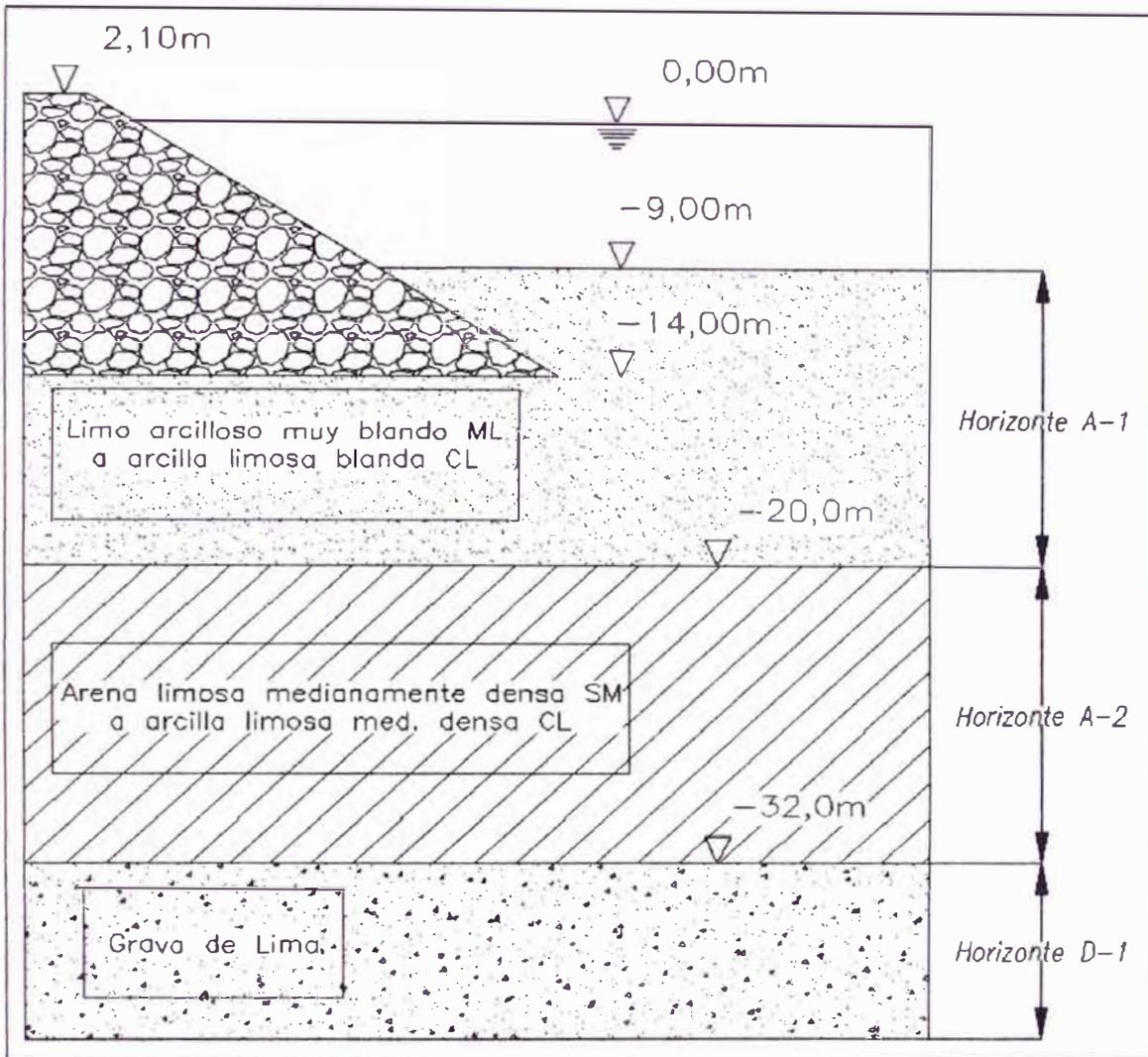


Figura 4.4 – Horizontes geotécnicos en la zona de los rompeolas

Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

4.3.2. Sismicidad

Como es sabido, el Puerto del Callao se encuentra en una zona de alta actividad sísmica. En el Estudio Definitivo ^[5] se encargó un estudio de peligro sísmico al CISMID, en donde se definieron diversos niveles de sismos en función del periodo de retorno:

Periodo de retorno	Aceleración sismo		Aceleración de cálculo (suelo)
	Roca	Suelo firme	
2500 años	0.65g	0.97g	0.35g - 0.245g
475 años	0.41g	0.59g	0.20g - 0.29g
100 años	0.23g	0.35g	0.12g - 0.17g

Tabla 4.1 – Aceleración sísmica

Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

En base a esta tabla, la aceleración sísmica de diseño será 0.20g.

4.3.3. Estudio de Estabilidad de la Situación Inicial

En base a los parámetros geotécnicos y características geométricas se elaboraron modelos para analizar la estabilidad de los rompeolas. Los resultados del modelamiento fueron los siguientes:

	Rompeolas Sur		Rompeolas Sur	
	Corto plazo	Largo plazo	Corto plazo	Largo plazo
Sin sismo	-	1.36	-	1.36
Con sismo 0.2g	0.65	-	0.65	-
Con sismo 0.1g	0.81	1.18	0.81	1.18

Tabla 4.2 – Factores de seguridad a la estabilidad de los rompeolas

Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

De acuerdo a los resultados de la Tabla 4.2, se demuestra analíticamente la condición de estabilidad de los rompeolas sin sismo, lo cual coincide con la realidad. Sin embargo, ante la sollicitación sísmica ($a = 0.2g$) el factor de seguridad es menor a 1, por lo que la estabilidad de la estructura no está asegurada.

Cabe mencionar que el sismo de agosto del 2007 registró una aceleración de $a=0.1g$. Si observamos los valores de los factores de seguridad para la situación a corto plazo, tienen un valor menor a 1, no obstante el rompeolas no ha colapsado. Esto hace presumir que el comportamiento real de los limos (horizonte A-1) sería intermedio a lo estimado en el capítulo anterior.

4.3.4. Estudio de Estabilidad de la Situación Futura

La situación futura consiste en el dragado del fondo marino hasta la cota -14m. Esto implica rebajar en 5m la capa de limos, lo cual, en el análisis de estabilidad, arroja factores de seguridad menores a 1 (con y sin sismo). Para salvar esta situación se optó por colocar una barrera de contención en base a pilotes metálicos rellenos con concreto armado, tal como se muestra en las Figuras 6.5 y 4.6.

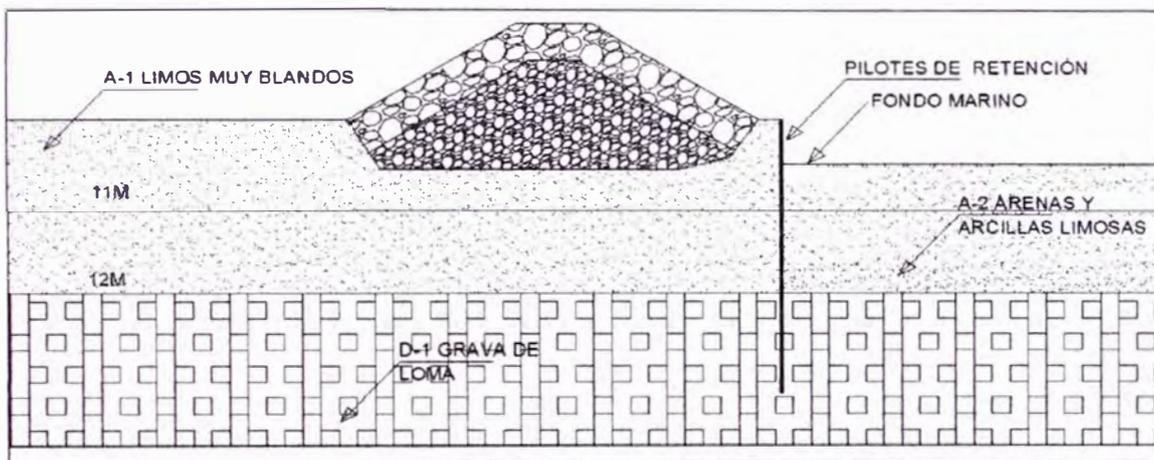


Figura 4.5 – Esquema de pilotes y dragado en el rompeolas norte

Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

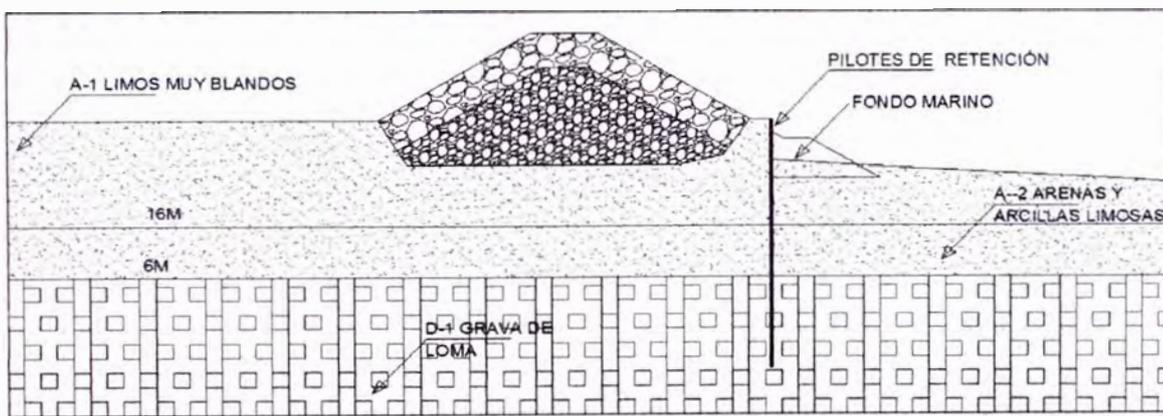


Figura 4.6 – Esquema de pilotes y dragado en el rompeolas sur

Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

Estudio de la Contención

Existen dos aspectos a evaluar para que la contención funcione como se espera. Estos son:

- La rigidez del conjunto debe ser grande para soportar los desplazamientos y deformaciones de la masa del rompeolas, ya que los pilotes estarían empotrados en la base
- El espacio entre pilotes debe ser tal que no se produzcan filtraciones del material de fondo desde el otro lado del rompeolas

Para resolver estos problemas se sugirieron las siguientes soluciones:

1. Mejora de la rigidez de los pilotes

Se seleccionaron pilotes de entre 1.00m y 1.25m de diámetro, con separación entre ejes de 1.30m a 1.70m. Se incluye la construcción de una berma sobre los cabezales de los pilotes, como se muestra en la Figura 4.7.

2. Mejoras en la disposición de la escollera

Se colocará un volumen de escollera en la zona dragada para que aporte un empuje pasivo que favorezca la contención de los pilotes. Esta escollera adicional tendría un talud similar al actual, es decir 3H:2V

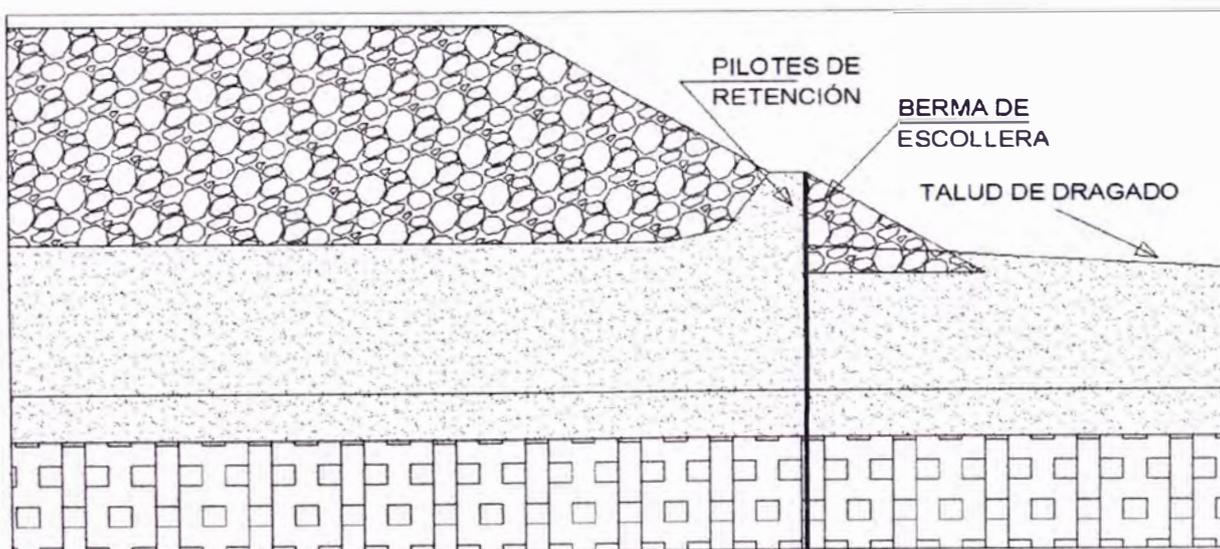


Figura 4.7 – Esquema de pilotes y escollera de apoyo

Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

La Tabla 4.3 muestra tres variantes que podrían mejorar la solución planteada:

SOLUCIÓN	VENTAJAS	INCONVENIENTES
Aumento de rigidez en los pilotes por mayor diámetro	Reduce los movimientos inducidos	No evita el flujo de material entre pilotes Costo
Aumento de rigidez en los pilotes por aproximación de ejes	Reduce los movimientos inducidos Evita el flujo de material entre pilotes	Desvíos en la ejecución Costo
Mejora del terreno por inyección o jet-grouting	Mejora el comportamiento del terreno frente a empujes pasivos y activos reduciendo movimientos	Incertidumbre en la efectividad por falta de confinamiento Muy alto costo

Tabla 4.3 – Otras alternativas de mejoramiento de la estabilidad de los rompeolas

Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

4.4. DISEÑO DE DRAGADO

El diseño del dragado en el puerto ha considerado los trabajos encargados a DP World, concesionario del Terminal de Contenedores Muelle Sur. En su compromiso, DP World se encargará del dragado a -14m de la poza de maniobras y del canal de ingreso, en las condiciones actuales del puerto, es decir, sin modificaciones en los rompeolas existentes ni el canal de ingreso.

Si se incluyen los trabajos de ampliación de la bocana y dragado a -14m y -16m las fases quedarían establecidas de la siguiente manera:

- **Fase 0:** la situación inicial corresponde a los trabajos de DP World como el dragado a -14m del canal de ingreso con un ancho de 180m, y el dragado de la poza de maniobras para un círculo de reviro de 600m de diámetro.
- **Fase 1-A:** dragado a -14m tras las modificaciones en los rompeolas
- **Fase 1-B:** dragado del canal de ingreso a -14m, con ancho de 200m y regularizaciones en el dragado de la poza de maniobras a -14m

- **Fase 2:** dragado a -16m en la poza de maniobras, considerando un buque de 347m de eslora.

4.4.1. Fase 0 – Situación Inicial

Como se indicó, se trata del resultado final de los trabajos encargados a DP World como parte de sus inversiones iniciales en la concesión del Muelle Sur. La Figura 4.8 muestra el resultado de estos trabajos. La descripción general de esta fase es la siguiente:

- Dragado del canal y poza de maniobras a -14m para el funcionamiento de Muelle Sur
- Buque de diseño: naves Panamax
- Ancho de canal de ingreso 180m, longitud 1500m
- Ancho del canal en la boca: 100m
- Diámetro del círculo de maniobras: 600m con taludes 5H:1V

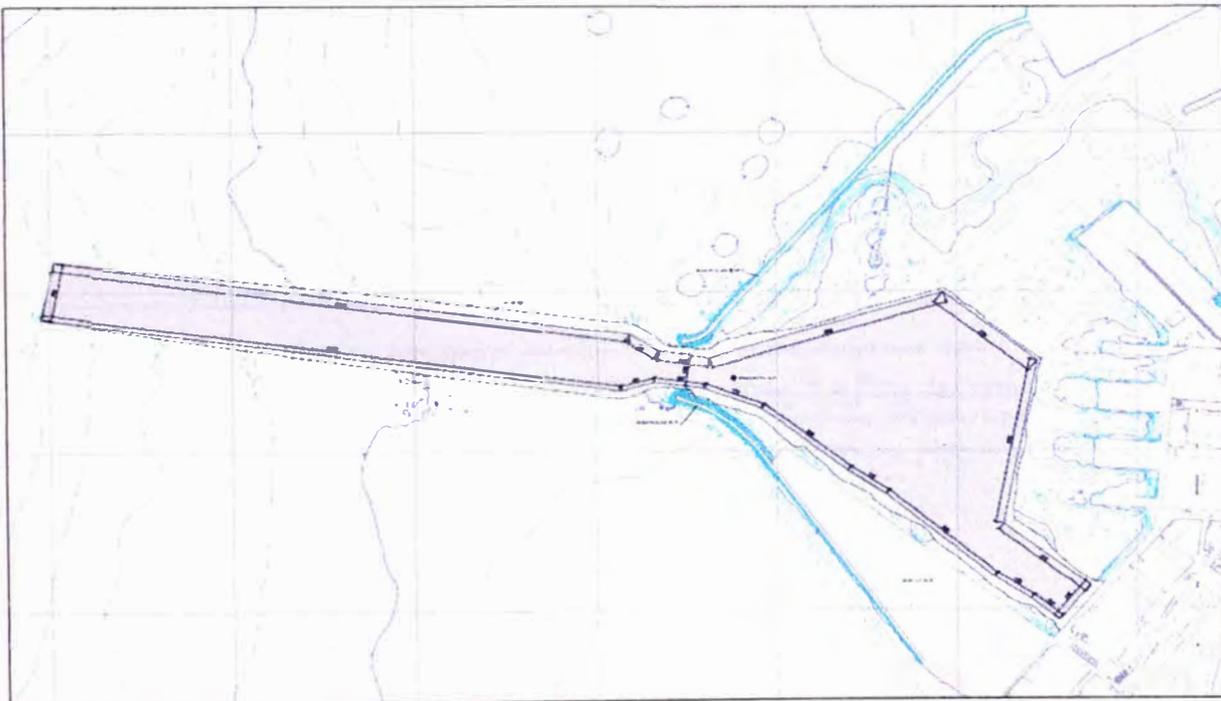


Figura 4.8 – Vista en planta de la Fase 0

Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

4.4.2. Fase 1A – Dragado a -14m y Modificaciones en los Rompeolas

Esta fase consiste en el dragado de la zona de los rompeolas y la boca de entrada después de la ampliación de ésta última. Las características de esta fase son las siguientes:

- Ampliación del ancho de la boca, intervenciones en los rompeolas norte y sur
- Dragado de la zona de la boca a -14m con talud 15H:1V
- El dragado en esta etapa considera la menor cantidad posible de intervenciones en el fondo marino por su inestabilidad, por lo que este dragado está adaptado a la condición futura de fondo a -16m. En ese sentido, se dragará según el perfil de la fase 2, pero hasta la cota -14m.

Las Figuras 4.9 y 4.10 muestran el perfil y la planta del dragado de esta fase.



Figura 4.9 – Adaptación del dragado a -14m con el dragado a -16m

Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

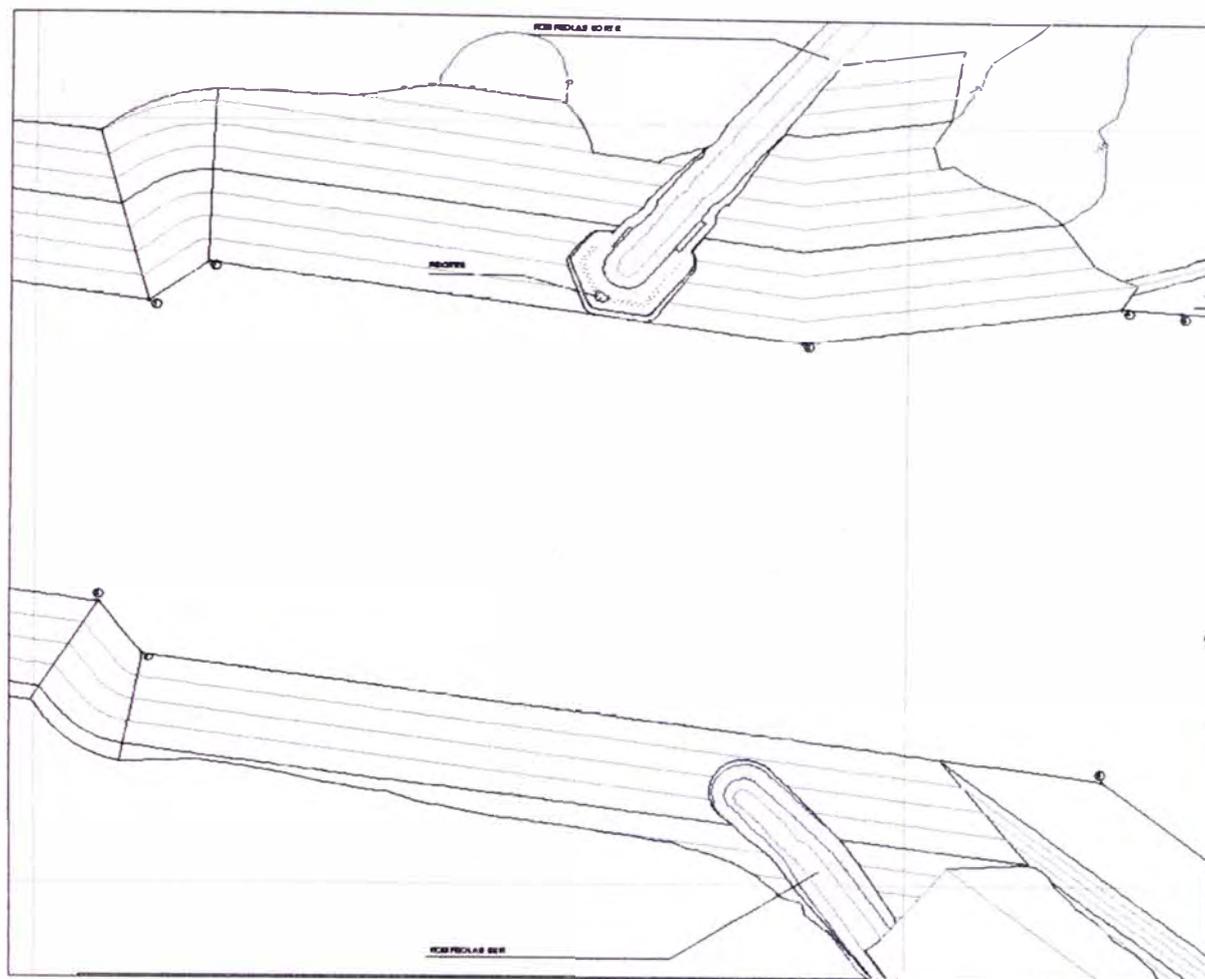


Figura 4.10 – Planta de dragado Fase 1A

Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

4.4.3. Fase 1-B – Dragado a -14m en la Zona de los Muelles 1 al 4

Esta fase consiste en la adaptación del círculo de maniobras en la rada del puerto para buques portacontenedores post-pánamax, de 300m de eslora. Las características de esta nave son las indicadas en la Tabla 4.4:

PORTACONTENEDORES POST-PANAMAX DE 300m	
Eslora total	304m
Eslora entre perpendiculares	286.1m
Manga	40.0m
Puntal	13.0m
Calado plena carga	13.0m
Desplazamiento plena carga	94.698ton

Tabla 4.4 – Dimensiones del buque panamax de diseño

Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

Los trabajos a considerar en esta fase se concentran en tres aspectos:

- **Canal de Ingreso:** en principio se trata de aprovechar los trabajos realizados en la fase 0, sin variar el alineamiento del ingreso de las naves, se amplía el ancho del canal hasta 200m y se mantiene constante en toda su longitud, ésta se extiende a 1800m en total de acuerdo a las simulaciones de maniobras del Estudio de Factibilidad. Ver Figura 4.11.
- **Área de maniobras:** dragado a -14m según nuevo diseño en el círculo de maniobras, cerca de los muelles 1, 2, 3 y 4
- **Taludes de dragado:** según el estudio geotécnico se establece el talud estable en 15H:1V en todas las áreas excepto en los cabezos de los muelles 1 al 4 donde se consideran taludes de 5H:1V, tal como se muestra en la Figura 4.12.

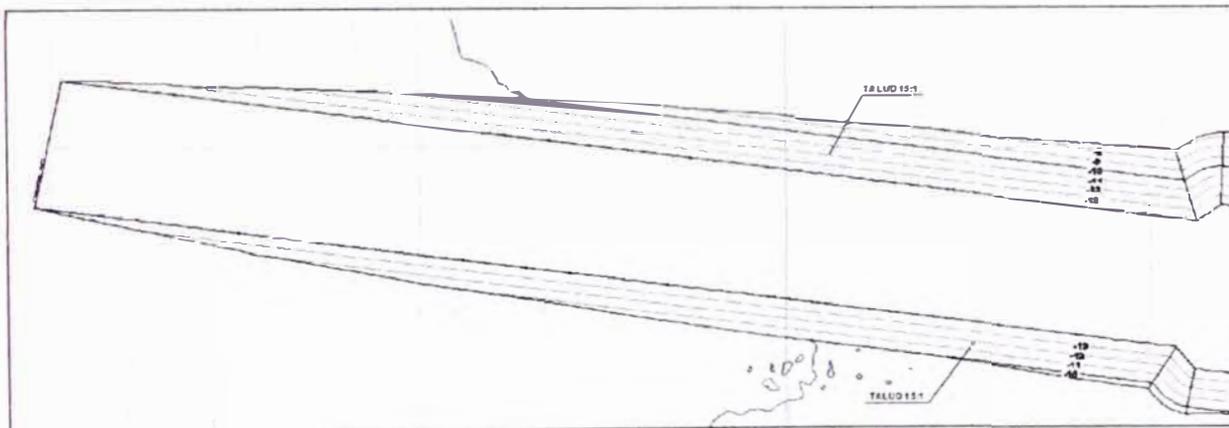


Figura 4.11 – Planta de dragado Fase 1B – Canal de ingreso

Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

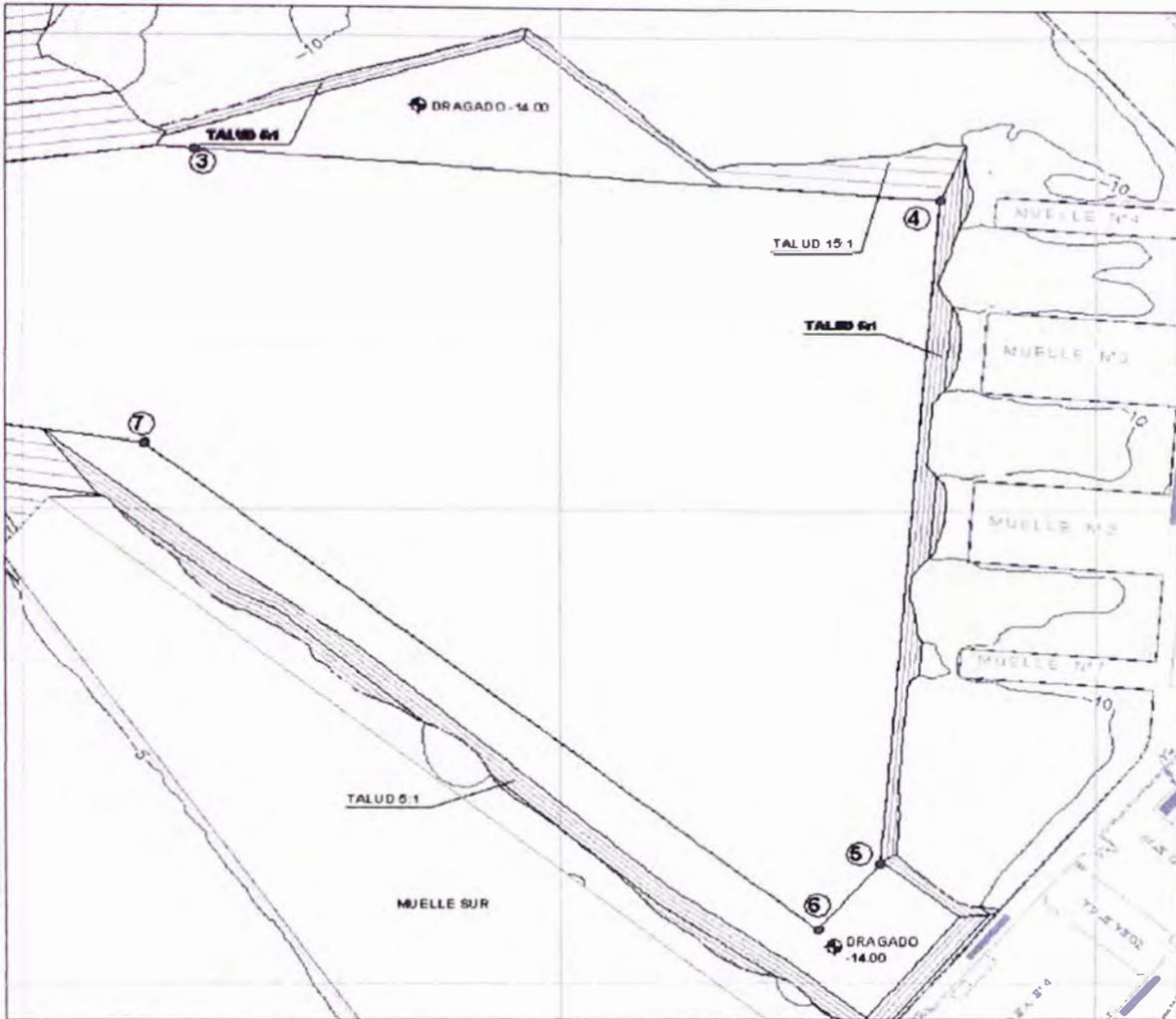


Figura 4.12 – Planta de dragado Fase 1B – Rada interior

Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

4.4.4. Fase 2 – Dragado a -16m Para Naves de 347m de Eslora

La Fase 2 consiste en los trabajos de dragado para las maniobras de un buque de 347m de eslora. La nave de diseño en esta fase tiene las características mostradas en la Tabla 4.5:

PORTACONTENEDORES POST-PANAMAX DE 347m	
Eslora total	347m
Eslora entre perpendiculares	331,5m
Manga	42,91m
Puntal	24,1m
Calado plena carga	14,5m
Desplazamiento plena carga	142.200ton

Tabla 4.5 – Dimensiones del buque post-panamax de diseño

Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

Esta fase comprende los siguientes trabajos:

- **Canal de Ingreso:** debido al incremento del tamaño de la nave se requiere una mayor longitud del canal de ingreso, extendiéndose hasta 2200m. El talud de dragado es el mismo de la fase anterior.
- **Área de maniobras:** dragado a -16m considerando un margen de seguridad de 50m entre el límite de dragado y los cabezos de los muelles 1 al 4
- **Taludes de dragado:** según el estudio geotécnico se establece el talud estable en 15H:1V en todas las áreas excepto en los cabezos de los muelles 1 al 4 donde se consideran taludes de 5H: 1V, tal como se muestra en la Figura 4.13.

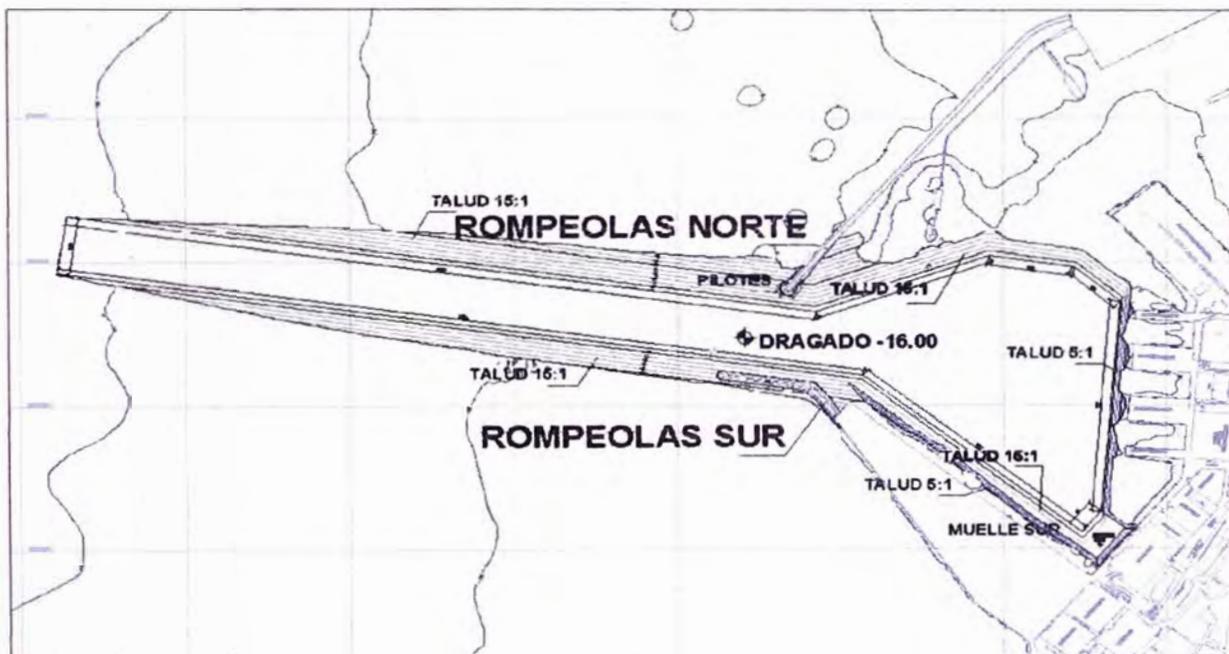


Figura 4.13 – Planta de dragado Fase 2

Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

4.5. DISEÑO DE ROMPEOLAS

4.5.1. Rompeolas Norte

El rompeolas norte mantendrá su trazado actual, pero será recortado 105m para ampliar la boca de entrada. La reducción de la longitud del rompeolas considera el talud 1.5H:1V; sobre su base, se colocará una línea

de pilotes que será el límite del dragado a -14m. Para cuando se deba dragar a -16m se tendrá un paramento vertical formado por los pilotes que soportará el peso del enrocado.

La estabilidad general del extremo del rompeolas estará dada por la presencia de los pilotes, los cuales serán clavados hasta una profundidad de 4m por debajo del inicio de la capa de grava.

La disposición en planta de los pilotes simula una punta de flecha que puede ser visualizada en la Figura 4.14. La baliza del rompeolas norte será colocada sobre el extremo de esta “flecha”, a la que se accederá desde una embarcación pequeña por una escalerilla. La Figura 4.15 muestra el detalle de la plataforma para la baliza.

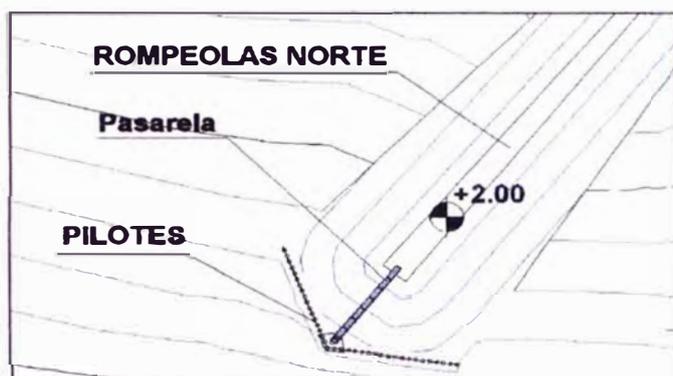


Figura 4.14 – Esquema del nuevo rompeolas norte

Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

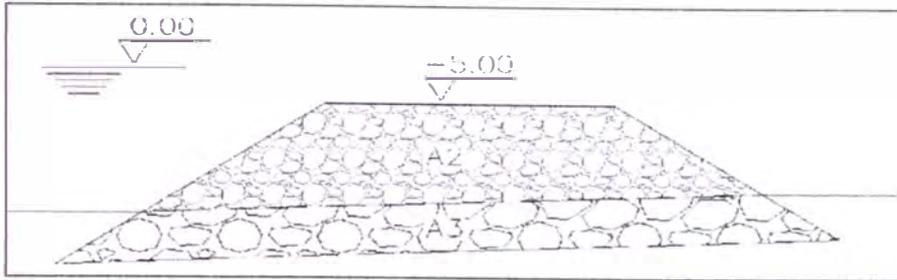


Figura 4.16 – Extensión del rompeolas sur, tramo sumergido

Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

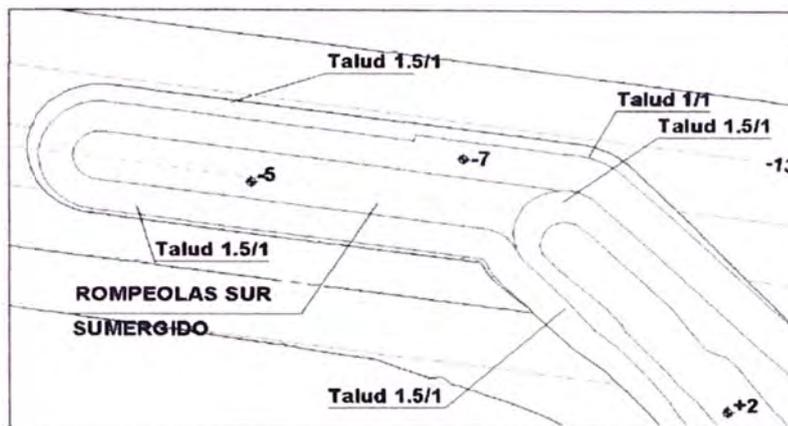


Figura 4.17 – Esquema de la extensión del rompeolas sur

Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

4.5.3. Efectos del Dragado Sobre los Rompeolas

En el diseño del dragado se ha determinado un talud de 15H:1V a partir de la cota de fondo. Tomando en cuenta la batimetría, el talud del dragado y las secciones transversales de los rompeolas existentes, es en la intersección de la curva -14m con el fondo del rompeolas donde se inicia el nuevo cabezo.

Las Figuras 4.18 y 4.19 muestran la sección del rompeolas sobre el talud de dragado y en la cota de dragado.

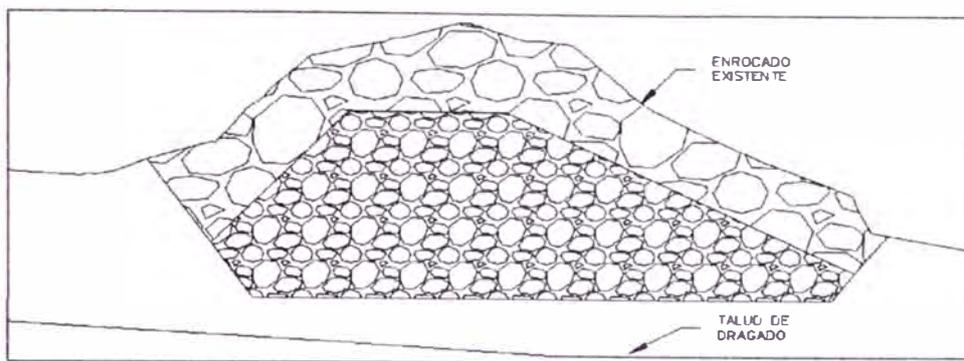


Figura 4.18 – Sección del rompeolas sobre el talud de dragado

Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

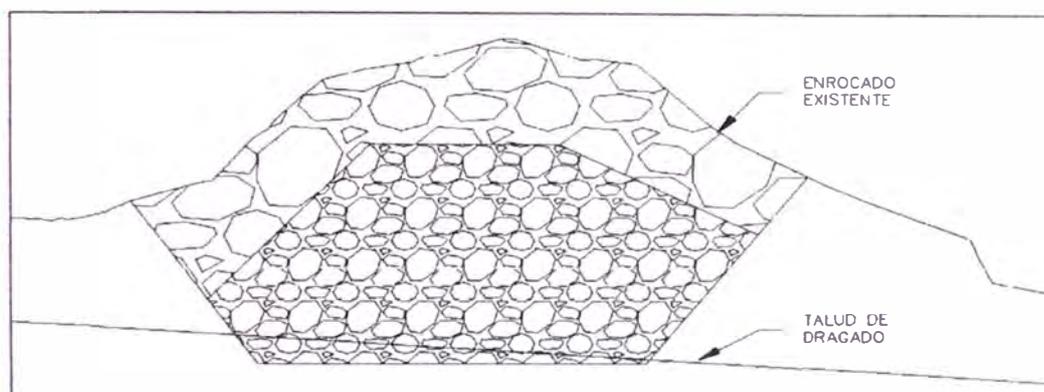


Figura 4.19 – Sección del rompeolas a la cota de dragado

Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

En las caras laterales de los rompeolas sucede algo similar, el dragado del fondo generará inestabilidad en el enrocado. Para evitar ello se colocarán banquetas hasta una determinada altura a manera de reemplazo del material retirado. En otras zonas durante los trabajos de dragado las rocas se reacomodarán al nuevo fondo, por lo que se deberá colocar enrocado adicional para recuperar la geometría inicial.

Las figuras 4.20 y 4.21 muestran esquemas del enrocado adicional a colocar.

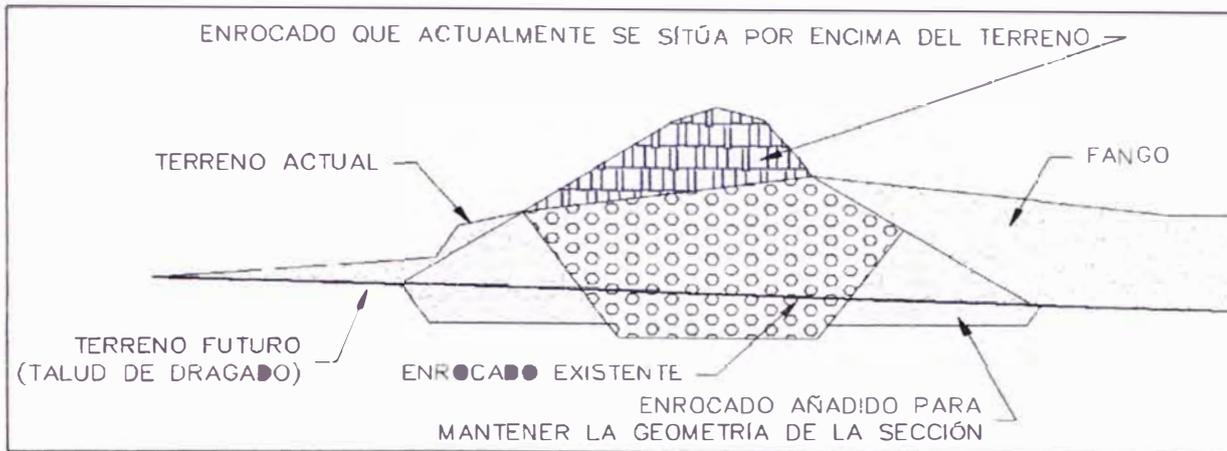


Figura 4.20 – Sección futura del rompeolas

Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

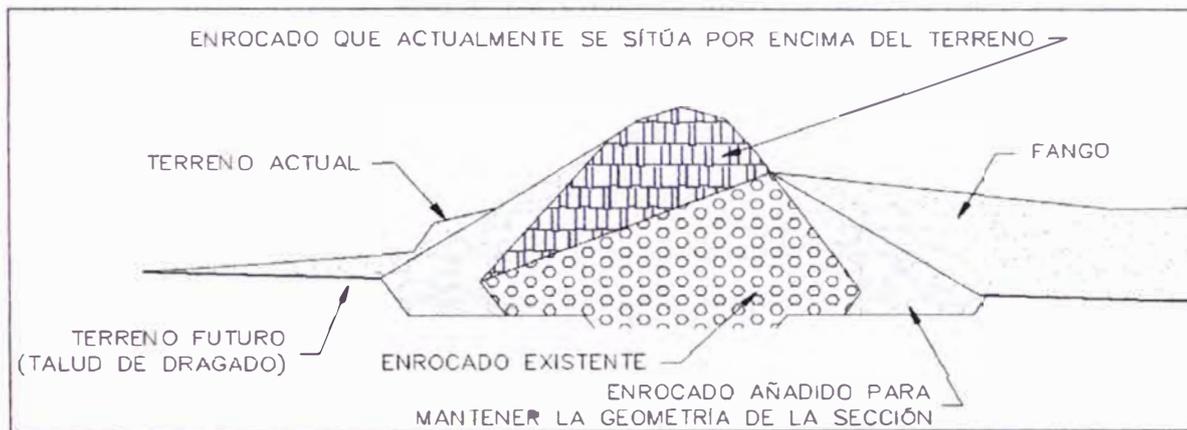


Figura 4.21 – Sección del rompeolas y reacomodo de enrocado por dragado

Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

CAPÍTULO V: DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA AMPLIACIÓN DE LA BOCA DE ENTRADA DEL TERMINAL PORTUARIO DEL CALLAO

5.1. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

La ampliación de la boca de entrada ha sido estudiada a diversos niveles de exigencia, pasando por el estudio a nivel de perfil, a nivel de factibilidad hasta el estudio definitivo. Dejando de lado las características geométricas del trazo en planta, se plantearon diversas configuraciones para el diseño de la estructura del rompeolas.

A continuación se resumen las dos alternativas planteadas en el Estudio de Perfil ^[4].

5.1.1. Dique de Escollera

Consiste en una estructura compuesta por enrocado similar al existente. La propuesta en el Estudio de Perfil ^[4] planteaba la construcción de un núcleo con material de 1 a 100kg. Luego se colocaría un filtro de 100 a 200kg con un talud de 1.8H:1V. Finalmente se coronaría el enrocado con una coraza de rocas de 1.1 a 2.0ton.

El esquema típico de esta propuesta se muestra en la Figura 5.1:

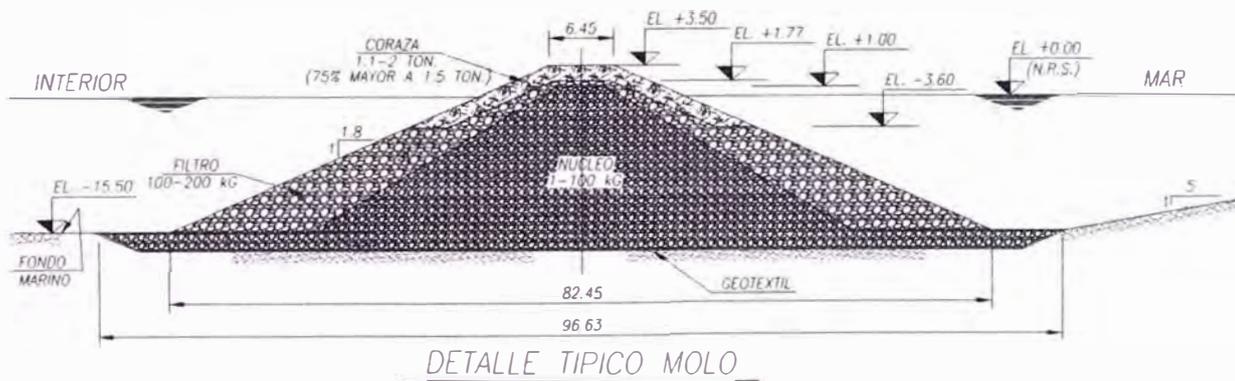


Figura 5.1 – Esquema de enrocado

Fuente: Estudio de Perfil Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

5.1.2. Gaviones de Tablestacas de Acero

Consiste en la construcción de muros de gaviones de tablestacas como estructura de contención dispuestos como cilindros colocados uno al lado del otro dando forma a los rompeolas. Los gaviones tendrían un diámetro de 12m y estaría compuesto por 148 tablestacas hincadas hasta los estratos resistentes. La Figura 5.2 muestra un esquema de las tablestacas.

Los gaviones se rellenarían con material de cantera y arena, y tendría un pavimento de adoquines como acabado. Además se colocarían intergaviones de 2.68m de radio, compuesto por 14 tablestacas planas de 12mm. Las tablestacas llevarían una corona de concreto armado para dar protección en la zona de "splash", donde se produce mayor exposición a la corrosión.

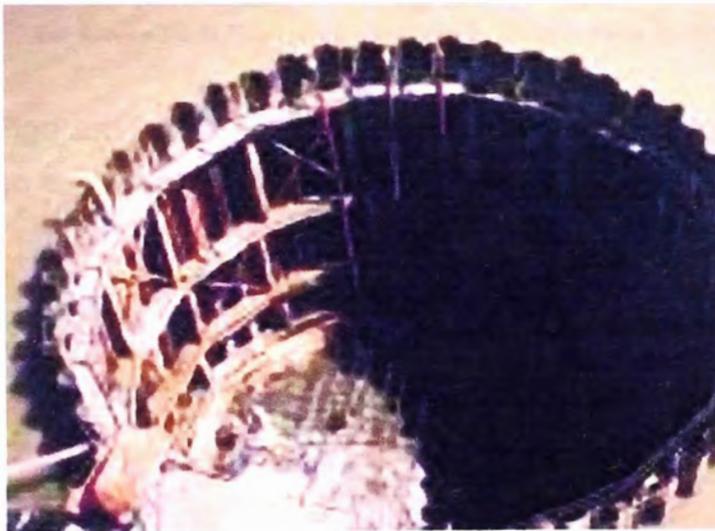


Figura 5.2 – Gavión de tablestacas

Fuente: Estudio de Perfil Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

A continuación en la Tabla 5.1 se puede apreciar un cuadro con las ventajas y desventajas de estas alternativas de solución:

Alternativa	Descripción	Ventajas	Desventajas
1.-Dique de escollera	-Considera la construcción y prolongación de nuevos rompeolas de escolleras	-Se utilizan rocas de los rompeolas existentes para la construcción de los nuevos -Existen canteras de rocas disponibles y en explotación para suministro de materiales. -Los procedimientos constructivos son conocidos por los contratistas del medio.	-Requiere de un dragado en las ubicaciones de los diques previo al inicio de las obras. -Posibles interferencias con operación del puerto. -Asentamientos de los rompeolas producto de sus pesos y efectos de sismo. -Movimiento de camiones o gabarras con grandes volúmenes de rocas hacia el puerto.
2.-Dique de gaviones	-Construcción de molos de gaviones de tablestacas de acero:	-No requiere de dragados previos a la construcción de los molos, por lo tanto el dragado requerido se puede efectuar a profundidades menores según necesidad del puerto -Menor interferencia con las operaciones portuarias al no requerir dragado previo.	-Mayor costo de construcción -Mayor costo por mantenimiento permanente producto de la corrosión. -En caso de accidente el costo de la reparación de un gavión es mayor que el de escollera.

Tabla 5.1 – Cuadro de Ventajas y Desventajas

Fuente: Estudio de Perfil Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

Las Figuras 5.3 y 5.4 muestran el diseño de las alternativas de rompeolas tipo espigón y tipo tablestacas del Estudio de Perfil ^[4].

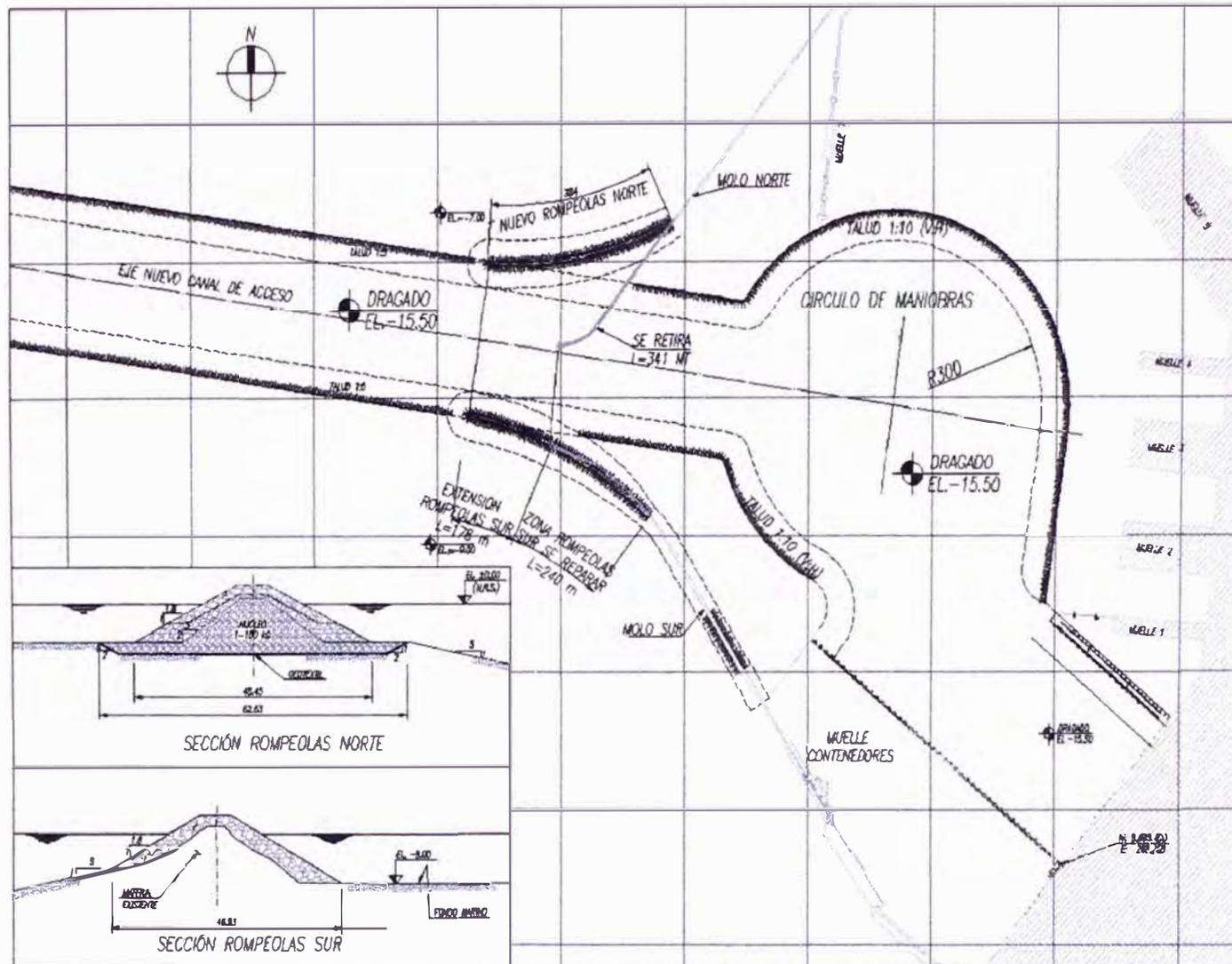


Figura 5.3 – Alternativa Rompeolas Tipo Enrocado del Estudio de Perfil ^[4]
Fuente: Estudio de Perfil - Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

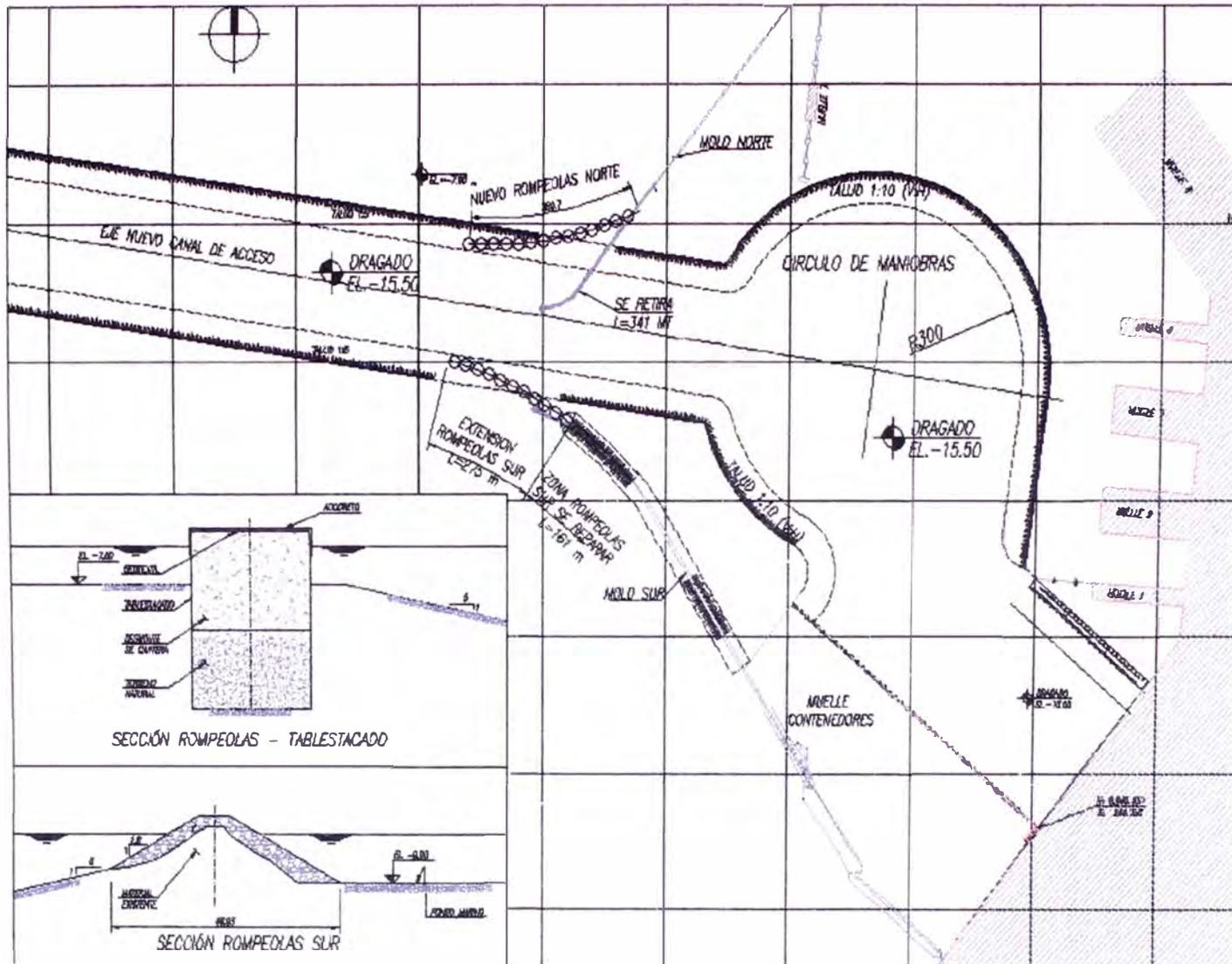


Figura 5.4 – Alternativa Rompeolas Tipo Tablestacas del Estudio de Perfil ^[4]
 Fuente: Estudio de Perfil - Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

5.2. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN

5.2.1. Rompeolas Norte

El diseño del rompeolas norte ve reducido su longitud total para dar pase a la ampliación de la boca de entrada.

En el cabezo se colocará la baliza sobre una plataforma elevada 3.50m por encima del nivel de coronación del enrocado y contará con una escalerilla para acceder desde mar.

El nuevo cabezo está formado por un pie de escollera que apoya sobre el talud del dragado y corona a la cota -9.00m en una anchura de 9.25m. El talud de esta banquetta es H1:V1 correspondiente a su talud natural, como se aprecia en la Figura 5.5.

Dicha banquetta, en planta, forma una especie de corona alrededor de todo el cabezo. Su pie discurre desde el eje del rompeolas y hacia el este, de forma rectilínea por la batimétrica -14.00m a lo largo de 39m, para después girar 62° hacia el norte y quedar paralelo al eje del rompeolas a lo largo de 52m. Hacia el otro lado, el pie de la banquetta parte de la intersección del eje del rompeolas con la batimétrica -14.00m y gira hacia el oeste formando un ángulo de 61° con dicha batimétrica. En esta dirección se prolonga a lo largo de 37m hasta girar nuevamente 62° en sentido horario y prolongarse 28m en esa dirección.

En medio de esa banquetta, quedan empotradas dos filas de pilotes de 1.067m de diámetro cuyos ejes se disponen en planta con la misma geometría que la banquetta. La distancia entre ejes es de 1.70m y los pilotes se disponen en zig-zag entre ambas (Ver Figura 5.8). Así, la distancia entre pilotes de la misma fila es de 3.40m. Estos pilotes se cortan a la misma altura de la banquetta, por lo que coronan a la -9.00m, a excepción de los dos que se encuentran en el eje del rompeolas y los adyacentes a ellos a ambos lados (seis pilotes en total).

Estos se elevarán hasta la cota +3.00m de manera que coincida con la coronación del rompeolas. Sobre ellos se construirá un encepado de 1.50m de espesor en cuyos bordes se colocará una escalera. Los pilotes irán revestidos con una camisa de concreto de 12m de longitud desde su coronación, de manera que queden protegidos de la corrosión en la parte expuesta al exterior. Ver Figura 5.5 y Figura 5.6.

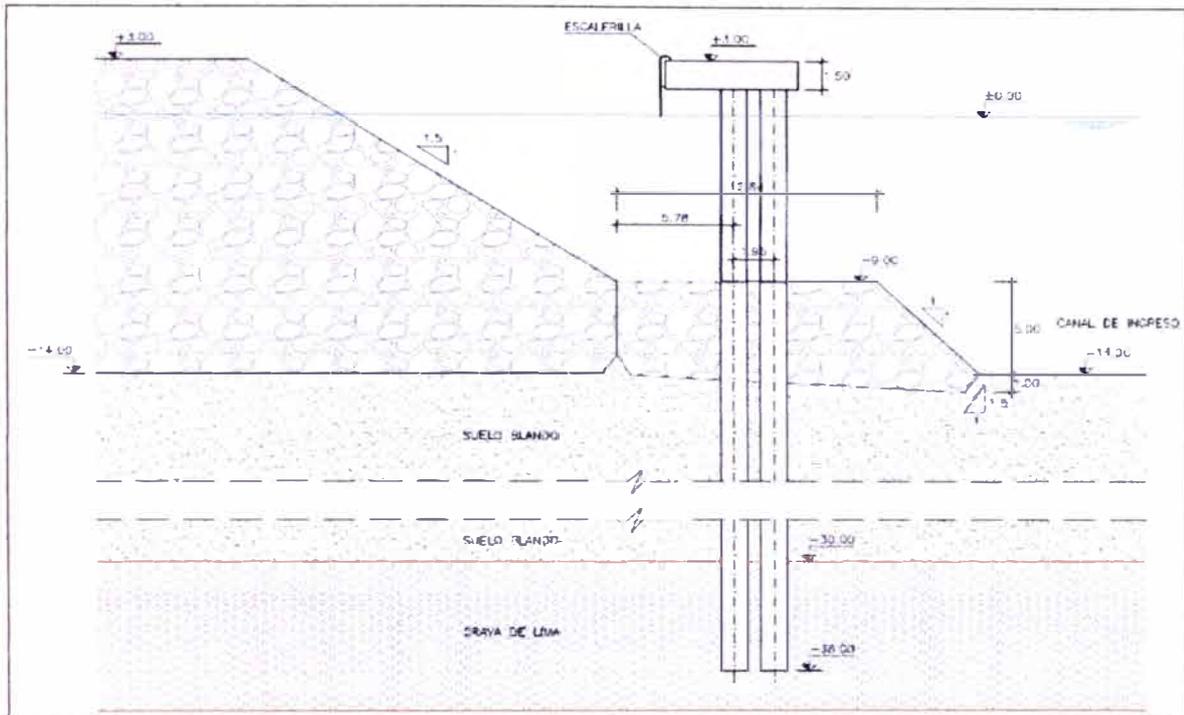


Figura 5.5 – Sección con pilotes y banqueta de enrocado

Fuente: Estudio Definitivo - Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

Los pilotes serán hincados y abiertos en ambos extremos; no contarán con cabezal pues su objetivo no es resistir por punta. Quedarán rellenos del material del suelo que quede dentro tras la hinca.

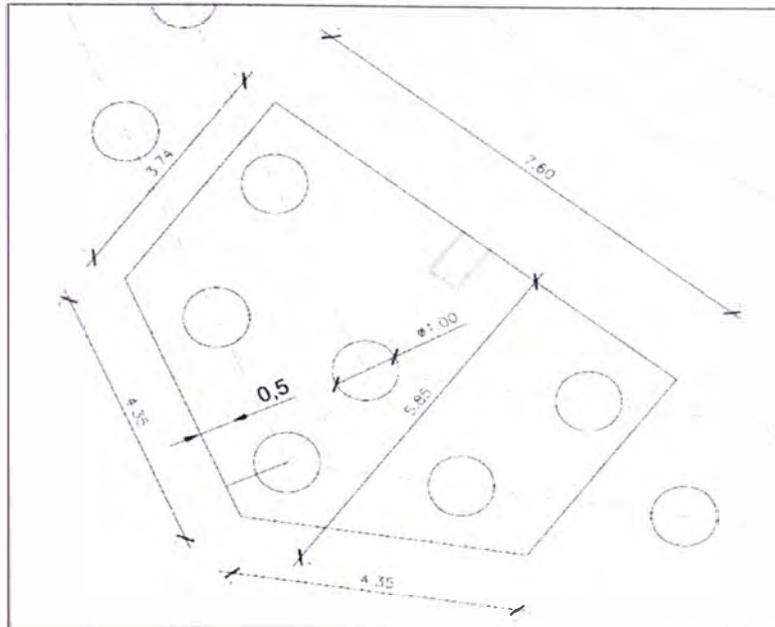


Figura 5.6 – Planta de la plataforma y pilotes

Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

Los pilotes quedarán empotrados en la grava de lima una longitud igual a seis diámetros. Considerando que la grava de lima se encuentra a la cota -30,00m, los pilotes más cortos tendrán una longitud total de 27m y los más largos de 39m.

En la fila exterior se colocan 25 pilotes dispuestos en 4 alineaciones:

- Desde el eje del rompeolas, paralelamente al eje del canal, a lo largo de 27m, se colocan 9 pilotes, entre los que se incluye el del eje.
- Girando 62° hacia el norte, y a lo largo de 12m, se colocan 4 pilotes
- Desde el eje del rompeolas, se colocan 8 pilotes a lo largo de una línea de 26m de longitud que forma 62° con el eje del rompeolas en sentido norte.
- Girando 62° en sentido horario, se colocan 4 pilotes a lo largo de 12m.

En la fila interior se colocan 29 pilotes; 23 de ellos se disponen al tresbolillo con los de la fila exterior y, los otros 6 restantes, quedan como una única fila de pilotes. Ver Figura 5.7. La geometría es la siguiente:

- Desde el eje del rompeolas, paralelamente al eje del canal, a lo largo de 25m, se colocan 8 pilotes, entre los que se incluye el del eje.

- Girando 62° hacia el norte, y a lo largo de 33m, se colocan 10 pilotes; 4 de ellos dispuestos al tresbolillo con los de la fila exterior, y los otros 6 restantes quedan solos.
- Desde el eje del rompeolas, se colocan 7 pilotes a lo largo de una línea de 25m de longitud que forma 62° con el eje del rompeolas en sentido norte.
- Girando 62° en sentido horario, se colocan 4 pilotes a lo largo de 10m.

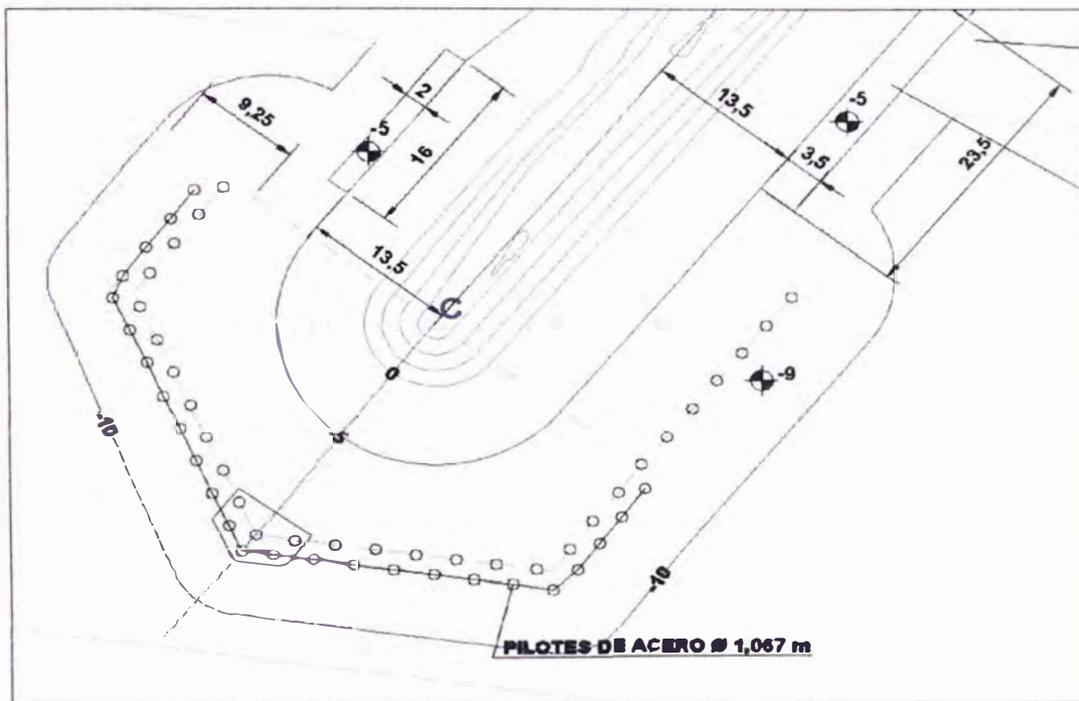


Figura 5.7 – Ubicación de banquetas y ejes de pilotes – Rompeolas norte
Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

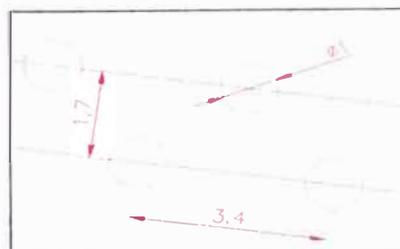


Figura 5.8 – Espaciamento entre pilotes
Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

La plataforma tiene una superficie en planta de 36.44m^2 , un espesor de 1,5m y es simétrica respecto al eje del rompeolas. Consta de una base fabricada en tierra que constituirá la parte inferior de la plataforma cuya

función es evitar el derrame de concreto cuando éste se vierta. Está formada por barras de acero de 3/8" y 1/2" de diámetro, como se muestra en las Figuras 5.9 y 5.10.

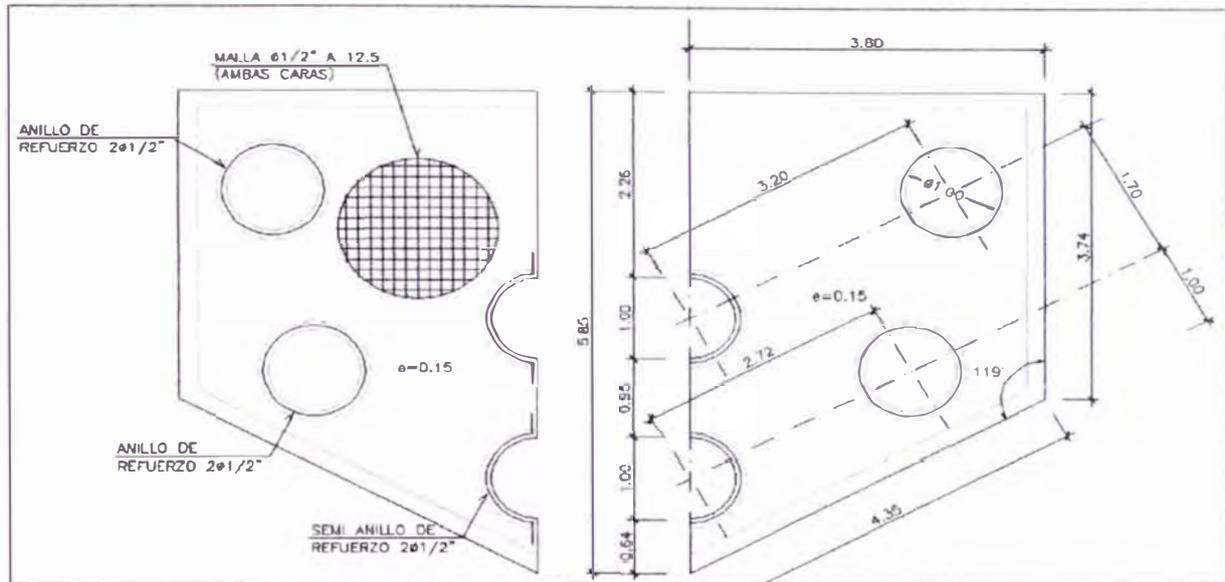


Figura 5.9 – Planta de plataforma prefabricada con espacios para los pilotes
 Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

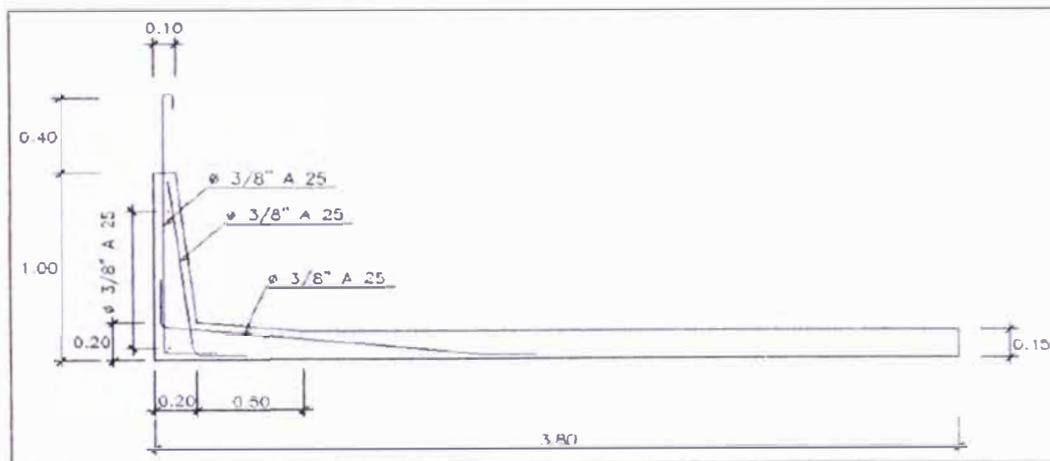


Figura 5.10 – Sección del prefabricado
 Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

El armado del resto de la plataforma es de concreto ($f_c=280\text{Kg}/\text{cm}^2$) armado con de barras de acero de 3/4" de diámetro separadas 15cm en sentido longitudinal y transversal. Ver Figura 5.11.

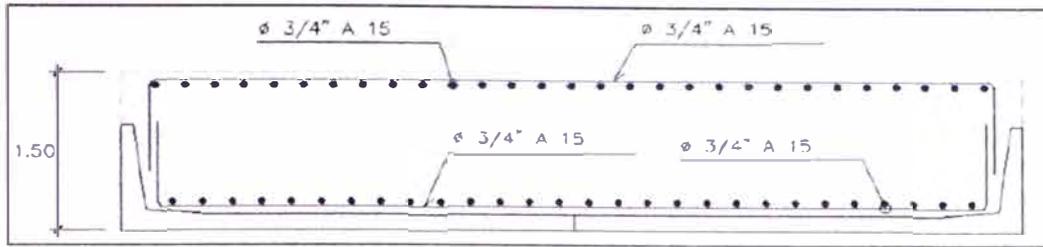


Figura 5.11 – Diseño de losa vaciada in-situ

Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

El rompeolas cuenta además con dos banquetas laterales, una a cada lado, con el fin de estabilizarlo en esas secciones críticas. La banqueta del lado que queda dentro del puerto se dispone paralelamente al eje del dique, a una distancia de 13.50m; corona a la -5.00m en una anchura de 3.50m y en una longitud de 23.50m en coronación. A partir de esta plataforma, cae hacia el suelo con el talud natural de la escollera H1:V1. Esta banqueta se localiza en el tramo de rompeolas comprendido entre las batimétricas -9m y -11m.

La banqueta del lado exterior al puerto se dispone también paralelamente al eje del dique, a una distancia de 13.50m; corona a la -5.00m en una anchura de 2.00m y en una longitud de 16.00m en coronación. A partir de esta plataforma, cae hacia el suelo con el talud natural de la escollera H1:V1. Esta banqueta se localiza en el tramo de rompeolas comprendido entre las batimétricas -10m y -11m. La Figura 5.12 muestra un esquema en planta del rompeolas y las banquetas.

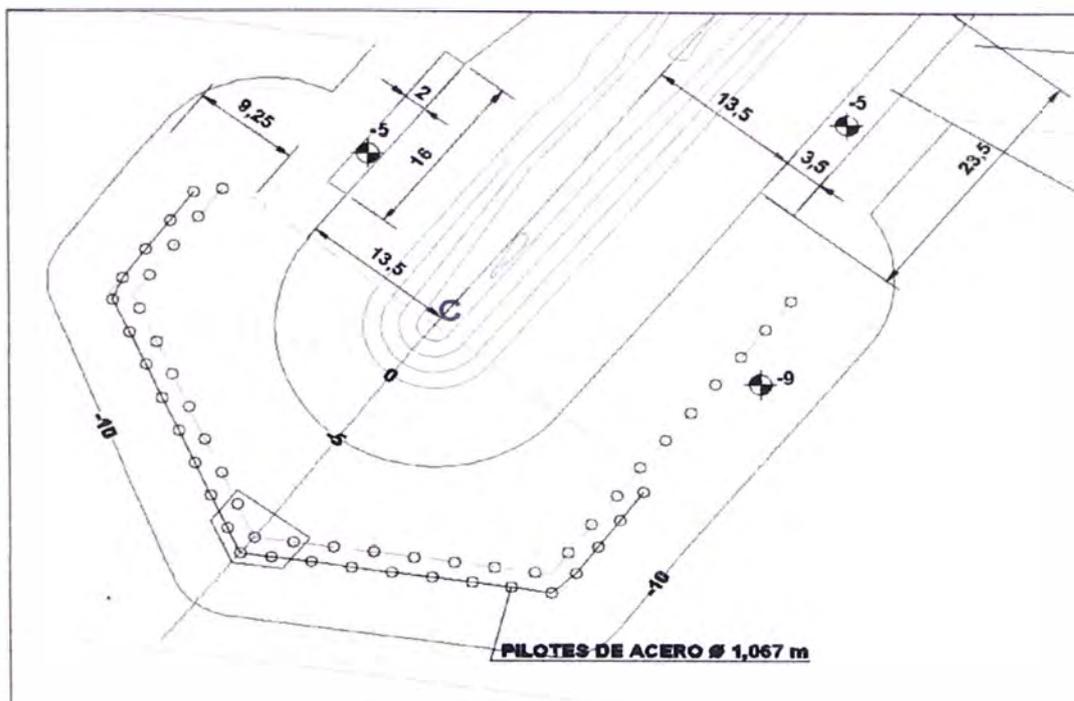


Figura 5.12 – Planta de banquetas laterales del rompeolas norte
Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

El cuerpo del rompeolas mantiene en su geometría actual, coronando entre la +3,0 y la +4,0m y con un talud H1,5:V1. Puesto que el material a utilizar en su construcción procede del ya existente en las zonas que serán demolidas, habrá cierta heterogeneidad en los elementos. De forma general, las piezas son de roca natural con una densidad seca de 2,65ton/m³ y un peso de unas 2ton por unidad, sin embargo se han detectado rocas de dimensiones tales que podrían alcanzar las 15 y las 20ton. Por otro lado hay piezas de concreto que, si se considera una densidad de 2,4ton/m³, pueden alcanzar las 7ton de peso.

El rompeolas no cuenta con capa de filtro y núcleo sino que todo ello se podría considerar como manto.

5.2.2. Rompeolas Sur

El rompeolas sur, en el tramo comprendido entre el límite de la concesión y el cabezo actual, es un dique en talud cuyo eje tiene dos alineaciones: la actual, que forma 130° (sentido horario) desde el norte, y un nuevo tramo paralelo al eje del canal. Ver Figura 5.13.

El primer tramo mantiene su estructura y disposición actual, con un enrocado de 2,65t/m³ de densidad seca, dispuesto en piezas de 2ton. La coronación permanece en torno a la +2.00m. Todo este tramo de rompeolas ha de ser estabilizado en el lado del canal mediante una banquetta de escollera que corona a la -7.00m en una anchura de 3m y cae hacia el suelo con el talud natural del enrocado H1:V1. Esta banquetta se prolonga paralelamente al canal, por la nueva alineación, a lo largo de 33m medidos en la coronación.

El tramo de rompeolas correspondiente a la nueva alineación, se construirá con el excedente de enrocado procedente del recorte de los rompeolas, una vez descontada la cuantía de material empleada en la construcción de las banquetas de estabilización de los rompeolas norte y sur.

Este nuevo tramo se ha proyectado con el mismo talud que el actual (H1,5: V1) pero sumergido, estableciendo la coronación a la -5.00m con una anchura de 12m. El pie del dique discurre por la batimétrica -13.00m, en el lado del canal, y a la -11.00m, en otro lado. La longitud de este tramo es de 260m medidos en coronación.

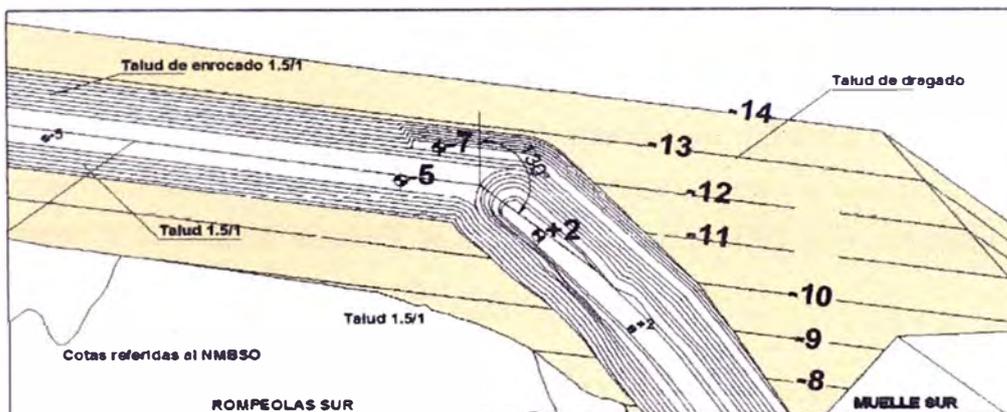


Figura 5.13 – Cambio de alineación del rompeolas sur

Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

ejecución será la de modificar, en la menor medida posible, la posición actual de rompeolas y suelo.

Considerando una sección por el eje longitudinal del rompeolas norte, se procederá en primer lugar a la colocación de los pilotes para la estabilización del suelo. Para ello, en la zona de los futuros cabezos, se excavará una zanja de 237m de ancho en la base, con una geometría en planta similar a la disposición de los pilotes. La excavación consistirá en el retiro del enrocado, según la sección que se muestra en la Figura 5.14:

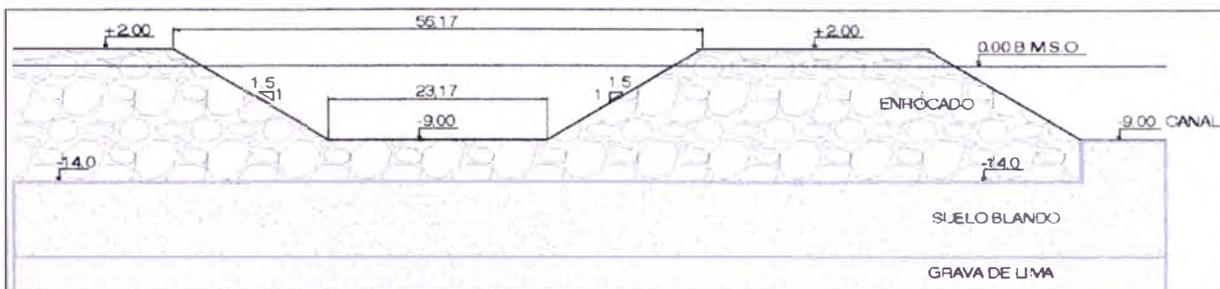


Figura 5.14 – Excavación de la primera zanja

Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

El retiro del enrocado se realiza comenzando por la parte superior hasta llegar a la misma cota a la que se encuentra el terreno en el extremo del cabezo, en este caso, la -9.00m. De esta manera, el segmento de rompeolas comprendido entre el cabezo y la zanja transmite al terreno las mismas cargas a un lado que al otro. El talud considerado para el rompeolas es el 1.5/1 (H/V, ver Figura 5.15).

A partir de la base de esta zanja, se excava otra de menor tamaño hasta alcanzar el suelo y sin que quede enrocado en la base. Según los sondajes existentes, se ha tomado esa cota como la -14.00m. Dicha zanja tendrá por tanto, una altura de 5.00m, una base de 3.5m y un talud de 1/1,5 (H/V).

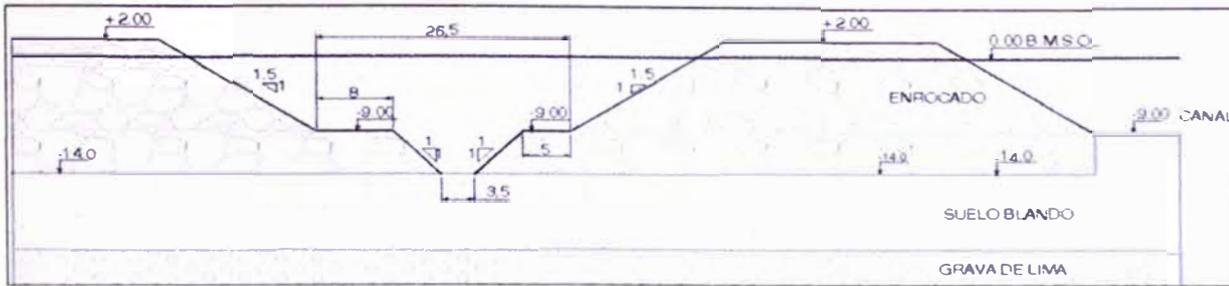


Figura 5.15 – Excavación de la segunda zanja y retiro de enrocado
Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

Como puede verse, la sección de la zanja contiene una berma de 5m de anchura en la zona del cabezo con el fin de mantener las cargas existentes entre el dique y el suelo. El otro extremo constituye ahora un nuevo cabezo, la que se proporciona una berma de 8m de ancho con el fin de garantizar su estabilidad y garantizar la seguridad del personal y de los equipos durante la ejecución.

Así, ya se puede proceder a la colocación de los pilotes en el fondo de la zanja. Se ha definido una anchura de 3,5m en esa zona para permitir el trabajo de los equipos. Ver Figura 5.16.

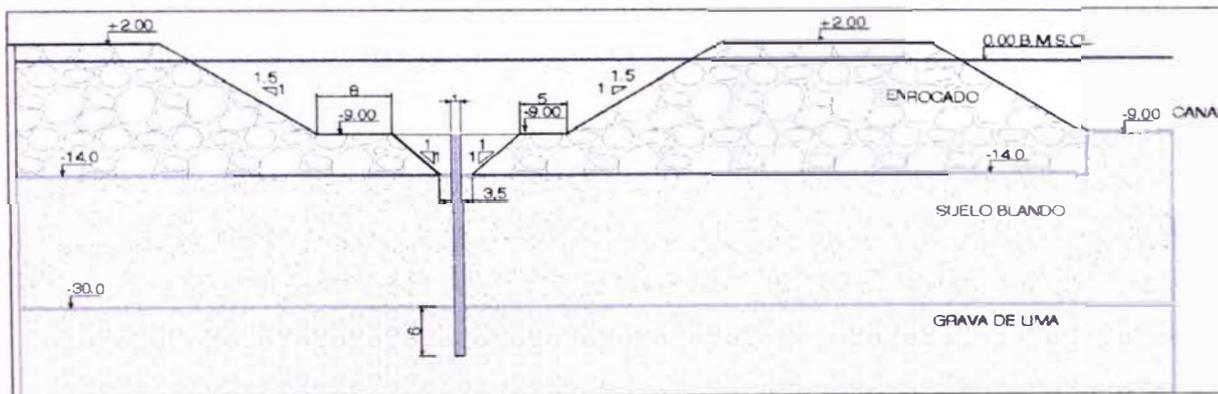


Figura 5.16 – Colocación de pilotes
Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

Una vez colocados todos los pilotes y estabilizado así el terreno, se procede al retiro del enrocado del segmento final del rompeolas hasta la profundidad requerida por el talud de dragado a la -14.00m

Simultáneamente, la zanja pequeña se rellena de escollera hasta la -9,00m y después se procede al recrecimiento del nuevo cabezo hasta llegar al pilote. La Figura 5.17 muestra el estado final del proceso constructivo.

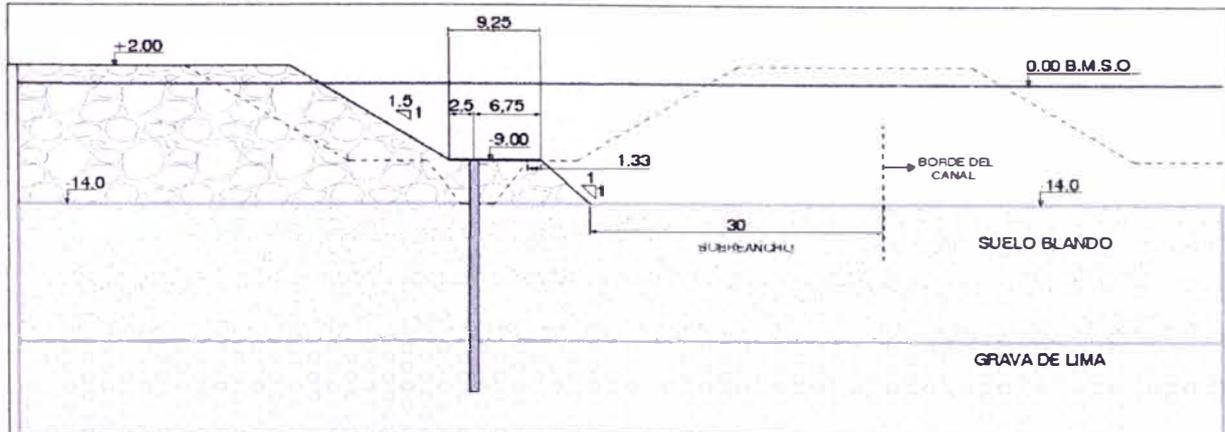


Figura 5.17 – Relleno de zanja, dragado a -14.00m y complemento de enrocado y banqueta
Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

El nuevo cabezo cuenta, por tanto, con una berma de escollera colocada frente al pilote, tal y como sugería el estudio de estabilidad del suelo. Este elemento contrarresta los esfuerzos producidos por el rompeolas y el terreno sobre el pilote.

En este momento, el rompeolas ya ha sido estabilizado y se puede proceder al dragado de la Fase 1. La zona de la boca será dragada a la cota -14,00m con un sobreebanco tal que los taludes coincidan con los que se obtendrán al dragar la Fase 2; de esta manera, en la zona del rompeolas solo se interviene una vez, evitando deformaciones del suelo que pudieran surgir tras el segundo dragado. Este sobreebanco es de 30m a contar desde el borde del canal. Así, la base del pie de escollera se localizaría a la cota -14,00m.

B. Rompeolas Sur

Para que la duración de las obras de ampliación de la boca sea lo menor posible, se plantea la posibilidad de recortar los dos rompeolas simultáneamente. Para ello sería conveniente que se realizase previamente el dragado del talud que rodea al dique sur; de esta manera no se alteraría la configuración final del nuevo tramo sumergido.

En el caso de que no fuera posible, todo el enrocado procedente del retiro de los rompeolas se iría colocando en la ubicación señalada para el nuevo tramo de rompeolas sur pero sobre el lecho inicial. Una vez se drague esa zona, este tramo sumergido tomará una nueva geometría adaptada a la configuración del suelo, que será aproximadamente igual a la diseñada.

La principal función de este nuevo tramo es la de acopio de enrocado por lo que la geometría diseñada no debe ser objeto de trabajos adicionales al mero vertido del enrocado desde gánguil. Lo único que debe cumplir es que no exceda la batimétrica -14,00m y mantenga una alineación paralela al eje del canal.

El procedimiento constructivo de este rompeolas es más sencillo que el anterior. Los pasos a seguir son los siguientes:

- Demolición de parte del rompeolas sur y construcción del nuevo tramo de rompeolas sur sumergido según la Figura 5.18.

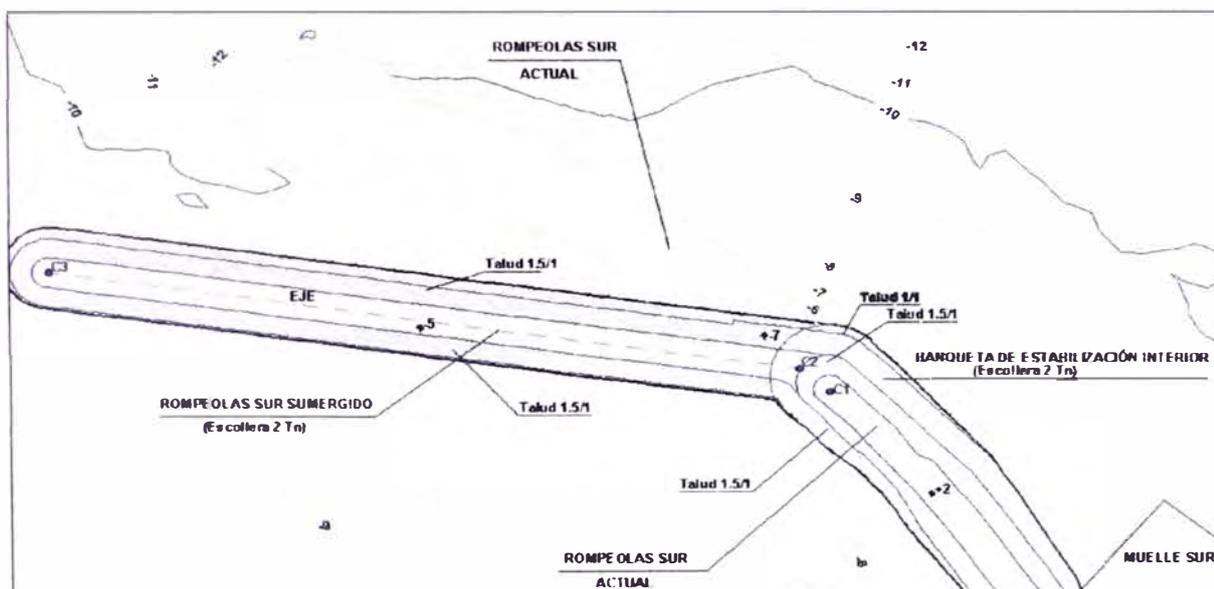


Figura 5.18 – Demolición de rompeolas y nuevo rompeolas sumergido – Rompeolas Sur

Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

- Dragado de la Fase 1-A

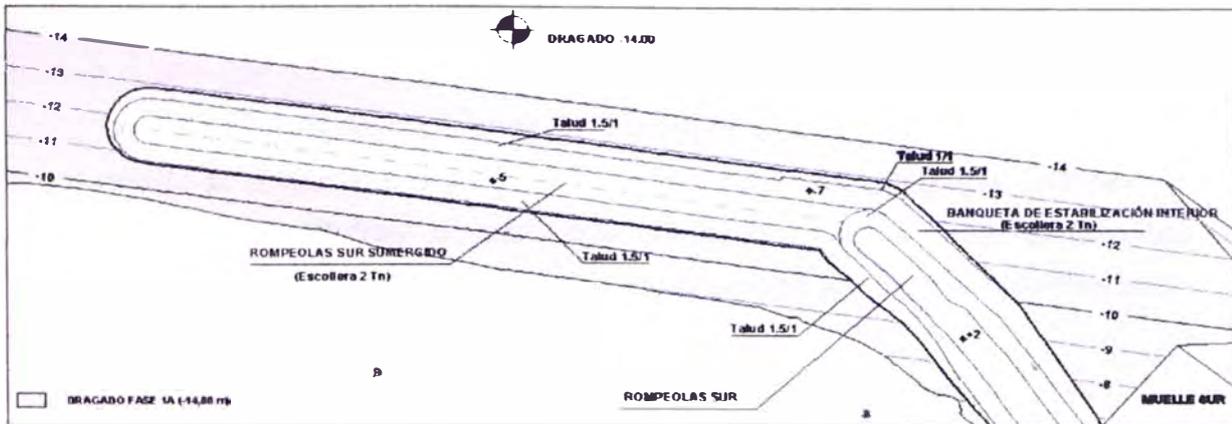


Figura 5.19 – Dragado con los taludes estudiados

Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

El retiro del enrocado se realizará mediante una grúa sobre pontón provisto de un pulpo o pinzas para coger la roca. Se contará con el apoyo de un gánguil de bisagra con vertido por fondo.

5.2.4. Resumen de Datos

	ROMPEOLAS NORTE	ROMPEOLAS SUR	TOTAL
Longitud de demolición (medida en coronación)	115m	210m	325m
Volumen de enrocado retirado	43,598m ³	74,653m ³	118,251m ³
Volumen de enrocado aportado	16,769m ³	6,094m ³	22,863m ³
Volumen de enrocado para el nuevo tramo de rompeolas sur		70,909m ³	70,909m ³
Longitud en pilotes	1,530ml		1,53 ml

Tabla 5.2 – Resumen de volumen de dragado

Fuente: Estudio Definitivo Ampliación y Mejoramiento de la Boca de Entrada

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El Estudio Definitivo para la Ampliación de la Boca de Entrada ha considerado la propuesta del Perfil ^[4], en lo referido al concepto del diseño de rompeolas de escolleras o enrocado; lo cual muestra una continuidad y coherencia de criterios entre los diferentes niveles de los estudios realizados.

Con respecto a la nave de diseño para el dimensionamiento del canal de ingreso se seleccionó una nave portacontenedores de 275m de eslora para una primera fase, y para una segunda fase un buque de 347m de eslora. Estos criterios se mantuvieron en los dos estudios, por lo tanto, es de esperar que los resultados sean similares.

Asimismo, el ancho de la boca de 180m al pie de los taludes de los rompeolas en el fondo marino sugerido en el Perfil ^[4], quedó confirmado en el Estudio de Factibilidad luego del análisis de simulación de maniobras, donde se determinó que el ancho de la boca sea de 200m, considerando que ambas se encuentran dentro del mismo orden de magnitud. Las expresiones de Keinosuke Honda para dimensionar el ancho del canal en el Estudio de Perfil ^[4], son las que mejor se ajustaron a las condiciones del Terminal Portuario del Callao.

La diferencia más importante en cuanto a la disposición en planta entre ambos estudios, radica principalmente en la ubicación del eje del canal de ingreso. En el Estudio de Perfil ^[4] el eje se desplazó 80m hacia el norte sin modificar su orientación; en cambio, en el Estudio Definitivo el eje del canal se mantuvo en su ubicación original. Esta corrección es relevante, dado que las consecuencias de la modificación del eje según el Estudio de Perfil ^[4] conllevarían a un proceso de aprendizaje de las nuevas maniobras de ingreso al terminal de todos los prácticos y capitanes de buques del TPC. Adicionalmente, se tendrían que ejecutar obras de reubicación de las referencias o hitos en tierra como las torres de enfilación, que sirven de ayuda a los prácticos en sus maniobras de ingreso a la dársena.

Con la posición fija del eje del canal y el ancho definido, se evaluaron diversas alternativas para el trazo de los rompeolas. Por un lado, se recortó la longitud del rompeolas norte para dar espacio al canal de ingreso, y se mejoró su estabilidad en la zona dragada con banquetas laterales y pilotes clavados en su extremo. Esta propuesta reduce la cantidad de trabajos en este rompeolas, ya que no incluye la reconstrucción del mismo en otra alineación como lo proponía el Estudio de Perfil ^[4].

Por otro lado, en el rompeolas sur se diseñaron alternativas en función a las posibilidades de desarrollo y expansión del Muelle Sur. Las diferencias entre una y otra alternativa radican en la extensión total de rompeolas nuevo y la abertura entre los extremos de los rompeolas norte y sur. La primera de estas diferencias afecta en el volumen de enrocado a manipular (a mayor extensión, mayor costo); y la segunda, afecta en el oleaje que penetra en el puerto (riesgo de mayor tiempo de inoperatividad).

Los criterios más importantes para la selección de la alternativa definitiva fueron i) aprovechar la configuración actual de los rompeolas, y ii) utilizar, en lo posible, el enrocado retirado de los rompeolas sin generar volúmenes adicionales ni deficitarios de los mismos. Bajo estos dos criterios se llegó a la solución definitiva que consiste en retirar el tramo del rompeolas sur sobre el canal de ingreso, estabilizar el tramo restante fuera del área de Muelle Sur y construir el enrocado sumergido con el volumen excedente del rompeolas norte.

Con respecto al dragado de la poza de maniobras, el diseño se mejora en el Estudio Definitivo, en el sentido que se extiende la mayor área posible dentro de la dársena, sin afectar ninguna estructura de los muelles más cercanos. En cambio en el Estudio de Perfil ^[4], al tener el eje del canal 80m hacia el norte, el dragado del círculo de maniobras invade la cimentación del Muelle N° 7, poniendo en riesgo la estabilidad del mismo al retirar el material de los estratos superiores del fondo, ya que consideraba un radio de 370m del círculo de maniobras.

El proyecto de Ampliación de la Boca de Entrada va de la mano con el dragado del canal de ingreso y poza de maniobras, puesto que solamente en

conjunto podrán ofrecer las condiciones de seguridad en las maniobras para los buques de diseño. Estas obras, habiendo sido diseñadas especialmente para el tráfico de buques hacia los amarraderos del Nuevo Terminal de Contenedores, también benefician al resto del terminal portuario, por lo que se les puede considerar como obras de uso común.

Bajo estas consideraciones, el diseño del dragado podría extenderse hacia las zonas de los amarraderos 5 y 11, siempre y cuando se verifique que no se afecte la estabilidad de dichas estructuras, y se mejore la oferta de servicios en estos amarraderos.

Un aspecto a considerar para las futuras ampliaciones del TPC es el tiempo de renovación de aguas al interior de la dársena. Si bien la ampliación del ancho de la Boca permite mejorar la tasa de renovación, ésta se mantiene baja, de acuerdo a lo señalado en el Estudio Definitivo. Las futuras ampliaciones del TPC deberán evaluar este parámetro y considerarlo en su diseño.

En conclusión, la Ampliación de la Boca y el dragado a la cota -16m del canal y poza de maniobras son obras complementarias al Nuevo Terminal de Contenedores Muelle Sur. Este conjunto de trabajos representan un primer paso en la ampliación y modernización de los servicios en el TPC, y que pueden impulsar futuras mejoras y ampliaciones en el resto de amarraderos del terminal.

6.1. CONCLUSIONES

En Base a la discusión establecida se han obtenido conclusiones en las diversas áreas que abarcaron los estudios de Ampliación de la Boca en sus diversas fases.

Con respecto al diseño de la Ampliación:

1. La boca de entrada se ampliará a 200m de ancho, para ello se reduce el rompeolas norte 105m, mientras que el rompeolas sur se recortará 200m de su tramo final y luego se prolongará en una dirección paralela al canal de ingreso.

2. La cota de fondo en el canal de ingreso y la boca será de -14.00m en la primera fase, mientras que en la segunda se profundizará a -16.00m.
3. El talud de dragado de la primera fase se ha determinado en 1:15 y se ha diseñado para que coincida con el de la segunda fase, con el objetivo de no afectar la estabilidad del enrocado luego del dragado de la primera fase.

Con respecto a los estudios básicos de ingeniería, en el caso particular del Puerto del Callao:

4. Si bien las corrientes en la zona del puerto tienden a incrementarse el potencial de transporte de sedimentos es bajo
5. Los factores climatológicos no son relevantes en el diseño de obras portuarias en el TPC.

Del análisis de operatividad del puerto:

6. La operatividad del puerto no se ve afectada por el incremento de la agitación en el interior del puerto. En términos generales la falta de operatividad se eleva hasta 3%, sin embargo en el muelle 5 puede alcanzar valores de hasta 9%.

Con respecto al estudio geotécnico y la estabilidad de los rompeolas:

7. Los rompeolas tienen una sección estable actualmente, mientras no se dé la situación de sismo con aceleración $a=0.2g$
8. Si bien la sección actual de los rompeolas no es estable frente a un sismo con $a=0.2g$ establecidos en la normas peruanas, el diseño propuesto no la empora
9. Para mejorar la estabilidad del rompeolas Norte se colocará una pantalla de doble fila de pilotes empotrados al menos 6m en la grava de Lima
10. La sección de los rompeolas se mejora con la inclusión de banquetas de unos 5m de altura (desde la cota -14m en la base hasta -9.0m) en los laterales de los rompeolas con talud 3H:2V

6.2. RECOMENDACIONES

Algunos puntos que podrían profundizarse en estudios posteriores podemos mencionar:

1. Realizar un estudio geotécnico al detalle de la zona de los muelles 1 al 4 para evaluar la posibilidad de mejorar la profundidad operativa de los amarraderos.
2. Extender los estudios de ingeniería elaborados en el Estudio Definitivo en la zona de los amarraderos 5C, 5D y 5E del Muelle N° 5, así como en la zona de los amarraderos de la Base Naval y Muelle N° 7 de hidrocarburos. Estos estudios permitirían evaluar las posibilidades de ampliación y/o mejoramiento de la infraestructura portuaria y servicios.
3. Evaluar diseños que mejoren el tiempo de renovación de aguas en el interior de la dársena.
4. Evaluar si los tiempos de no operación del Muelle N° 5 demandarán a corto plazo la construcción de obras de abrigo complementarias para disminuir el oleaje en dicho muelle y aumentar su operatividad.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Autoridad Portuaria Nacional. *Plan Nacional de Desarrollo Portuario.* Informe Final. Lima 2004

[2] Fuentes Ortiz, César. *Ingeniería Portuaria.* Primera Edición. Coper Editores. Lima. Perú. Marzo 2001

[3] Flórez Nohesell, Miguel. *Historia Marítima del Perú. Serie Monografías / Tomo I. Los Puertos del Perú.* Instituto de Estudios Histórico-Marítimos del Perú. 1986

[4] Pedro Lainez Lozada Ingenieros - Abastecimientos Internacionales. *Estudio de Perfil para el Mejoramiento y/o Ampliación de la Boca de Entrada al Terminal Portuario del Callao.* Autoridad Portuaria Nacional. 2006

[5] Typsa – Tegepsa. *Estudio de Factibilidad del Proyecto “Mejoramiento y/o Ampliación de la Boca de Entrada en el TP Callao”.* Autoridad Portuaria Nacional. 2008

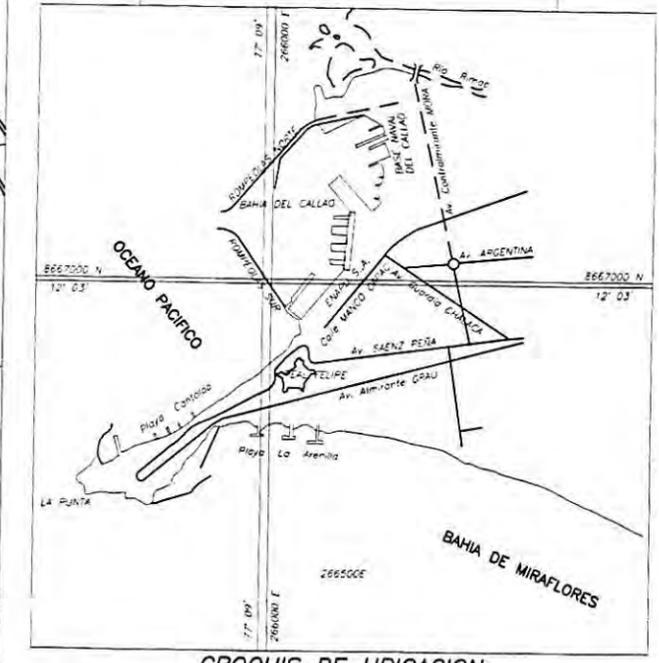
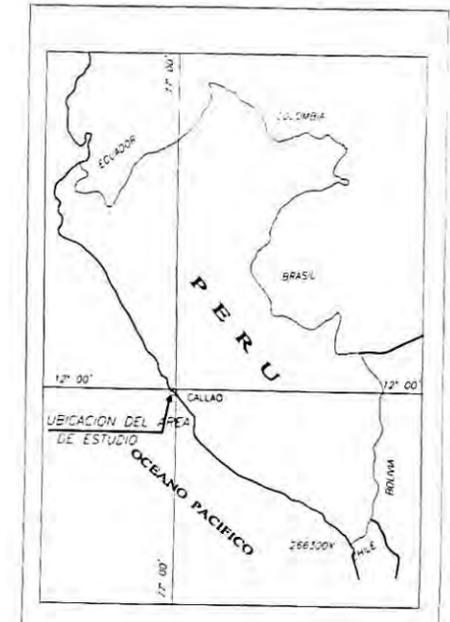
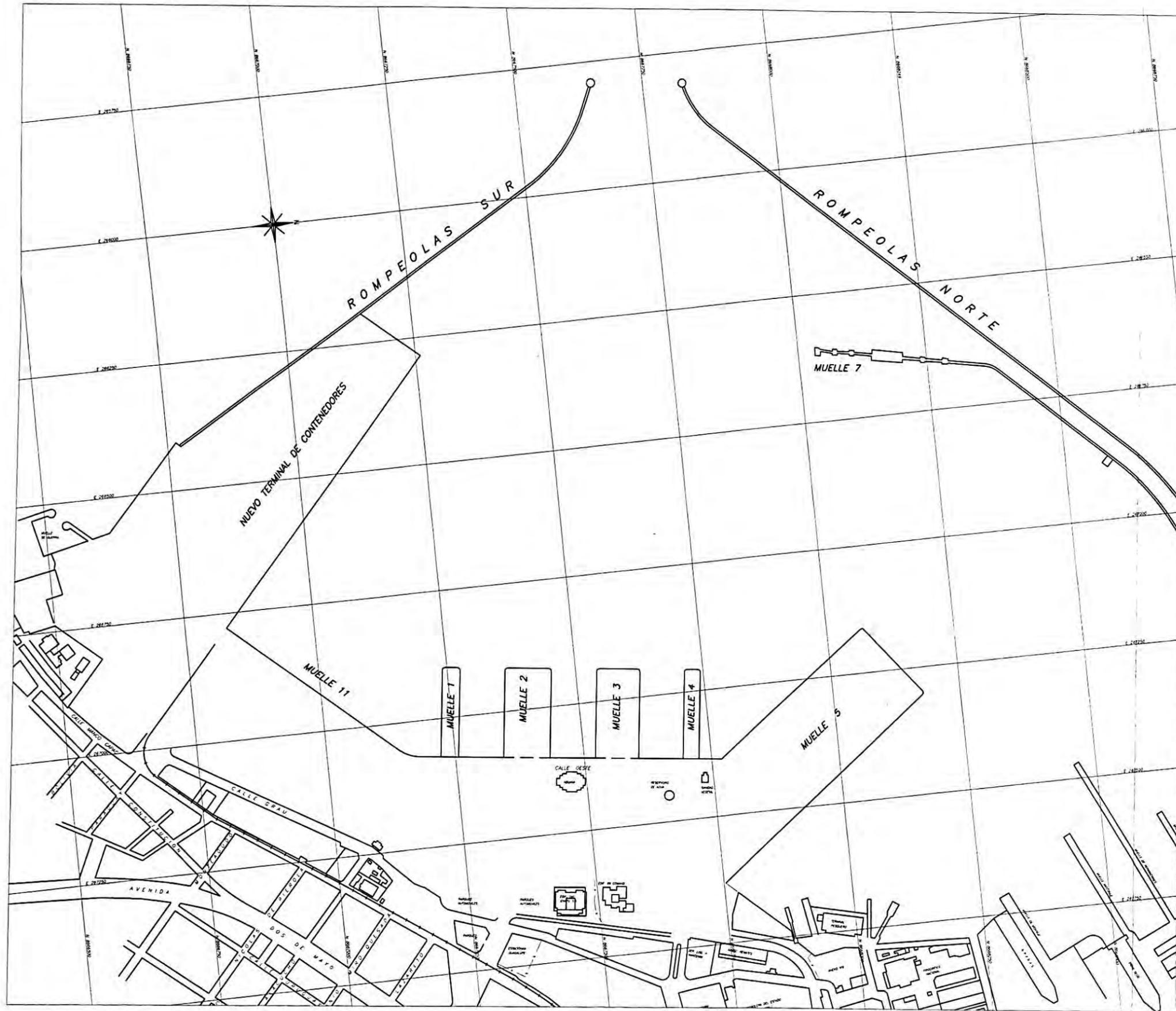
[6] Typsa – Tegepsa. *Estudio Definitivo y Expedientes Técnicos del Proyecto “Mejoramiento y/o Ampliación de la Boca de Entrada en el TP Callao”.* Autoridad Portuaria Nacional. 2009

[7] Thoresen, Carl A. *Port Designer’s Handbook: Recommendations and Guidelines.* Second Edition. 2003

ANEXO

Planos

- L-01 - Ubicación
- L-02 - Batimetría
- L-03 - Propuesta de Ampliación de la Boca de Entrada – Alternativa Escolleras – Estudio de Perfil
- L-04 - Propuesta de Ampliación de la Boca de Entrada – Alternativa Tablestacas – Estudio de Perfil
- L-05 - Propuesta de Ampliación de la Boca de Entrada – Alternativas – Estudio de Factibilidad
- L-06 - Planta de Dragado Fase 0
- L-07 - Planta de Dragado 1º Fase
- L-08 - Planta de Dragado 2º Fase
- L-09 - Procedimiento Constructivo del Rompeolas Norte
- L-10 - Procedimiento Constructivo del Rompeolas Sur
- L-11 - Armadura de Pilotes y Plataforma



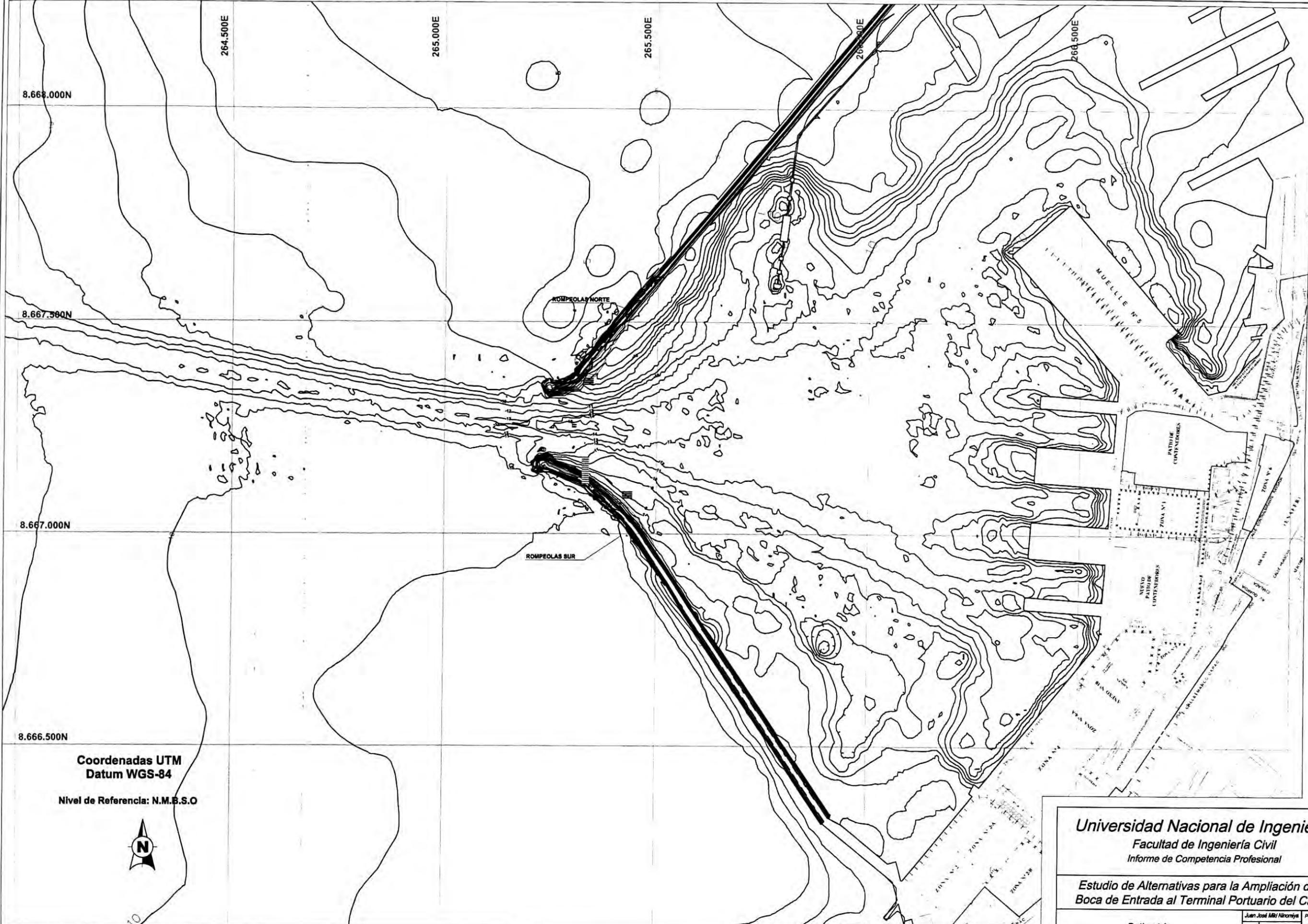
CROQUIS DE UBICACION

Universidad Nacional de Ingeniería
 Facultad de Ingeniería Civil
 Informe de Competencia Profesional

Estudio de Alternativas para la Ampliación de la Boca de Entrada al Terminal Portuario del Callao

Ubicación	Juan José MRI Nironiys	Plano
	Fecha	2011
	Esc.	1:6000

L-01



8.668.000N
8.667.500N
8.667.000N
8.666.500N

264.500E

265.000E

265.500E

266.000E

266.500E

**Coordenadas UTM
Datum WGS-84**

Nivel de Referencia: N.M.B.S.O

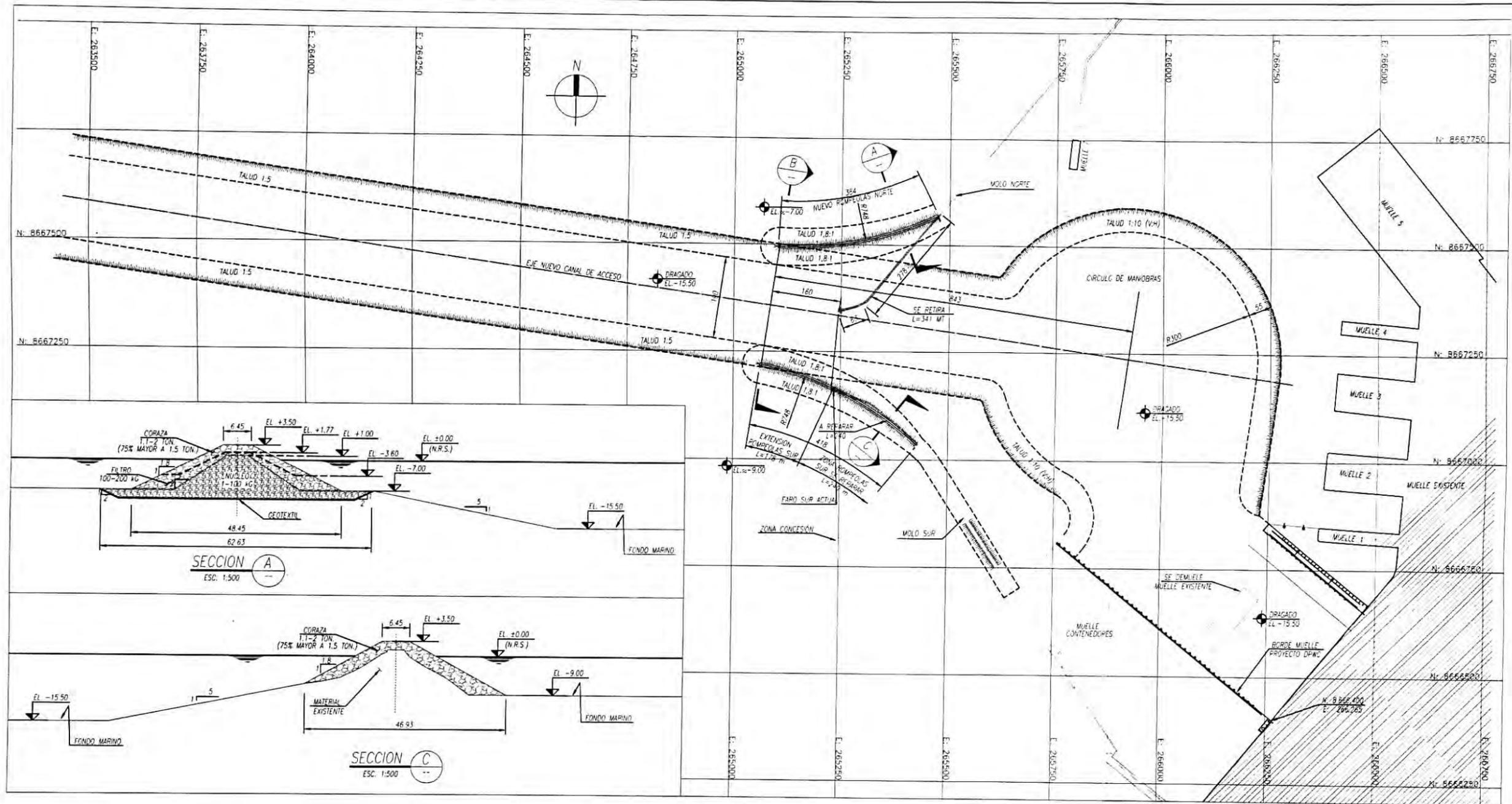


Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Civil
Informe de Competencia Profesional

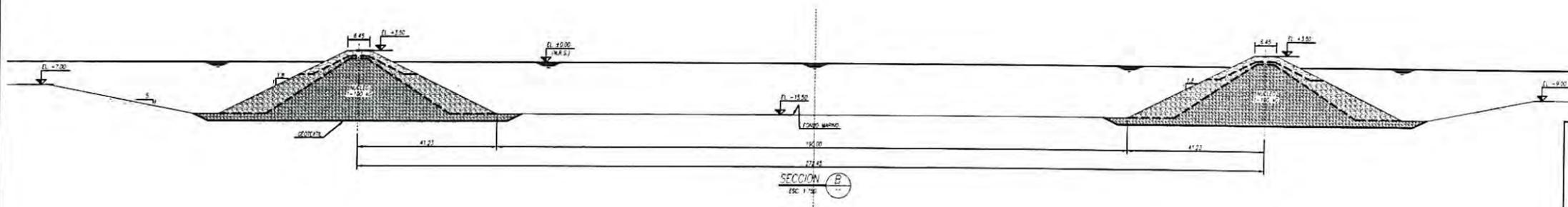
**Estudio de Alternativas para la Ampliación de la
Boca de Entrada al Terminal Portuario del Callao**

Batimetría	Fecha:	2011	Plano L-02
	Esc:	1/4000	
	Juan José Mili Nicosmá Ene		

Fuente: Estudio de Factibilidad del Proyecto "Mejoramiento y/o Ampliación de la Boca de Entrada en el TP Callao"



PLANTA GENERAL
Esc. 1/5000



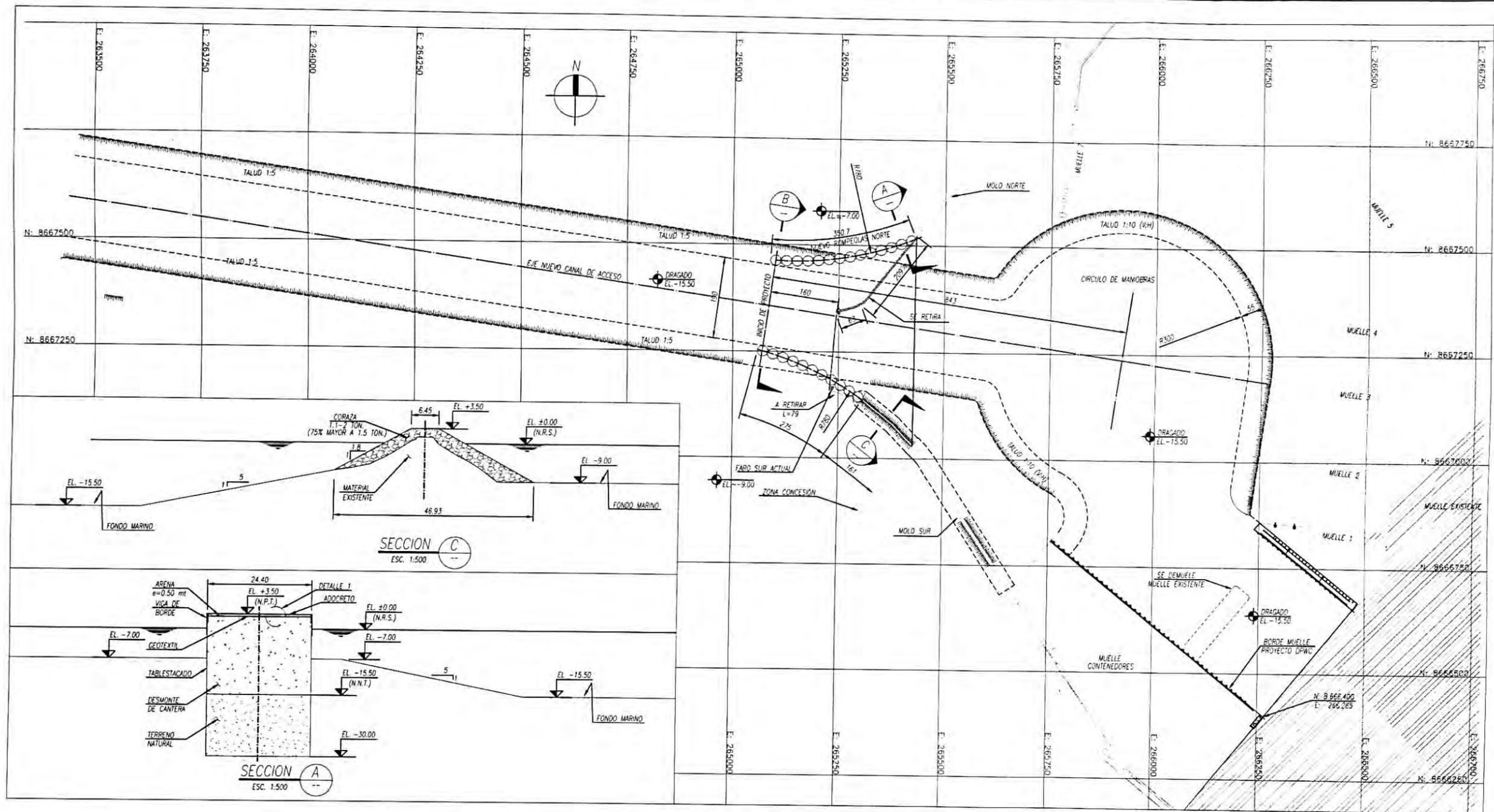
SECCION B
Esc. 1/500

Universidad Nacional de Ingeniería
 Facultad de Ingeniería Civil
 Informe de Competencia Profesional

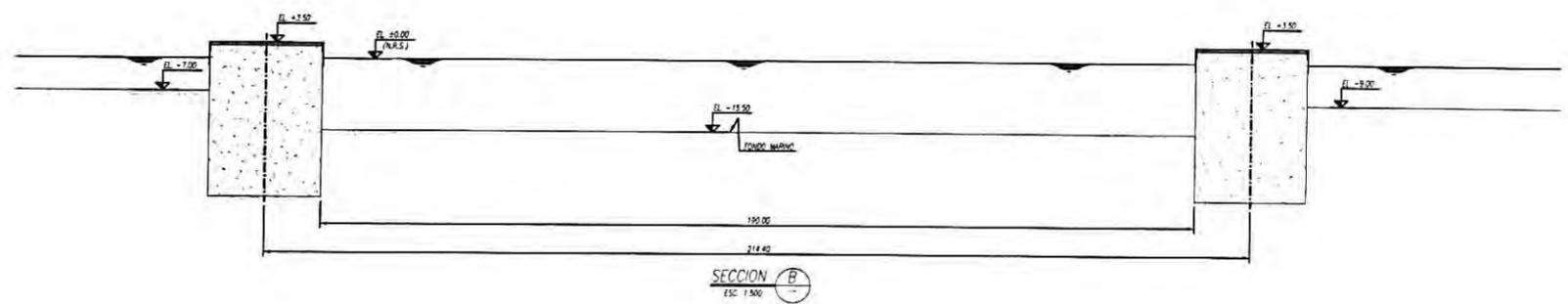
Estudio de Alternativas para la Ampliación de la Boca de Entrada al Terminal Portuario del Callao

Propuesta de Ampliación de la Boca de Entrada - Alternativa Escolteras - Estudio de Perfil	Juan José Miki Niromiya Fecha: 2011 Esc. Indicado	Plano L-03
--	---	---------------

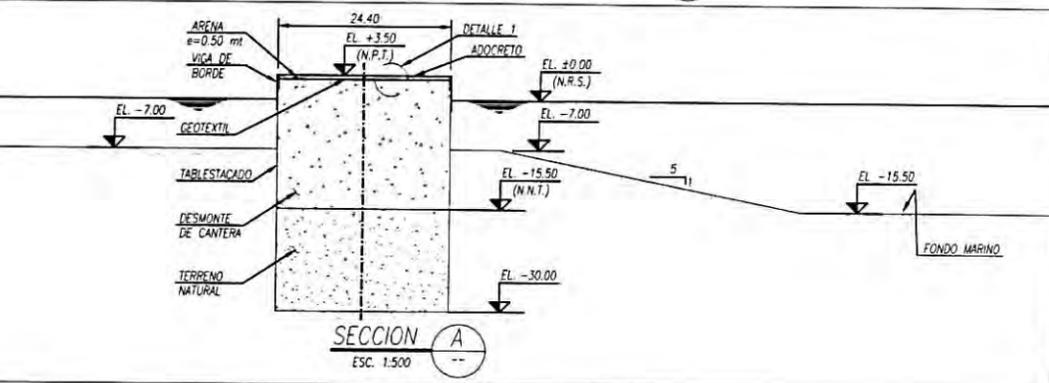
Fuente: Estudio de Perfil para el Mejoramiento y/o Ampliación de la Boca de Entrada al Terminal Portuario del Callao



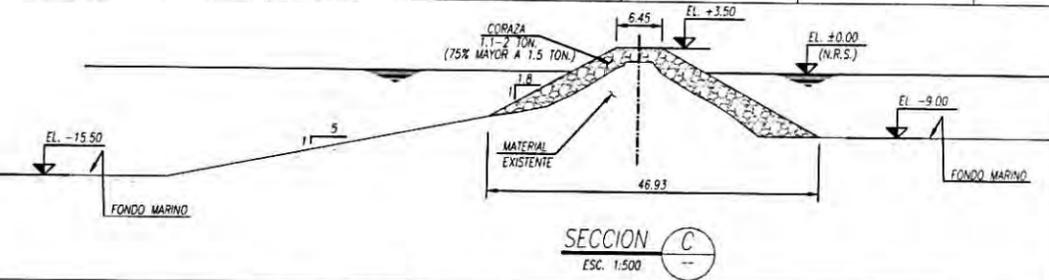
PLANTA
ESC. 1:5000



SECCION B
ESC. 1:500



SECCION A
ESC. 1:500



SECCION C
ESC. 1:500

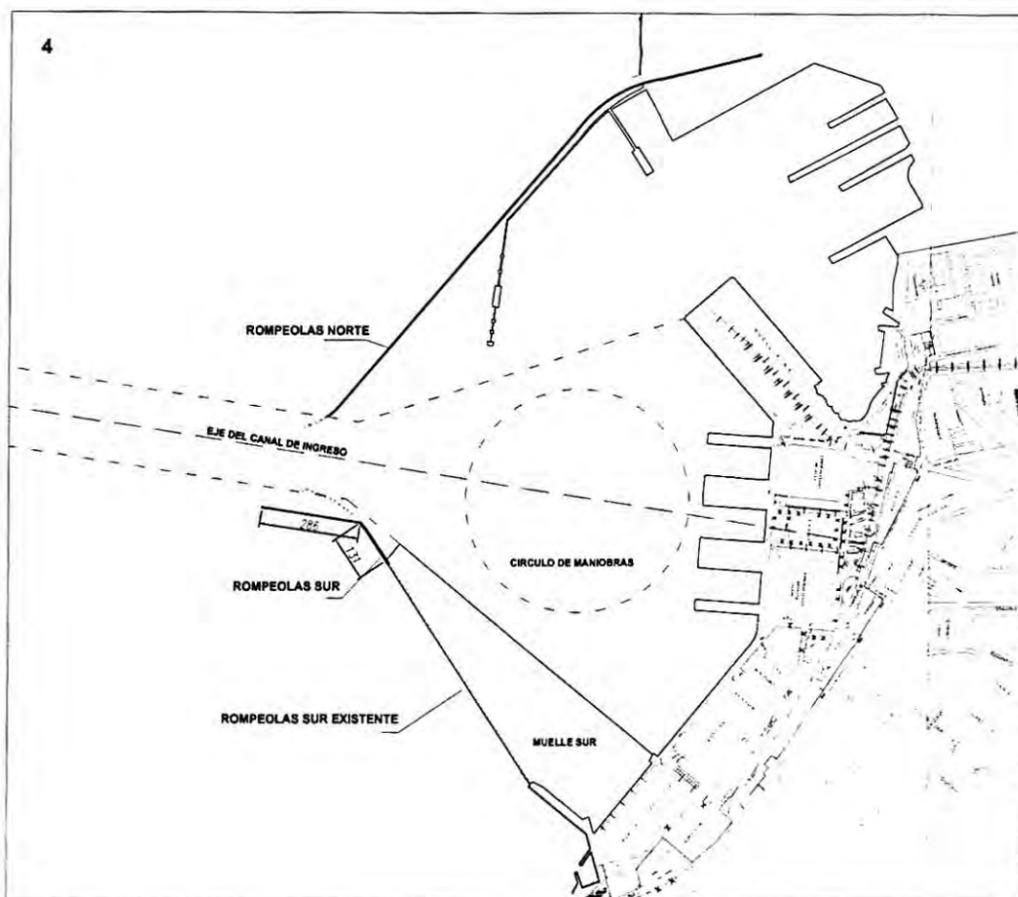
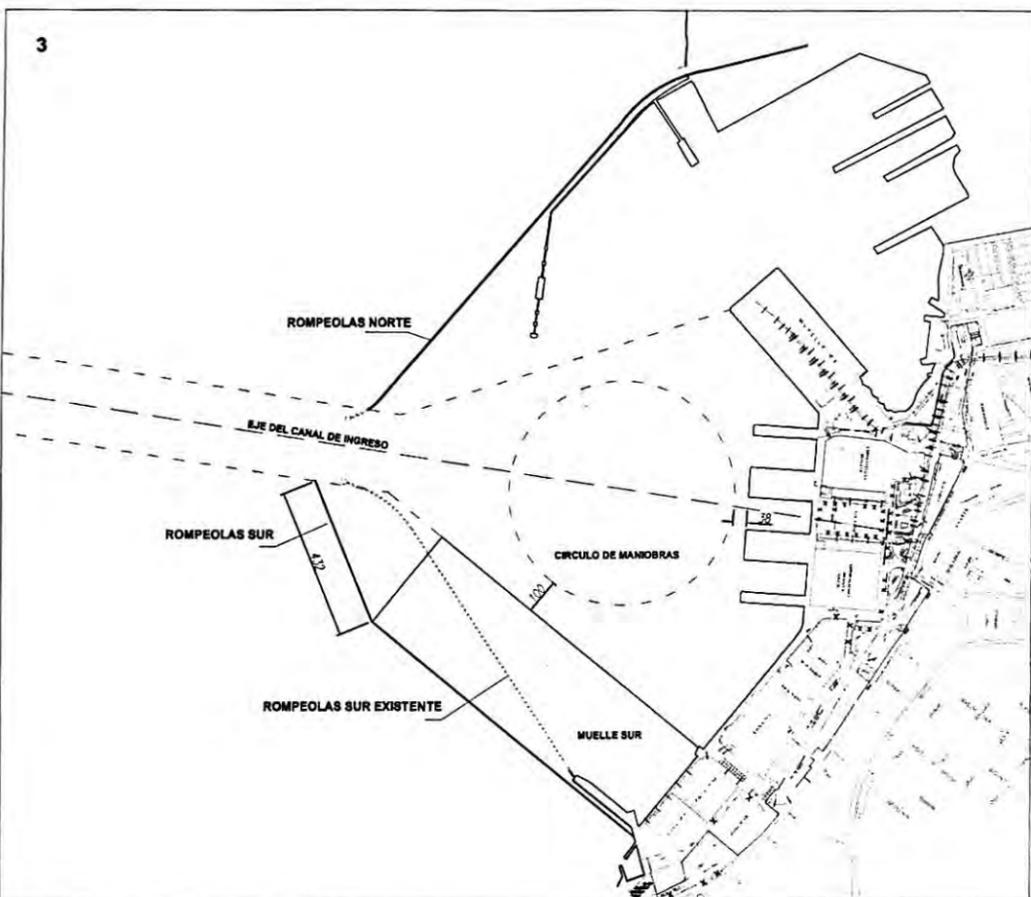
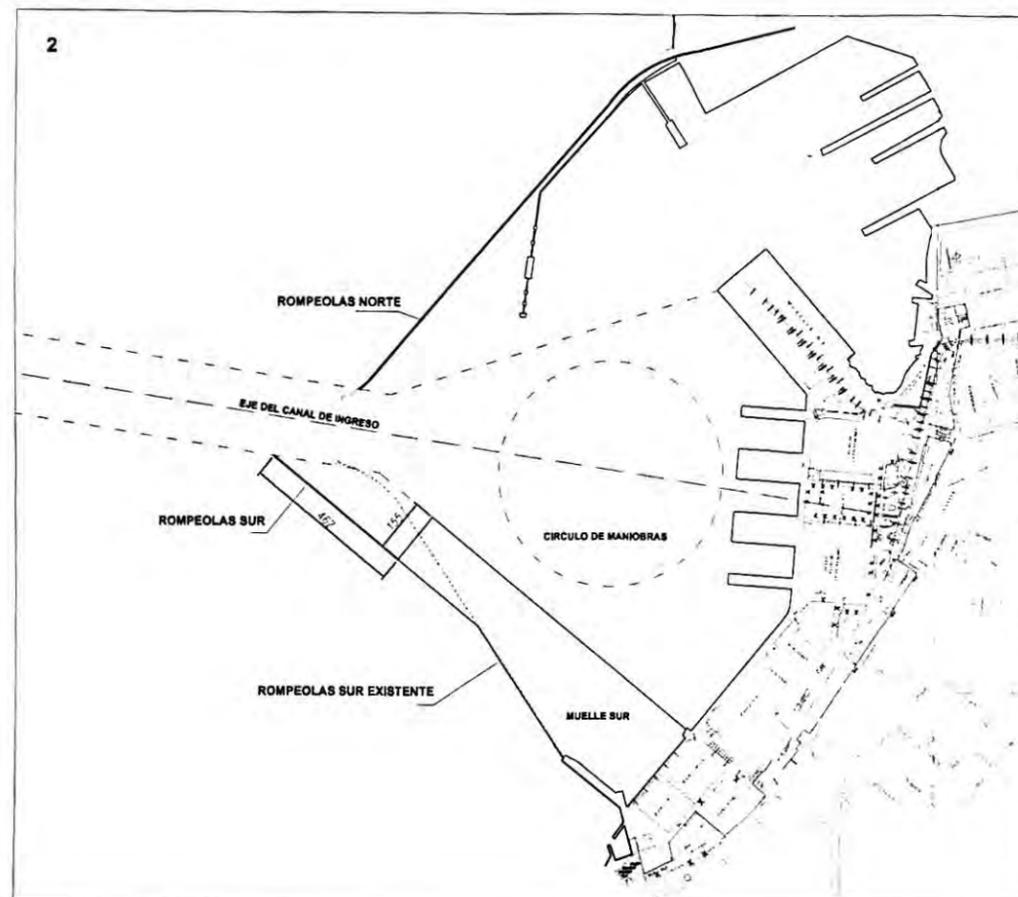
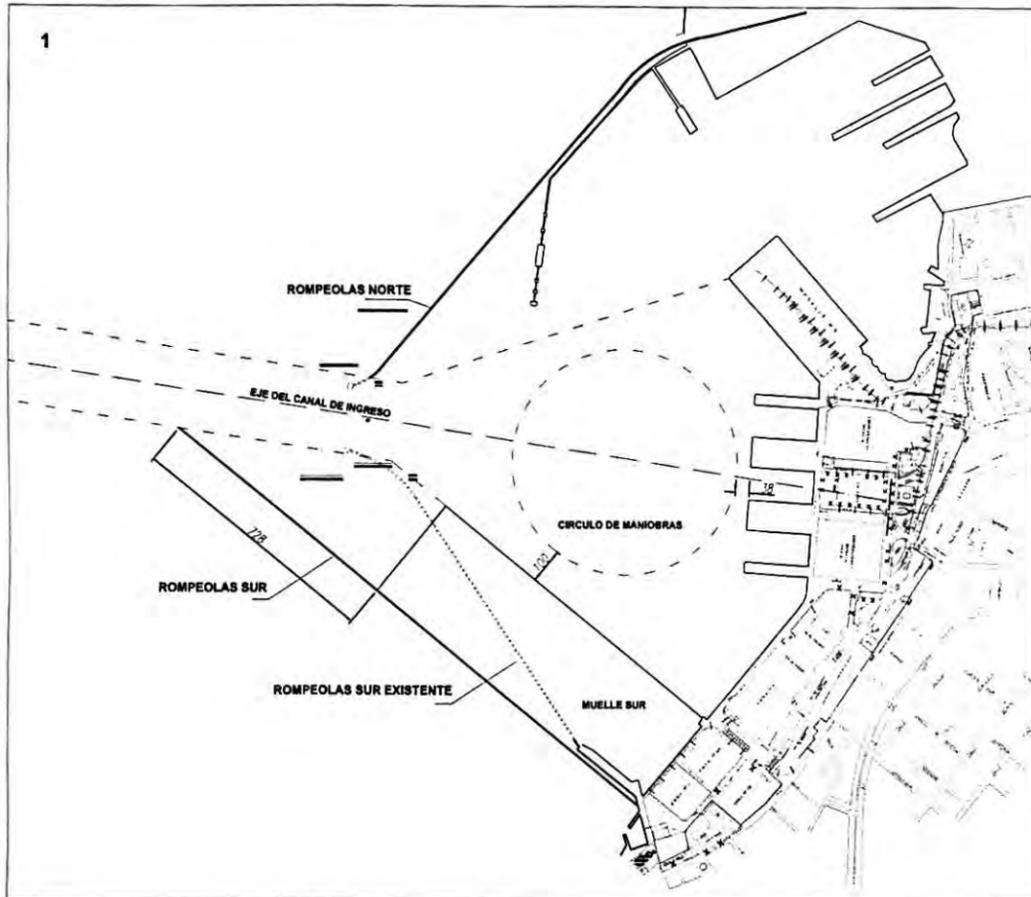
Universidad Nacional de Ingeniería
 Facultad de Ingeniería Civil
 Informe de Competencia Profesional

Estudio de Alternativas para la Ampliación de la Boca de Entrada al Terminal Portuario del Callao

Propuesta de Ampliación de la Boca de Entrada - Alternativa Tablestaca - Estudio de Perfil	Juan José Mili Niromiya	Plano
	Fecha: 2011	
	Esc: Indicado	

L-04

Fuente: Estudio de Perfil para el Mejoramiento y/o Ampliación de la Boca de Entrada al Terminal Portuario del Callao



Alternativa 1
Alineamiento del rompeolas sur recto desde el límite del área de muelle sur ampliado y con mayor apertura de la boca

Alternativa 2
Alineamiento del rompeolas sur recto a partir del límite de Muelle Sur

Alternativa 3
Alineamiento del rompeolas sur en diagonal desde el límite de Muelle Sur

Alternativa 4
Alternativa seleccionada en el Estudio Definitivo

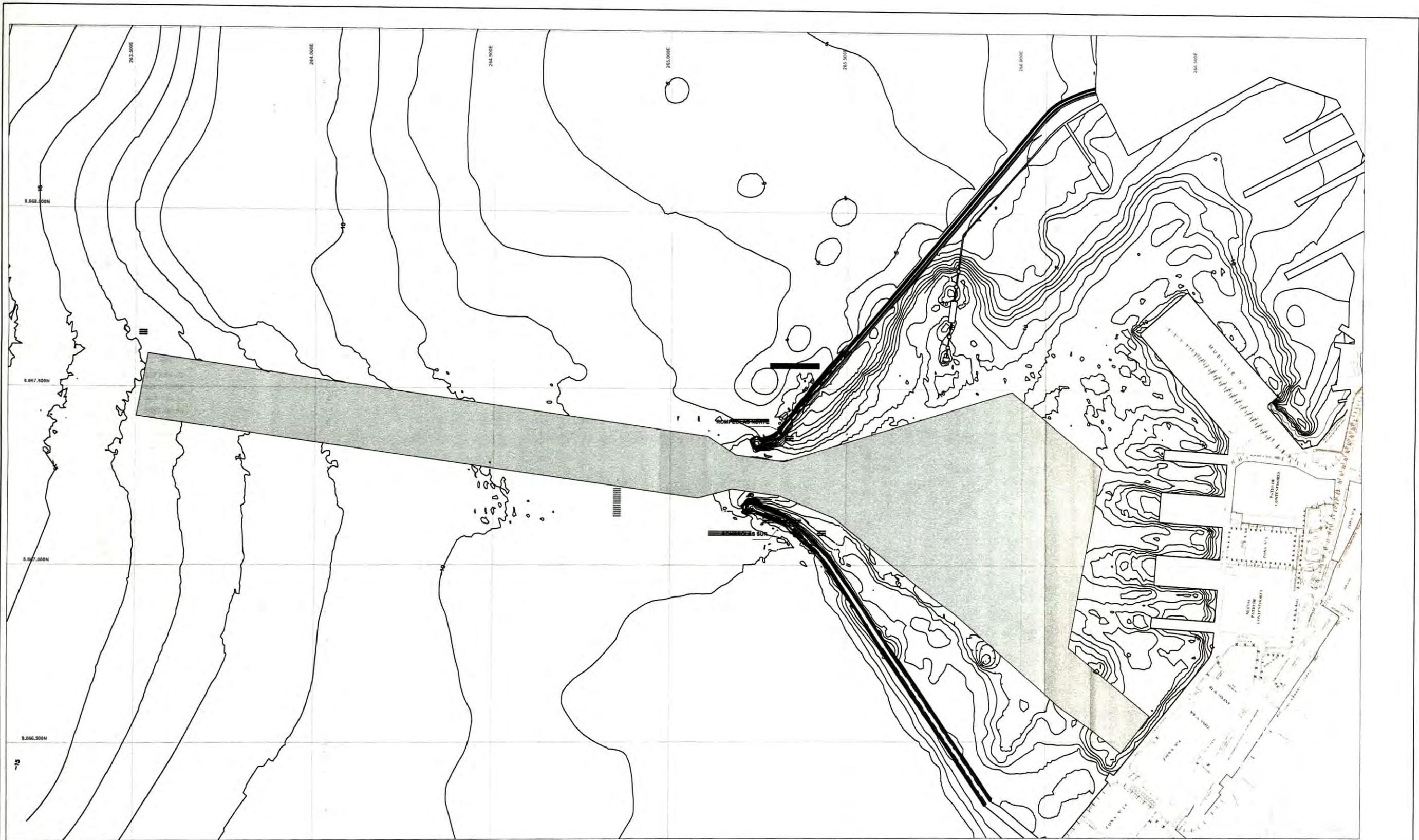
Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Civil
Informe de Competencia Profesional

Estudio de Alternativas para la Ampliación de la Boca de Entrada al Terminal Portuario del Callao

Propuesta de Ampliación de la Boca de Entrada - Alternativas - Estudio de Factibilidad

Juan José Miki Naranjo	Piano
Fecha: 2011	
Etc: 1/10,000	

L-05



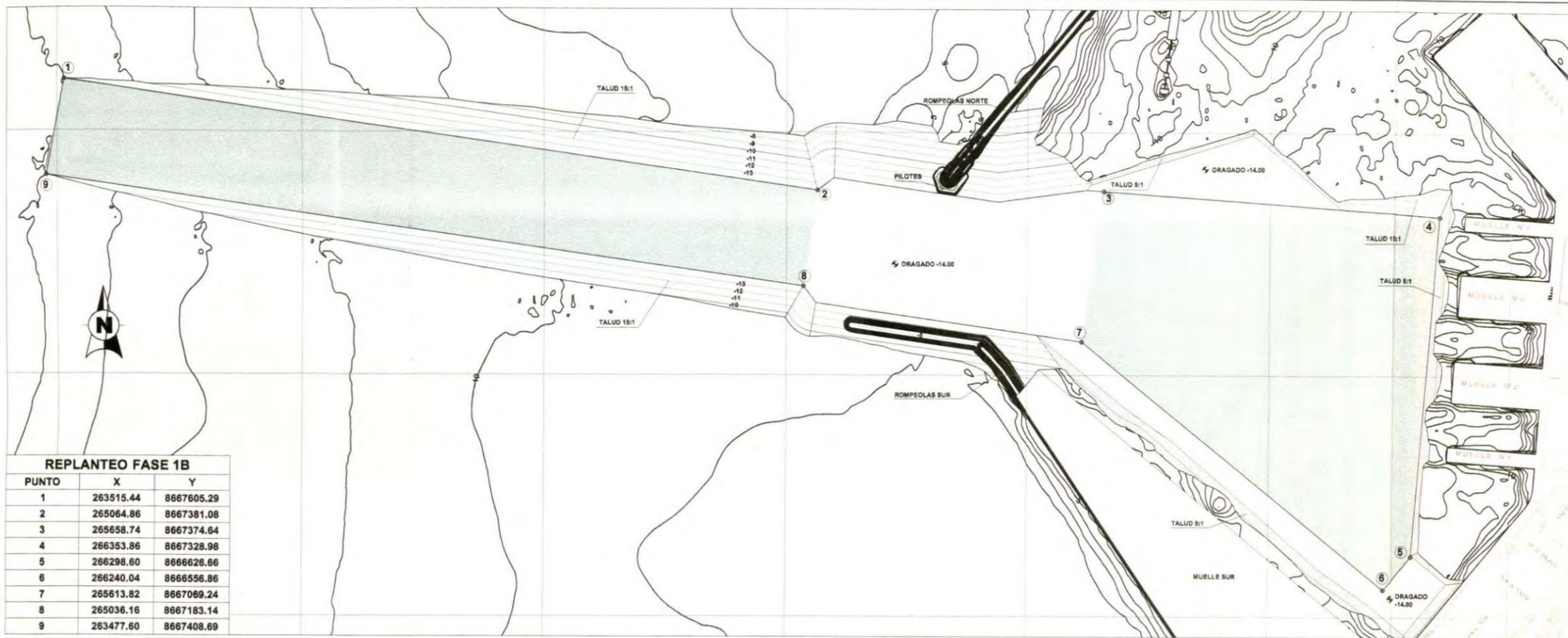
Universidad Nacional de Ingeniería
 Facultad de Ingeniería Civil
 Informe de Competencia Profesional

Estudio de Alternativas para la Ampliación de la
 Boca de Entrada al Terminal Portuario del Callao

Planta de Dragado Fase 0

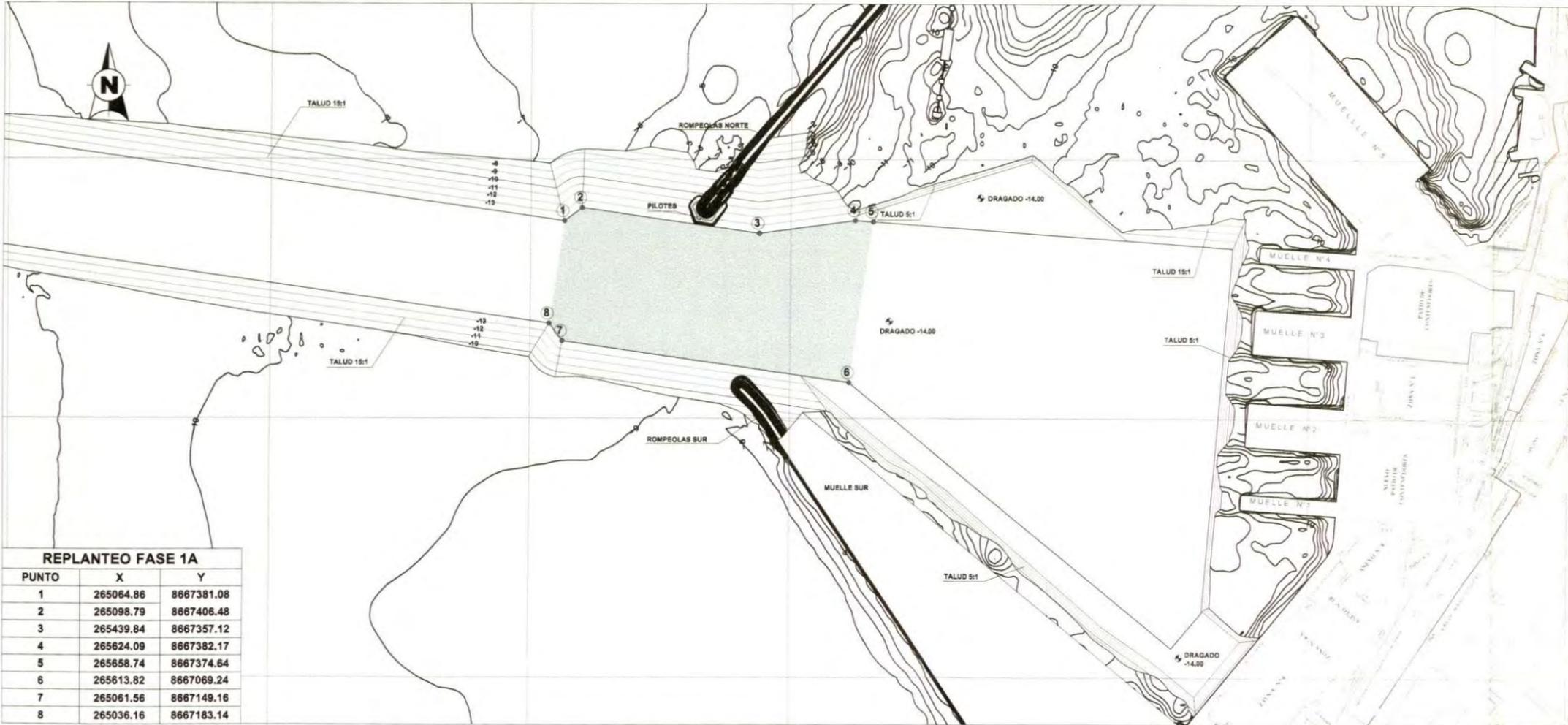
Juan José Mito Ninomiya Plano
 Fecha: 2011
 Etc: 1/5000

L-06



REPLANTEO FASE 1B

PUNTO	X	Y
1	263515.44	8667605.29
2	265064.86	8667381.08
3	265658.74	8667374.64
4	266353.86	8667328.98
5	266298.60	8666626.66
6	266240.04	8666556.86
7	265613.82	8667069.24
8	265036.16	8667183.14
9	263477.60	8667408.69



REPLANTEO FASE 1A

PUNTO	X	Y
1	265064.86	8667381.08
2	265098.79	8667406.48
3	265439.84	8667357.12
4	265624.09	8667382.17
5	265658.74	8667374.64
6	265613.82	8667069.24
7	265061.56	8667149.16
8	265036.16	8667183.14

Coordenadas UTM
Datum WGS-84
Nivel de Referencia: N.M.B.S.O

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Civil
Informe de Competencia Profesional

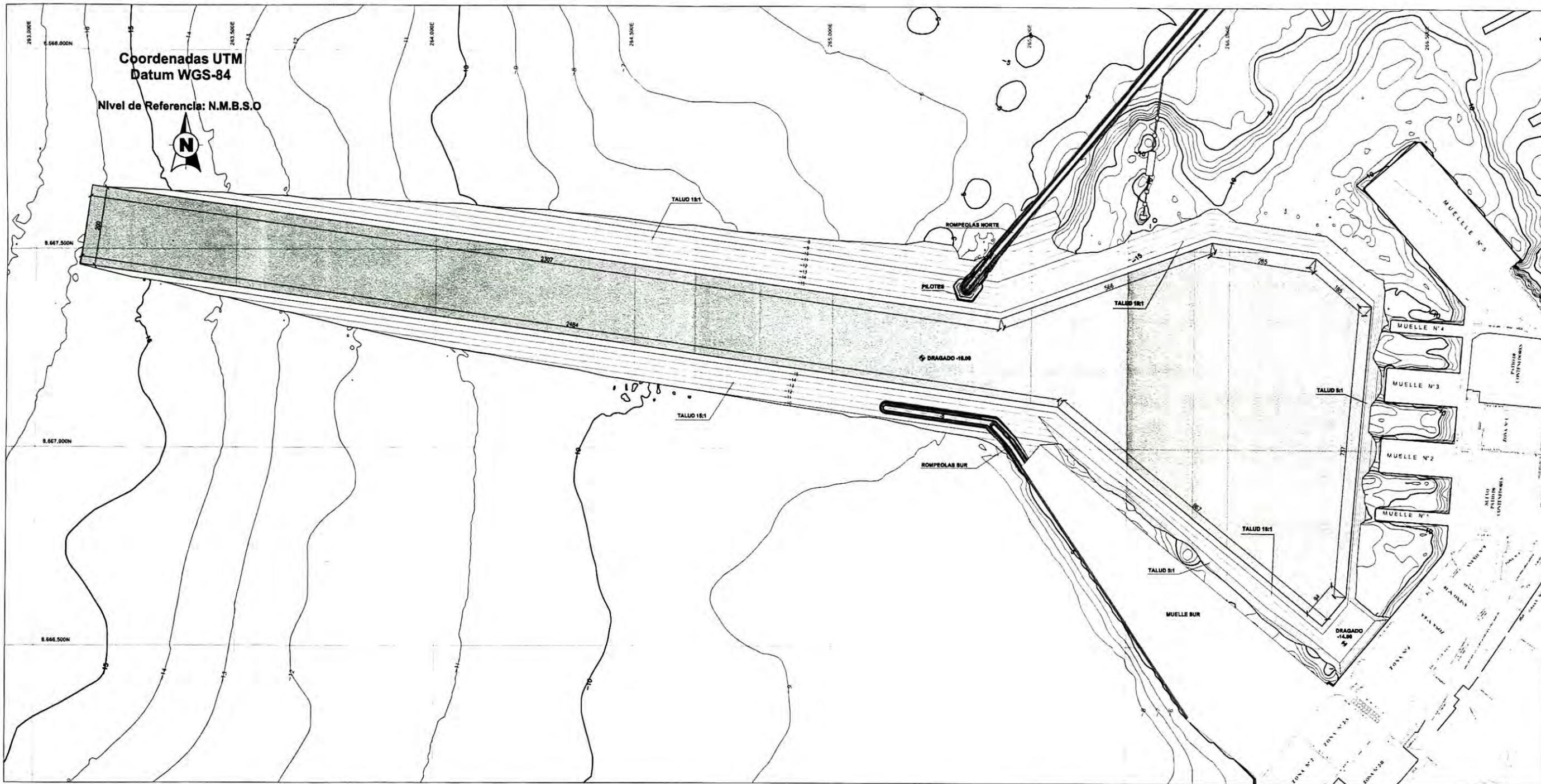
Estudio de Alternativas para la Ampliación de la Boca de Entrada al Terminal Portuario del Callao

Planta de Dragado 1ª Fase

Juan José Mili Nicomía	Plano
Fecha: 2011	
Esc: 1:8000	

L-07

Fuente: Estudio de Factibilidad del Proyecto: "Mejoramiento y/o Ampliación de la Boca de Entrada en el TP Callao"



Universidad Nacional de Ingeniería
 Facultad de Ingeniería Civil
 Informe de Competencia Profesional

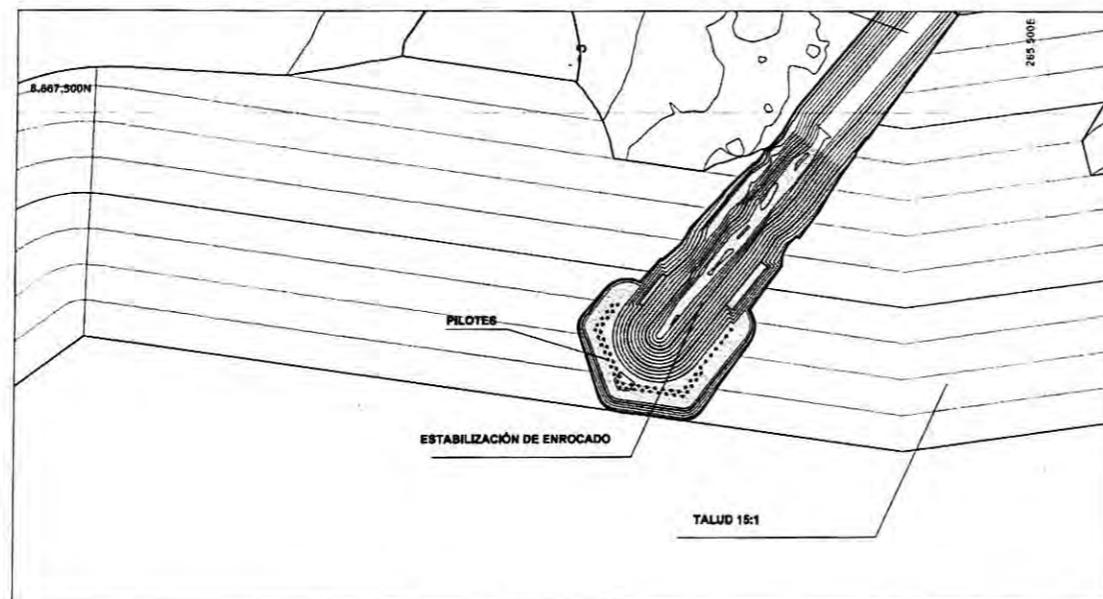
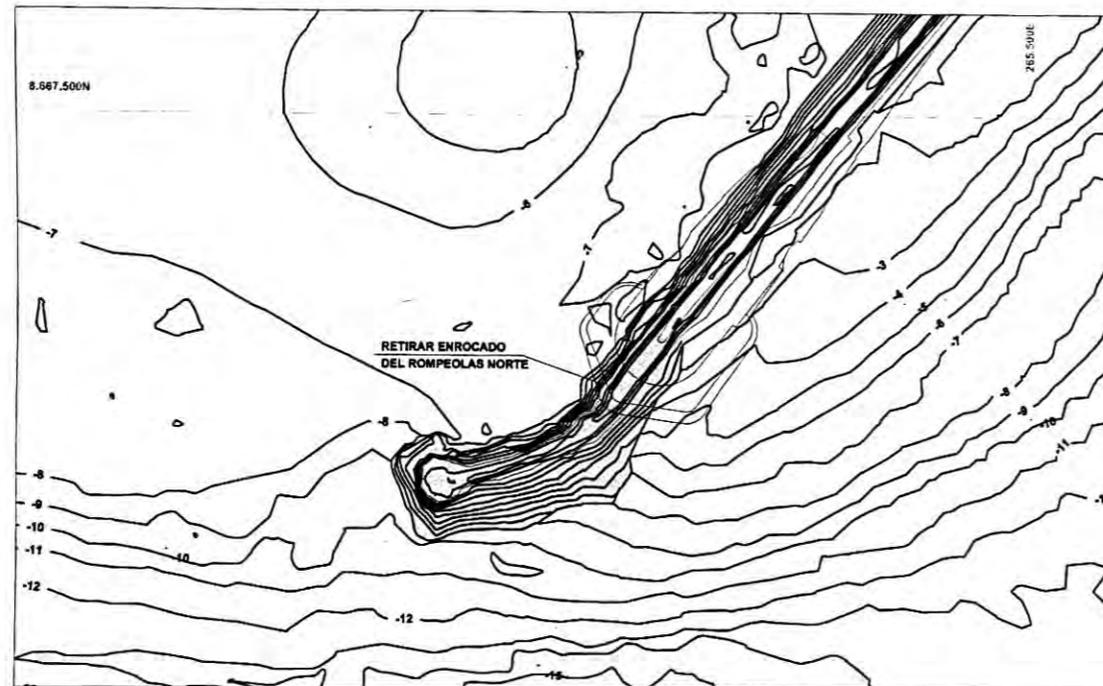
Estudio de Alternativas para la Ampliación de la Boca de Entrada al Terminal Portuario del Callao

Planta Dragado 2º Fase

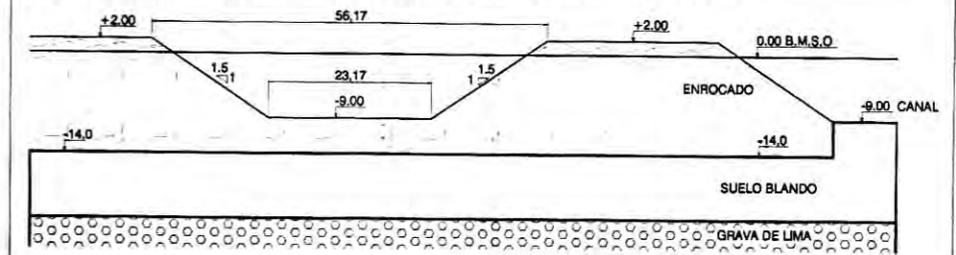
Juan José Miki Ninomya	Plano
Fecha: 2011	
Esc: 1/5000	

L-08

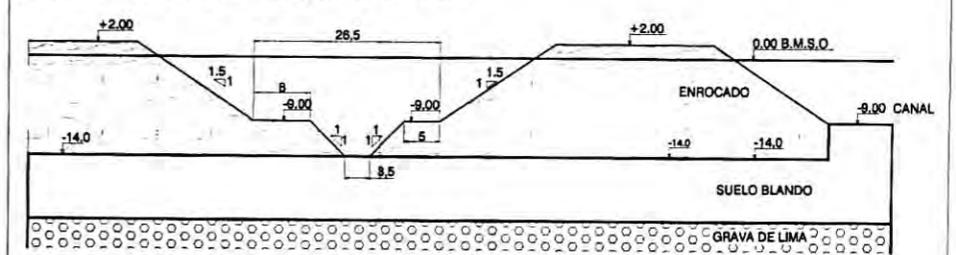
PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO ROMPEOLAS NORTE



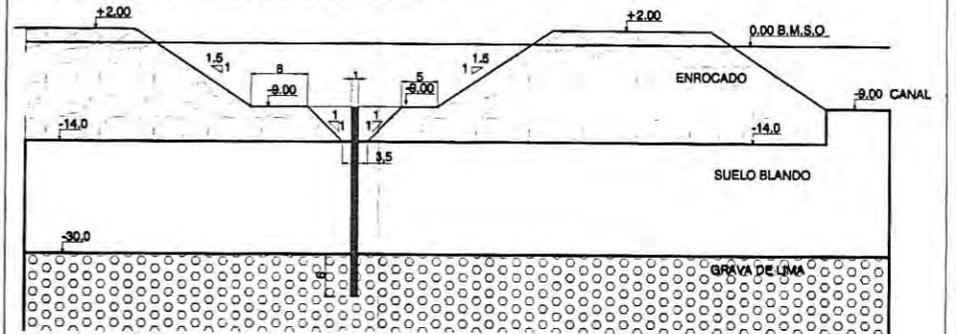
PASO 1: Retiro de enrocado superior según planta. Esc 1/500



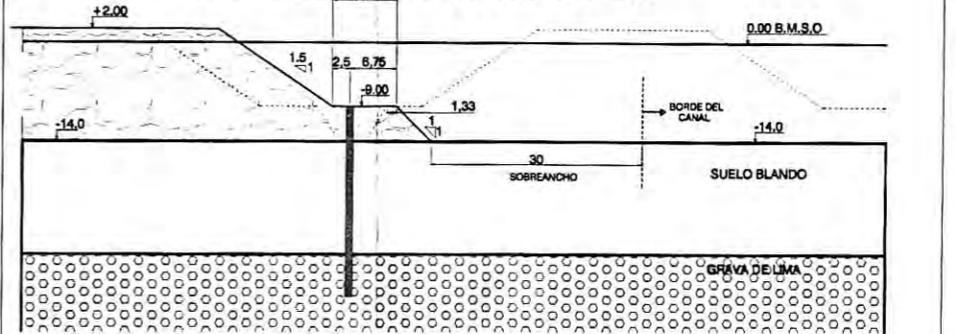
PASO 2: Apertura de zanja. Esc 1/500



PASO 3: Hincado de pilotes. Esc. 1/500



PASO 4: Relleno de zanja y retiro de enrocado restante



Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Civil
Informe de Competencia Profesional

Estudio de Alternativas para la Ampliación de la
Boca de Entrada al Terminal Portuario del Callao

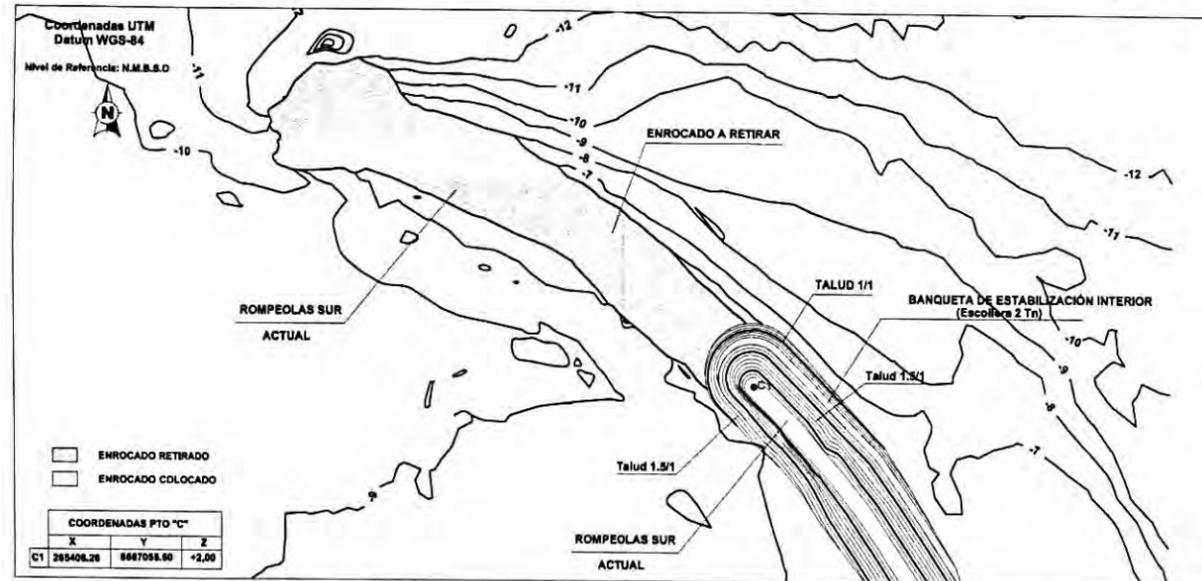
Procedimiento Constructivo del
Rompeolas Norte

Juan José Mendi Naranjo Plano
Fecha: 2011
Esc. 1/5000

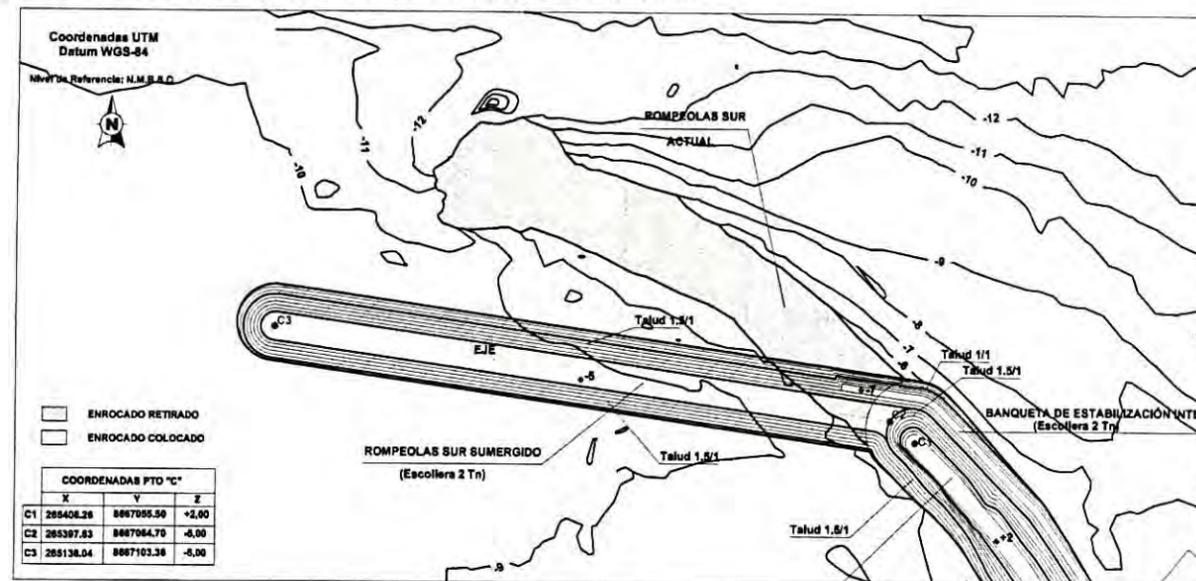
L-09

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO ROMPEOLAS SUR

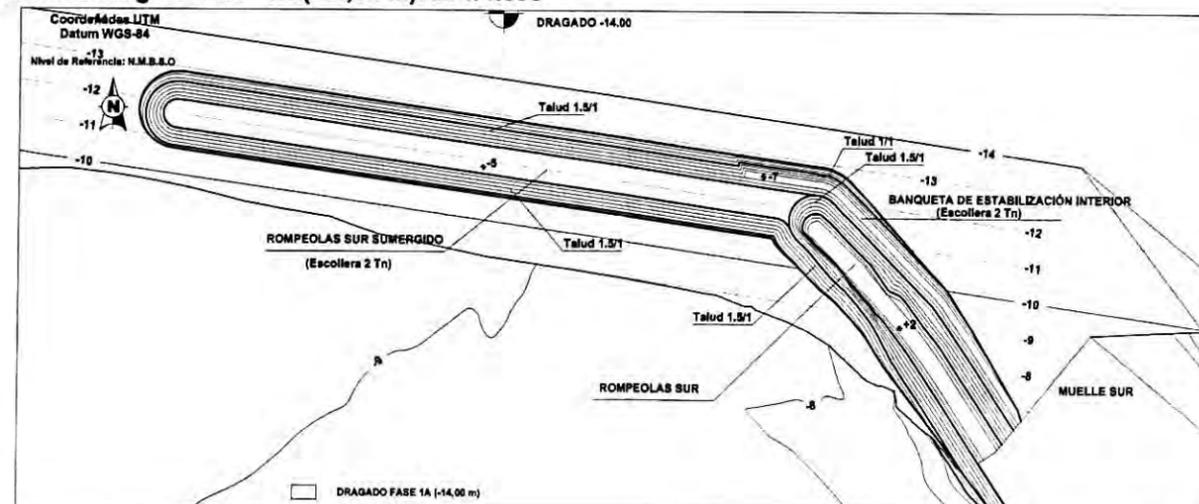
PASO 1: Retirada de enrocado del rompeolas sur actual y formación de banquetta estabilizadora. E 1/1.500



PASO 2: Retirada de enrocado de rompeolas sur actual y construcción del dique sumergido por vertido con ganguil desde el eje del rompeolas. E. 1/1500



PASO 3: Dragado Fase 1A (-14,00 m). E. 1/1.500



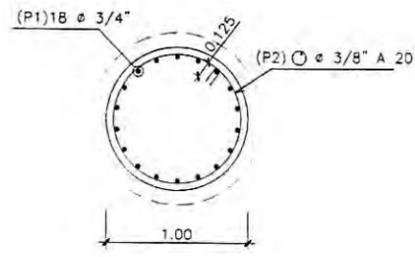
Fuente: Estudio Definitivo del Proyecto "Mejoramiento y/o Ampliación de la Boca de Entrada en el TP Callao"

Universidad Nacional de Ingeniería
 Facultad de Ingeniería Civil
 Informe de Competencia Profesional

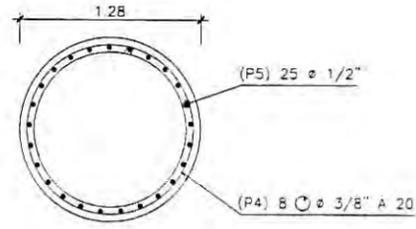
Estudio de Alternativas para la Ampliación de la Boca de Entrada al Terminal Portuario del Callao

Procedimiento Constructivo del Rompeolas Sur

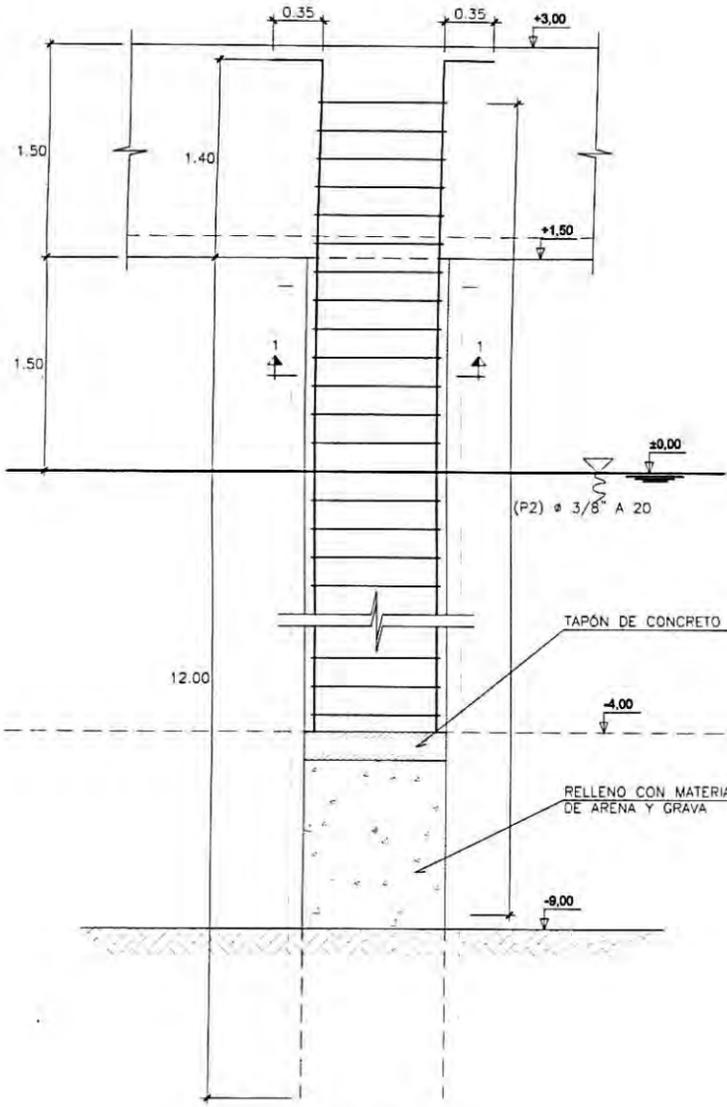
Juan José Miki Ninomiya	Plano
Fecha: 2011	
Etc. 1:5000	



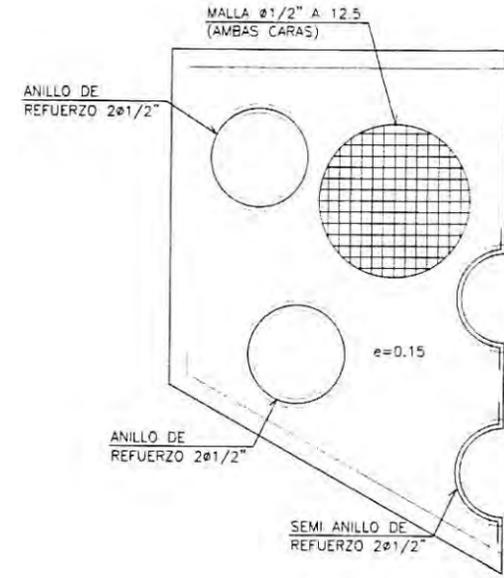
SECCIÓN 1-1
E=1/25



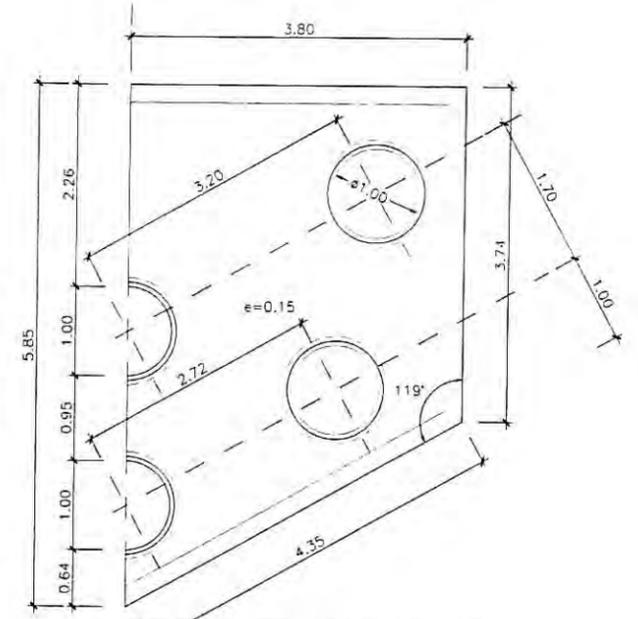
SECCIÓN 2-2
ARMADURA EN ELEMENTO PREFABRICADO
E=1/25



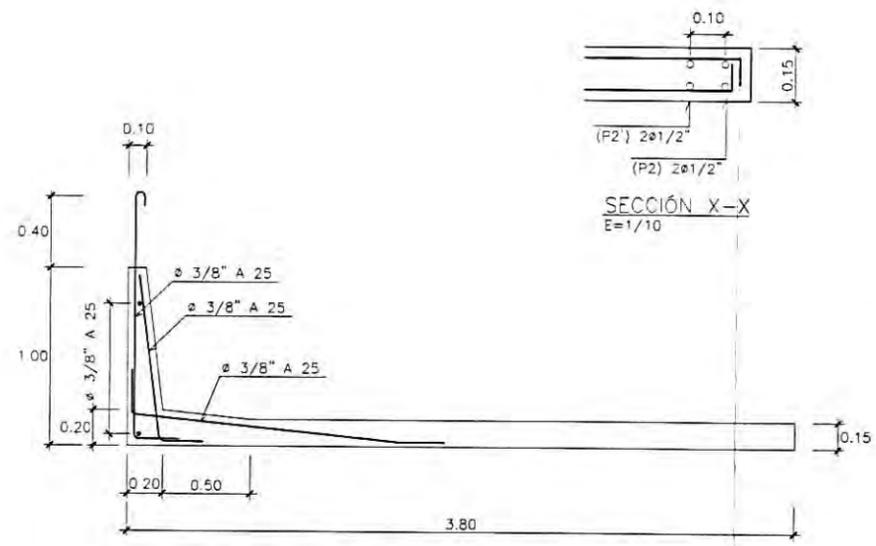
ARMADURA EN PILOTE
E=1/25



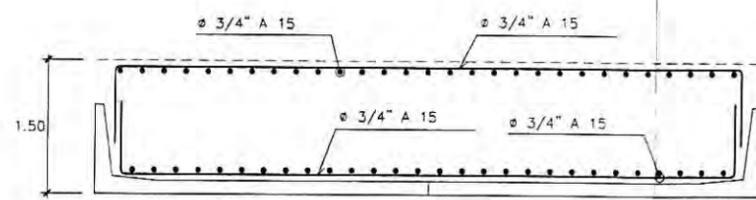
ARMADURA PREFABRICADA
E=1/40



GEOMETRIA PREFABRICADA
E=1/40



SECCIÓN ARMADURA PREFABRICADA
E=1/20



SECCIÓN ARMADURA ENCEPADO
E=1/40

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

CONCRETO EN ZAPATA Y FUSTE $f_c = 280 \text{ Kg/cm}^2$
 CONCRETO DE NIVELACIÓN $f_c = 140 \text{ Kg/cm}^2$
 CONCRETO EN ELEMENTO PREFABRICADO $f_c = 280 \text{ Kg/cm}^2$
 ACERO DE REFUERZO (ASTM A615) $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$
 TIPO DE CEMENTO: PORTLAND TIPO V
 NPT 334.009 ASTM C-150

RECUBRIMIENTO
 EN ZAPATAS: 7.0 cm
 EN PILOTES: 5.0 cm
 EN PREFABRICADO: 2.5 cm

LONGITUDES MÍNIMAS DE ANCLAJE Y TRASLAPE, SALVO INDICACIONES ESPECÍFICAS EN LOS PLANOS

VARILLA #	Ø (PULG)	ANCLAJE (cm)	TRASLAPE (cm)	GANCHOS (cm)
#3	3/8"	40.0	50.0	15.0
#4	1/2"	45.0	70.0	15.0
#5	5/8"	60.0	90.0	20.0
#6	3/4"	75.0	120.0	25.0
#8	1"	110.0	180.0	30.0

Universidad Nacional de Ingeniería
 Facultad de Ingeniería Civil
 Informe de Competencia Profesional

Estudio de Alternativas para la Ampliación de la
 Boca de Entrada al Terminal Portuario del Callao

Armadura de Pilotes y Plataforma
 Fecha: 2011
 Etc. Indicatis