

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**EMBARQUE DE 1'800,000 TM DE CONCENTRADOS DE  
COBRE EN LA BAHÍA DE PACASMAYO  
DISEÑO ESTRUCTURAL DEL MUELLE**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**ANTONIO WALTER VALVERDE ROBLES**

**Lima- Perú**

**2011**

**Dedico el presente trabajo a  
Jesucristo nuestro Señor,  
mi fortaleza y guía.**

Agradezco a mi madre Julia.

Por su ejemplo de amor, perseverancia y trabajo honesto.

A mi esposa Cecilia, el amor de mi vida.

Por su paciencia e impulso en todo lo que hago.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b>	2
LISTA DE CUADROS	3
LISTA DE FIGURAS	3
LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS	4
<b>INTRODUCCIÓN</b>	5
<b>CAPÍTULO I: PERFIL DEL PROYECTO</b>	7
1.1 UBICACIÓN	7
1.2 OBJETIVO DEL PROYECTO	10
1.3 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL PROYECTO	11
<b>CAPITULO II: DISEÑO ESTRUCTURAL DEL MUELLE</b>	13
2.1 ESTUDIOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO	13
2.2 ESPECIFICACIONES DE DISEÑO Y TIPOS DE CARGA	25
2.3 ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL MUELLE	34
2.4 DISEÑO DE COMPONENTES ESTRUCTURALES	43
<b>CAPITULO III: EXPEDIENTE TÉCNICO</b>	57
3.1 MEMORIA DESCRIPTIVA	57
3.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	59
3.3 METRADOS, COSTOS Y PRESUPUESTOS	74
3.4 PROGRAMACIÓN	75
3.5 PLANOS	76
<b>CONCLUSIONES</b>	77
<b>RECOMENDACIONES</b>	78
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	79
<b>ANEXOS</b>	80

## RESUMEN

El tema tratado en el presente estudio es el diseño estructural del muelle del nuevo Puerto de Pacasmayo, siendo éste parte del perfil: “Embarque de 1'800,000 TM de Concentrados de Cobre en la Bahía de Pacasmayo” en el cual se propone la construcción del nuevo Puerto de Pacasmayo, ubicado en la zona conocida como El Faro.

El problema encontrado, ante la fuerte demanda próxima a partir del año 2014 de exportación de concentrados de cobre producido por las minas ubicadas en su mayoría en la Región de Cajamarca, es la falta de un puerto especializado en concentrados de minerales, específicamente de cobre, con las características de embarque que incluye la descarga desde camiones, almacenamiento, transporte por medio de fajas hacia el muelle y su posterior carguío hacia la nave por medio de un ship loader.

Los antecedentes relacionados con la solución del problema encontrado, data desde el año de 2007 y que a la fecha del presente estudio no se ha concretado, el cual consta de un proyecto elaborado por la empresa CEMPRO TECH SAC para la mina Galeno. Dicho proyecto propone la construcción, en concreto armado de pilotes, losas y vigas, de un puente de acceso de 200m de largo y 10m de ancho y un muelle conformado por una plataforma de 140m de largo y 25m de ancho para el atraque de barcos; ubicados en el actual puerto de Salaverry.

El resultado principal aportado por el presente estudio es la elaboración del diseño estructural del muelle del nuevo Puerto de Pacasmayo, de dimensiones 26m de ancho por 250m de largo necesario para el atraque de barcos de transporte de minerales, específicamente para la nave de 50,000DWT de 220m de eslora, 30m de manga y 12m de calado. Este muelle es propuesto su construcción en dicha localidad para el aporte en su desarrollo económico.

El estudio no considera su dicha construcción en el puerto de Salaverry en aras de no incrementar la erosión en los distritos de Buenos Aires y Las Delicias ocasionados por el molo retenedor de dicho puerto.

## LISTA DE CUADROS

Cuadro N° 1.01: Población de Pacasmayo.	8
Cuadro N° 1.02: Población Económicamente Activa.	8
Cuadro N° 2.01: Escala de Beaufort.	13
Cuadro N° 2.02: Nave de diseño.	23
Cuadro N° 2.03 Coeficiente de Balasto.	26
Cuadro N° 2.04: Valores de C y Z0	30
Cuadro N° 2.05: Presiones horizontales de la estructura.	30
Cuadro N° 2.06: Zonas de Comportamiento Sísmico.	32
Cuadro N° 2.07: Condiciones del suelo.	32
Cuadro N° 2.08: Factores de modificación de respuesta r- subestructura	33
Cuadro N° 2.09: Metrado de cargas.	34
Cuadro N° 2.10: Combinaciones de Carga y Factores de Carga.	39
Cuadro N° 2.11: Factores de carga para Cargas Permanentes.	39
Cuadro N° 2.12: Resultado de esfuerzos de todos los elementos.	43
Cuadro N° 2.13: Resultado mayores esfuerzos de pilotes eje A y diseño.	44
Cuadro N° 2.14: Resultado mayores esfuerzos de pilotes eje B y diseño.	45
Cuadro N° 2.15: Valores de k para pilotes.	45
Cuadro N° 2.16: Valores de Cc.	46
Cuadro N° 2.17: Valores de Ca para determinar el esfuerzo admisible.	46
Cuadro N° 2.18: Resultado de vigas transversal del eje 1 y diseño.	47
Cuadro N° 2.19: Resultado de vigas transversales del eje 2 y diseño.	48
Cuadro N° 2.20: Resultado de vigas longitudinales del eje A y diseño.	48
Cuadro N° 2.21: Resultado de vigas longitudinales del eje C y diseño.	49
Cuadro N° 2.22: Resultado de vigas longitudinales del eje E y diseño.	49
Cuadro N° 2.23: Modelamiento de pórtico plano, eje C.	51
Cuadro N° 2.24: Características de las secciones.	52
Cuadro N° 2.25: Datos relativos a los elementos.	52
Cuadro N° 2.26: Resultado, fuerzas en los elementos.	52
Cuadro N° 3.01: Planilla de metrados.	74
Cuadro N° 3.02: Presupuesto de obra.	75
Cuadro N° 3.03: Programación de ejecución de la Obra.	76

## LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1.01: Balneario de Pacasmayo.	7
Figura N° 1.02: Balneario de Pacasmayo.	9
Figura N° 1.03: Practica de Para-Surfing en la zona de El Faro – Pacasmayo.	10
Figura N° 1.04: Corte transversal del muelle y rompeolas.	12
Figura N° 2.01: Efecto del Sol y la Luna sobre los niveles del mar.	15
Figura N° 2.02: Niveles característicos del Mar.	16
Figura N° 2.03: Las corrientes de Humboldt y del Niño.	17
Figura N° 2.04: Las corrientes oceánicas en el mundo.	18
Figura N° 2.05: Plano del área alrededor de la ciudad de Pacasmayo.	19
Figura N° 2.06: Mapa de medición geológica del litoral - El Faro.	20
Figura N° 2.07: Distribución de Facies Texturales en los Sedimentos.	21
Figura N° 2.08: Tipos de muelles para carga de minerales a granel.	22
Figura N° 2.09: Corte transversal del rompeolas, nave de diseño y muelle.	24
Figura N° 2.10: Determinación de la longitud de empotramiento del pilote.	25
Figura N° 2.11: Cargas transmitidas a la estructura.	28
Figura N° 2.12: Espectro de aceleraciones.	33
Figura N° 2.13: Cargas consideradas.	35
Figura N° 2.14: Cargas en modelo SAP2000.	36
Figura N° 2.15: Modelo de la estructura del muelle en 3D.	40
Figura N° 2.16: Modelo de la estructura del muelle en 3D.	40
Figura N° 2.17: Vista del modelo bidimensional a lo largo del muelle.	41
Figura N° 2.18: Vista del modelo bidimensional de un eje transverso.	42
Figura N° 2.19: Modelo de la Losa.	42

## LISTA DE SÍMBOLOS

## LISTA DE SIGLAS

## INTRODUCCIÓN

Entre los años 1870 y 1875, se construyó el muelle para lanchonaje del puerto de Pacasmayo ubicado en el distrito de Pacasmayo, provincia de Pacasmayo y Región de La Libertad. El muelle fue diseñado para el embarque específicamente de azúcar por el método del lanchonaje. El azúcar se trasladaba mediante los carros de línea de un ferrocarril, embarcados con grúas de dos (02) toneladas a vapor. Originalmente tuvo una longitud de 773.4m, lamentablemente por la bravura del mar en los años 1918 y 1924 ocasionó el acortamiento de su longitud, actualmente mide 534m y 10.5m de ancho.

En este contexto, como resultado del perfil: “Embarque de 1’800,000 TM de concentrados de cobre en la bahía de Pacasmayo”, cifra promedio esperado en cuanto empiecen a operar las minas que están actualmente en la última etapa de exploración en la Región de Cajamarca, y considerando que el muelle existente tiene una restringida capacidad de carga, añadido al hecho de que la estructura ha excedido su tiempo de servicio y se encuentra inoperativa para las acciones que se pretenden realizar, se propone la construcción del nuevo Puerto de Pacasmayo ubicado en la zona conocida como El Faro a 4Km al sur del actual muelle.

El muelle del nuevo Puerto de Pacasmayo, como proyecto, está constituido por una plataforma de 250m de largo por 26m de ancho soportado por 273 pilotes tubulares de acero de 20mm de espesor por 80cm de diámetro, cuyo costo directo bordea los 32 millones de soles. Es una obra que, llegado a ejecutarse, constituiría una gran fuente de ingreso económico para el distrito de Pacasmayo.

El objetivo general del presente estudio es el de identificar, analizar, cuantificar, y diseñar el Muelle del nuevo Puerto de Pacasmayo tomando en consideración el requerimiento estimado, demanda a partir del año 2014 de exportación de concentrados de cobre producido por las minas ubicadas en su mayoría en la Región de Cajamarca, de embarcar 1’800,000 TM de concentrados de cobre anualmente, el tipo de nave de transporte de minerales y demás factores los cuales definen las dimensiones del muelle.

Los objetivos específicos son diseñar los elementos componentes del muelle tales como las vigas transversales y longitudinales, la losa, y la cimentación profunda. Así mismo presenta la base para el expediente técnico.

El presente trabajo se divide en tres capítulos.

En el Capítulo I se hace una descripción del perfil del proyecto, para esto analiza el proyecto del nuevo puerto de Pacasmayo y describe el área de influencia, la ubicación donde se desarrolla, el objetivo trazado del presente trabajo y su importancia.

En el Capítulo II se realiza el diseño estructural del muelle definido por los estudios hidro oceanográficos, los estudios de suelos del fondo marino, la nave de diseño, las cargas verticales de gravedad, carga viva, carga móvil del equipo shiloader, carga de los apoyos de la faja transportadora, así como también de las cargas horizontales de viento, sismo e impacto de la nave por acoderamiento. Finalmente a partir del análisis estructural del muelle se diseñan los componentes estructurales del mismo.

En el Capítulo III se presenta la base para el expediente técnico de muelle del nuevo puerto de Pacasmayo. A partir del diseño definitivo del muelle, con sus respectivos planos, obtiene los metrados, los costos y presupuestos a la vez que propone una programación de ejecución de obra.

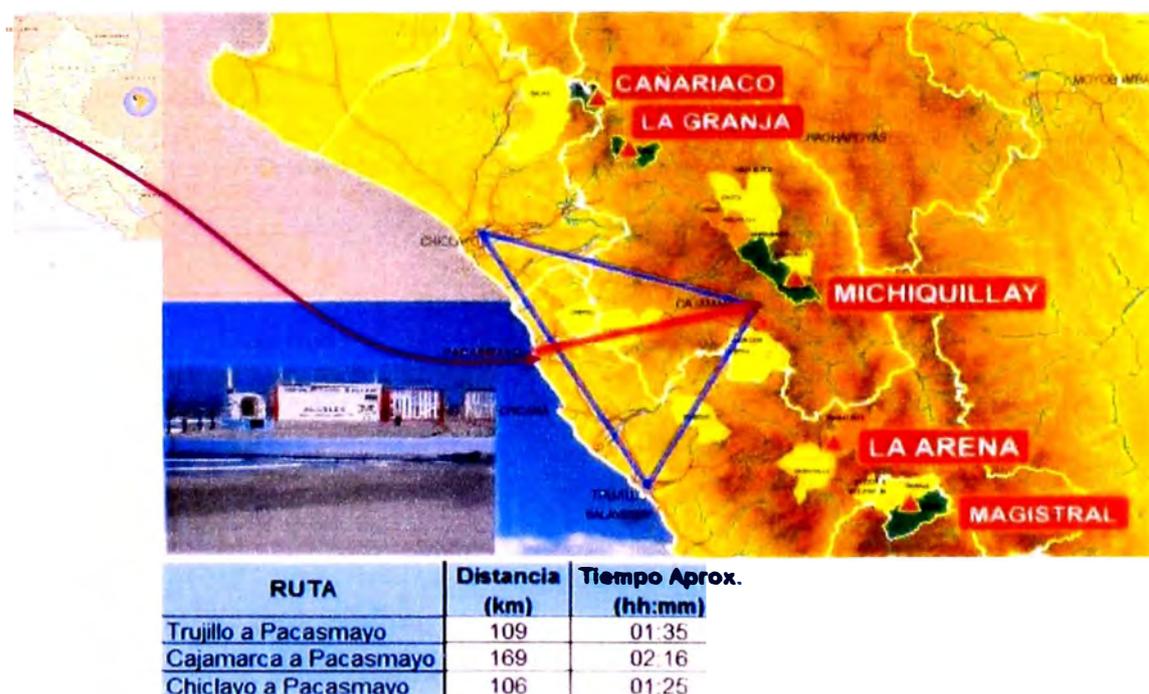
## CAPÍTULO I: PERFIL DEL PROYECTO

### 1.1 UBICACIÓN

El distrito de Pacasmayo, está ubicado en la Provincia de Pacasmayo en la Región de La Libertad. Limita por el Norte, con el distrito de Jequetepeque, por el Sur con el distrito de San Pedro de Lloc, por el Este con el distrito de San José y por el Oeste con el Océano Pacífico.

Debido a su salida al mar, es un distrito con gran potencial para lograr su desarrollo económico, comercialmente está ubicado equidistante de los distritos de Chiclayo por el Norte, de Cajamarca por el Este y de Trujillo por Sur, 106Km, 169Km y 109Km respectivamente.

Figura N° 1.01: Balneario de Pacasmayo.



Fuente: Elaboración propia

#### 1.1.1 Población

Según el Censo de Población, último censo nacional 2007, el distrito de Pacasmayo registró un total de 26,118 habitantes, de los cuales 12,762 son hombres y 13,356 mujeres. El total poblacional representa una participación del

distrito en relación la Región de La Libertad del 1.615% y en relación al país del 0.095%.

Composición de la población del distrito de Pacasmayo según grupos de edad:

Menor de 15 años 28%

Entre 15 y 64 años 65%

Mayor de 65 años 7%

Total 100

Cuadro N° 1.01: Población de Pacasmayo.

Zona	Categorías	Población	%
<b>Distrito Pacasmayo</b>	Urbano	26,105	99.95%
	Rural	13	0.05%
	<b>Total</b>	<b>26,118</b>	<b>100</b>
<b>Provincia Pacasmayo</b>	Urbano	87,718	92.94
	Rural	6,659	7.06
	<b>Total</b>	<b>94,377</b>	<b>100</b>

Fuente: INEI, censo de población y vivienda 2007

Elaboración propia

Composición de la población económicamente activa del distrito de Pacasmayo:

Cuadro N° 1.02: Población Económicamente Activa

Zona	Categorías	Casos	%
<b>Distrito Pacasmayo</b>	PEA Ocupada	8,754	38
	PEA Desocupada	423	2
	No PEA	14,128	61
	<b>Total</b>	<b>23,305</b>	<b>100</b>

Fuente: INEI, censo de población y vivienda 2007

Elaboración propia

### 1.1.2 Actividad turística

Pacasmayo posee interesantes atractivos para el turista, debido principalmente a que es un hermoso valle que se forma en los andes donde el río Jequetepeque, el clima y el tiempo han sabido esculpir caprichosas montañas como Chocofán con verdes valles de sembríos de arroz, plátanos otras plantas que refrescan el ambiente de este cálido valle.

Casa Museo Antonio Raimondi; Es una casa colonial que data del siglo XIX. Perteneció al naturalista y sabio italiano Antonio Raimondi, quien dedicó su vida

y estudios al Perú. Aquí encontrarán diversos ambientes con interesantes muestras.

Balneario Pacasmayo; Con playas muy turísticas e ideales para la práctica de deportes acuáticos, como el surf y el buceo. Destacan el muelle del puerto fundado en el año de 1,775 por los conquistadores españoles y la casa Grace que data del año 1,850.

**Figura N° 1.02:** Balneario de Pacasmayo.



Fuente: [www.munisanpedrodelloc.gob.pe/](http://www.munisanpedrodelloc.gob.pe/)

Otras Atracciones Turísticas:

Bosque de Cañoncillo.

Iglesia de San Pedro de Lloc.

El monumento a la Virgen de Guadalupe.

La Imagen del Cristo Resucitado.

Muros Ornamentales del Cementerio Nuevo.

El Mirador Turístico.

El Faro.

El Malecón de Grau.

El Muelle Pacasmayo.

La Casona Ex-Ferrocarril (Hoy Casa de la Cultura).

El Óvalo San Martín de Porras.

Paseo de la Paz y la Amistad.

Fábrica de Cementos Norte Pacasmayo.

Playa del Junco Marino.

**Figura N° 1.03:** Practica de Para-Surfing en la zona de El Faro – Pacasmayo.



Fuente: Elaboración propia

## 1.2 OBJETIVO DEL PROYECTO.

El proyecto contempla un objetivo general y objetivos específicos.

### 1.2.1 Objetivo General

Diseño estructural de un muelle en el nuevo puerto de Pacasmayo, necesario para el atraque de barcos para el transporte de concentrado de cobre.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Diseño estructural de los elementos componentes del muelle tales como la plataforma (losa y vigas) y la cimentación profunda (pilotes); definidos estos por la nave de diseño el peso del equipo shiploader, el suelo marino, sistema de embarque, modos de amarre y los estudios hidro oceanográficos.

Así mismo presenta la base para el expediente técnico.

### 1.3 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL PROYECTO.

A continuación, se presenta la descripción y análisis de proyecto.

#### 1.3.1 Descripción del proyecto

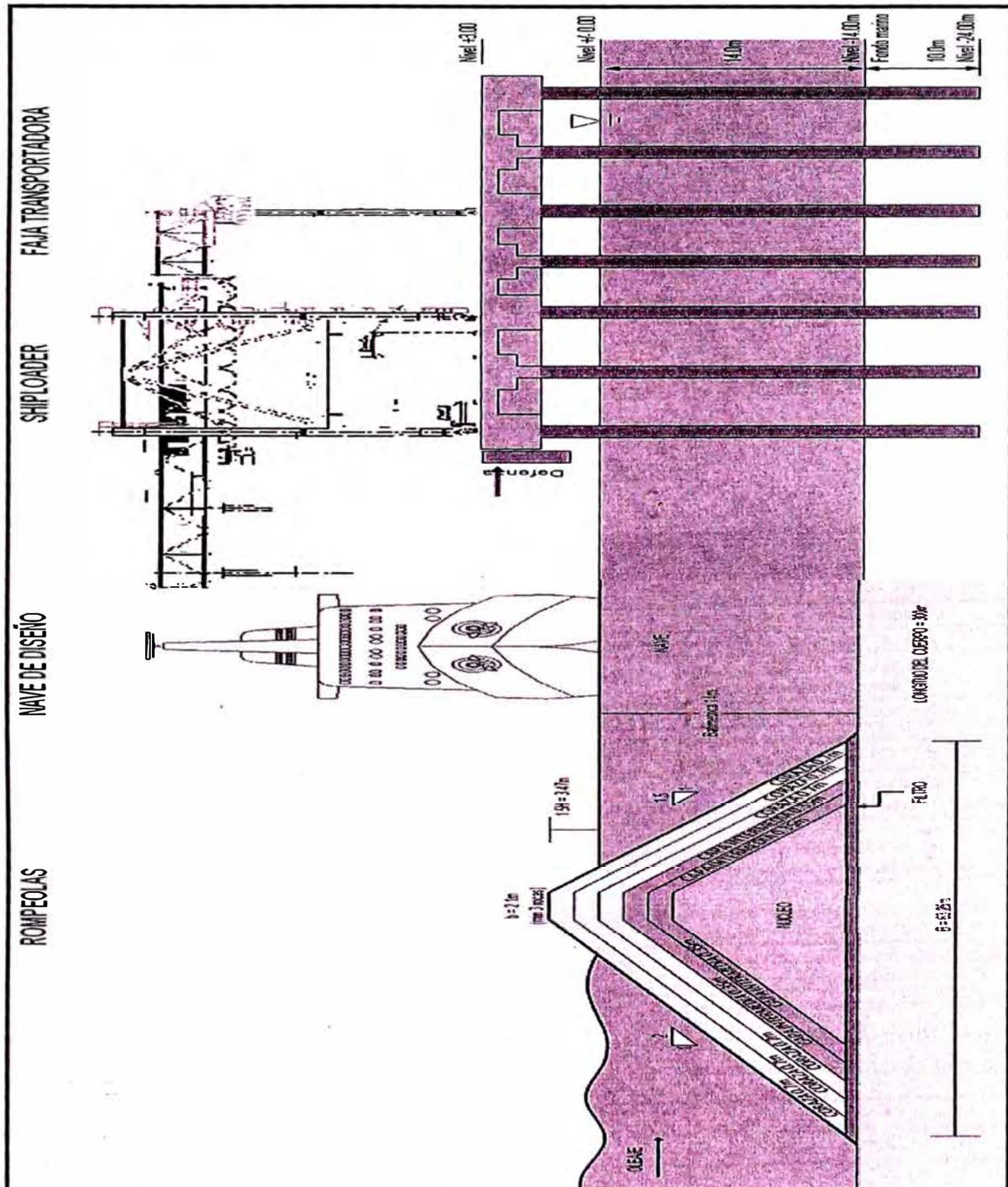
El presente estudio lleva por nombre "Diseño estructural del muelle", se encargará de identificar, analizar, cuantificar, y diseñar el Muelle del nuevo Puerto de Pacasmayo tomando en consideración el requerimiento estimado, cuando empiecen a operar las minas que están actualmente en la última etapa de exploración en la Región de Cajamarca, de embarcar 1'800,000TM de concentrados de cobre anualmente a naves de 50,000DWT ubicado mar adentro, tendría una longitud de 250m por un ancho de 26m y cuyo acceso es mediante un puente de 2,478m de longitud el cual nace en la costa y termina en el extremo sur del muelle. El muelle está constituido por 247 pilotes tubulares de acero unidos por una plataforma de concreto armado, además de los elementos que complementan son las defensas y amarraderos integrados al muelle. El costo directo del muelle bordea los 32 millones de soles.

#### 1.3.2 Análisis del proyecto

Para el diseño, el muelle está considerado como un conjunto de pórticos unidos por una plataforma (losas y vigas), sometidos a cargas verticales tales como las cargas de gravedad (peso propio), carga viva y carga móvil (shiploader), así como también a cargas horizontales tales como la carga sísmica, carga de viento y carga del acoderamiento (ver Figura N° 1.04). Con la finalidad de obtener el máximo desplazamiento horizontal en algunos de los pórticos (análisis tridimensional); desplazamiento que es considerado como el más desfavorable.

Con las envolventes de momentos flectores y fuerzas cortantes y axiales obtenidos del análisis anterior se procede al diseño de cada elemento del muelle tales como los pilotes tubulares de acero y la plataforma constituida por la losa maciza y vigas de concreto armado.

Figura N° 1.04: Corte transversal del muelle y rompeolas.



Fuente: Elaboración propia

## CAPITULO II: DISEÑO ESTRUCTURAL DEL MUELLE

### 2.1 ESTUDIOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO.

#### 2.1.1 Estudios hidro oceanográficos

Vientos; la importancia del estudio de los vientos radica en el hecho de que es uno de los factores que afectan a las operaciones portuarias, particularmente a las maniobras de atraque y desatraque durante el ingreso y la salida de las embarcaciones al puerto.

Una colección de datos de vientos (dirección, frecuencia e intensidad), por un periodo de 01 año es lo mínimo deseable como información pertinente.

La fuerza de un viento es clasificada según la escala de Beaufort, ver Cuadro N° 2.01.

Cuadro N° 2.01: Escala de Beaufort.

Escala	Velocidad del viento (km/h)	Denominación	Aspecto de la mar	Efectos en tierra
0	0 a 1	Calma	Espejado	Calma, el humo asciende verticalmente
1	2 a 5	Ventolina	Pequeñas olas, pero sin espuma	El humo indica la dirección del viento
2	6 a 11	Flojito (Brisa muy débil)	Crestas de apariencia vítrea, sin romper	Se mueven las hojas de los árboles, empiezan a moverse los molinos
3	12 a 19	Flojo (Brisa débil)	Pequeñas olas, crestas rompientes	Se agitan las hojas, ondulan las banderas
4	20 a 25	Bonancible (Brisa moderada)	Borreguillos numerosos, olas cada vez más largas	Se levanta polvo y papeles, se agitan las copas de los árboles
5	26 a 30	Fresquito (Brisa fresca)	Olas medianas y alargadas, borreguillos muy abundantes	Pequeños movimientos de los árboles, superficie de los lagos ondulada
6	31 a 35	Fresco (Brisa fuerte)	Comienzan a formarse olas grandes, crestas rompientes, espuma	Se mueven las ramas de los árboles, dificultad para mantener abierto el paraguas
7	50 a 61	Frescachón (Viento fuerte)	Mar gruesa, con espuma arrastrada en dirección del viento	Se mueven los árboles grandes, dificultad para andar contra el viento
8	62 a 74	Temporal (Viento duro)	Grandes olas rompientes, tranzas de espuma	Se quiebran las copas de los árboles, circulación de personas dificultosa
9	75 a 88	Temporal fuerte (Muy duro)	Olas muy grandes, rompientes. Visibilidad mermada	Daños en árboles, imposible andar contra el viento
10	89 a 102	Temporal duro (Temporal)	Olas muy gruesas con crestas empenachadas. Superficie del mar blanca	Arboles arrancados, daños en la estructura de las construcciones
11	103 a 117	Temporal muy duro (Borrasca)	Olas excepcionalmente grandes, mar completamente blanca, visibilidad muy reducida	Estragos abundantes en construcciones, tejados y árboles
12	118 y más	Temporal huracanado (Huracán)	El aire está lleno de espuma y rociones. Enorme oleaje. Visibilidad casi nula	Destrucción total

Fuente: [www.wikipedia.org.pe](http://www.wikipedia.org.pe)

Estudios de olas; en los estudios de ingeniería con fines portuarios, es necesario predecir cuál será el comportamiento del oleaje durante las etapas de construcción y de operación de las obras.

La predicción de las olas consiste en el pronóstico de valores medios y extremos de valores de Amplitud, Periodo, Longitud y Celeridad de las olas que llegarán a la zona de influencia del proyecto.

Las olas son movimientos ondulatorios causados por diferentes factores, tales como vientos, sismos, variaciones atmosféricas, fuerza de atracción de los astros y se caracterizan por desarrollarse en la superficie del agua y tener periodicidad y ritmo constantes.

Mareas; las variaciones del nivel del mar son movimientos de carácter ondulatorio y periódico de una porción de una extensa de mar. Estas variaciones podemos clasificarlas en:

Tsunamis; producidos por movimientos sísmicos, deslizamientos, erupciones volcánicas, etc.

Resacas costeras; provocadas por la acción del oleaje sobre una masa líquida.

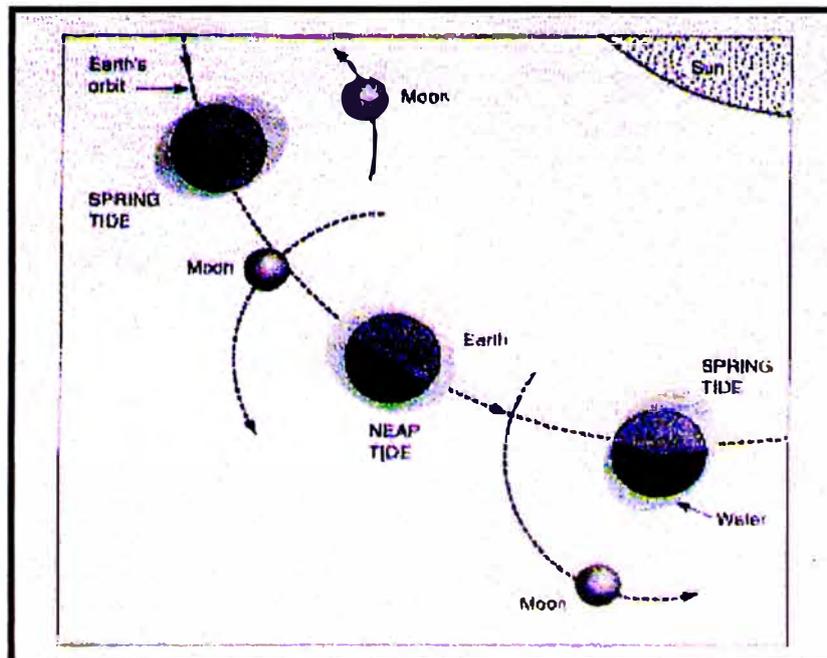
Resacas en dársenas cerradas; debido a la acción del viento o la variación de la presión atmosférica; y resacas en dársenas abiertas generadas por fuerzas cuyo periodo esté en relación con el periodo de oscilación libre de la dársena.

Sobre elevaciones meteorológicas; por la acción del viento.

Mareas astronómicas.

El efecto del Sol y principalmente de la Luna se aprecia en la Figura N° 2.02 se aprecia los niveles característicos del mar, estos niveles son empleados en la ingeniería portuaria para el planeamiento y diseño de las estructuras marítimas.

Figura N° 2.01: Efecto del Sol y la Luna sobre los niveles del mar.



Fuente: [www.wikipedia.org.pe](http://www.wikipedia.org.pe)

Dónde:

EHW : nivel de marea alta extrema.

MHWS: nivel medio de las más alta de las altas mareas, sobre un periodo de 19 años (nivel medio de pleamares de sicigias ordinarias)

MHW : nivel medio de las altas mareas.

MSL : nivel medio del mar.

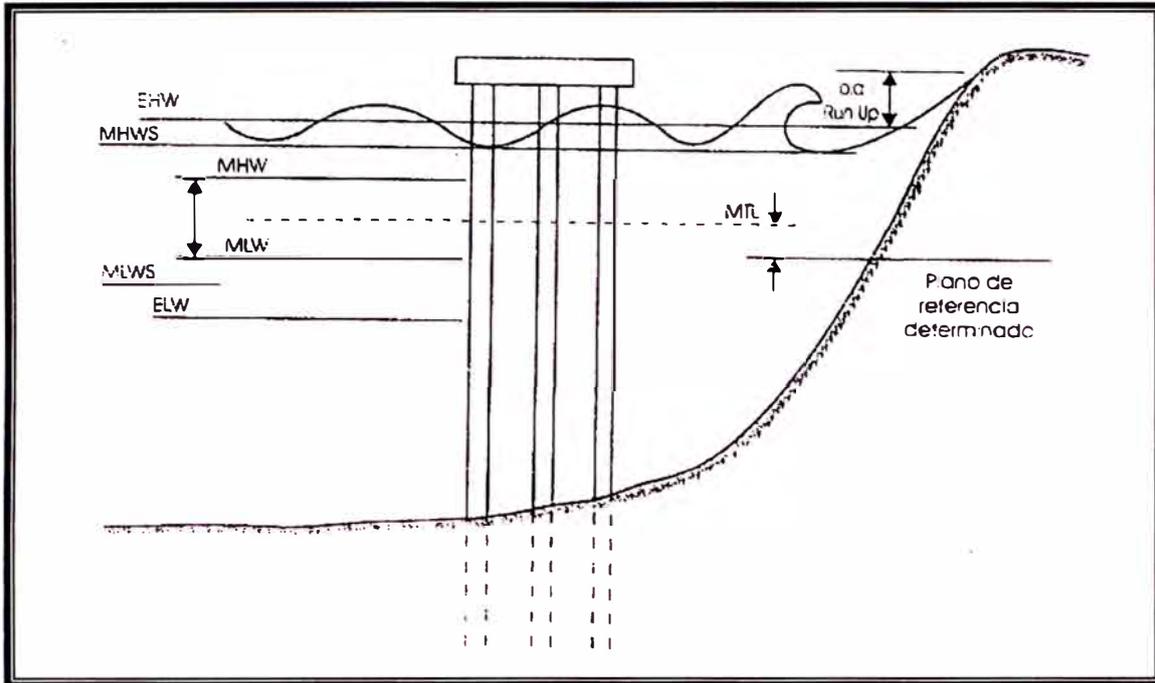
MLW : nivel medio de las bajas mareas.

MLWS : nivel medio de las más bajas de las bajas mareas, sobre un periodo de 19 años (nivel medio de bajamares de sicigias ordinarias).

ELW : nivel de marea baja extrema.

Los oleajes de tormentas producidos por los vientos que soplan durante un largo periodo de tiempo en una misma dirección pueden aumentar o reducir el nivel del mar en 1 a 3 metros, produciéndose los niveles extremos de alta y baja marea, respectivamente.

Figura N°2.02: Niveles característicos del Mar.



Fuente: Ingeniería Portuaria, 2001, Cesar Fuentes Ortiz.

La Corriente Peruana (o de Humboldt); se desplaza paralela a la costa, de sur a norte. Se caracteriza por sus bajas temperaturas que, en promedio, están entre los 13 y 14° en invierno (mayo - octubre) y entre 15 y 17° C en verano (noviembre - abril). A la altura de Punta Pariñas (5° L. S.) se dirige hacia el oeste, perdiéndose en el océano Pacífico. Las consecuencias más importantes de esta corriente son dos:

- Crea condiciones especiales para una alta productividad en la parte marina bajo su influencia, por su alta salinidad y alto contenido de oxígeno y dióxido de carbono.
- Ejerce influencia determinante sobre el clima de la costa peruana con cielos cubiertos de neblinas, ausencia de lluvias y temperaturas templadas durante el invierno. Por la latitud, el clima debería ser tropical; pero las aguas enfrían la atmósfera.

La Corriente Oceánica; Se desplaza al oeste de la anterior y llega hasta unos 700m de profundidad. Sus aguas son más cálidas, por encima de los 21°C. Por alteraciones en la Corriente Peruana, sus aguas pueden llegar hasta la costa.

La Contracorriente del Perú; se desplaza en sentido contrario (norte-sur) de las dos anteriores y por debajo de ellas. Es la responsable principal del afloramiento de aguas profundas y se manifiesta entre los 40 y los 400m de profundidad. Separa la Corriente Peruana de la Oceánica, siendo superficial (verano) o subsuperficial. En el primer caso está íntimamente ligada al Fenómeno de El Niño tal como se aprecia en la Figura N° 2.03.

Figura N° 2.03: Las corrientes de Humboldt y de El Niño.



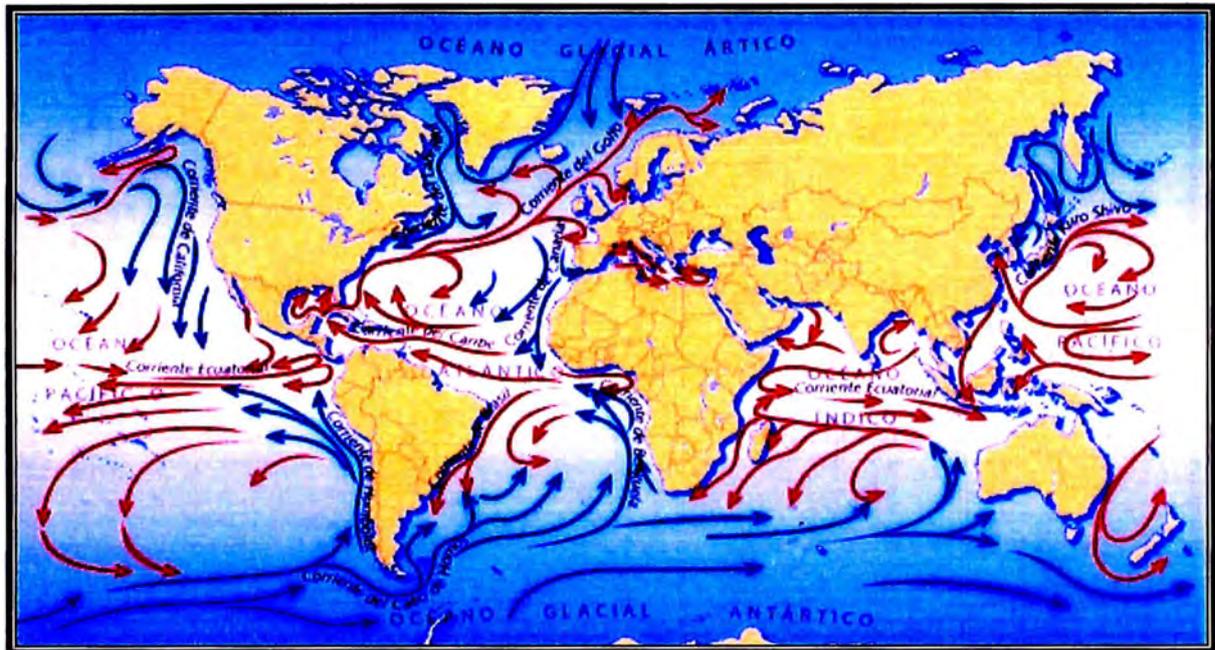
Fuente: [www.kalipedia.com/geografia-peru](http://www.kalipedia.com/geografia-peru)

La Corriente Submarina o Sub-superficial del Perú; se manifiesta entre los 100 y los 200m de profundidad, y se desplaza en dirección norte-sur, muy pegada a la costa.

La Corriente de El Niño; denominada así porque se manifiesta a partir de Navidad, es parte de la Contracorriente Ecuatorial, de aguas cálidas, que al llegar frente a las costas de América del Sur ( $0^{\circ}$  a  $10^{\circ}$  L. N.) se divide en dos ramales, uno se dirige hacia el norte y el otro hacia el sur.

Las corrientes oceánicas en el mundo se aprecian en la Figura N° 2.04

Figura N° 2.04: Las corrientes oceánicas en el mundo.



Fuente: [www.kalipedia.com/geografia-peru](http://www.kalipedia.com/geografia-peru)

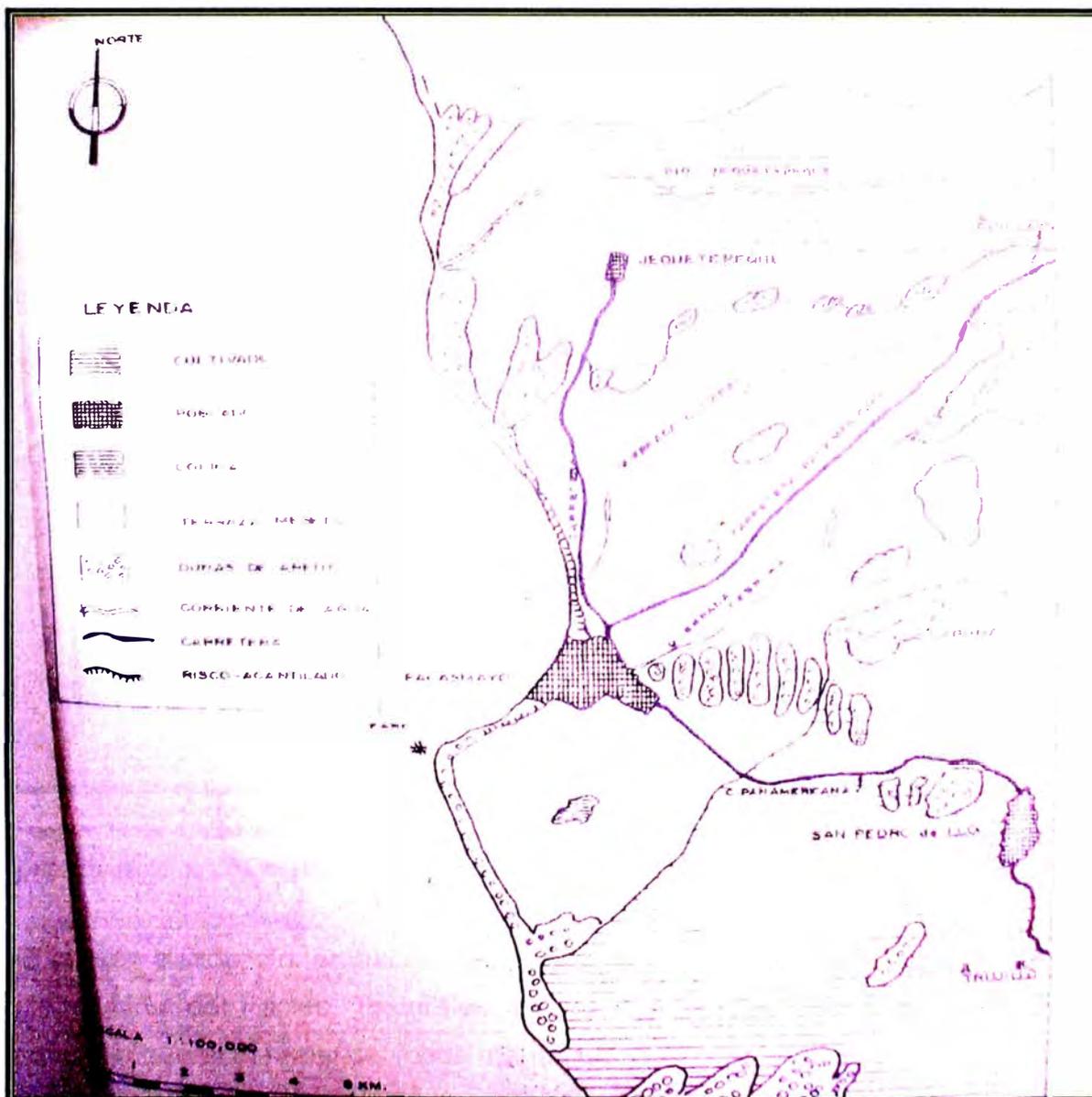
### 2.1.2 Aspectos de fisiográfico y de suelos

El área que comprende la bahía de Pacasmayo está aproximadamente a una distancia de 20Km de la vertiente de la Cordillera Occidental, formada por la cadena de montañas de los Andes. Esta bahía presenta una irregular topografía, notándose claramente una parte baja y otra alta. Esta variación altitudinal se debe a que la parte baja de la ciudad, es decir, el puerto pesquero, está en una hondonada rodeada de mesetas, una al norte y la otra al sur, las cuales se unen al este, con elevación cada una de ellas próximas a 20m sobre el nivel del mar.

Las mesetas que rodean la ciudad de Pacasmayo son planas y áridas, de 16km<sup>2</sup> cada una, están cubiertas por cascajo bien compactado, pero la sub-superficie está formada principalmente de conglomerado bien consolidado como se aprecia en la figura N° 2.05.

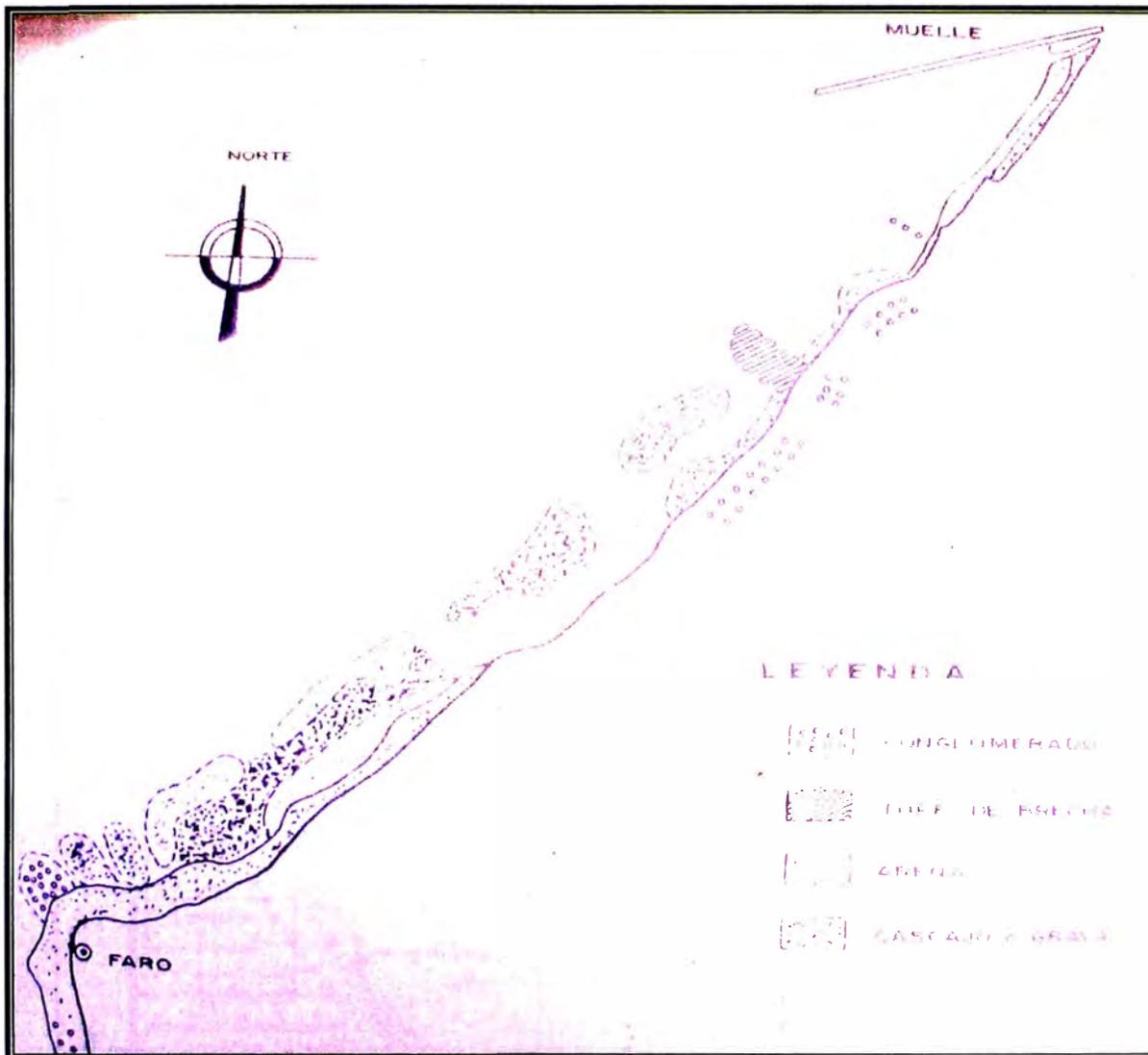
La geología del litoral comprendida entre el muelle pesquero y El Faro, a lo largo de la costa, en la orilla y en el mar, está formada por depósitos de capas alternadas conteniendo conglomerado, cascajo (grava), arena, etc. como se aprecia en la figura N° 2.06.

Figura N° 2.05: Plano del área alrededor de la ciudad de Pacasmayo.



Fuente: Tesis "Desarrollo integral y planificación urbana para el puerto – ciudad de Pacasmayo del Departamento de La Libertad. Elaboración, UNI-FIC, Ing. Edwin M. Ledesma M.

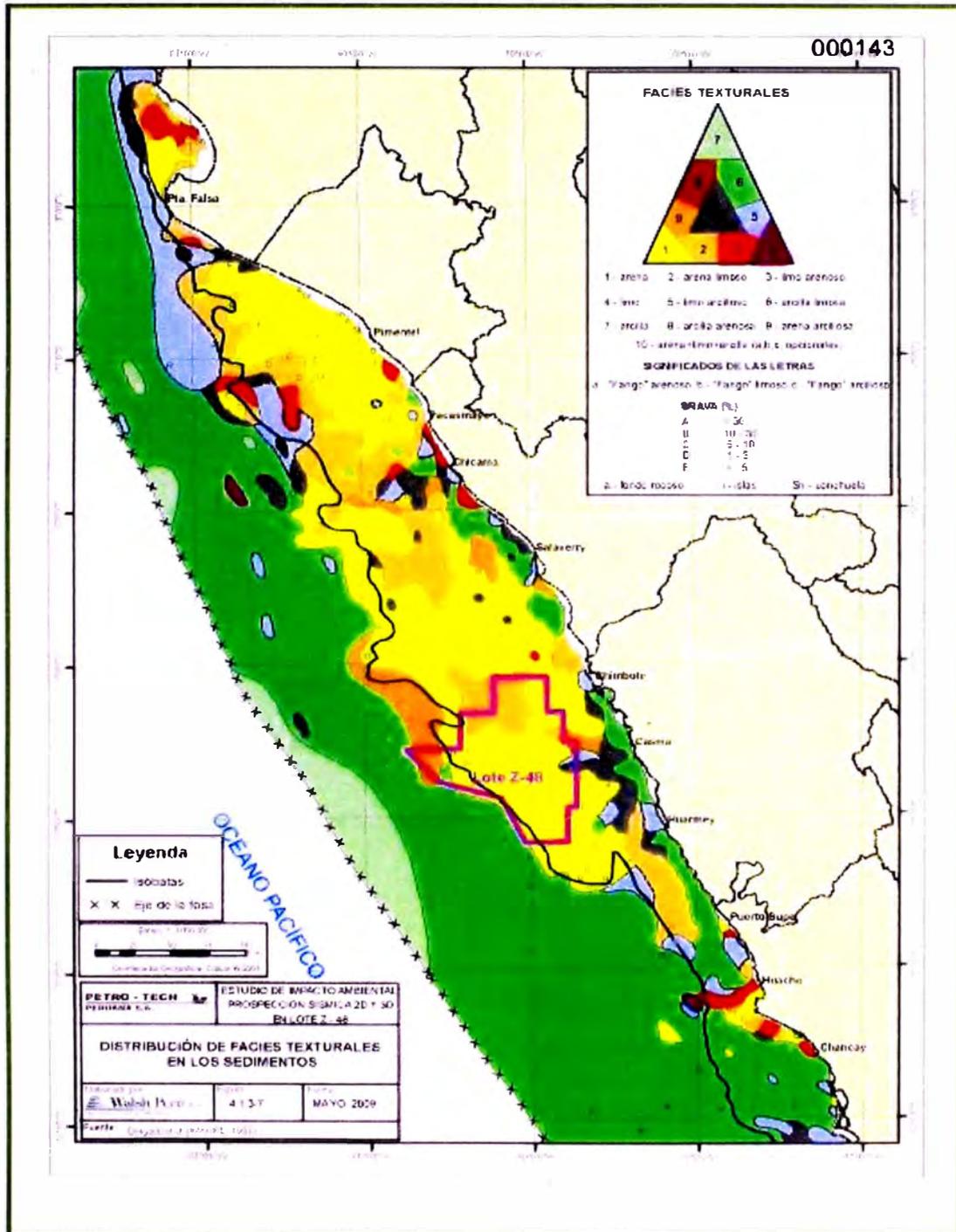
Figura N° 2.06: Mapa de medición geológica del litoral muelle pesquero - El Faro.



Fuente: Tesis "Desarrollo integral y planificación urbana para el puerto – ciudad de Pacasmayo del Departamento de La Libertad. Elaboración, UNI-FIC, Ing. Edwin M. Ledesma M.

El presente proyecto, en base al estudio realizado por Walsh Perú S.A. sobre la distribución de Facies Texturales en los Sedimentos, ver Figura N° 2.07, concluye que el material del fondo marino es una arena limosa.

Figura N° 2.07: Distribución de Facies Texturales en los Sedimentos.



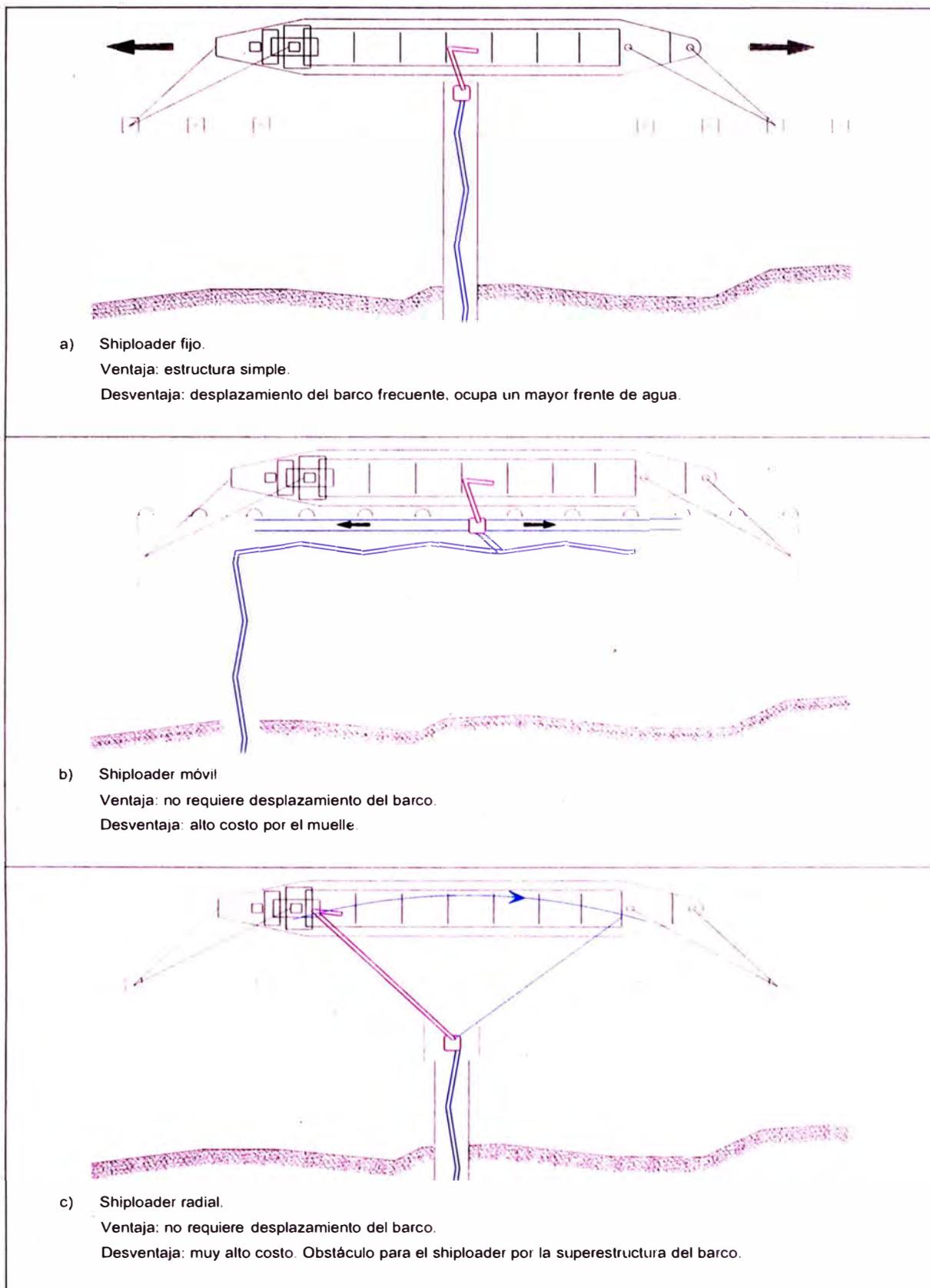
Fuente: IMARPE

Elaboración: Walsh Perú S.A.

### 2.1.3 Tipos de muelles para carga de minerales a granel.

En la Figura N° 2.08 se presenta algunos de los más importantes tipos de muelles especializados en carga de minerales a granel con el equipo shiploader.

Figura N° 2.08: Tipos de muelles para carga de minerales a granel.



Fuente: Ingeniería Marítima y Portuaria, Macdonel

El presente estudio optó por un muelle del tipo shiploader móvil apreciado en la Figura N° 2.08.a

#### 2.1.4 Dimensionamiento del muelle

A partir de la nave de diseño (ver Cuadro N° 2.02) y según la recomendación de los especialistas, la longitud del muelle es igual a los 9/8 de la eslora de la nave de diseño.

**Cuadro N° 2.02:** Nave de diseño.

DWT (Ton)	DESPLAZAMIENTO (Ton)	ESLORA (m)	MANGA (m)	CALADO (m)
50,000	67,500	220	30	12

Fuente: perfil: "Embarque de 1'800,000 TM de Concentrados de Cobre en la Bahía de Pacasmayo" UNI-FIC, 2011

Longitud del muelle:  $9/8 \times 220\text{m} = 247.5\text{m}$  ... preliminar

Considerando que los pilotes estarán espaciados a cada 6.5m

Largo del muelle:  $6.5\text{m} \times 38\text{espacios} = 247\text{m}$ , y considerando volados de 1.0m.

➔ Largo del muelle = 250m.

Ancho de muelle: 07 ejes de pilotes longitudinales: 04 espacios de 4.5m y 02 espacios de 3.5m.

Ancho del muelle:  $4 \times 4.5 + 2 \times 3.5 = 25\text{m}$  y considerando volados de 0.5m.

➔ Ancho del muelle = 26m.

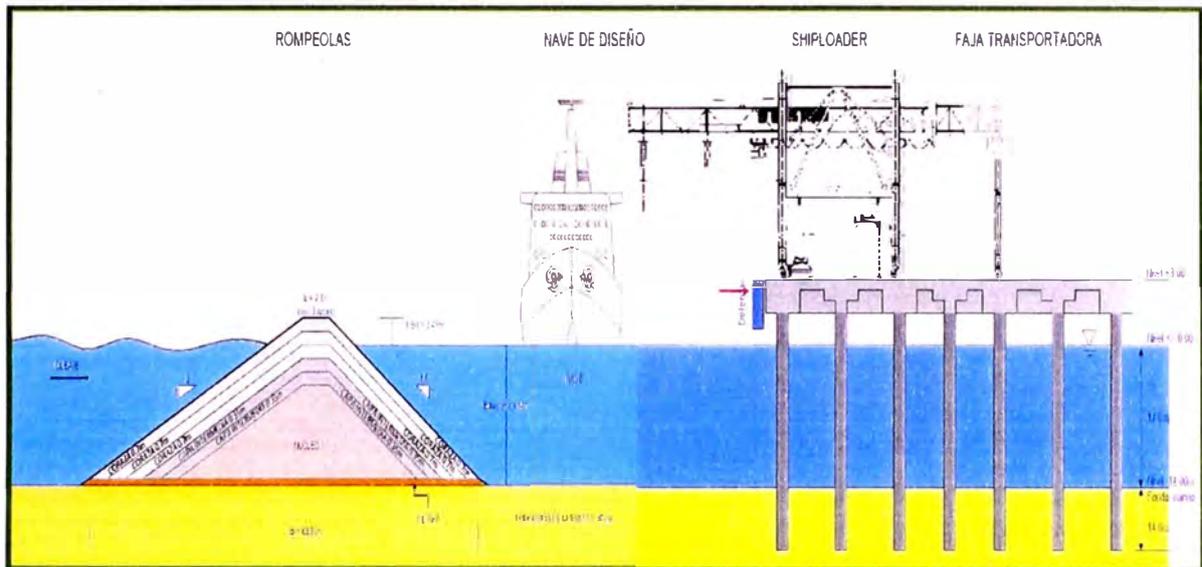
Por lo tanto el muelle tendrá por medidas: 250m de largo y 26m de ancho.

Así mismo, la cantidad total de pilotes que soportan la plataforma es:

39 ejes de pilotes transversales x 07 pilotes por eje ➔ 273 pilotes.

Se aprecia el detalle en la Figura N° 2.09.

Figura N° 2.09: Corte transversal del rompeolas, nave de diseño y muelle.



Fuente: Elaboración propia.

### 2.1.5 Determinación de la longitud de empotramiento necesario del pilote.

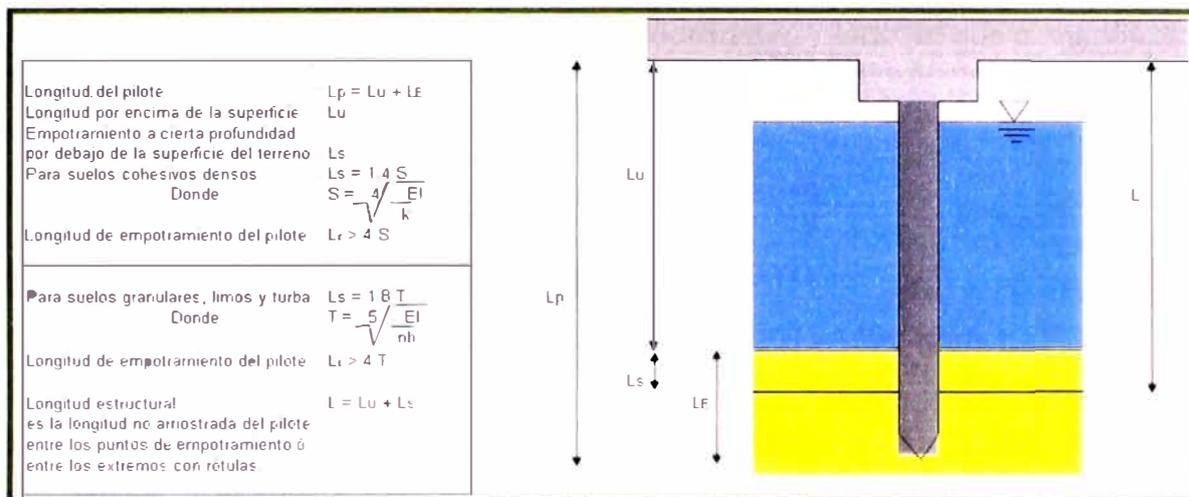
Según el cálculo desarrollado (ver Figura N° 2.10) la longitud de empotramiento necesario, en el fondo marino, sería  $LE = 10m$ .

Así también, la longitud embebida de del agua de mar sería  $14m$ , esto es dato de batimetría, y la longitud por encima del agua de mar sería  $1.8m$

Por lo tanto:  $L_{pilote} = 10 + 14 + 1.8m$

→  $L_{pilote} = 25.8m$ .

Figura N° 2.10: Determinación de la longitud de empotramiento necesario del pilote.



$E =$	2.10E+07 t/m <sup>2</sup>	Acero A36 $F_y = 2.500 \text{ kg/cm}^2$
$I =$	3.73E-03 m <sup>4</sup>	Sección circular $r(\text{ext}) = 0.40 \text{ m}$ $e = 20 \text{ mm}$
$nh =$	830.49 t/m <sup>3</sup>	Coefficiente del módulo de subgrado horizontal para arena y limo inorgánico densa
$T =$	2.48 m	
Por lo tanto		
$L_E > 4 T =$	9.92 m	
<b><math>L_E =</math></b>	<b>10.00 m</b>	<b>Longitud enterrado en fondo marino.</b>
$L_s =$	4.46 m	
$L_u =$	16.70 m	Fondo marino, batimétrica: 14.00 m
$L =$	21.16 m	Longitud estructural (en caso se modele como empotrado)
<b><math>L_{\text{pilote}} =</math></b>	<b>25.80 m</b>	<b>Longitud del pilote</b>

Fuente: Ingeniería Portuaria, Ing. Cesar Fuentes Ortiz

## 2.2 ESPECIFICACIONES DE DISEÑO Y TIPOS DE CARGA.

### 2.2.1 Especificaciones de diseño

El diseño considera las siguientes características de los materiales:

Pilote tubular de acero ( $e = 20 \text{ mm}$ ) A-36,  $F_y = 36 \text{ klb/pulg}^2$ .

Resistencia a la compresión del concreto en pilotes  $f'_c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ .

Resistencia a la compresión del concreto losas y vigas  $f'_c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ .

Resistencia a la fluencia del Acero Grado 60  $F_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$ .

Procedimiento para el diseño de pilotes:

Estratigrafía del subsuelo; de acuerdo al perfil: “Embarque de 1’800,000 TM de Concentrados de Cobre en la Bahía de Pacasmayo”, todo el suelo marino es arena limosa densa y saturada.

Cuadro N° 2.03 Coeficiente de Balasto.

<b>VALORES DE KBALASTO</b>	
<b>Suelo</b>	<b>KB x1000 (t /m<sup>3</sup>)</b>
Arena fina de playa	1.0-1.5
Arena floja, seca o húmeda	1.0-3.0
Arena media, seca o húmeda	3.0-9.0
Arena compacta, seca o húmeda	9.0-20.0
Gravilla arenosa floja	4.0-8.0
Gravilla arenosa compacta	9.0-25.0
Grava arenosa floja	7.0-12.0
Grava arenosa compacta	12.0-30.0
Margas arcillosas	20.0-40.0
Rocas blandas o algo alteradas	30.0-500
Rocas sanas	800-30,000

Fuente: Terzaghi

El presente proyecto toma como valor del coeficiente de Balasto el correspondiente a arena compacta, seca o húmeda  $K_{Balasto} = 10,000.0 \text{ t /m}^3$ . Así mismo, para un pilote de diámetro 0.80m el  $K_{Balasto}$  actuante en 1.0m enterrado sería:

Por cada 1.0m<sup>2</sup> actúa  $K_{Balasto} = 10,000 \text{ t /m}$ .

➔ Para 0.80m<sup>2</sup> actúa  $K_{Balasto}$ : 8,000 t /m. Este valor es el utilizado en el modelo del análisis estructural.

Los pilotes se clasifican en:

Pilotes de fricción; cuando el estrato en que penetra el pilote no es muy resistente dentro de profundidad razonable, por ejemplo arena media, mal graduada, medianamente densa. La carga se desarrolla entre el fuste (cuerpo, área lateral) del pilote y el suelo.

Pilotes de punta; cuando el estrato en que penetra el pilote es muy resistente, por ejemplo grava gruesa arenosa, bien graduada, muy densa. La carga se desarrolla cuando al ir hincando el pilote, debajo de la punta de éste, se va compactando el suelo, es decir se va confinando, y por lo tanto se va formando una punta del mismo suelo.

Por lo tanto, debido a las características del suelo del fondo marino del presente proyecto, arena limosa, clasifica al pilote usado del tipo pilote de punta.

Cargas transmitidas a la estructura se aprecia en la Figura N° 2.11.

Cargas verticales:

Carga por peso propio.

Carga móvil del equipamiento ship loader.

Carga puntual (viva no móvil) por el apoyo de la faja transportadora.

Sobre carga

Cargas horizontales:

Carga impacto del barco.

Carga de viento.

Carga de Sismo.

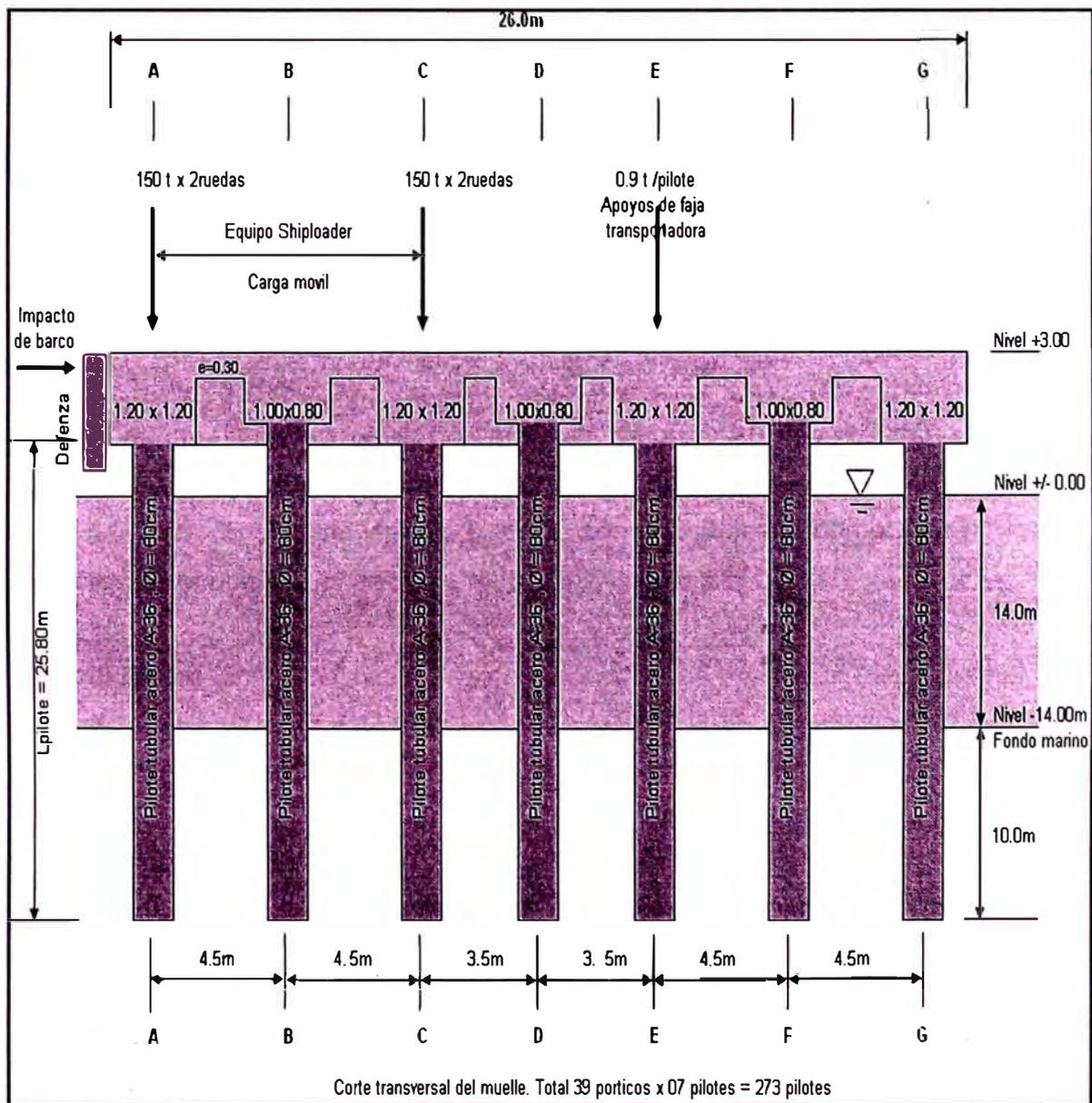
Esfuerzos producidos en el pilote durante su hincado; conocer el tipo de martillo a utilizar.

Cálculo de la capacidad de carga del suelo de soporte de las cargas transmitidas por los pilotes; determinado por medio de fórmulas estáticas en el caso de

caso de pilotes de fricción y por medio de formula dinámica (fórmula de hinca) para el caso de pilotes de punta.

Asentamientos en el suelo; se calculan los asentamientos que ocurrirán en el suelo como consecuencia de las cargas transferidas por los pilotes, los cuales se comparan con los asentamientos tolerables por la estructura.

Figura N° 2.11: Cargas transmitidas a la estructura.



Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.2 Tipos de carga

El análisis estructural se basa fundamentalmente en las fuerzas producidas por la carga muerta, cargas variables y carga por la acción del sismo.

Cargas por gravedad:

Se considera el peso que será permanente tales como el peso de los pilotes y de la plataforma (vigas y losas), tal cual el siguiente detalle:

Peso de pilotes de acero = 1,195.08 t

Peso de la plataforma (vigas y losas) = 10,033.2 t

Peso de Fundas de Protección = 576.34 t

Carga móvil del equipamiento shiploader:

Es aquella carga vertical móvil, que recorre todo el largo del muelle sobre los ejes A y C. La carga total es de 600t repartido sobre 04 ruedas (150t c/u) que recorre sobre rieles.

Carga puntual (viva no móvil) por el apoyo de la faja transportadora:

La faja transportadora recorre a todo lo largo del muelle sobre apoyos metálicos ubicados en cada pilote del eje E. La carga considerada como viva no móvil, a efectos de simplificar el análisis, es de 0.90t por pilote.

Sobre carga:

Considerado en 0.50t /m<sup>2</sup> debido a la carga actuante eventualmente ya sea por mantenimiento del muelle u otro.

Carga impacto del barco:

Esta carga es debido a la energía de atraque que es amortiguado por las defensas del muelle. Para el presente estudio se ha calcula en 102t aplicadas en 04 puntos equidistantes en el eje A.

Cargas de viento:

Las presiones originadas por el viento se supondrán proporcionales a la velocidad del viento al cuadrado. Para puentes con menos de 10m medidos

desde el nivel de agua o desde la parte mas baja del terreno se considera constante.

El presente proyecto ha calcula en 337.5 t la carga de viento repartida a lo largo de todo el muelle, por lo que su valor en el modelamiento no se ha considerado. Para alturas mayores será determinado mediante:

$$V_z = C V_{10} L_{II} \left( \frac{z}{z_0} \right) \geq V_{10}$$

Vz = Velocidad del viento a la altura z

V10 = Velocidad del viento a una altura de 10m.

Z = Altura por encima del terreno o agua.

C y Z0 de acuerdo a la tabla siguiente.

Cuadro N° 2.04: Valores de C y Z0

Condición	Pueblos Abiertos	Suburbanos	Ciudad
C (km/h)	0.330	0.380	0.485
Z <sub>c</sub> (m)	0.070	0.300	0.800

Fuente: Manual de diseño de puentes, MTC, año 2003

Las presiones horizontales de la estructura serán dadas por la expresión:

$$P = P_B \left( \frac{V_z}{100} \right)^2$$

Donde P = Presión del viento en KN/m<sup>2</sup>

PB = Presión básica correspondiente a una velocidad de 100

Km/h dada en la tabla siguiente. En KN/m<sup>2</sup>

Cuadro N 2.05: Presiones horizontales de la estructura

Componente Estructural	Presión por Barlovento (kN/m <sup>2</sup> )	Presión por Sotavento (kN/m <sup>2</sup> )
Armaduras, Columnas y Arcos	1.5	0.75
Vigas	1.5	NA
Superficies de pisos largos	1.2	NA

Fuente: Manual de diseño de puentes, MTC, año 2003

**Consideraciones sísmicas:**

Las consideraciones adoptadas para poder realizar un análisis dinámico de la estructura son mediante procedimientos de superposición espectral. Un análisis de superposición espectral se basa en la utilización de periodos naturales y modos de vibración que podrán determinarse por un procedimiento de análisis que considere apropiadamente las características de rigidez y la distribución de las masas de la estructura.

Para el análisis sísmico se ha seleccionado el Método Espectral Multimodal, en donde el número de modos incluidos en el análisis debería ser al menos tres veces el número de tramos en el modelo. El espectro de respuesta sísmica elástica será usado para cada modo y los desplazamientos y las fuerzas de los elementos pueden ser estimados usando el método de la raíz cuadrada de la suma de cuadrados. El espectro de aceleraciones se aprecia en la Figura N° 2.09

$$C_{sn} = 1.2 AS / T_n^{2/3} \leq 2.5 A$$

Donde

$T_n$  = Periodo de vibración del modo analizado.

A = Coeficiente de aceleración  $A = 0.30$

S = Coeficiente de suelo  $S = 1.20$

**Coeficiente de Aceleración:**

El coeficiente de Aceleración A para ser utilizado en la aplicación de estas disposiciones deberá ser determinado del mapa de isoaceleraciones con un 10% de nivel de excedencia para 50 años de vida útil equivalente a un periodo de recurrencia de 475 años.

**Categorización de la estructura:**

Para establecer los procedimientos mínimos de análisis, así como para determinar los coeficientes de modificación de respuesta en los distintos casos, el presente proyecto se evaluará como un puente, para esto hace uso de la Norma Técnica del AASHTO, los muelles (puentes) se clasificarán en tres categorías:

- Muelles (puentes) críticos,

- Muelles (puentes) esenciales, u
- Otros Muelles (puentes).

Zonas de Comportamiento Sísmico:

Cada puente o muelle deberá ser asignado a una de las cuatro zonas sísmicas de acuerdo a la tabla.

Cuadro N 2.06: Zonas de Comportamiento Sísmico

<i>Coefficiente de Aceleración</i>	<i>Zona Sísmica</i>
$A \leq 0.09$	1
$0.09 < A \leq 0.19$	2
$0.19 < A \leq 0.29$	3
$0.29 < A$	4

Fuente: Manual de diseño de puentes, MTC, año 2003

Condiciones Locales: Para considerar la modificación de los efectos del sismo debido a las condiciones del suelo, se usaran los parámetros de la siguiente tabla.

Cuadro N 2.07: Condiciones del suelo.

<i>Coefficiente de sitio</i>	<i>Tipo de Perfil de Suelo</i>			
	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>
<i>S</i>	1.0	1.2	1.5	2.0

Fuente: Manual de diseño de puentes, MTC, año 2003

Para este análisis se esta considerando un tipo de suelo perfil tipo II, cuya característica es ser un perfil compuesto de arcilla rígida o estratos de suelos no cohesivos donde la altura del suelo excede los 60m, y los suelos sobre las rocas son depósitos estables de arenas, gravas o arcillas rígidas. Así también el periodo fundamental para estos tipos de suelos intermedios es de 0.6s y un factor S de 1.2.

Factores de Modificación de Respuesta:

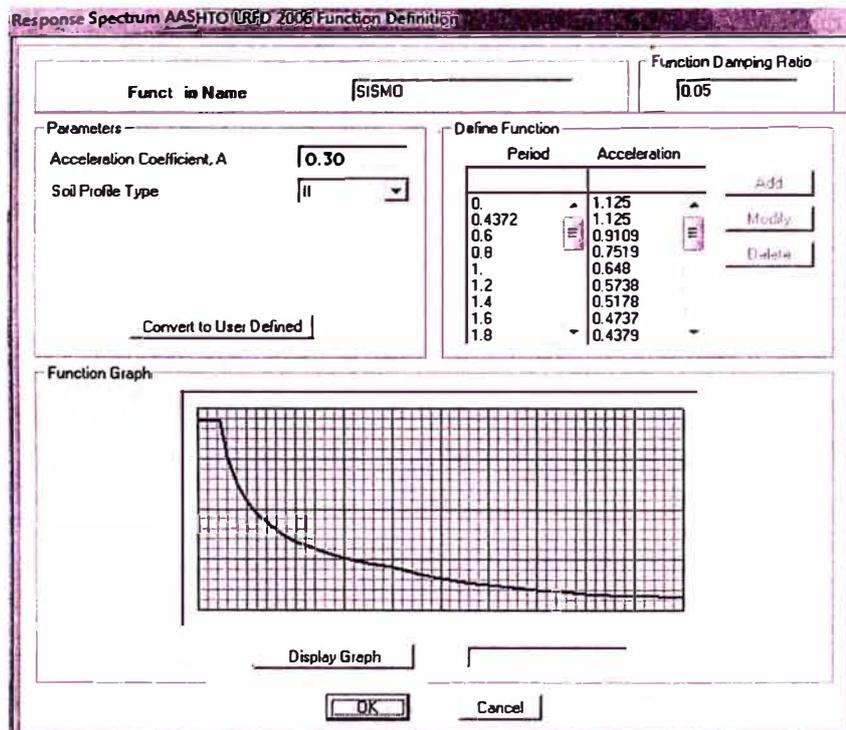
Para aplicar los factores de modificación de respuesta que se especifican, los factores de respuesta deberán satisfacer las disposiciones referentes al diseño de estructuras de concreto armado en zonas sísmicas.

**Cuadro N 2.08:** Factores de modificación de respuesta r- subestructura

SUB-ESTRUCTURA	IMPORTANCIA		
	CRITICA	ESENCIAL	OTROS
<i>Pilar tipo placa de gran dimensión</i>	1.5	1.5	2.0
<i>Pilotes de concreto armado</i>			
• <i>Sólo pilotes verticales</i>	1.5	2.0	3.0
• <i>Grupo de pilotes incluyendo pilotes inclinados</i>	1.5	1.5	2.0
<i>Columnas individuales</i>	1.5	2.0	3.0
<i>Pilotes de acero o acero compuesto con concreto</i>			
• <i>Sólo pilotes verticales</i>	1.5	3.5	5.0
• <i>Grupo de pilotes incluyendo pilotes inclinados</i>	1.5	2.0	3.0
<i>Columnas múltiples</i>	1.5	3.5	5.0

Fuente: Manual de diseño de puentes, MTC, año 2003.

**Figura N° 2.12:** Espectro de aceleraciones.



Fuente: Elaboración propia en modelo SAP2000

El diseño de los pilotes se realizará utilizando las Normas AISC-LRFD diseño de elementos de acero.

Especificaciones Técnicas del Código 318 – 99 del ACI para el Diseño de elementos de Concreto Armado como lo son las losas y vigas.

Cargas actuantes en el muelle se aprecia en el Cuadro N° 2.09.

**Cuadro N° 2.09:** Metrado de cargas

<b>Cargas consideradas:</b>		
a)	<b>cargas verticales</b>	
	peso propio de pilotes, plataforma y fundas de protección	19,913.54 t
	carga móvil de ship loader, sobre rieles de Ejes A y B	600.00 t
	carga de faja transportadora + concentrado de Cu, sobre Eje C	120.00 t
b)	<b>cargas horizontales</b>	
	sismo	t
	viento	1.35 kN/m <sup>2</sup>
	carga de atraque de buque, 102ton en 04 puntos 1, 9, 17 y 26 con Eje	410.00 t

Fuente: Elaboración propia.

### 2.3 ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL MUELLE.

El análisis estructural fue ejecutado con ayuda del software SAP2000, desarrollado por "Computer and Structure Inc".

El chequeo del Diseño fue ejecutado con ayuda del software Excel desarrollado por "Microsoft Corporation".

El modelo de la plataforma, de concreto armado, fue tomado en consideración las dimensiones siguientes:

La losa maciza de espesor  $e = 0.30\text{m}$ .

Las vigas cabezales transversales, 39und, de  $b \times h = 1.20 \times 1.20\text{m}$ .

Las vigas longitudinales de los ejes A, C, E y G de  $b \times h = 1.20 \times 1.20\text{m}$  y

Las vigas longitudinales de los ejes B, D y F de  $b \times h = 1.00 \times 0.80\text{m}$ .

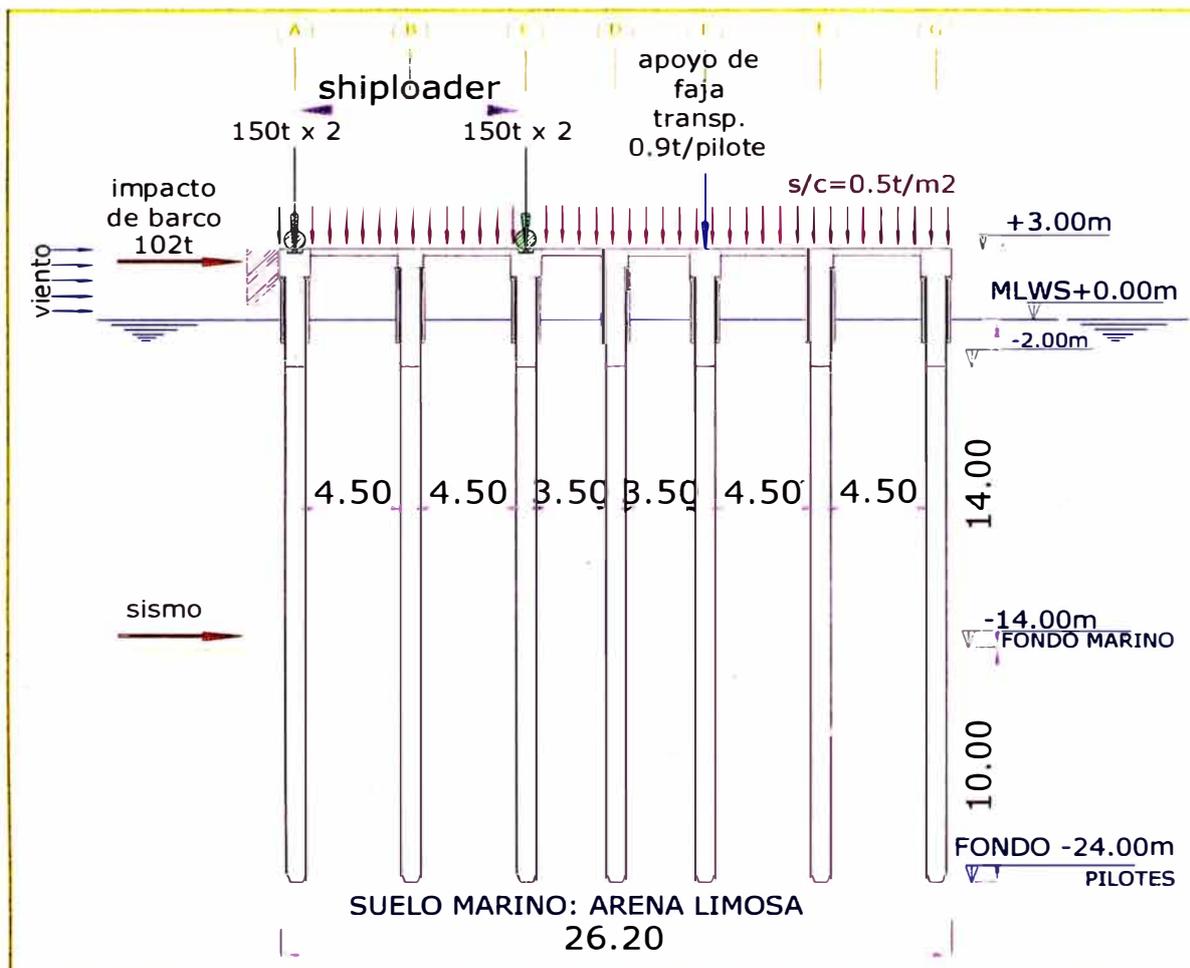
Los pilotes tubulares de acero A-36, fueron simulados por elementos de barra.

La interface entre los pilotes y la losa fue considerada totalmente rígida.

Se consideró el efecto del suelo en la parte empotrada del pilote, cuyo valor del Coeficiente de Balasto para la arena limosa es  $K_{Balasto} = 8,000 \text{ t/m}$  desarrollado con anterioridad en base al Cuadro N° 2.03.

Las cargas actuantes sobre el muelle se aprecian en la Figura N° 2.13

Figura N° 2.13: Cargas consideradas.



Fuente: Elaboración propia.

### 2.3.1 Factores de carga y combinaciones.

Se considera las siguientes cargas, transitorias y permanentes.

Cargas Permanentes:

DC = Carga muerta de componentes estructurales y no estructurales.

Cargas Variables:

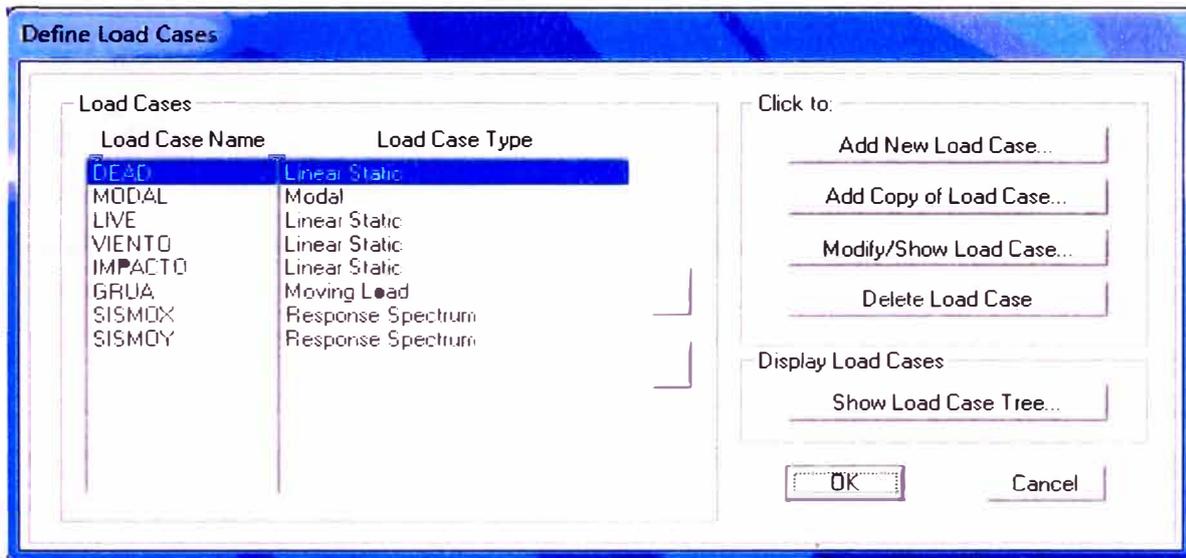
EQ = Sismo.

LL = Carga viva vehicular (shiploader).

LS = Carga viva superficial (s/c)

IMP= Impacto del barco.

Figura N° 2.14: Cargas en modelo SAP2000.



Fuente: Elaboración propia en modelo SAP2000.

$$Q = n \sum \gamma_i q_i$$

La carga total factorizada será:

n = Modificador de carga

qi = Carga especificada.

yi = Factor de carga de acuerdo a la Cuadro N° 2.10

RESISTENCIA I: combinación básica de carga relaciona con el uso vehicular normal, sin considerar el viento.

RESISTENCIA II: combinación de carga relacionada al uso del muelle mediante vehiculos de diseños especiales especificados por el propietario y/o vehiculos que permiten la evaluación, sin considerar el viento.

RESISTENCIA III: combinación de carga relacionada al puente expuesto al viento con una velocidad mayor que 90Km/h.

RESISTENCIA IV: combinación de carga relacionada a relaciones muy altas de la carga muerta a la carga viva.

RESISTENCIA V: combinación de carga relacionada al uso vehicular normal del muelle considerado el viento a una velocidad de 90Km/h.

EVENTO EXTREMO I: combinación de carga incluyendo sismo.

EVENTO EXTREMO II: combinación de carga relacionada a la carga del viento, choque de vehículos y barcos, y ciertos eventos hidráulicos con carga viva reducida, distinta de la carga de choque vehicular.

SERVICIO I: combinación de carga relacionada al uso operativo normal del puente con viento de 90km/hr y con todas las cargas a su valor nominal (sin factorizar). También está relacionada al control de la deflexión en estructuras metálicas empotradas, placas de revestimientos de túneles y tubos termoplásticos, así como controlar el ancho de las grietas en estructuras de concreto armado.

SERVICIO II: combinación de carga considerada para controlar la fluencia de la estructura de acero y el deslizamiento de las conexiones críticas, debido a la carga viva vehicular.

SERVICIO III: combinación de carga relacionada solamente a la fuerza de tensión en estructuras de concreto pretensado, con el objetivo de controlar las grietas.

FATIGA: combinación de fatiga y carga de fractura, relacionada a la carga viva vehicular repetitiva y las respuestas dinámicas bajo un camión de diseño simple con el espaciamiento entre ejes.

Los factores de carga, para varias cargas que se consideren en una combinación de carga de diseño, serán tomados como los especificados en la tabla Combinaciones de Carga y Factores de Carga. Los factores de carga para

cargas permanentes serán tomados de la tabla Factores de carga para Cargas Permanentes. Los factores serán escogidos para producir el efecto factorizados extremo total. Para cada combinación de carga, serán investigados los máximos positivos y negativos.

En las combinaciones de carga donde el efecto de una fuerza reduce el efecto de otra, se aplicará el mínimo valor de la fuerza reductora.

Cuando la carga permanente incrementa la estabilidad o la capacidad de carga de algún componente o todo el puente, se evaluará la posibilidad de una combinación de carga con el mínimo valor de tal carga permanente.

Para el cálculo de las deformaciones será usado el mayor factor de carga para TU (caso de temperatura uniforme), CR ("creep" del concreto) y SH (contracción); para otros cálculos serán usados los valores mínimos.

Para la evaluación de la estabilidad global de los taludes con o sin estructura de cimentación, serán usados los factores máximos.

El factor de carga para gradiente de temperatura,  $\gamma_{TG}$ , y asentamiento,  $\gamma_{SE}$ , será determinado para cada proyecto específico.

El factor de carga para viva en la combinación de carga del Evento Extremos I (sismo), será determinado para el proyecto específico.

**Cuadro N° 2.10:** Combinaciones de Carga y Factores de Carga.

Combinación de Cargas	DC DD DW EH EV ES	LL IM CE BR PL LS	WA	WS	WL	FR	TU CR SH	TG	SE	Usar solamente uno de los indicados en estas columnas en cada combinación				
										EQ	IC	CT	CV	
<b>Estado Límite</b>														
RESISTENCIA I	$\gamma_F$	1.75	1.00			1.00	0.50/1.20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$					
RESISTENCIA II	$\gamma_F$	1.35	1.00			1.00	0.50/1.20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$					
RESISTENCIA III	$\gamma_F$		1.00	1.40		1.00	0.50/1.20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$					
RESISTENCIA IV Solamente EH, EV, ES, DW, DC	$\gamma_F$ 1.5		1.00			1.00	0.50/1.20							
RESISTENCIA V	$\gamma_P$	1.35	1.00	0.40	0.40	1.00	0.50/1.20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$					
EVENTO EXTREMO I	$\gamma_F$	$\gamma_{EQ}$	1.00			1.00				1.00				
EVENTO EXTREMO II	$\gamma_F$	0.50	1.00			1.00					1.00	1.00	1.00	
SERVICIO I	1.00	1.00	1.00	0.30	0.30	1.00	1.00/1.20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$					
SERVICIO II	1.00	1.30	1.00			1.00	1.00/1.20							
SERVICIO III	1.00	0.80	1.00			1.00	1.00/1.20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$					
FATIGA - Solamente LL, IM y CE		0.75												

Fuente: Manual de diseño de puentes, MTC, año 2003

**Cuadro N° 2.11:** Factores de carga para Cargas Permanentes

TIPO DE CARGA	FACTOR DE CARGA	
	Máximo	Mínimo
DC Componentes y Auxiliares	1.25	0.80
DD Fuerza de arrastre hacia abajo	1.80	0.45
DW Superficies de Rodadura y Accesorios	1.50	0.85
EH Presión horizontal de tierra		
* Activa	1.50	0.80
* En reposo	1.35	0.80
EV Presión vertical de tierra		
* Estabilidad global	1.35	N/A
* Estructuras de Retención	1.35	1.00
* Estructuras Rígidas Empotradas	1.30	0.80
* Pórticos Rígidos	1.35	0.80
* Estructuras Flexibles empotradas excepto alcantarillas metálicas	1.85	0.80
* Alcantarillas Metálicas	1.50	0.80
ES Carga superficial en el terreno	1.50	0.75

Fuente: Manual de diseño de puentes, MTC, año 2003

### Combinaciones de Carga.

$$\text{RESIST. 1} = 1.25 \text{ DC} + 1.75(\text{LL} + \text{LS} + \text{IMP})$$

$$\text{RESIST. 2} = 1.25 \text{ DC} + 1.35(\text{LL} + \text{LS} + \text{IMP})$$

$$\text{EXTRE. 1} = 1.25 \text{ DC} + 1.00(\text{LL} + \text{LS} + \text{IMP}) + \text{SSX} + 0.30\text{SSY}$$

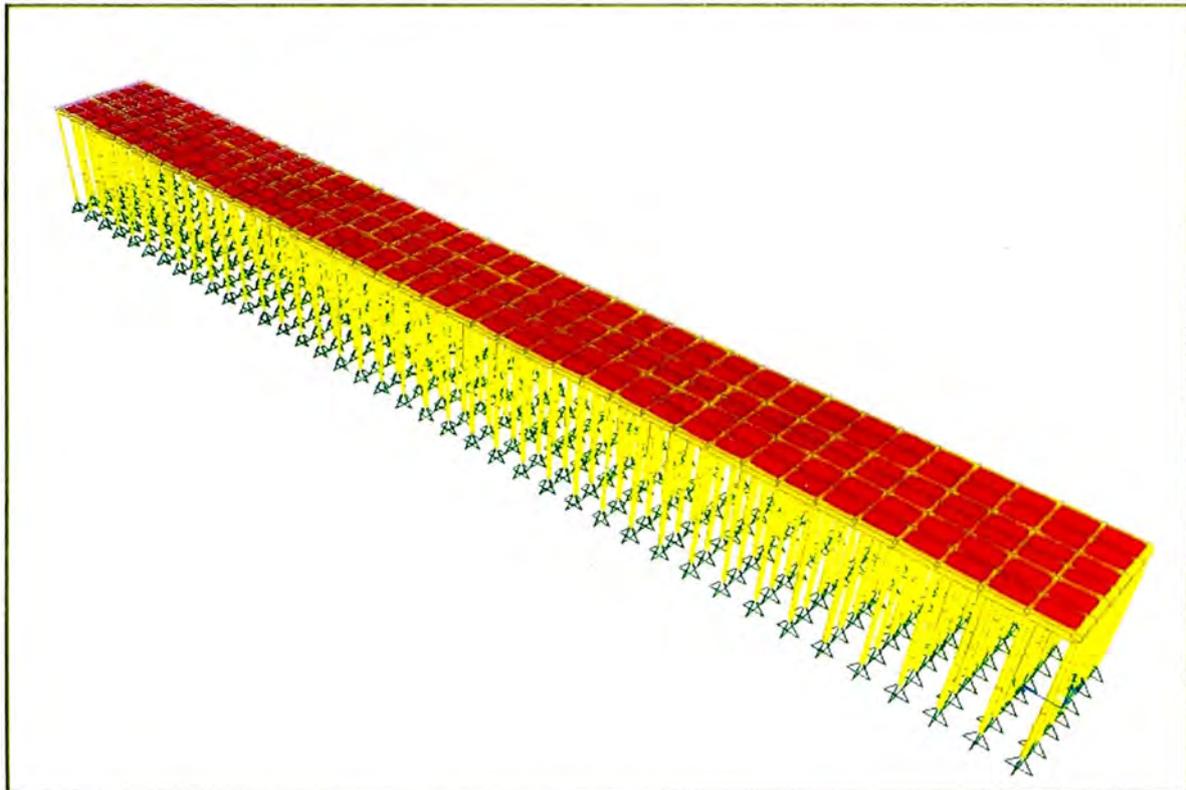
$$\text{EXTRE. 2} = 1.25 \text{ DC} + 1.00(\text{LL} + \text{LS} + \text{IMP}) + 0.30\text{SSX} + \text{SSY}$$

$$\text{EXTRE. 3} = 1.25 \text{ DC} + 0.50(\text{LL} + \text{LS} + \text{IMP})$$

Análisis estructural:

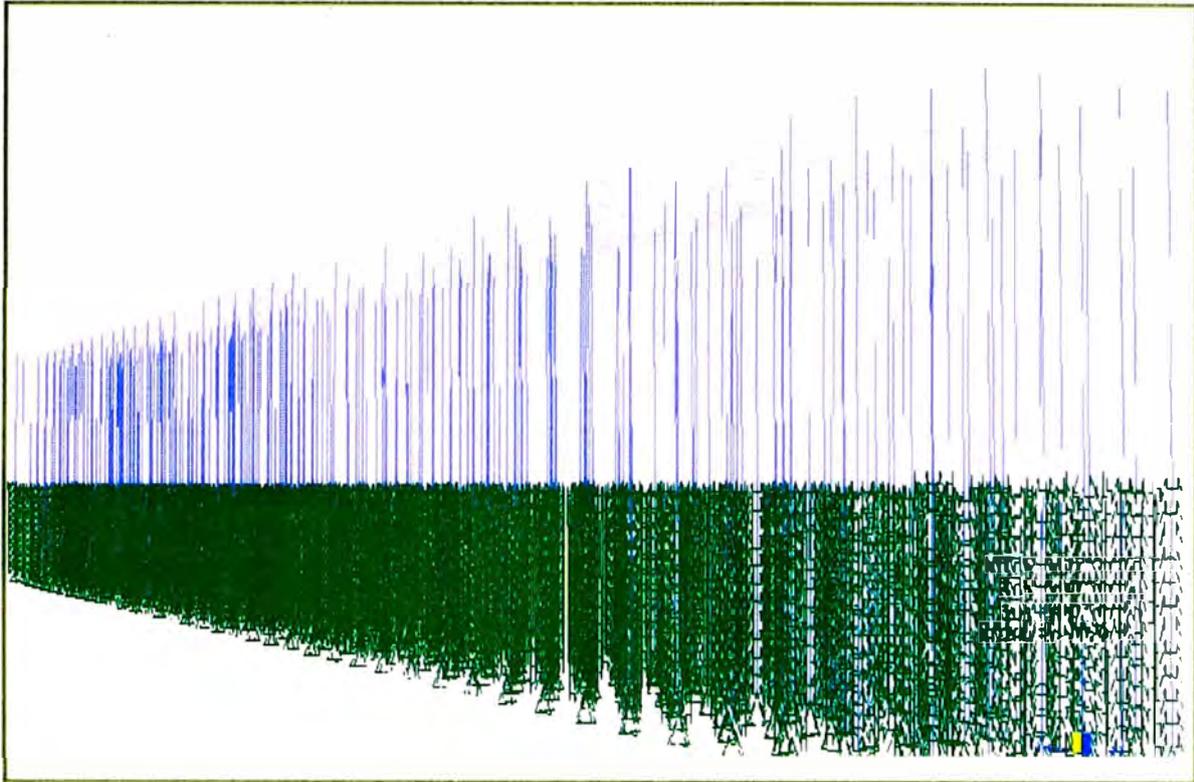
El modelo utilizado para el análisis esta basado en elementos tipo barras (frame) para los pilotes y vigas y elementos tipo área (shell) en un espacio tridimensional, se aprecia en las Figura N° 2.15 al 2.19.

Figura N° 2.15: Modelo de la estructura del muelle en 3D.



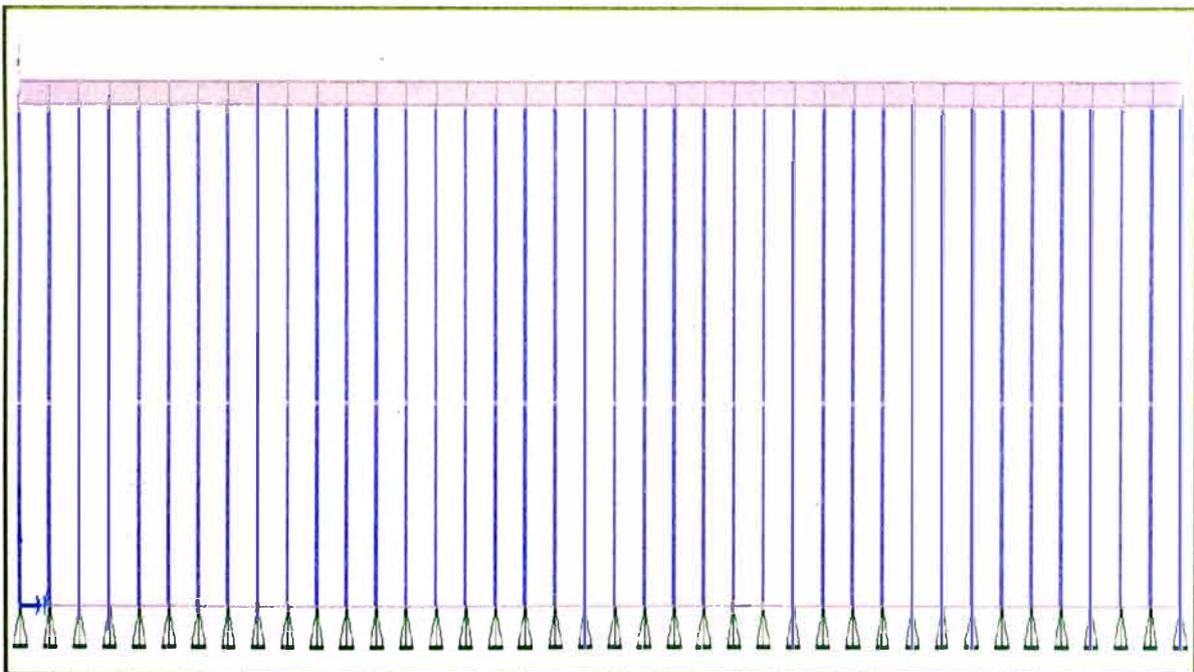
Fuente: Elaboración propia en modelo SAP2000

Figura N° 2.16: Modelo de la estructura del muelle en 3D.



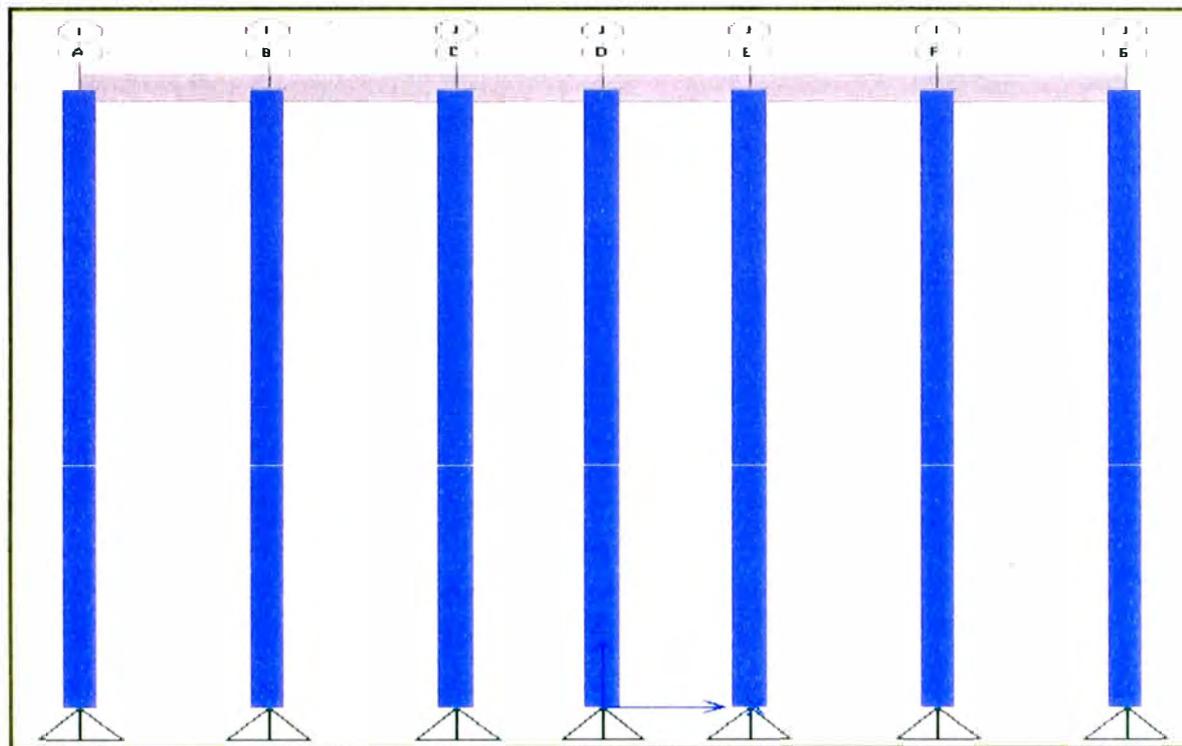
Fuente: Elaboración propia en modelo SAP2000.

Figura N° 2.17: Vista del modelo bidimensional a lo largo del muelle.



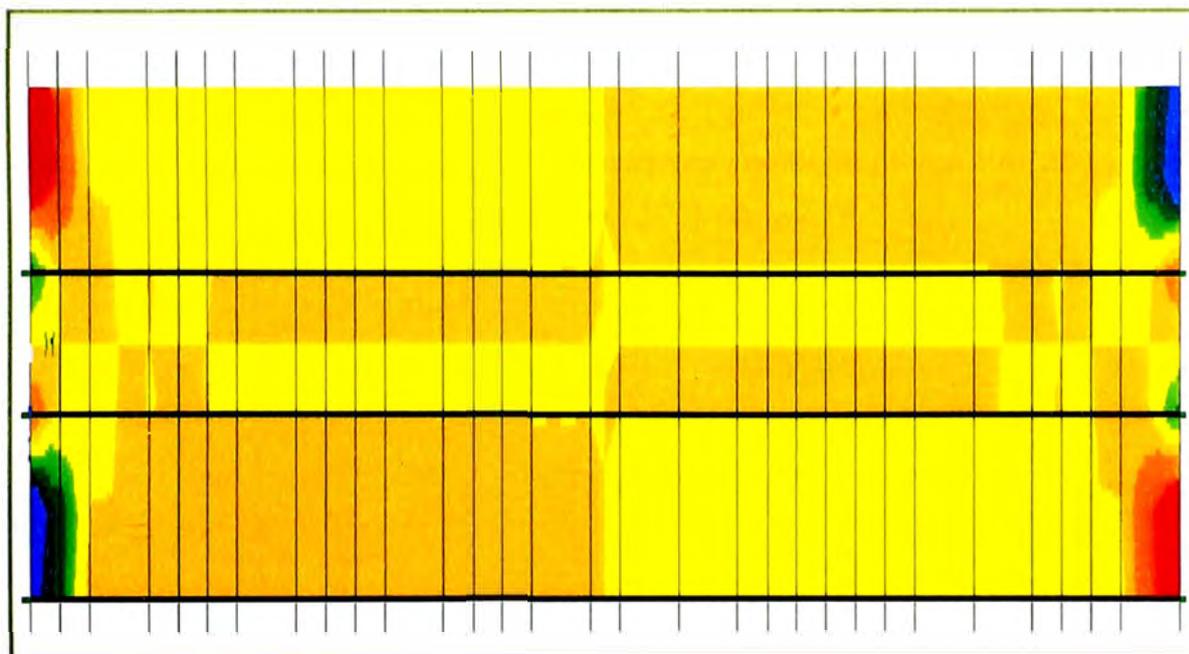
Fuente: Elaboración propia en modelo SAP2000.

Figura N° 2.18: Vista del modelo bidimensional de un eje transversal del muelle.



Fuente: Elaboración propia en modelo SAP2000.

Figura N° 2.19: Modelo de la Losa.



Fuente: Elaboración propia en modelo SAP2000.

Cuadro N° 2.12: Resultado de esfuerzos de todos los elementos.

Frame Test	Station m	Output Case Test	Case Type Test	Step Type Test	Step Num Unitless	P Tonf	V2 Tonf	V3 Tonf	T Tonf-m	M2 Tonf-m	M3 Tonf-m	Frame Elem Test	Elem Station m
8	0	DEAD	LinStatic			-0.0906	4.9015	0.0011	0.52294	0.00451	-2.54141	8-1	0
8	0.5	DEAD	LinStatic			-0.0906	5.2535	0.0011	0.52294	0.00394	0.51733	8-1	0.5
8	1	DEAD	LinStatic			-0.0906	-3.5255	0.0011	0.52294	0.00336	2.71206	8-1	1
8	1.5	DEAD	LinStatic			-0.0906	-1.7975	0.0011	0.52294	0.00279	4.04279	8-1	1.5
8	2	DEAD	LinStatic			-0.0906	0.0695	0.0011	0.52294	0.00222	4.50952	8-1	2
8	2.5	DEAD	LinStatic			-0.0906	1.6585	0.0011	0.52294	0.00164	4.11226	8-1	2.5
8	3	DEAD	LinStatic			-0.0906	3.3865	0.0011	0.52294	0.00107	2.95099	8-1	3
8	3.5	DEAD	LinStatic			-0.0906	5.1145	0.0011	0.52294	0.0005	0.72572	8-1	3.5
8	4	DEAD	LinStatic			-0.0906	6.8425	0.0011	0.52294	-0.00007663	-2.26354	8-1	4
8	4.5	DEAD	LinStatic			-0.0906	8.5705	0.0011	0.52294	-0.00065	-6.11681	8-1	4.5
8	0	MODAL	LinModal	Mode	1	-0.1835	-0.2777	-0.0301	-3.31799	-0.05954	-0.30904	8-1	0
8	0.5	MODAL	LinModal	Mode	1	-0.1835	-0.2777	-0.0301	-3.31799	-0.04449	0.25017	8-1	0.5
8	1	MODAL	LinModal	Mode	1	-0.1835	-0.2777	-0.0301	-3.31799	-0.02944	-0.1113	8-1	1
8	1.5	MODAL	LinModal	Mode	1	-0.1835	-0.2777	-0.0301	-3.31799	-0.01439	0.02757	8-1	1.5
8	2	MODAL	LinModal	Mode	1	-0.1835	-0.2777	-0.0301	-3.31799	0.00096	0.16644	8-1	2
8	2.5	MODAL	LinModal	Mode	1	-0.1835	-0.2777	-0.0301	-3.31799	0.01571	0.30531	8-1	2.5
8	3	MODAL	LinModal	Mode	1	-0.1835	-0.2777	-0.0301	-3.31799	0.03076	0.44416	8-1	3
8	3.5	MODAL	LinModal	Mode	1	-0.1835	-0.2777	-0.0301	-3.31799	0.04581	0.58305	8-1	3.5
8	4	MODAL	LinModal	Mode	1	-0.1835	-0.2777	-0.0301	-3.31799	0.06087	0.72192	8-1	4
8	4.5	MODAL	LinModal	Mode	1	-0.1835	-0.2777	-0.0301	-3.31799	0.07592	0.86079	8-1	4.5
8	0	MODAL	LinModal	Mode	2	0.2781	6.1308	-0.0333	-0.02759	-0.05695	16.77256	8-1	0
8	0.5	MODAL	LinModal	Mode	2	0.2781	6.1308	-0.0333	-0.02759	-0.05016	13.70715	8-1	0.5
8	1	MODAL	LinModal	Mode	2	0.2781	6.1308	-0.0333	-0.02759	-0.06352	10.64174	8-1	1
8	1.5	MODAL	LinModal	Mode	2	0.2781	6.1308	-0.0333	-0.02759	-0.04696	7.57633	8-1	1.5
8	2	MODAL	LinModal	Mode	2	0.2781	6.1308	-0.0333	-0.02759	-0.03019	4.51093	8-1	2
8	2.5	MODAL	LinModal	Mode	2	0.2781	6.1308	-0.0333	-0.02759	-0.01353	1.44552	8-1	2.5
8	3	MODAL	LinModal	Mode	2	0.2781	6.1308	-0.0333	-0.02759	0.00313	-1.61989	8-1	3
8	3.5	MODAL	LinModal	Mode	2	0.2781	6.1308	-0.0333	-0.02759	0.0196	-4.6853	8-1	3.5
8	4	MODAL	LinModal	Mode	2	0.2781	6.1308	-0.0333	-0.02759	0.03646	-7.75071	8-1	4

Fuente: Elaboración propia en modelo SAP2000.

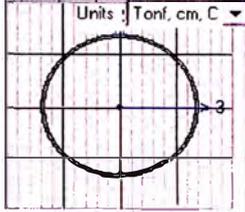
## 2.4 DISEÑO DE COMPONENTES ESTRUCTURALES

A continuación se presentan los diseños de componentes estructurales tales como los pilotes de acero mediante la norma AISC - LRFD y de las vigas de concreto armado mediante la norma ACI 318.

### 2.4.1 Diseño de pilotes

Los pilotes tubulares de acero A-36 fue modelado en el programa SAP200 y cuyos resultados se aprecian en el Cuadro N° 2.13. y 2.14.

Cuadro N° 2.13: Resultado de los mayores esfuerzos de pilotes del eje A y diseño.

AISC-LRFD93 STEEL SECTION CHECK								
Units : Tonf, cm, C								
								
Frame : 805	Design Sect: PILOTE-1m							
X Mid : 800.000	Design Type: Column							
Y Mid : 25350.000	Frame Type : Moment Resisting Frame							
Z Mid : 1950.000	Sect Class : Compact							
Length : 1700.000	Major Axis : 0.000 degrees counterclockwise from local 3							
Loc : 1700.000	RLLF : 1.000							
Area : 490.000	SMajor : 9323.933	rMajor : 27.586	AUMajor: 245.152					
IMajor : 372957.313	SMinor : 9323.933	rMinor : 27.586	AUMinor: 245.152					
IMinor : 372957.313	ZMajor : 12170.667	E : 2038.902						
Ixy : 0.000	ZMinor : 12170.667	Fy : 2.531						
<b>STRESS CHECK FORCES &amp; MOMENTS</b>								
Location	Pu	Mu33	Mu22	Uu2	Uu3	Tu		
1700.000	-59.214	-4058.230	-7537.213	-0.747	-7.380	0.000		
<b>PMM DEMAND/CAPACITY RATIO</b>								
Governing Equation (H1-1a)	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check		
	0.635	= 0.359	+ 0.130	+ 0.243	0.950	OK		
<b>AXIAL FORCE DESIGN</b>								
Axial	Pu Force	phi*Pnc Capacity	phi*Pnt Capacity					
	-59.214	164.752	1116.395					
<b>MOMENT DESIGN</b>								
	Mu Moment	phi*Mn Capacity	Cm Factor	81 Factor	82 Factor	K Factor	L Factor	Cb Factor
Major Moment	-4064.102	27724.116	1.000	1.066	1.000	2.004	1.647	1.000
Minor Moment	-7569.786	27724.116	1.000	1.066	1.000	2.001	1.647	
<b>SHEAR DESIGN</b>								
	Uu Force	phi*Un Capacity	Stress Ratio	Status Check	Tu Torsion			
Major Shear	4.211	335.065	0.013	OK	0.000			
Minor Shear	7.981	335.065	0.024	OK	0.000			

Fuente: Elaboración propia en modelo SAP2000.

Cuadro N° 2.14: Resultado de los mayores esfuerzos de pilotes del eje B y diseño.

AISC-LRFD93 STEEL SECTION CHECK						
Combo : EXTRE1						
Units : Tonf, cm, C						
		Units   Tonf, cm, C ▾				
Frame : 707	Design Sect: PILOTE-1m					
X Mid : 1250.000	Design Type: Column					
Y Mid : 22100.000	Frame Type : Moment Resisting Frame					
Z Mid : 1950.000	Sect Class : Compact					
Length : 1700.000	Major Axis : 0.000 degrees counterclockwise from local 3					
Loc : 1700.000	RLLF : 1.000					
Area : 490.088	SMajor : 9323.933	rMajor : 27.586	AUMajor: 245.152			
IMajor : 372957.313	SMinor : 9323.933	rMinor : 27.586	AUMinor: 245.152			
IMinor : 372957.313	ZMajor : 12170.667	E : 2038.902				
Ixy : 0.000	ZMinor : 12170.667	Fy : 2.531				
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS						
Location	Pu	Mu33	Mu22	Uu2	Uu3	Tu
1700.000	-84.397	-9119.395	2523.224	9.579	-2.631	0.000
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO						
Governing Equation (H1-1a)	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
	0.781	= 0.477	+ 0.293	+ 0.081	0.950	OK
AXIAL FORCE DESIGN						
	Pu Force	phi*Pnc Capacity	phi*Pnt Capacity			
Axial	-84.397	177.019	1116.395			
MOMENT DESIGN						
	Mu Moment	phi*Mn Capacity	Cm Factor	B1 Factor	B2 Factor	K Factor
Major Moment	-9137.849	27724.116	1.000	1.097	1.000	2.008
Minor Moment	2524.476	27724.116	1.000	1.097	1.000	2.005
						L Factor
						1.647
						Factor
						1.000
SHEAR DESIGN						
	Uu Force	phi*Un Capacity	Stress Ratio	Status Check	Tu Torsion	
Major Shear	9.579	335.065	0.029	OK	0.000	
Minor Shear	2.631	335.065	0.008	OK	0.000	

Fuente: Elaboración propia en modelo SAP2000.

Cuadro N° 2.15: Valores de k para pilotes con diversas condiciones en los extremos.

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
k teórico	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
k de diseño recomendado	0,65	0,8	1,2	1,0	2,1	2,0
Condiciones en los extremos.						
	Rotación fija	Rotación libre	Rotación fija	Rotación libre	Tiración fija	Tiración libre
					Tiración fija	Tiración libre
					Tiración libre	Tiración libre
					Tiración libre	Tiración libre

Fuente: Instituto Americano del acero de construcción.

**Cuadro N° 2.16:** Valores de  $C_c$

Fy (ksi)	$C_c$	Fy (ksi)	$C_c$
33	131.7	46	111.6
35	127.9	50	107.0
36	126.1	55	102.0
39	121.2	60	97.7
40	119.6	65	93.8
42	116.7	90	79.8
45	112.8	100	75.7

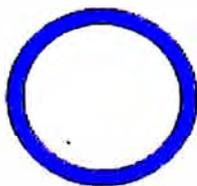
Fuente: Instituto Americano del acero de construcción.

**Cuadro N° 2.17:** Valores de  $C_a$  para determinar el esfuerzo admisible cuando  $kL/r \leq C_c$

$\frac{kL/r}{C_c}$	$C_a$	$\frac{kL/r}{C_c}$	$C_a$	$\frac{kL/r}{C_c}$	$C_a$	$\frac{kL/r}{C_c}$	$C_a$
0.12	0.58	0.37	0.518	0.62	0.432	0.87	0.325
0.13	0.578	0.38	0.515	0.63	0.428	0.88	0.321
0.14	0.576	0.39	0.512	0.64	0.424	0.89	0.316
0.15	0.574	0.4	0.509	0.65	0.42	0.9	0.311
0.16	0.572	0.41	0.506	0.66	0.416	0.91	0.306
0.17	0.57	0.42	0.502	0.67	0.412	0.92	0.301

Fuente: Instituto Americano del acero de construcción.

Comprobación del diseño del pilote de acero sometido a carga axial:



$$\text{radio de giro } r = \sqrt{\frac{D_{ext}^2 + D_{int}^2}{16}}$$

Dext	=	31.496 plg	(0.80m)
Dint	=	30.709 plg	(0.78m)
r	=	10.997 plg	
A	=	38.47 plg <sup>2</sup>	(área del perfil)
K	=	2	(del cuadro N° 2.15)
L	=	622.05 plg	(15.8m)
r	=	11.00 plg	
$C_c$	=	126.10	(del cuadro N° 2.16)
$KL/r$	=	113.13	

$(KL/r)/Cc$  0.8971  
 $Ca$  0.3150 (del cuadro N° 2.17)

$F_y = 36 \text{ klf/plg}^2$  (2,500 kg/cm<sup>2</sup>)

por lo tanto:  
 $F_a = Ca \cdot F_y = 11.34 \text{ klf/plg}^2$  (787.5 kg/cm<sup>2</sup>)

Carga admisible:  
 $P_{adm} = F_a \cdot A = 436.24 \text{ klb}$  (196.31 t)  
 siendo  $P_u = 186.07 \text{ klb}$  (84.4t del cuadro N° 2.14)

Por lo tanto:  $P_{adm} > P_u$  **Correcto**

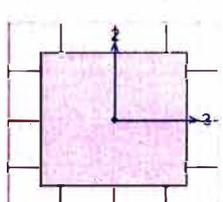
### 2.4.2 Diseño de vigas

Refuerzo de vigas:

Para el refuerzo de las Vigas se ha hecho con los resultados de la envolvente en las combinaciones de carga.

Cuadro N° 2.18: Resultado de los mayores esfuerzos de vigas Transversal del eje 1 y diseño.

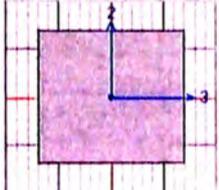
ACI 318-05/IBC2003 BEAM SECTION DESIGN Type:Sway Special Units: Tonf, m, C (Summary)						
Element : 9	D=1.200	B=1.200	bf=1.200			
Section ID : U1200X1200	ds=0.000	dct=0.060	dcb=0.060			
Combo ID : DCON11	E=2006243.04	Fc=3500.000	Lt.Wt. Fac.=1.000			
Station Loc : 0.000	L=4.500	fy=42104.170	fys=42104.170			
Phi(Bending): 0.900						
Phi(Shear): 0.750						
Phi(Seis Shear): 0.600						
Phi(Torsion): 0.750						
Design Moments, M3						
	Positive Moment	Negative Moment	Special +Moment	Special -Moment		
	51.417	-55.573	51.417	-55.573		
Flexural Reinforcement for Moment, M3						
	Required Rebar	+Moment Rebar	-Moment Rebar	Minimum Rebar		
Top (+2 Axis)	0.002	0.000	0.001	0.002		
Bottom (-2 Axis)	0.002	0.001	0.000	0.002		
Shear Reinforcement for Shear, U2						
	Rebar Av/s	Shear Uu	Shear phi*Uc	Shear phi*Us	Shear Up	
	0.001	46.742	0.000	46.742	39.517	
Reinforcement for Torsion, T						
	Rebar At/s	Rebar A1	Torsion Tu	Critical Phi*Tr	Area Ao	Perimeter Ph
	0.000	0.000	0.195	16.103	1.049	4.444



Fuente: Elaboración propia en modelo SAP2000.

Cuadro N° 2.19: Resultado de los mayores esfuerzos de vigas transversales del eje 2 y diseño.

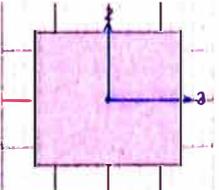
ACI 318-05/IBC2009 BEAM SECTION DESIGN Type:Sway Special Units: Tonf, m, C (Summary)					
Element	: 29	D=1.200	B=1.200	bf=1.200	
Section ID	: U1200X1200	ds=0.000	dct=0.060	dcb=0.060	
Combo ID	: DCON11	E=2806243.04	Fc=3500.000	Lt.Wt. Fac.-1.000	
Station Loc	: 0.000	L=4.500	fy=42184.178	Fys=42184.178	
Phi(Bending):	0.900				
Phi(Shear):	0.750				
Phi(Seis Shear):	0.600				
Phi(Torsion):	0.750				
<b>Design Moments, M3</b>					
		Positive Moment	Negative Moment	Special +Moment	Special -Moment
		49.553	-57.796	49.553	-57.796
<b>Flexural Reinforcement for Moment, M3</b>					
		Required Rebar	+Moment Rebar	-Moment Rebar	Minimum Rebar
Top (+2 Axis)		0.002	0.000	0.001	0.002
Bottom (-2 Axis)		0.002	0.001	0.000	0.002
<b>Shear Reinforcement for Shear, U2</b>					
		Rebar Au/s	Shear Uu	Shear phi=Uc	Shear phi=Us
		0.001	50.121	0.000	50.121
					Shear Up
					41.736
<b>Reinforcement for Torsion, T</b>					
		Rebar At/s	Rebar A1	Torsion Tu	Critical Phi=Tcr
		0.000	0.000	0.301	16.084
					Area Ao
					1.049
					Perimeter Ph
					4.444



Fuente: Elaboración propia en modelo SAP2000.

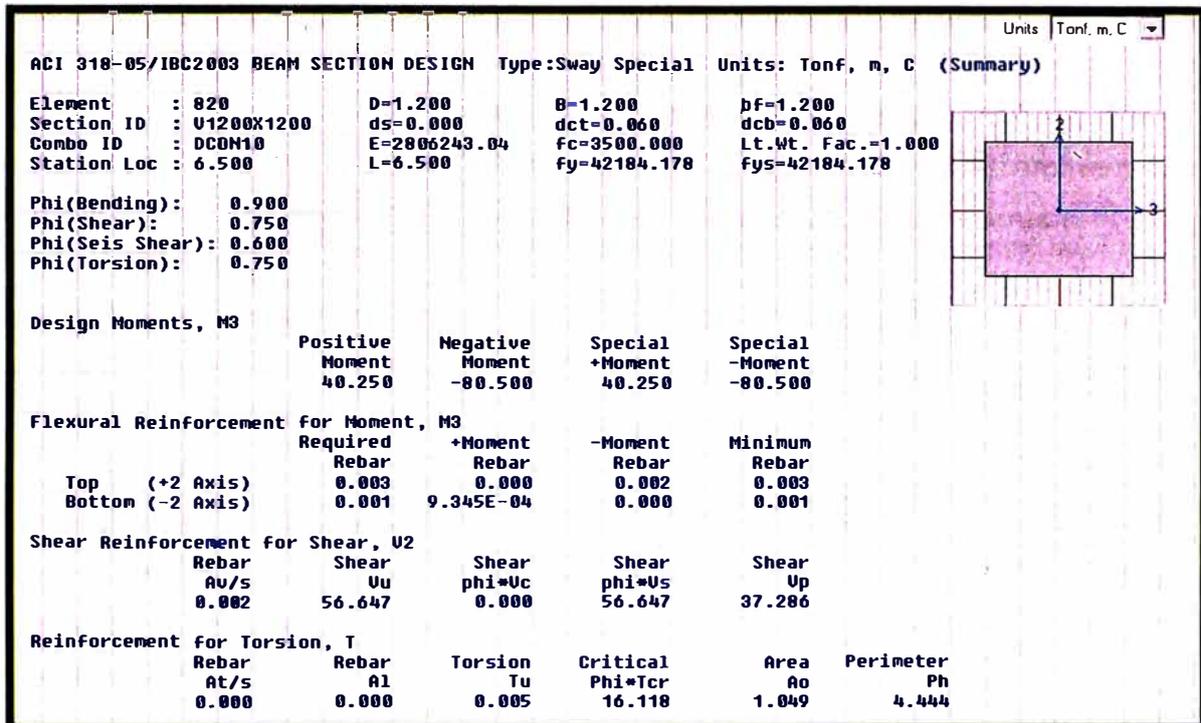
Cuadro N° 2.20: Resultado de los mayores esfuerzos de vigas longitudinales del eje A y diseño.

ACI 318-05/IBC2009 BEAM SECTION DESIGN Type:Sway Special Units: Tonf, m, C (Summary)					
Element	: 026	D=1.200	B=1.200	bf=1.200	
Section ID	: U1200X1200	ds=0.000	dct=0.060	dcb=0.060	
Combo ID	: DCON10	E=2806243.04	Fc=3500.000	Lt.Wt. Fac.-1.000	
Station Loc	: 6.500	L=6.500	fy=42184.178	Fys=42184.178	
Phi(Bending):	0.900				
Phi(Shear):	0.750				
Phi(Seis Shear):	0.600				
Phi(Torsion):	0.750				
<b>Design Moments, M3</b>					
		Positive Moment	Negative Moment	Special +Moment	Special -Moment
		30.636	-77.272	30.636	-77.272
<b>Flexural Reinforcement for Moment, M3</b>					
		Required Rebar	+Moment Rebar	-Moment Rebar	Minimum Rebar
Top (+2 Axis)		0.002	0.000	0.002	0.002
Bottom (-2 Axis)		0.001	0.968E-04	0.000	0.001
<b>Shear Reinforcement for Shear, U2</b>					
		Rebar Au/s	Shear Uu	Shear phi=Uc	Shear phi=Us
		0.001	52.265	0.000	52.265
					Shear Up
					34.409
<b>Reinforcement for Torsion, T</b>					
		Rebar At/s	Rebar A1	Torsion Tu	Critical Phi=Tcr
		0.000	0.000	0.028	16.117
					Area Ao
					1.049
					Perimeter Ph
					4.444



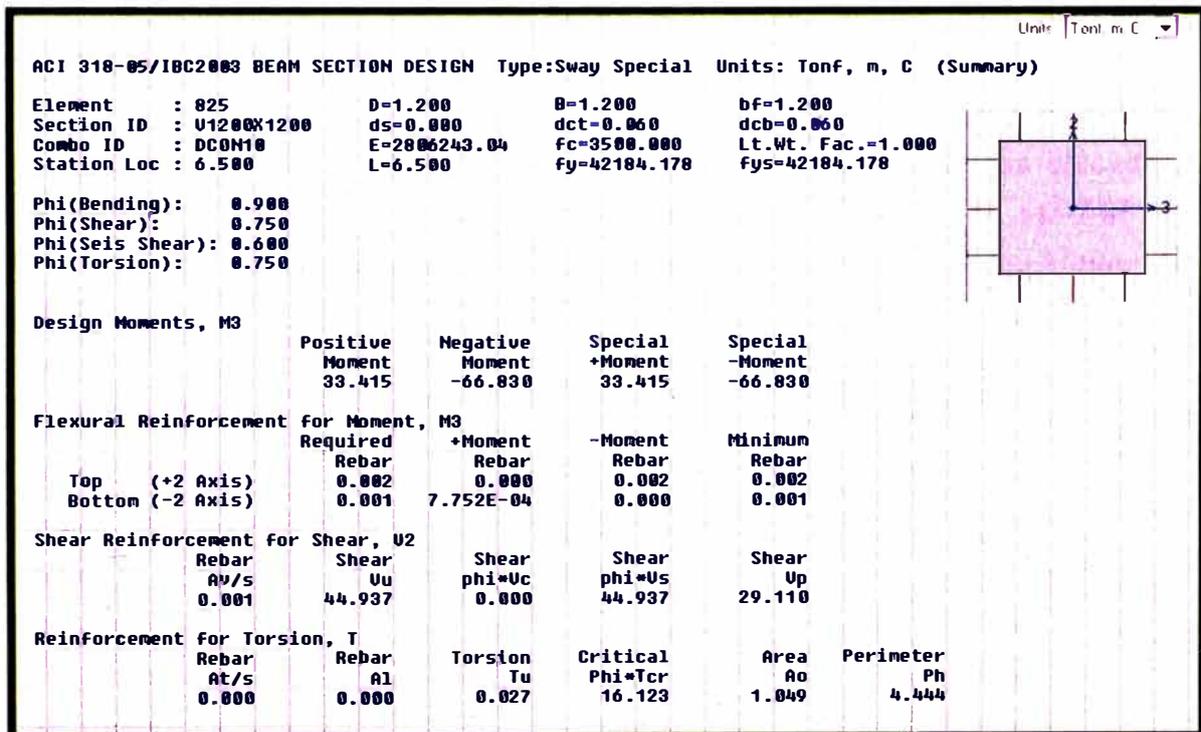
Fuente: Elaboración propia en modelo SAP2000.

Cuadro N° 2.21: Resultado de los mayores esfuerzos de vigas longitudinales del eje C y diseño.



Fuente: Elaboración propia en modelo SAP2000.

Cuadro N° 2.22: Resultado de los mayores esfuerzos de vigas longitudinales del eje E y diseño.



Fuente: Elaboración propia en modelo SAP2000.

Resultado de esfuerzos:

Se presentan los esfuerzos de Momentos Flectores y Fuerzas cortantes (esquemático) que se presentan en los elementos de la estructura (ver Anexos)

La viga transversal del eje 1 es idéntica a la viga transversal del eje 39 (vigas de borde) por lo que los resultados vistos en el Cuadro N° 2.16, de momentos positivos, momentos negativos y área de acero de refuerzo, es para ambos.

Las vigas transversales de los ejes 2 al eje 38 son idénticas por lo que los resultados vistos en el Cuadro N° 2.17, de momentos positivos, momentos negativos y área de acero de refuerzo, se aplican para todas estas.

Las vigas longitudinales de los ejes A y C son los que soportan la carga móvil del equipo shiploader y cuyos resultados de momentos positivos, momentos negativos y área de acero de refuerzo se aprecian en los Cuadros N° 2.18 y 2.17 respectivamente.

La viga longitudinal del eje E es la línea que recorre la faja transportadora, cuyos apoyos de carga puntual caen directamente a los pilotes. Los resultados de momentos positivos, momentos negativos y área de acero de refuerzo se aprecian en el Cuadro N° 2.20 y es válido usar estos mismos para las vigas longitudinales de los ejes B, D, F y G.

Para el diseño de la losa maciza, por fines prácticos, se tomó la losa ubicada entre los ejes 2-3 y D-C, siendo la relación luz mayor a luz menor:  $LM / ln = 5.30/3.4 = 2.21$ , por lo tanto se diseñará como una losa maciza simplemente reforzada.

Normas de diseño:

- Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Normas ASTM (American Society for Testing Materials)
- Normas ACI (American Concrete Institute)
- Manual para el diseño de Puentes.
- Especificaciones AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials- Standard Specifications for Highway Bridges).

**PORTICO DEL EJE "C"**

NUDOS TOTAL: 80  
ELEMENTOS:  
DEL 1 AL 39: PILOTES  
DEL 40 AL 79: VIGAS

ANCHO TRIBUTARIO =  $4.5/2+3 = 4.00$  M  
WDCLOSA:  $(4.00-1.00) * 0.30 * 2 = 5.04$  t/m  
+ VIGA:  $1.00 * 1.20 * 2.40$   
WLS:  $0.50 * 4.00 = 2.00$  t/m

COMBINACIONES DE CARGA

RESIST. 1 =  $1.25 DC + 1.75 (LL + LS + IMP)$

RESIST. 1 =  $1.25 * 5.04 + 1.75 * 2 = 9.8$  t/m A TODO LO LARGO.

RESIST. 1 =  $1.75 * 150 = 262.5$  t EN EL NUDO Nº 60

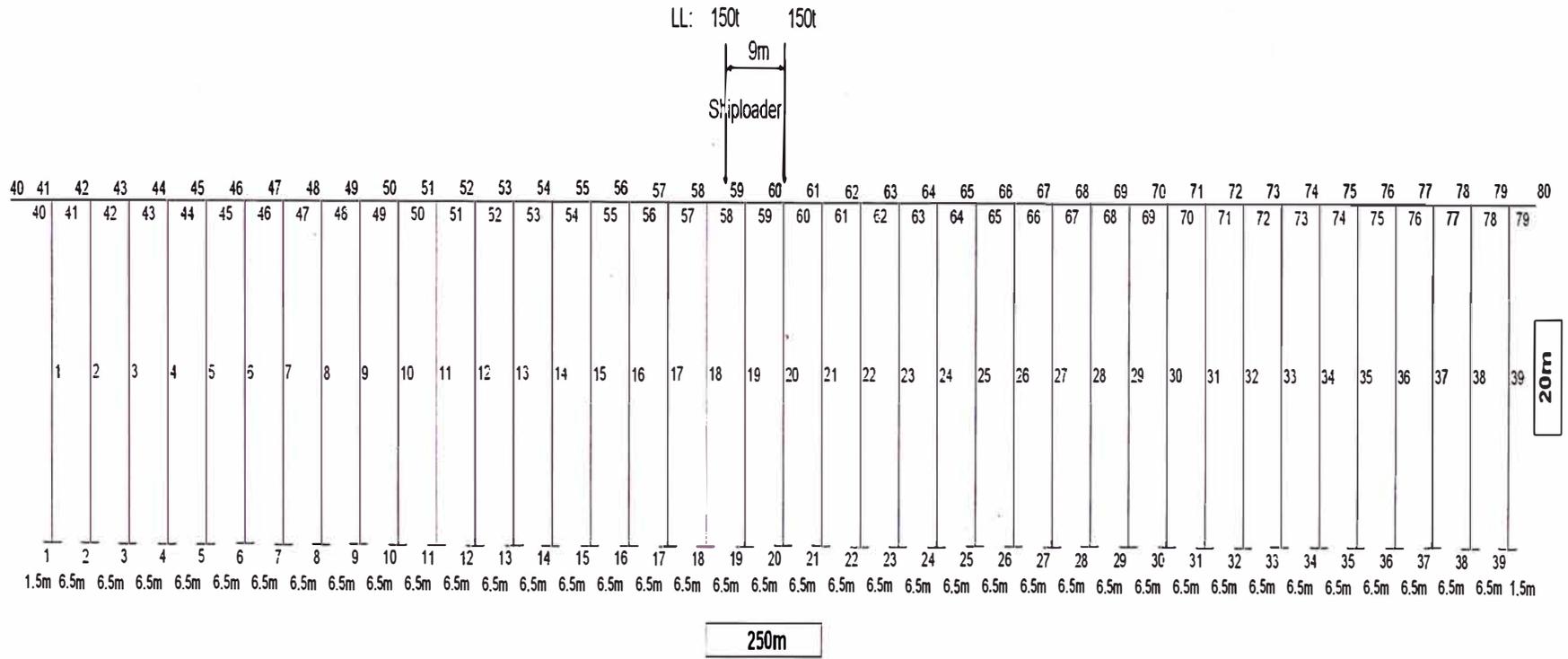
RESIST. 1 =  $1.75 * 150 * (9.0-6.5) = 656.3$  t-m EN EL NUDO Nº 59

IMP: EN ESTE EJE NO LO CONSIDERO.

LL: 150t 150t



Cuadro Nº 2.23: Modelamiento de pórtico plano, eje C



Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro N° 2.24:** Características de las secciones:

Pilote tubular de acero A-36, del Eje C : P-C y Viga rectangular del Eje C.

Análisis de Pórticos Planos		versión 1.1 HSF 1999		PORTICO EJE C, MUELLE PACASMAYO					
Propiedades de Materiales				Características de las Secciones					
etiqueta	E (Um <sup>2</sup> )	G (Um <sup>2</sup> )	γ (Um <sup>3</sup> )	tipo	materia	A (m <sup>2</sup> )	I (m <sup>4</sup> )	A <sub>s</sub> (m <sup>2</sup> )	Notas
acero	2.00E+07	8.00E+06		P-C	acero	0.049	7.46E-03		Pilote tubular acero A-36, radio ext 80cm x e=20mm Viga bh = 1.00x1.20 del eje C
concreto	2.17E+06	8.69E+05		V-C	concreto	1.200	1.44E-01		

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro N° 2.25:** Datos relativos a los elementos:

En el pilote 20 se aplica la carga viva debido al equipo shiploader, en el nudo N° 60. Así también se aplica el momento equivalente a la otra carga viva del shiploader, respecto al nudo N° 59.

Datos Relativos a los Nudos								Datos Relativos a los Elementos								
nudo	Coordenadas		apoyos			Fuerzas Concentradas			e	nudos		rotulas		Distribuidas		
	X (m)	Y (m)	1	2	3	F <sub>x</sub> (t)	F <sub>y</sub> (t)	M <sub>z</sub> (t m)		i	j	tipo	i	j	w <sub>x</sub> (t/m)	w <sub>y</sub> (t/m)
1	0.000	0.000	x	x	x				1	Pilote 1	41	P-C				
19	117.000	0.000	x	x	x				19	Pilote 19	59	P-C				
20	123.500	0.000	x	x	x				20	Pilote 20	60	P-C				
39	247.000	0.000	x	x	x				39	Pilote 39	79	P-C				
40	-1.500	20.000							40	Viga 40	41	V-C				-9.800
41	0.000	20.000							41	Viga 41	42	V-C				-9.800
42	6.500	20.000							42	Viga 42	43	V-C				-9.800
59	117.000	20.000					656.25		59	Viga 59	60	V-C				-9.800
60	123.500	20.000				-262.500			60	Viga 60	61	V-C				-9.800
61	130.000	20.000							61	Viga 61	62	V-C				-9.800
79	247.000	20.000							79	Viga 79	80	V-C				-9.800
80	248.500	20.000							80							
81									81							

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro N° 2.26:** Resultado, fuerzas en los elementos. Se aprecia que el Pilote 20 tiene la mayor carga axial. Mientras que la viga N° 59 presenta los máximos momentos y cortantes.

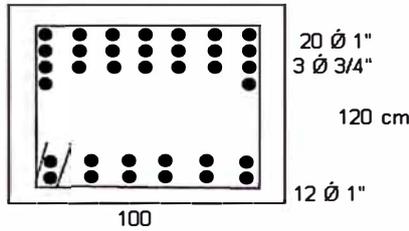
Análisis de Pórticos Planos		versión 1.1 HSF 1999		PORTICO EJE C, MUELLE PACASMAYO							
Desplazamientos de los Nudos				Fuerzas en los Elementos (convención de resistencia de materiales)							
nudo	u (m)	v (m)	θ (rad)	e	N <sub>i</sub> (t)	N <sub>j</sub> (t)	M <sub>i</sub> (t m)	M <sub>centro</sub> (t m)	M <sub>j</sub> (t m)	V <sub>i</sub> (t)	V <sub>j</sub> (t)
1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	Pilote 1	-44.133	-44.133	3.451	-1.434	-6.318	-0.488	-0.488
19	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	Pilote 19	-98.735	-98.735	-22.924	11.806	46.536	3.473	3.473
20	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	Pilote 20	-213.318	-213.318	7.846	-3.582	-15.011	-1.143	-1.143
21	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	Pilote 21	-102.578	-102.578	-6.148	3.416	12.980	0.956	0.956
22	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	Pilote 22	-57.212	-57.212	0.918	-0.120	-1.158	-0.104	-0.104
57	-2.973E-04	-1.213E-03	-1.116E-05	Viga 57	-1.434	-1.434	-39.225	-3.827	-71.941	26.817	-36.883
58	-3.009E-04	-2.340E-03	-4.489E-04	Viga 58	-2.506	-2.506	-86.008	115.086	212.666	77.800	14.100
59	-3.071E-04	-2.015E-03	1.583E-03	Viga 59	0.967	0.967	-397.048	-82.092	129.352	112.835	49.135
60	-3.047E-04	-4.353E-03	-4.802E-04	Viga 60	-0.176	-0.176	114.342	62.430	-92.994	-0.048	-63.748
61	-3.052E-04	-2.093E-03	4.579E-04	Viga 61	0.780	0.780	-80.014	-5.573	-34.645	38.830	-24.870
78	-2.962E-04	-1.347E-03	6.379E-07	Viga 78	-0.378	-0.378	-33.677	26.778	-16.281	34.526	-29.174
79	-2.972E-04	-8.952E-04	1.984E-04	Viga 79	0.000	0.000	-11.025	-2.756	0.000	14.700	0.000
80	-2.972E-04	-6.174E-04	1.808E-04	80							

Fuente: Elaboración propia.

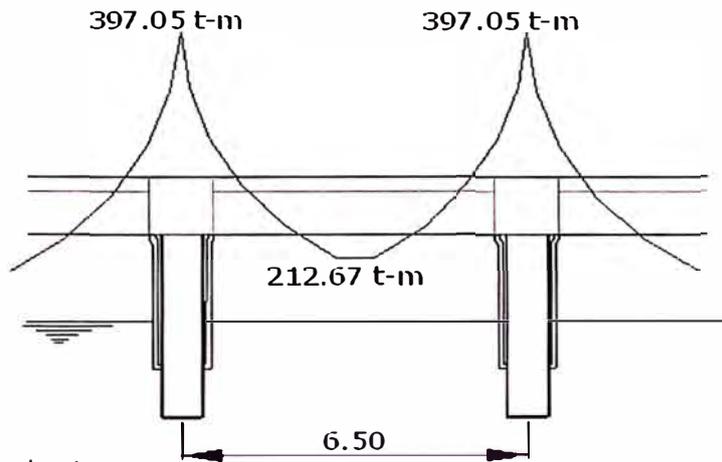
Diseño de la viga longitudinal del eje C:

Del Cuadro Nº 2.26 se obtienen los momentos actuantes.

Diseño de la viga longitudinal del Eje C



estribos  $\Phi$  3/8" : 1 @ 0.05, resto @ 0.25m en cada extremo.



Diseño por flexión

$M_u (+)vo = 212.67 \text{ t-m}$

Diametro de barra	As (cm <sup>2</sup> )
1"	5.06
3/4"	2.85
1/2"	1.27
3/8"	0.71

(del Cuadro Nº 2.26)

$d = 120 - (7.62 + 0.95 + 2.54 + 1.27) = 107.62 \text{ cm}$

$A_s = \frac{M_u}{\Phi f_y \cdot 0.90 \cdot d} = \frac{212.67 \cdot 10^5}{0.90 \cdot 4200 \cdot 0.90 \cdot 107.62} = 58.09 \text{ cm}^2$

usar 12  $\emptyset$  1" = 60.72 cm<sup>2</sup> en dos (02) capas

$\rho_b = \frac{\beta_1 \cdot 0.85 \cdot f'_c \cdot c}{f_y (6000 + f_y)} = \frac{6000}{4200 + 6000} = 0.03542$

$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{60.72}{100 \cdot 107.74} = 0.00564$

zona sismica:  $\rho_{max} = 0.5 \cdot \rho_b = 0.01771 > \rho$

Por lo tanto:

No se necesita A's

$M_u (-)vo = 397.05 \text{ t-m}$

(del Cuadro Nº 2.26)

$d = 120 - (7.62 + 0.95 + 2.54 + 1.27) = 107.62 \text{ cm}$

$A_s = \frac{M_u}{\Phi f_y \cdot 0.90 \cdot d} = \frac{397.05 \cdot 10^5}{0.90 \cdot 4200 \cdot 0.90 \cdot 107.62} = 108.45 \text{ cm}^2$

usar 20  $\emptyset$  1" = 101.2 cm<sup>2</sup> en tres (03) capas de 07  $\emptyset$  1" + 01  $\emptyset$  3/4"  
usar 03  $\emptyset$  3/4" = 8.55 cm<sup>2</sup> en una (01) capa de 02  $\emptyset$  3/4"  
109.75 cm<sup>2</sup>

$\rho_b = \frac{\beta_1 \cdot 0.85 \cdot f'_c \cdot c}{f_y (6000 + f_y)} = \frac{6000}{4200 + 6000} = 0.03542$

$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{109.75}{100 \cdot 107.62} = 0.01020$

zona sismica:  $\rho_{max} = 0.5 \cdot \rho_b = 0.01771 > \rho$

Por lo tanto:

No se necesita A's

**Diseño por corte**

$$d = 120 - (7.62 + 0.95 + 2.54 + 1.27) = 107.62 \text{ cm}$$

$$V_c = 0.53 * \sqrt{f'c} * b_w * d$$

$$V_c = 0.53 * \sqrt{350} * 10 * 1.00 * 1.076 = 106.69 \text{ t}$$

$$V_u = 112.83 \text{ t}$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{112.83}{0.85} = 132.74 \text{ t}$$

$$V_s = V_n - V_c = 26.05 \text{ t}$$

Como:

$$V_n \geq V_c$$

y:

$$V_s \leq V_s \text{ max} = 1.06 * \sqrt{f'c} * b_w * d$$

$$V_s \text{ max} = 1.06 * \sqrt{350} * 10 * 1.00 * 1.076 = 213.38 \text{ t}$$

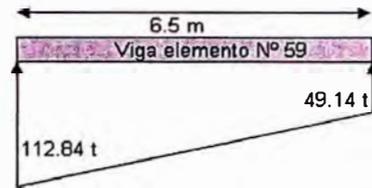
$$V_s = 26.05 \leq V_s \text{ max} = 213.38 \text{ t}$$

(del Cuadro N° 2.26)

$$V_{0.40} = 53.06$$

$$V_{0.53} = 54.334$$

$$V_{6.10} = 108.92$$



$$V_x = 49.14 + 9.80X$$

X en m; V en t

. CONFORME.

Entonces:

$$s \leq \frac{d}{2} = \frac{107.62}{2} = 53 \text{ cm}$$

Diseño por corte usando estribos  $\Phi 3/8"$ :

$$A_v = 2 * 0.71 = 1.42 \text{ cm}^2$$

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{1.42 * 4.2 * 107.62}{26.05} = 25 \text{ cm}$$

Por lo tanto:

Usar estribos  $\Phi 3/8"$ : 1 @ 0.05, resto @ 0.25m en cada extremo. ... CONFORME.

Diseño de la losa ubicada entre los ejes 2-3 y D-C

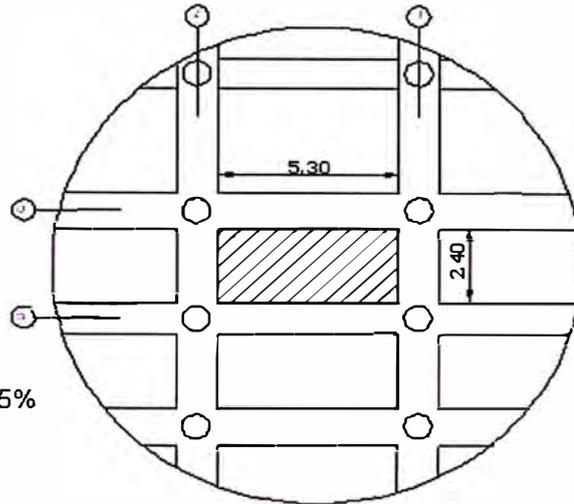
$$LM / l_n = \frac{5.30}{2.40} = 2.21$$

Por lo tanto  
Losa maciza en una dirección.

$$A_{temp} = 0.0018 bt \quad \text{para } f_y = 4200$$

$$A_{st} = 0.0018 bt (4200) \geq 0.0014 bt$$

$$s \leq 5 t, 45 \text{ cm} \quad \text{con } \epsilon_y = 0.35\%$$



Tomando como combinación de carga:

$$RESIST. 1 = 1.25DC + 1.75(LL + LS + IMP)$$

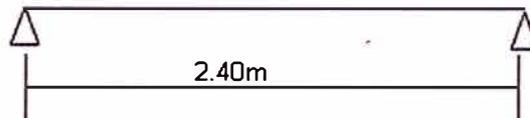
Debido a que la carga vehicular (LL) solo actúan sobre las vigas y la carga de impacto del barco (IMP) es horizontal, la combinación quedaría como sigue:

$$RESIST. 1 = 1.25DC + 1.75 LS$$

Siendo:

DC = carga muerta

LS = sobrecarga 0.50 t /m<sup>2</sup>



Considerando un ancho de 1m

$$DC = 2.4 * 1.00 * 0.30 = 0.72 \quad t / m$$

$$LS = 0.50 * 1.00 = 0.50 \quad t / m$$

$$RESIST. 1 \quad W_u = 1.25DC + 1.75 LS = 1.25 * 0.72 + 1.75 * 0.50 = 1.775 \quad t / m$$

$$M_u = \frac{W_u * l^2}{8} = \frac{1.775 * 2.4^2}{8} = 1.278 \quad t \cdot m$$

$$h = 30 \text{ cm} \Rightarrow d = 30 - (4 + 1.27) = 24.73 \text{ cm}$$

Diseño:

$$a = 2 \text{ cm}, \quad d = 24.73 \text{ cm}$$

$$d - a/2 = 23.73 \text{ cm} \Rightarrow A_s = \frac{M_n}{\Phi * f_y (d - a/2)}$$

$$A_s = \frac{1.278 * 10^5}{0.90 * 4200 * (23.73)}$$

$$A_s = 4.27 \text{ cm} \Rightarrow a = \frac{A_s * f_y}{0.85 f'_c * b} = \frac{4.27 * 4.2}{0.85 * 0.35 * 100}$$

$$a = 0.60 \text{ cm}$$

$$d - a/2 = 24.43 \text{ cm} \Rightarrow A_s = 4.15 \text{ cm} \Rightarrow a = 0.95 \text{ cm}$$

por lo tanto **CONFORME**

$$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{4.15}{100 * 24.73} = 0.002$$

$$\text{Usar: } A_s = n * A\Phi \Rightarrow s = \frac{A\Phi}{A_s / m} = \frac{1.27}{4.15} = 0.31 \text{ m}$$

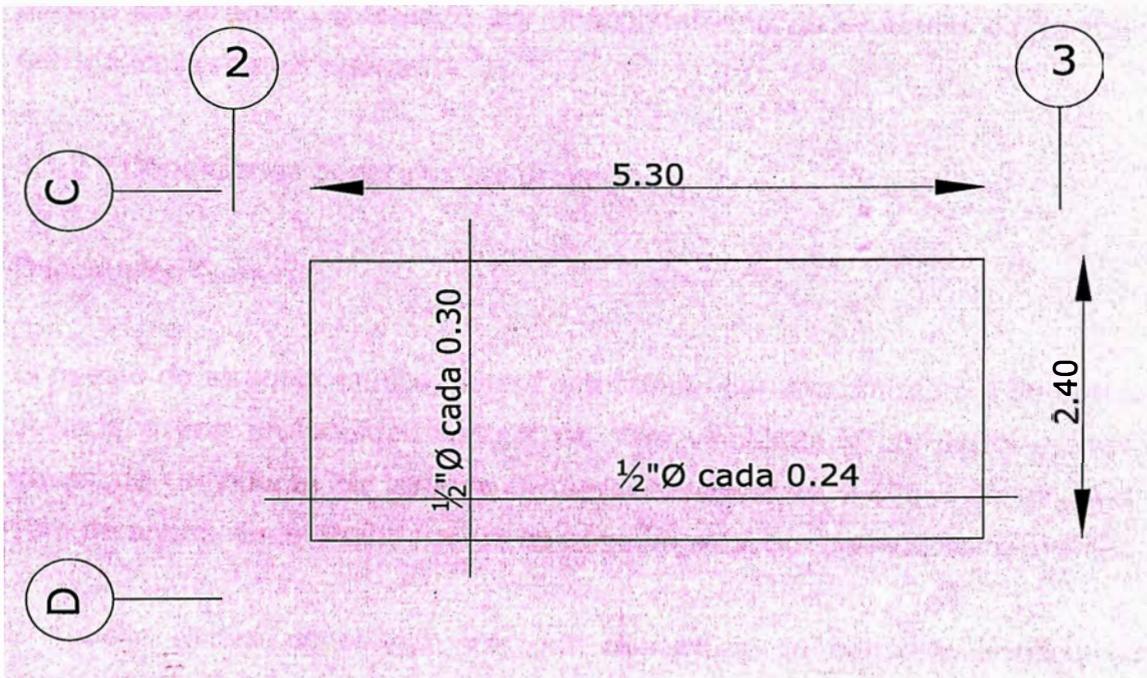
Por lo tanto:  $\Phi 1/2" @ 0.30$

Refuerzo transversal

$$A_{st} = 0.0018 * b * t = 0.0018 * 100 * 30 = 5.4 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

$$\text{Usar: } s = \frac{1.27}{5.4} = 0.24 \text{ m}$$

Por lo tanto:  $\Phi 1/2" @ 0.24$



## **CAPITULO III: EXPEDIENTE TÉCNICO**

El presente proyecto propone como base los siguientes puntos para el expediente técnico definitivo.

### **3.1 MEMORIA DESCRIPTIVA.**

La memoria descriptiva del presente proyecto comprende lo siguiente:

#### **3.1.1 Consideraciones generales**

El perfil "Embarque de 1'800,000 TM de concentrado de cobre en la bahía de Pacasmayo" propone la construcción del nuevo puerto de Pacasmayo, un terminal de minerales, en la provincia de Pacasmayo, La Libertad, Perú, para el embarque de concentrados de cobre producidos en los centros mineros ubicados principalmente en la Región de Cajamarca.

El proyecto comprende, en cuanto a las obras en agua, la construcción de un puesto de atraque compuesto por una plataforma de operaciones vinculada a tierra a través de un puente.

#### **3.1.2 Condiciones generales del proyecto**

##### **Descripción General.-**

El puesto de atraque, muelle, estará compuesto por una plataforma de operación ubicada a una profundidad natural de 14m vinculada a las obras en tierra a través de un puente de acceso de aproximadamente 2,478m de longitud por 10m de ancho. En el Plano PM-01 se observa el layout general del proyecto.

El muelle estará constituido por una estructura de concreto armado cuyas dimensiones en planta serán 250m de largo por 26m de ancho, apoyado sobre 273 pilotes tubulares de acero A36. El diseño de la misma contempla la operación de un shiploder móvil para la carga del concentrado de cobre a buques de 50,000DWT, un sistema de defensas para proteger la estructura de la

plataforma ante la posibilidad del choque de un buque, y bitas para el amarre de los mismos.

El puente de acceso tendrá en planta un ancho de 10m y un largo aproximado de 2,478m, será ejecutado mediante una estructura en concreto armado soportada por pilotes también de concreto armado. Su objetivo contempla el apoyo de la faja transportadora, central al puente, que viajará desde el almacén en tierra hasta la plataforma de carga.

El amarre del buque se realizará a través de un sistema compuesto por 6 bitas ubicadas estratégicamente a los fines de permitir la correcta operación de amarre.

Descripción Estructural.-

La plataforma de operaciones tendrá una superficie útil de 250m x 26m.

Estará fundada mediante 273 pilotes tubulares de acero A36 de 20mm de espesor vinculados y aporcados en su parte superior mediante vigas y losas de concreto armado tal como se aprecia en el plano PM-04.

### 3.1.3 Proyectos de ingeniería

El autor del presente estudio: "Diseño estructural del muelle", integrante del Grupo N°7 del Curso de Titulación UNI-FIC 2010-2, desprende la información necesaria del perfil "Embarque de 1'800,000 TM de concentrado de cobre en la bahía de Pacasmayo", elaborado por el mismo grupo. El mismo tiene carácter de ingeniería básica.

Su alcance es el de definir claramente todos los aspectos de diseño básicos, y servir de base para un diseño definitivo.

Al efecto el proyecto permite establecer los cálculos métricos de una solución ejecutable, que responde a los requerimientos, y que no compromete soluciones o aplicaciones tecnológicas especiales.

Todos los ítems del proyecto están documentados en los planos, y justificados en la Memoria de Cálculo. Sus requerimientos de calidad de materiales y procedimientos de ejecución y/o provisión se establecen en las Especificaciones Técnicas.

Los estudios básicos en tierra y agua, topografía y batimetría, olas y estudios dinámicos de la nave atracada. Se incluyen en los Anexos del Presente, y sirven de base a los desarrollos de ingeniería.

### 3.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

Las presentes especificaciones técnicas forman parte de la documentación base para la construcción del muelle del nuevo puerto de Pacasmayo.

#### 3.2.1 Aspectos generales

Objeto.-

El proyecto comprende, en cuanto a las obras en agua, la construcción de un muelle de atraque para el embarque de concentrado de cobre, compuesto por una plataforma de operaciones vinculada a tierra a través de un puente de acceso.

Normativa de aplicación.-

Los documentos que se señalan a continuación serán utilizados para el propósito que se indican. Cada publicación será la última vigente, con todos sus documentos y publicaciones complementarias.

- Para el cálculo de las acciones:

ROM 0.2-90 "Acciones en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias".

- Para el dimensionamiento de las estructuras:

RNE: Reglamento Nacional de Edificaciones.

#### Nivel de referencia.-

El nivel de referencia de todos los planos que integran la documentación del proyecto, y que será utilizado en la obra es la Cota +/- 0.00 del Chart Datum (nivel medio de bajamares de sicigias ordinarias).

#### Procedimientos de trabajo.-

El Contratista tendrá a su cargo la elaboración de los procedimientos y métodos constructivos a ser aplicados en cada trabajo, para lo cual confeccionará la documentación de detalle respectiva con la indicación de los equipos que utilizará para cada tarea, que deberán ser sometidos a la revisión y aprobación de la Inspección de Obra con la debida antelación, considerando el cronograma de trabajo propuesto. La aprobación no disminuirá la responsabilidad del Contratista, quien será considerado el único responsable de la ejecución de las obras.

#### 3.2.2 Pilotes tubulares de acero A36

##### Descripción general.-

Los pilotes a ejecutarse en la obra serán del tipo pilotes tubulares de acero A36. El extremo superior de los pilotes de la plataforma se vinculará con la superestructura a través de unas fundas de protección de concreto armado de longitud especificada en el plano PM-03.

Se presentan dos tipos de pilotes en la plataforma del muelle característicos:

Pilotes: Diámetro = 0.80m    N° Total en la Obra: 273und.

Los pilotes serán de sección continua, de paredes lisas y estructuralmente continuos desde el extremo superior al inferior.

La longitud media prevista para los pilotes es de aproximadamente 25.40m en la plataforma. Si fuera necesario alargar un pilote, el Contratista dispondrá el

material a necesario en la longitud que corresponda, previa autorización por parte de la Inspección de Obra.

#### Materiales.-

La resistencia a la compresión del concreto armado (losas, vigas y refuerzo en pilotes) será de 350Kg/cm<sup>2</sup>.

El acero corrugado cumplirá los requerimientos indicadas en la norma señalada y cuya tensión de fluencia será de 420Mpa.

Se utilizará cemento tipo I que satisfaga los requisitos establecidos en la Norma ASTM.

La Inspección de Obra, en caso de duda, podrá ordenar ensayos de laboratorio a cargo del Contratista, cuando los certificados de fabricación no aseguren la plena identificación del material.

Todo material rechazado por la Inspección será marcado adecuadamente y deberá ser retirado de inmediato de la Obra.

#### Metodología constructiva.-

Los pilotes serán hincados, en forma vertical, de acuerdo a la disposición indicada en el plano PM-03 y PM-04.

El Contratista presentará oportunamente a la Inspección de obra para su aprobación, los procedimientos y la lista de los equipos que utilizará para la hincada, teniendo en cuenta los resultados que se obtengan con los pilotes de prueba, según se especifica en el apartado correspondiente. Dicha aprobación no releva al Contratista de su responsabilidad por la ejecución del hincado.

Tendrá especial cuidado en relación con las condiciones que impone la ejecución de los trabajos en agua y bajo la acción de corrientes y oleaje.

En su plan de trabajos, sujeto a aprobación de la Inspección, el Contratista indicará las secuencias operativas, los métodos de posicionamiento y control de ubicación y las medidas que tomará para asegurar y mantener la correcta alineación en agua.

Todos los pilotes deberán responder en su cantidad, forma, ubicación y dimensiones a las características, detalles y dimensiones consignados en los planos. Los pilotes de la plataforma estarán dispuestos en coincidencia con las losas prefabricadas de concreto armado que recibirán el concreto premezclado vaciado in situ para conformar un solo cuerpo monolítico.

La hinca será efectuada con martillo, o eventualmente con vibrador. El Contratista presentará a la Inspección de Obra la nómina de los equipos que utilizará, y en particular la lista de los martillos con indicación de sus respectivas características técnicas, que deberán ser compatibles con el tipo y peso del pilote y las características del hincado.

Se podrá utilizar inyección de agua para llegar a la cota de diseño previa autorización de la Inspección de Obra.

La longitud de los pilotes, indicada en los planos se considerará tentativa. La longitud definitiva, se obtendrá según la ejecución de la obra.

La cabeza del pilote recibirá la protección adecuada para evitar daños por impactos del martillo.

Por cada pilote hincado el Contratista llevará un registro por duplicado que indique el número de golpes y las respectivas penetraciones, la ubicación y largo de la camisa definitiva, las condiciones de trabajo (factores climáticos, nivel del agua, etc.), las características de los equipos utilizados y el personal responsable. Para el caso de utilización de equipo vibrador, se llevará registro de la velocidad de penetración. Copia del registro será entregado a la Inspección de Obra a la finalización de cada jornada de trabajo.

En el caso de presumirse daños en el pilote durante la hinca, o de producirse desalineaciones u otras fallas, el Contratista propondrá los procedimientos correctivos a la Inspección de Obra para su aprobación, dentro de los (5) días siguientes de producido el hecho. Si a juicio de ésta última dichos métodos no resultasen aceptables el Contratista deberá reemplazar a su cargo el pilote fallado por otro nuevo, extrayéndolo en caso necesario.

Cota de fondo.-

La longitud de los pilotes especificada en planos es tentativa y debe ser verificada por el Contratista.

Se considera como criterio determinante para la obtención de la cota de fondo del pilote, el asegurar que el fuste del pilote penetre como mínimo medio diámetro en la roca. En aquellos pilotes en los que la longitud embebida en suelo resistente ( $SPT > 15$ ) sea menor a 7,5m se procederá a ejecutar un anclaje perforando la roca una longitud de 4m, colocando armadura y rellenando posteriormente con hormigón en una longitud total de 7m.

Si el cumplimiento de estos requerimientos diera como consecuencia longitudes de pilotes mayores a lo indicado en planos, el Contratista podrá exigir el pago de un adicional proporcional a los metros de pilote en exceso a lo cotizado, por lo que el Contratista deberá especificar el precio unitario del pilote (\$ / m) diferenciando dicho valor por hincado en arena y por penetración en roca.

El perfil geotécnico considerado, arena limosa densa, en los planos se obtuvo de estudios realizados de tesis indicadas en la bibliografía. La cota de "techo de la roca" será entonces un dato obtenido por el Contratista durante la ejecución de la obra.

Tolerancias y requerimientos constructivos.-

Los apartamientos de la posición final de la cabeza de cada pilote en relación a la posición indicada en el proyecto, o de la inclinación del eje del pilote respecto

a la vertical o en relación a la inclinación indicada en el proyecto, no deberán exceder los siguientes valores:

- Apartamiento de la posición inicial: 5cm con relación a las coordenadas de proyecto.
- Variación de la inclinación: 0,5° con relación a la inclinación prevista.

Cuando se excedan estas tolerancias el Contratista deberá disponer a su exclusivo cargo la corrección o el reemplazo del pilote por otro.

La cota superior de las fundas de concreto de protección del pilote, se ubica a la altura de la cota de fondo de base de las losas prefabricadas de la plataforma. Desde dicha cota, para pilote terminado, se calcula la longitud tomada como referencia.

Pilotes de prueba.-

A los efectos de evaluar los procedimientos de hincas de los pilotes, validar el modelo de suelo propuesto para evaluar la capacidad de carga axial de tracción de pilotes hincados y las condiciones de diseño prevalecientes durante el desarrollo del proyecto, se ejecutarán al comienzo de la obra, una serie de pilotes, considerados pilotes de prueba.

El número de pilotes de prueba, que formarán parte de la obra se estima en dos. Tal cantidad podrá variar si se considerara que luego de la ejecución de los mismos aún no se pudiera validar la metodología constructiva propuesta y/o la capacidad de carga.

Podrán ejecutarse los pilotes de prueba en coincidencia con 2 de los pilotes de obra pudiendo ser aprobados como parte integrante de la estructura en el caso de que los resultados sean satisfactorios.

La ejecución de dichos pilotes será supervisada por la Inspección de Obra, que podrá indicar cambios en la metodología, de obtenerse inconvenientes no previstos en la presente especificación.

Si los resultados obtenidos para los pilotes de prueba no fueran satisfactorios o indicaran la necesidad de cambios en la metodología constructiva, la Inspección de Obra podrá ordenar modificaciones en cuanto al equipamiento, a las características del tratamiento superficial, a la longitud de los pilotes, o a cualquier otro aspecto constructivo.

Luego de ejecutados los pilotes de prueba, se dará por aprobado un procedimiento o metodología de ejecución.

### 3.2.3 Losas prefabricas y estructuras de concreto armado

Los materiales a utilizar en la elaboración del concreto reunirán las condiciones que se detallan a continuación:

#### Cemento.-

Se utilizará cemento tipo V que satisfaga los requisitos establecidos en la Norma ASTM.

El cemento utilizado en obra deberá ser del mismo tipo y marca que el empleado para la selección de las proporciones de la mezcla de concreto.

En un mismo elemento estructural no se usarán cementos de diferentes fabricantes.

#### Agregados.-

Los agregados de densidad normal provendrán de la desintegración natural o trituración de rocas de composición y características adecuadas. Deberán satisfacer los requisitos establecidos en la Norma ASTM C 33. Tendrán una curva granulométrica continua, comprendida dentro de los límites fijados en dicha Norma.

### Agua.-

El agua a emplear para mezclar y curar el hormigón y para lavar los agregados, deberá ser limpia y estar libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, material orgánico, u otras sustancias que puedan ser nocivas al concreto, acero de refuerzo o elementos embebidos.

En cualquier caso deberá satisfacer los requisitos mencionados en la Norma ACI 318 y ASTM C 94.

Se utilizará agua no potable solo si:

- La selección de las proporciones de la mezcla de hormigón se basa en ensayos en los que se ha utilizado agua de la fuente elegida;
- Las probetas de prueba de mortero preparadas con agua no potable y ensayadas de acuerdo a la Norma ASTM C 109, tienen a los 7 y 28 días resistencias en compresión no menores del 90% de la de las muestras similares preparadas con agua potable.

### Aditivos.-

Cuando sea necesario o conveniente, se incorporarán al concreto elaborado, aditivos en estado líquido o pulverulento; estos últimos deberán ser disueltos en el agua de mezclado, previamente a su ingreso en la mezcladora.

Los aditivos que se utilicen en el concreto deberán satisfacer lo especificado en la Norma ASTM C 260, C 494, C 1017, C 989 y cualquier otra norma relacionada.

### Armadura.-

La armadura ha utilizar en los elementos estructurales de concreto armado deberá cumplir con los requisitos establecidos en la Norma ACI 301 y ACI 318.

El certificado del Fabricante deberá indicar como mínimo sus características geométricas, su tensión de fluencia, su tensión de ruptura y la curva de alargamientos para distintas cargas de prueba con el objeto de comprobar que tenga la ductilidad requerida, todo ello para cada uno de los diámetros normales que se usarán.

Las barras y mallas de acero se almacenarán ordenadamente por diámetros y grados, evitando que las barras queden en contacto con terreno, protegiéndolas de todo daño o deterioro.

El acero se suministrará limpio, libre de virutas, herrumbre, polvo, etc. Las barras se suministrarán rectas, sin torceduras o dobleces.

Almacenamiento de materiales en obra.-

Los materiales deberán almacenarse en obra de manera de evitar su deterioro o contaminación.

No se utilizarán materiales deteriorados o contaminados.

El almacenamiento de cemento y agregados deberá cumplir con los requisitos expuestos en la norma ACI 301.

Características del concreto.-

La resistencia a compresión especificada a los 28 días medida en probetas de 15cm de diámetro por 30cm de alto, será igual o mayor a 350kg/cm<sup>2</sup>.

La composición y proporción del concreto se establecerá únicamente en forma experimental.

La relación agua-cemento, en peso, se establecerá experimentalmente y no excederá el valor de 0.45. El contenido mínimo de cemento será de 380kg/m<sup>3</sup>.

El tamaño máximo del agregado será de 26,5mm.

El asentamiento será de 12cm si no se compacta con vibración interna de alta frecuencia.

Si el compactado es con vibración será de 8cm. En ambos casos la tolerancia será de  $\pm 2,5$ cm. Para concreto colocado por bombeo el valor mínimo estará entre 15 y 18cm siempre que el mismo contenga un aditivo superfluidificante.

El porcentaje total de aire intencionalmente incorporado será de 4%  $\pm 1$ %.

Control de Calidad y Uniformidad del concreto.-

El control de calidad y uniformidad del concreto durante el proceso constructivo se realizará según lo especificado en la Norma ACI 301 y ACI 318.

Producción.-

Se deberá observar lo establecido en la Norma ACI 301.

La composición y proporciones del concreto se establecerán únicamente en forma experimental.

El cemento y los agregados se medirán en masa, con un error menor del 3%.

El agua podrá medirse en masa o volumen, teniendo en cuenta el agua aportada por la humedad superficial de los agregados para realizar las correcciones correspondientes.

El concreto será mezclado hasta obtener una distribución uniforme de todos sus materiales componentes, la operación se realizará únicamente en forma mecánica.

La descarga del concreto se completará dentro de los 90 minutos a contar desde la unión del agua de mezclado con el cemento y los agregados, o la mezcla del cemento con los agregados, o bien, antes que el tambor haya dado 300 giros en el caso que esta situación se produzca primero. En tiempo caluroso o en

condiciones que favorezcan el endurecimiento prematuro del concreto, se reducirá adecuadamente el tiempo indicado.

La temperatura del concreto fresco en el momento de la colocación no será mayor que 30° C.

Encofrados, Elementos de Sostén y Apuntalamientos.-

- Características

Los encofrados, elementos de sostén y apuntalamientos cumplirán los requisitos establecidos en la Norma ACI 301.

Los encofrados serán de madera, acero, o de otro material que les permita tener la rigidez adecuada para resistir los esfuerzos a que serán solicitados, sin que se produzcan deformaciones ni desplazamientos mayores que los admisibles.

En todos los ángulos y esquinas de los encofrados se colocarán molduras o filetes de sección triangular, con catetos de 25mm.

- Tolerancias constructivas (Ver norma ACI 117)

Se admitirán las tolerancias máximas que se detallan a continuación, salvo que en los planos correspondientes se indiquen otras.

a) Tolerancia en las variaciones de nivel:

Las máximas variaciones entre los niveles teóricos de las superficies de concreto horizontales o inclinados, indicadas en planos y las reales serán:

Para longitudes menores de 3 m +0,5cm.

Para longitudes entre 3 y 6 m +0,8cm.

Para longitudes mayores de 6 m +1,5cm.

b) Tolerancias en las variaciones de medidas en planta:

Para longitudes menores de 6 m +0,8cm

Para longitudes entre 6 y 12 m +1,5cm

Para longitudes mayores de 12 m +2,0cm

c) Tolerancia en las variaciones de las dimensiones de las secciones de losas prefabricadas. Se admitirán las siguientes variaciones:

Para dimensiones hasta 30cm:

En menos 0,6cm.

En más 0,8cm.

Para dimensiones mayores de 30 cm.

En menos 0,8cm.

En más 1,0cm.

d) Tolerancia en las variaciones de las dimensiones de fundaciones

Las máximas variaciones admitidas para las dimensiones en planta serán:

En menos 1,5cm.

En más 5,0cm.

Las máximas variaciones admitidas en la altura serán:

En menos 5% del valor proyectado.

En más A determinar por el Inspector de Obra según la profundidad del suelo apto para apoyo.

La máxima variación admitida en el emplazamiento de las fundaciones será del 2% de la dimensión del elemento en la Inspección en que se mide, pero nunca mayor de 5cm.

Colocación y compactación del concreto.-

La colocación y compactación del concreto se realizará de acuerdo a lo establecido en la Norma ACI 301 y ACI 309. Para el colado con temperaturas extremas.

- Colocación

El concreto se colocará en capas horizontales y continuas cuyo espesor no exceda de 50 cm, o del espesor máximo para que pueda ser correctamente compactado. Se adoptará el menor de los dos valores.

No se deberá verter libremente el concreto desde alturas mayores de 1,50m.

Para alturas mayores se deberán utilizar embudos y conductos verticales para evitar su segregación.

- **Compactación**

El concreto será compactado para que alcance su máxima densidad, sin que se produzca su segregación, la compactación se realizará por vibración mecánica de alta frecuencia, aplicada mediante vibradores de inmersión, de no menos de 8000 vibraciones por minuto.

En ningún caso se colocará concreto fresco sobre otro que no haya sido adecuadamente compactado.

La compactación por vibración será de aplicación en los casos y de la forma descrita en la Norma ACI 301 y ACI 309.

**Protección y Curado del Hormigón.-**

La protección del concreto fresco y el curado del concreto endurecido se realizarán de acuerdo a lo establecido en la Norma ACI 301 y ACI 308.

- **Protección del concreto**

Desde su colocación, y hasta tanto adquiera la resistencia suficiente, el concreto deberá ser protegido del ataque de agentes externos que puedan alterar sus propiedades.

- **Curado del concreto**

El curado se comenzará inmediatamente después que el concreto haya endurecido lo suficiente como para que su superficie no resulte afectada por el método de curado que se adopte.

El período de curado se fija como mínimo en 10 días, durante los cuales el concreto se deberá mantener constantemente humedecido a una temperatura lo más constante posible a fin de protegerlo de un secado prematuro, y de evitar la pérdida de humedad interna.

**Remoción de Encofrados, Apuntalamientos y otros Elementos de Sostén.-**

La remoción de apuntalamientos y encofrados sólo podrá realizarse cuando el concreto haya alcanzado la resistencia necesaria para que el elemento estructural posea la capacidad portante, con el grado de seguridad que corresponda para resistir las cargas actuantes en el momento de realizar las tareas de remoción. En el Reglamento ACI 301 se establecen los requisitos y condiciones a cumplir en los trabajos de remoción.

Elementos embebidos en el concreto. Insertos.

- Tuberías

Se deberá cumplir todo lo establecido en el Reglamento ACI 318.

- Placas y bulones de anclaje

Se garantizará la correcta fijación, ubicación y conservación de las placas y los bulones de anclaje, se sujetarán de la manera que se indique en los documentos correspondientes mediante:

- Barras de acero
- Bulones de expansión o brocas
- Bulones pasantes

Armaduras.-

Las armaduras de las estructuras de concreto armado cumplirán con los requisitos consignados en la Norma ACI 301.

El acero de las barras que conformarán las armaduras tendrá una tensión de fluencia de  $f_y = 420\text{MPa}$  y las mallas serán de acero con tensión de fluencia  $f_y = 500\text{MPa}$ , según se indique en los documentos del proyecto.

Se utilizarán barras de diámetro nominal número: 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12. En ningún caso se aceptarán las barras que hayan sido plegadas para facilitar su transporte a obra, salvo el caso en que el doblado de barras, se realice fuera del lugar de emplazamiento de las obras.

La Inspección de Obra tendrá derecho de aceptar o rechazar cada entrega de material.

#### Preparación y Colocación.-

Antes de su empleo, las armaduras deberán ser limpiadas, de manera que al introducir el concreto en los encofrados, se encuentren libres de cualquier sustancia que pueda reducir la adherencia.

Todas las armaduras se colocarán, previa verificación de su forma y dimensiones, según se indique en los planos constructivos.

Para sostener o separar las armaduras en los lugares correspondientes, no podrán utilizarse trozos de ladrillos, ni madera, ni partículas de agregados.

Cuando un elemento constructivo con la armadura en la parte inferior se ejecute sobre el suelo, éste deberá cubrirse previamente con una capa de concreto de limpieza y nivelación de no menos de 5cm.

#### Recubrimientos.-

Se entiende por recubrimiento a la distancia, libre comprendida entre el punto más saliente de cualquier armadura y la superficie externa de concreto más próxima, excluyendo las terminaciones sobre las superficies.

Se adoptan los siguientes recubrimientos mínimos:

En concreto colocado contra y permanentemente expuesto al terreno o al agua, todas las barras: 100mm.

En concreto expuesto a la intemperie, todas las barras: 75mm.

#### Tolerancias.-

Se cumplirá lo especificado en la Norma ACI 117.

### 3.3 METRADOS, COSTOS Y PRESUPUESTOS.

El metrado de los elementos más importantes es como sigue:

**Cuadro N° 3.01: Planilla de metrados.**

ELEMENTO	CANT.	CONCRETO			ACERO A36 PILOTES		ENCOFRADO Y DESENCOFrado		ACERO DE REFUERZO		
		(und)	Ac (m2)	L (m)	Total (m3)	und (t)	Peso ( t )	Perimetro	Total (m2)	As*	L (m)
<b>Pilotes de acero</b>											
Todos $\varnothing=0.80m, e=20mm$	273	0.48	3.80	497.95	4.06	1,108.38			0.0072	4.80	74.06
<b>Total</b>	<b>273</b>			<b>497.95</b>		<b>1,108.38</b>					<b>74.06</b>
<b>Plataforma</b>											
Vigas longitudinales bxdh=1.0x1.2m	7	1.20	250.00	2,100.00			2.80	4,900.00	0.01	277.78	194.16
Vigas transversales bxdh=1.0x1.2m	39	1.20	19.00	889.20			2.80	2,074.80	0.01	31.00	120.72
Losa maciza e=0.30m	38	1.65	19.00	1,191.30			5.50	3,971.00	0.02	31.00	161.74
<b>Total</b>	<b>84</b>			<b>4,180.50</b>				<b>10,945.80</b>			<b>476.62</b>
<b>Fundas de Protección prefabricados</b>											
Todos $\varnothing_{ext}=1.10m$	273	0.31	2.80	240.14			6.91	5,283.17	*		25.26
<b>Total</b>	<b>273</b>			<b>240.14</b>				<b>5,283.17</b>			<b>25.26</b>

- : cantidad de acero en pilotes As / Ac = 1.5 % (  $\varnothing=0.80m$  )
- : cantidad de acero en losas y vigas As / Ac = 1.06%.
- : cantidad de acero en funda de protección 105.19 t/m<sup>3</sup> de concreto.

Fuente: Elaboración propia

El presupuesto del valor de la obra, con precios del de agosto del año 2010, es de alrededor de 32 millones de soles, el cual se aprecia en la Tabla N° 3.02.

**Cuadro N° 3.02: Presupuesto de obra.**

Item	Deacripción	Und	Metrado	Precio Unitario	Parcial
<b>1.00</b>	<b>PILOTES DE ACERO</b>				
1.01	SUMINISTRO E HINCADO DE PILOTES	t	1,108.38	13,044.32	14,458,063.40
1.02	DESCABEZADO DE PILOTES	und	273.00	572.32	156,243.36
1.03	REFUERZO DE PILOTES FY=4200 KG/CM2	t	74.06	6,583.62	487,582.90
1.04	CONCRETO F´C=350 KG/CM2, DEL NIVEL -2.00 AL +1.80	m3	497.95	839.75	418,153.51
<b>2.00</b>	<b>PROTECCIÓN CATÓDICA</b>				
2.01	PROTECCIÓN CATÓDICA	glb	1.00	1,047,284.15	1,047,284.15
2.02	PUNTOS DE CONTROL PARA PROTECCIÓN CATÓDICA	und	4.00	4,730.17	18,920.68
<b>3.00</b>	<b>SUPERESTRUCTURA - PLATAFORMA</b>				
3.01	ACERO DE REFUERZO F´Y=4200 KG/CM2, VIGAS Y LOSAS	t	476.62	6,597.25	3,144,381.30
3.02	CONCRETO F´C=350 KG/CM2, VIGAS Y LOSAS	m3	4,180.50	839.75	3,510,574.88
3.03	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	10,945.80	113.84	1,246,069.87
<b>4.00</b>	<b>FUNDA DE PROTECCIÓN DEL PILOTE</b>				
4.01	ACERO DE REFUERZO FY=4200 KG/CM2	t	25.26	6,597.25	166,646.54
4.02	CONCRETO F´C=350 KG/CM2	m3	240.14	839.75	201,657.57
4.03	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	5,283.17	113.84	601,436.07
4.04	GROUT DE RELLENO	m3	96.06	735.36	70,635.74
4.05	MONTAJE DE FUNDA PREFABRICADO	t	273.00	182.72	49,882.56
<b>5.00</b>	<b>RIELES PARA SHIP LOADER</b>				
5.01	RIEL DE SHIP LOADER (INC. ACCESORIOS)	t	117.75	25,116.58	2,957,477.30
5.02	TOPES / AMORTIGUADORES PARA SHIP LOADER	und	4.00	91,554.67	366,218.68
5.03	PUNTOS PARA IZAJE Y MANIOBRA DE GRÚA (GATA HIDRÁULICA)	und	4.00	510.76	2,043.04
<b>6.00</b>	<b>PRUEBAS DE CARGA DINÁMICA Y LATERAL</b>				
6.01	PRUEBA DINÁMICA DE CARGA DE PILOTE	und	7.00	54,578.40	382,048.80
6.02	PUEBA DE CARGA LATERAL	und	1.00	44,754.29	44,754.29
<b>7.00</b>	<b>ACCESORIOS</b>				
7.01	PROVISION Y COLOCACION DE DEFENSAS ELASTICAS	und	13.00	170,864.39	2,221,237.07
7.02	PROVISION Y COLOCACION DE BOLARDOS	und	13.00	25,026.77	325,348.01
7.03	TUBERÍA PRINCIPAL DE AGUA 150MM C/ACCESORIOS	m	260.00	150.00	39,000.00
	<b>COSTO DIRECTO TOTAL</b>			<b>SI.</b>	<b>31.915.659.72</b>

Fuente: Elaboración propia

### 3.4 PROGRAMACIÓN.

Para la ejecución del muelle, según el programa de visto en la Tabla N° 3.03, se necesitaría 08 meses de trabajo en total.

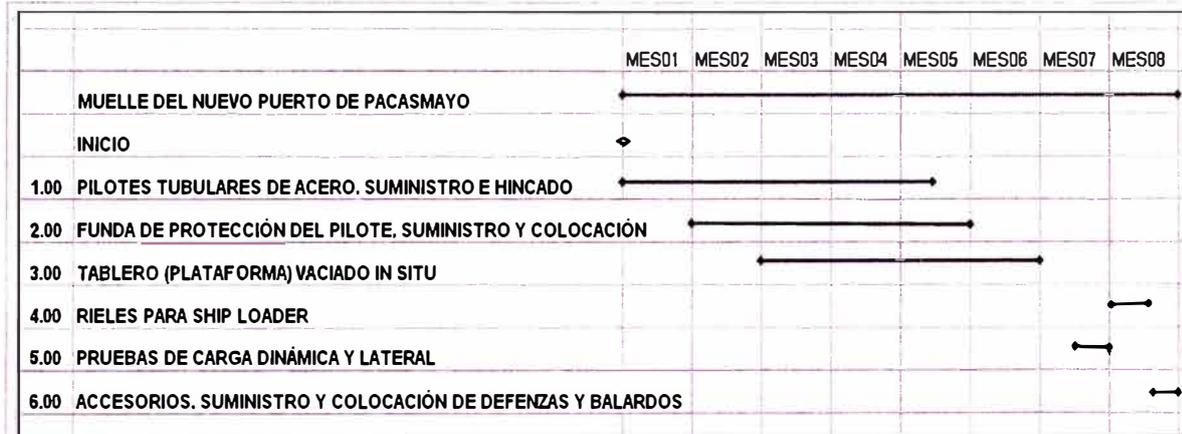
El suministro de pilotes tubulares de acero se estima en 30 días calendario. El hincado de los mismos se estima en 105 días calendario.

El suministro y colocación de las fundas de protección de concreto de los pilotes se estima en 120 días calendario.

El encofrado y colocación de acero para la plataforma se estima en 30 días calendario. El vaciado de concreto en la misma se estima en 90 días calendario.

Para los trabajos restantes se estima en 60 días calendario.

**Cuadro N° 3.03:** Programación de ejecución de la Obra.



Fuente: Elaboración propia

### 3.5 PLANOS.

Relación de planos:

- PM-01 LAYOUT GENERAL
- PM-02 SECCIÓN TRANSVERSAL DEL MUELLE
- PM-03 SECCIÓN TRANSVERSAL DEL MUELLE - DETALLES
- PM-04 PLANTA DEL MUELLE, CARGA DEL SHIPLOADER
- PM-05 CARGAS ACTUANTES EN EL MUELLE

Ver planos en anexos.

## CONCLUSIONES

Las razones por las que el presente proyecto optó por el uso de pilotes de acero tubular son las siguientes:

La costa peruana es la zona de mayor sismicidad en nuestro territorio y es clasificado como zona sísmica 3 en la Norma de diseño Sismo Resistente.

El pilote tubular permite mayor penetración que el pilote de concreto armado. Así también, el pilote de acero tiene mayor resistencia a la flexión, no fisura y tiene mayor resistencia a la fatiga.

Para el análisis del modelo del muelle no se consideró la carga de viento debido a lo pequeña que esta es en comparación con la carga de impacto del barco.

El pilote diseñado se uniformiza para todos, siendo del tipo tubular de acero A-36 de diámetro exterior 80cm y de espesor  $e=20\text{mm}$ . El concreto de la plataforma entra en el pilote hasta el nivel  $-2.00\text{m}$  para lograr el monolitismo plataforma – pilotes.

La calidad del concreto usado es de  $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$  y del acero corrugado es de  $Fy = 4200 \text{ kg/cm}^2$ .

La plataforma, conformado por losas y vigas (longitudinales y transversales), el presente proyecto uniformizó las dimensiones para las vigas longitudinales de los ejes A, C, E y G a  $1.20 \times 1.20\text{m}$  y a las vigas de los ejes B, D y F a  $1.00 \times 0.80\text{m}$  con la fines prácticos. Así mismo, se uniformizó todas las vigas transversales de los ejes 1 al 39 con las medidas de  $1.20 \times 1.20\text{m}$

El diseño de la viga longitudinal del eje C da como resultado 20 varillas de 1" más 03 varillas de  $\frac{3}{4}$ " de diámetro para el acero negativo y 12 varillas de de 1" de diámetro para el acero positivo.

La losa maciza de  $e=0.30\text{m}$  fue diseñada en una dirección es solo para los paños centrales comprendidos entre los ejes C-D y D-E.

## RECOMENDACIONES

Al no haber en nuestro país una norma de diseño sismorresistente específicamente para muelles, es recomendable proponer una norma basándose en alguna existente.

De los datos considerados del perfil: "Embarque de 1'800,000TM de concentrados de cobre en la Bahía de Pacasmayo", se pudieron concluir que el muelle se ubicaría en la batimétrica -14.00m para efectos de evitar los gastos en dragado para alcanzar el nivel necesario para el atraque de la nave de diseño, cuyo cala es de 12.00m

Prever el mantenimiento de los pilotes de acero, para estar estos expuestos al ataque de sales y sulfatos propios del mar. Para esto es necesaria la correcta supervisión en obra en la etapa de la protección catódica.

Se recomienda el mantenimiento periódico de las estructuras de concreto.

En la etapa de construcción, es recomendable utilizar aditivo endurecedor de piso para tránsito pesado.

También es recomendable recubrir las vigas con impermeabilizador especial para la intemperie marino.

El presente proyecto contempla el amarradero entre el rompeolas y el muelle, se recomienda realizar el estudio para ver la posibilidad de utilizar el otro lado del muelle como amarradero. Así se tendrían dos amarraderos.

Se recomienda, motivo de un posterior estudio, diseñar la plataforma como una única losa maciza sin vigas. Tal como fue diseñado el muelle sur del Terminal Portuario del Callao.

Se recomienda realizar estudios de la probabilidad de ocurrencia de un tsunami, para recomendar las medidas de protección del muelle y su entorno.

## BIBLIOGRAFÍA

Asociación Civil de Integración de la Cuenca del Jequetepeque / El Valle Jequetepecano - Órgano Informativo N°1-2008, 1ra Edic. / Edit. ACICUJE / Pacasmayo – La Libertad – Perú, 2008 y 2009.

Dirección de Hidrografía y Navegación / Derrotero de la Costa del Perú Volumen 1, Golfo de Guayaquil a Punta Huanchaco, Edic. Set. 2010 / Edit.: Navarea Área XVI / Callao – Perú, 2010.

Empresa Nacional de Puertos S.A. / Puertos del Perú, 1ra Edic. / Edit. Oficina Central Terminal Marítimo del Callao / Callao – Perú, 1993.

Fuentes Ortiz, Cesar A. / Ingeniería Portuaria, 1ra Edic. / Edit. Coper Editores / Lima - Perú, 2001.

Gobierno Regional de la Libertad / Anuario Geográfico del Departamento de La Libertad, 1ra Edic. / Edit. Santiago E. Antúnez de Mayolo R. / La Libertad – Perú, 2008.

Ledesma Malca, Erwin Manuel / Desarrollo Integral y Planificación Urbana para el Puerto – Ciudad de Pacasmayo del Departamento La Libertad / Tesis UNI-FIC / Lima – Perú, 1986.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones / Plan Intermodal de Transportes, 1ra Edic. / Edit. Oficina General de Planificación y Presupuesto / Lima – Perú, 2005.

Municipalidad Distrital de Pacasmayo / Proyecto Macro: Corredor Económico y Turístico Valle Jequetepeque. Propuesta de Desarrollo, 1ra Edic. / Pacasmayo – La Libertad – Perú, 2008.

Municipal Provincial de Pacasmayo – San Pedro de Lloc / Plan de Desarrollo Concertado de la Provincia de Pacasmayo, 1ra Edic. / Edit. Municipal Provincial de Pacasmayo / San Pedro de Lloc – La Libertad – Perú, 2003.

Young Bazo, Eduardo / Curso de Puertos, 1ra Edic. / Edit. Escuela Nacional de Ingenieros / Lima – Perú, 1950.

## **PAGINA WEB CONSULTADA**

<http://www.adexperu.org.pe/>

<http://www.apn.gob.pe/web/apn;jsessionid=39743C334958B3946F05D732DD6628F9>

[http://www.antamina.com/images/upload/paginaweb/imagen/21/pop\\_emergente.php?plD=681](http://www.antamina.com/images/upload/paginaweb/imagen/21/pop_emergente.php?plD=681)

<http://www.mef.gob.pe/>

[http://www.mtc.gob.pe/portal/logypro/proy\\_puertos2009.pdf](http://www.mtc.gob.pe/portal/logypro/proy_puertos2009.pdf)

[http://www.mtc.gob.pe/portal/logypro/plan\\_intermodal/principal.html](http://www.mtc.gob.pe/portal/logypro/plan_intermodal/principal.html)

<http://www.minam.gob.pe/>

<http://www.munipacasmayo.gob.pe/>

<http://www.ositran.gob.pe/0/home.aspx>

[http://www.perutop10000.com.pe/index.php?option=com\\_content&view=article&id=229:nota-de-prensa-de-las-minas-del-peru&catid=1:novedades-de-perutop&Itemid=35](http://www.perutop10000.com.pe/index.php?option=com_content&view=article&id=229:nota-de-prensa-de-las-minas-del-peru&catid=1:novedades-de-perutop&Itemid=35)

<http://www.ultimasnoticiasdiario.com>

<http://www.senamhi.gob.pe/>

<http://www.windguru.cz/es/index.php?sc=52627>

## **ANEXOS**

# Análisis de Pórticos Planos

versión 1.1 HSF 1999

PORTICO EJE C, MUELLE PACASMAYO

## Datos Relativos a los Nudos

n	Coordenadas		apoyos			Fuerzas Concentradas		
	X (m)	Y (m)	1	2	3	F <sub>x</sub> (t)	F <sub>y</sub>	M <sub>z</sub> (t·m)
1	0.000	0.000	x	x	x			
2	6.500	0.000	x	x	x			
3	13.000	0.000	x	x	x			
4	19.500	0.000	x	x	x			
5	26.000	0.000	x	x	x			
6	32.500	0.000	x	x	x			
7	39.000	0.000	x	x	x			
8	45.500	0.000	x	x	x			
9	52.000	0.000	x	x	x			
10	58.500	0.000	x	x	x			
11	65.000	0.000	x	x	x			
12	71.500	0.000	x	x	x			
13	78.000	0.000	x	x	x			
14	84.500	0.000	x	x	x			
15	91.000	0.000	x	x	x			
16	97.500	0.000	x	x	x			
17	104.000	0.000	x	x	x			
18	110.500	0.000	x	x	x			
19	117.000	0.000	x	x	x			
20	123.500	0.000	x	x	x			
21	130.000	0.000	x	x	x			
22	136.500	0.000	x	x	x			
23	143.000	0.000	x	x	x			
24	149.500	0.000	x	x	x			
25	156.000	0.000	x	x	x			
26	162.500	0.000	x	x	x			
27	169.000	0.000	x	x	x			
28	175.500	0.000	x	x	x			
29	182.000	0.000	x	x	x			
30	188.500	0.000	x	x	x			
31	195.000	0.000	x	x	x			
32	201.500	0.000	x	x	x			
33	208.000	0.000	x	x	x			
34	214.500	0.000	x	x	x			
35	221.000	0.000	x	x	x			
36	227.500	0.000	x	x	x			
37	234.000	0.000	x	x	x			
38	240.500	0.000	x	x	x			
39	247.000	0.000	x	x	x			
40	-1.500	20.000						
41	0.000	20.000						
42	6.500	20.000						
43	13.000	20.000						
44	19.500	20.000						
45	26.000	20.000						
46	32.500	20.000						
47	39.000	20.000						
48	45.500	20.000						
49	52.000	20.000						
50	58.500	20.000						
51	65.000	20.000						
52	71.500	20.000						
53	78.000	20.000						
54	84.500	20.000						
55	91.000	20.000						
56	97.500	20.000						
57	104.000	20.000						
58	110.500	20.000						
59	117.000	20.000						
60	123.500	20.000				-262.500		656.25
61	130.000	20.000						
62	136.500	20.000						
63	143.000	20.000						
64	149.500	20.000						
65	156.000	20.000						
66	162.500	20.000						
67	169.000	20.000						
68	175.500	20.000						
69	182.000	20.000						
70	188.500	20.000						

## Datos Relativos a los Elementos

e	nudos eció:		tipo	rótulas		Fuerzas Distribuidas	
	i	j		i	j	w <sub>x</sub> (t/m)	w <sub>y</sub> (t/m)
No cortar+pegar							
1	1	41	P-C				
2	2	42	P-C				
3	3	43	P-C				
4	4	44	P-C				
5	5	45	P-C				
6	6	46	P-C				
7	7	47	P-C				
8	8	48	P-C				
9	9	49	P-C				
10	10	50	P-C				
11	11	51	P-C				
12	12	52	P-C				
13	13	53	P-C				
14	14	54	P-C				
15	15	55	P-C				
16	16	56	P-C				
17	17	57	P-C				
18	18	58	P-C				
19	19	59	P-C				
20	20	60	P-C				
21	21	61	P-C				
22	22	62	P-C				
23	23	63	P-C				
24	24	64	P-C				
25	25	65	P-C				
26	26	66	P-C				
27	27	67	P-C				
28	28	68	P-C				
29	29	69	P-C				
30	30	70	P-C				
31	31	71	P-C				
32	32	72	P-C				
33	33	73	P-C				
34	34	74	P-C				
35	35	75	P-C				
36	36	76	P-C				
37	37	77	P-C				
38	38	78	P-C				
39	39	79	P-C				
40	40	41	V-C				-9.800
41	41	42	V-C				-9.800
42	42	43	V-C				-9.800
43	43	44	V-C				-9.800
44	44	45	V-C				-9.800
45	45	46	V-C				-9.800
46	46	47	V-C				-9.800
47	47	48	V-C				-9.800
48	48	49	V-C				-9.800
49	49	50	V-C				-9.800
50	50	51	V-C				-9.800
51	51	52	V-C				-9.800
52	52	53	V-C				-9.800
53	53	54	V-C				-9.800
54	54	55	V-C				-9.800
55	55	56	V-C				-9.800
56	56	57	V-C				-9.800
57	57	58	V-C				-9.800
58	58	59	V-C				-9.800
59	59	60	V-C				-9.800
60	60	61	V-C				-9.800
61	61	62	V-C				-9.800
62	62	63	V-C				-9.800
63	63	64	V-C				-9.800
64	64	65	V-C				-9.800
65	65	66	V-C				-9.800
66	66	67	V-C				-9.800
67	67	68	V-C				-9.800
68	68	69	V-C				-9.800
69	69	70	V-C				-9.800
70	70	71	V-C				-9.800

# Análisis de Pórticos Planos

versión 1.1 HSF 1999

**PORTICO EJE C, MUELLE PACASMAYO**

## Datos Relativos a los Nudos

n	Coordenadas		apoyos			Fuerzas Concentradas		
	X (m)	Y (m)	1	2	3	$F_x$ (t)	$F_y$	$M_z$ (t m)
71	195.000	20.000						
72	201.500	20.000						
73	208.000	20.000						
74	214.500	20.000						
75	221.000	20.000						
76	227.500	20.000						
77	234.000	20.000						
78	240.500	20.000						
79	247.000	20.000						
80	248.500	20.000						
81								

## Datos Relativos a los Elementos

e	nudos ecció		tipo	rótulas		Fuerzas Distribuidas	
	i	j		i	j	$w_x$ (Um)	$w_y$ (Um)
	No cortar+pegar						
71	71	72	V-C				-9.800
72	72	73	V-C				-9.800
73	73	74	V-C				-9.800
74	74	75	V-C				-9.800
75	75	76	V-C				-9.800
76	76	77	V-C				-9.800
77	77	78	V-C				-9.800
78	78	79	V-C				-9.800
79	79	80	V-C				-9.800
80							
81							

# Análisis de Pórticos Plano

versión 1.1 HS

## PORTICO EJE C, MUELLE PACASMAYO

### Propiedades de Materiales

etiqueta	$E$ ( $\text{N/m}^2$ )	$G$ ( $\text{N/m}^2$ )	$\gamma$ ( $\text{N/m}^3$ )
acero	2.00E+07	8.00E+06	
concreto	2.17E+06	8.69E+05	

### Características de las Secciones

tipo	material	$A$ ( $\text{m}^2$ )	$I$ ( $\text{m}^4$ )	$A_s$ ( $\text{m}^2$ )	Notas
P-C	acero	0.049	7.46E-03		Pilote tubular acero A-36.
V-C	concreto	1.200	1.44E-01		Viga bh = 1.00x1.20 del e

Desplazamientos de los Nudos

n	u (m)	v (m)	θ (rad)
1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
4	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
5	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
7	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
8	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
9	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
11	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
12	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
13	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
14	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
15	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
16	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
17	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
18	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
19	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
20	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
21	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
22	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
23	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
24	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
25	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
26	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
27	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
28	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
29	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
30	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
31	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
32	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
33	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
34	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
35	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
36	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
37	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
38	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
39	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
40	-2.608E-04	-6.320E-04	-1.746E-04
41	-2.608E-04	-9.005E-04	-1.922E-04
42	-2.621E-04	-1.345E-03	1.032E-06
43	-2.634E-04	-1.307E-03	6.057E-06
44	-2.649E-04	-1.298E-03	6.406E-07
45	-2.665E-04	-1.300E-03	8.689E-07
46	-2.683E-04	-1.300E-03	1.004E-06
47	-2.702E-04	-1.300E-03	9.965E-07
48	-2.722E-04	-1.300E-03	1.002E-06
49	-2.744E-04	-1.300E-03	1.010E-06
50	-2.767E-04	-1.300E-03	1.019E-06
51	-2.792E-04	-1.300E-03	1.027E-06
52	-2.819E-04	-1.300E-03	1.043E-06
53	-2.847E-04	-1.300E-03	1.081E-06
54	-2.876E-04	-1.300E-03	7.580E-07
55	-2.907E-04	-1.303E-03	5.650E-07
56	-2.940E-04	-1.278E-03	1.375E-05
57	-2.973E-04	-1.213E-03	-1.116E-05
58	-3.009E-04	-2.340E-03	-4.489E-04
59	-3.071E-04	-2.015E-03	1.583E-03
60	-3.047E-04	-4.353E-03	-4.802E-04
61	-3.052E-04	-2.093E-03	4.579E-04
62	-3.032E-04	-1.167E-03	-1.607E-05
63	-3.015E-04	-1.288E-03	-9.807E-06
64	-3.001E-04	-1.304E-03	2.272E-06
65	-2.988E-04	-1.300E-03	1.311E-06
66	-2.976E-04	-1.300E-03	1.051E-06
67	-2.966E-04	-1.300E-03	1.089E-06
68	-2.958E-04	-1.300E-03	1.090E-06

Fuerzas en los Elementos (convención de resistencia de materiales)

e	N <sub>i</sub> (t)	N <sub>j</sub> (t)	M <sub>i</sub> (t m)	M <sub>centro</sub> (t m)	M <sub>j</sub> (t m)	V <sub>i</sub> (t)	V <sub>j</sub> (t)
1	-44.133	-44.133	3.451	-1.434	-6.318	-0.488	-0.488
2	-65.917	-65.917	0.571	0.008	-0.556	-0.056	-0.056
3	-64.071	-64.071	0.499	0.045	-0.409	-0.045	-0.045
4	-63.618	-63.618	0.583	0.005	-0.574	-0.058	-0.058
5	-63.696	-63.696	0.583	0.006	-0.570	-0.058	-0.058
6	-63.703	-63.703	0.585	0.007	-0.570	-0.058	-0.058
7	-63.701	-63.701	0.590	0.007	-0.575	-0.058	-0.058
8	-63.701	-63.701	0.594	0.007	-0.579	-0.059	-0.059
9	-63.701	-63.701	0.599	0.008	-0.584	-0.059	-0.059
10	-63.701	-63.701	0.604	0.008	-0.589	-0.060	-0.060
11	-63.701	-63.701	0.610	0.008	-0.594	-0.060	-0.060
12	-63.701	-63.701	0.615	0.008	-0.600	-0.061	-0.061
13	-63.695	-63.695	0.621	0.008	-0.605	-0.061	-0.061
14	-63.717	-63.717	0.632	0.006	-0.621	-0.063	-0.063
15	-63.883	-63.883	0.642	0.004	-0.634	-0.064	-0.064
16	-62.636	-62.636	0.453	0.103	-0.248	-0.035	-0.035
17	-59.443	-59.443	0.832	-0.083	-0.998	-0.092	-0.092
18	-114.683	-114.683	7.370	-3.348	-14.066	-1.072	-1.072
19	-98.735	-98.735	-22.924	11.806	46.536	3.473	3.473
20	-213.318	-213.318	7.846	-3.582	-15.011	-1.143	-1.143
21	-102.578	-102.578	-6.148	3.416	12.980	0.956	0.956
22	-57.212	-57.212	0.918	-0.120	-1.158	-0.104	-0.104
23	-63.099	-63.099	0.821	-0.073	-0.967	-0.089	-0.089
24	-63.910	-63.910	0.638	0.017	-0.604	-0.062	-0.062
25	-63.702	-63.702	0.649	0.010	-0.629	-0.064	-0.064
26	-63.694	-63.694	0.650	0.008	-0.635	-0.064	-0.064
27	-63.700	-63.700	0.648	0.008	-0.631	-0.064	-0.064
28	-63.700	-63.700	0.646	0.008	-0.629	-0.064	-0.064
29	-63.700	-63.700	0.644	0.008	-0.628	-0.064	-0.064
30	-63.700	-63.700	0.643	0.008	-0.627	-0.063	-0.063
31	-63.700	-63.700	0.642	0.008	-0.626	-0.063	-0.063
32	-63.700	-63.700	0.642	0.008	-0.626	-0.063	-0.063
33	-63.700	-63.700	0.642	0.008	-0.626	-0.063	-0.063
34	-63.703	-63.703	0.642	0.008	-0.626	-0.063	-0.063
35	-63.696	-63.696	0.641	0.009	-0.623	-0.063	-0.063
36	-63.615	-63.615	0.638	0.011	-0.617	-0.063	-0.063
37	-64.073	-64.073	0.722	-0.030	-0.783	-0.075	-0.075
38	-65.993	-65.993	0.653	0.005	-0.644	-0.065	-0.065
39	-43.874	-43.874	-2.295	1.480	5.256	0.378	0.378
40	0.000	0.000	0.000	-2.756	-11.025	0.000	-14.700
41	-0.488	-0.488	-17.343	26.557	-33.056	29.433	-34.267
42	-0.545	-0.545	-33.612	17.494	-34.913	31.650	-32.050
43	-0.590	-0.590	-35.321	16.991	-34.209	32.021	-31.679
44	-0.648	-0.648	-34.782	17.263	-34.204	31.939	-31.761
45	-0.706	-0.706	-34.774	17.259	-34.221	31.935	-31.765
46	-0.763	-0.763	-34.791	17.252	-34.218	31.938	-31.762
47	-0.822	-0.822	-34.793	17.252	-34.215	31.939	-31.761
48	-0.880	-0.880	-34.794	17.252	-34.213	31.939	-31.761
49	-0.940	-0.940	-34.797	17.252	-34.211	31.940	-31.760
50	-0.999	-0.999	-34.799	17.252	-34.208	31.941	-31.759
51	-1.059	-1.059	-34.802	17.253	-34.204	31.942	-31.758
52	-1.120	-1.120	-34.804	17.254	-34.201	31.943	-31.757
53	-1.181	-1.181	-34.805	17.237	-34.234	31.938	-31.762
54	-1.244	-1.244	-34.855	17.243	-34.172	31.955	-31.745
55	-1.308	-1.308	-34.806	17.887	-32.933	32.133	-31.562
56	-1.343	-1.343	-33.181	16.053	-38.226	31.074	-32.626
57	-1.434	-1.434	-39.225	-3.827	-71.941	26.817	-36.883
58	-2.506	-2.506	-86.008	115.086	212.666	77.800	14.100
59	0.967	0.967	-397.048	-82.092	129.352	112.835	49.135
60	-0.176	-0.176	114.342	62.430	-92.994	-0.048	-63.748
61	0.780	0.780	-80.014	-5.573	-34.645	38.830	-28.870
62	0.677	0.677	-35.803	17.554	-32.602	32.342	-31.358
63	0.587	0.587	-33.569	17.834	-34.276	31.741	-31.959
64	0.525	0.525	-34.879	17.206	-34.222	31.951	-31.749
65	0.461	0.461	-34.851	17.240	-34.182	31.953	-31.747
66	0.397	0.397	-34.817	17.254	-34.188	31.947	-31.753
67	0.333	0.333	-34.819	17.252	-34.189	31.947	-31.753
68	0.269	0.269	-34.819	17.252	-34.190	31.947	-31.753

**Desplazamientos de los Nudos**

n	u (m)	v (m)	θ (rad)
69	-2.951E-04	-1.300E-03	1.086E-06
70	-2.946E-04	-1.300E-03	1.085E-06
71	-2.943E-04	-1.300E-03	1.083E-06
72	-2.941E-04	-1.300E-03	1.083E-06
73	-2.940E-04	-1.300E-03	1.080E-06
74	-2.941E-04	-1.300E-03	1.066E-06
75	-2.944E-04	-1.300E-03	1.197E-06
76	-2.948E-04	-1.298E-03	1.436E-06
77	-2.954E-04	-1.307E-03	-4.085E-06
78	-2.962E-04	-1.347E-03	6.379E-07
79	-2.972E-04	-8.952E-04	1.984E-04
80	-2.972E-04	-6.174E-04	1.808E-04
81			

**Fuerzas en los Elementos** (convención de resistencia de materiales)

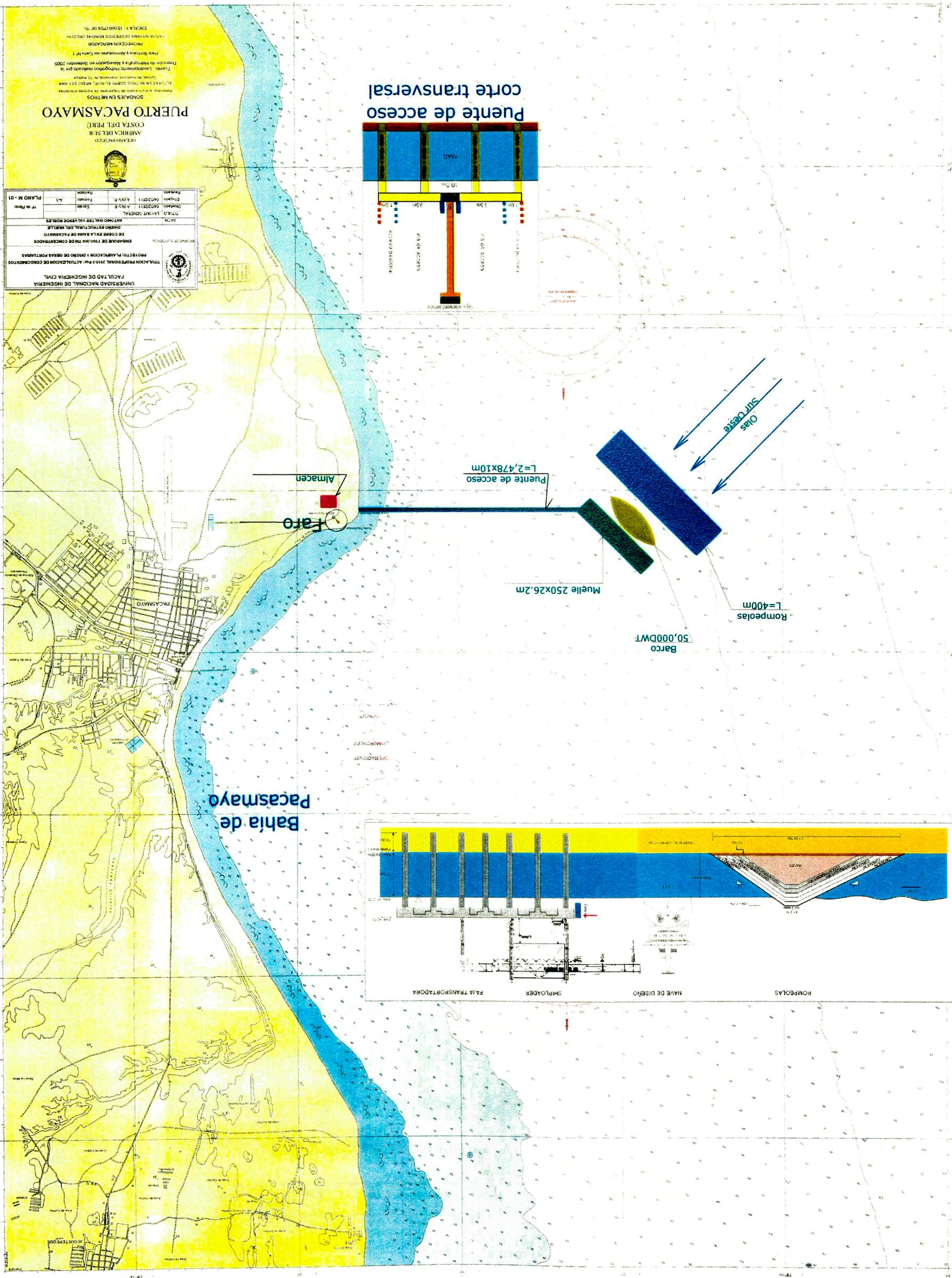
e	N <sub>i</sub> (t)	N <sub>j</sub> (t)	M <sub>i</sub> (t m)	M <sub>centro</sub> (t m)	M <sub>j</sub> (t m)	V <sub>i</sub> (t)	V <sub>j</sub> (t)
69	0.206	0.206	-34.818	17.252	-34.191	31.947	-31.753
70	0.142	0.142	-34.817	17.252	-34.191	31.946	-31.754
71	0.079	0.079	-34.817	17.252	-34.191	31.946	-31.754
72	0.015	0.015	-34.817	17.252	-34.192	31.946	-31.754
73	-0.048	-0.048	-34.817	17.251	-34.192	31.946	-31.754
74	-0.111	-0.111	-34.819	17.258	-34.177	31.949	-31.751
75	-0.175	-0.175	-34.800	17.264	-34.185	31.945	-31.755
76	-0.237	-0.237	-34.802	16.986	-34.738	31.860	-31.840
77	-0.313	-0.313	-35.521	17.480	-33.033	32.233	-31.467
78	-0.378	-0.378	-33.677	26.778	-16.281	34.526	-29.174
79	0.000	0.000	-11.025	-2.756	0.000	14.700	0.000
80							
81							

PERU HIDRONAV 1253

SONDAJES EN METROS

SONDAJES EN METROS

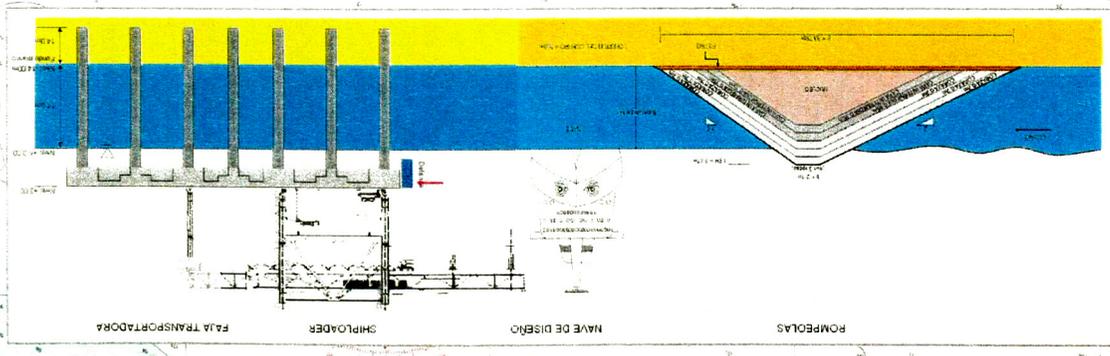
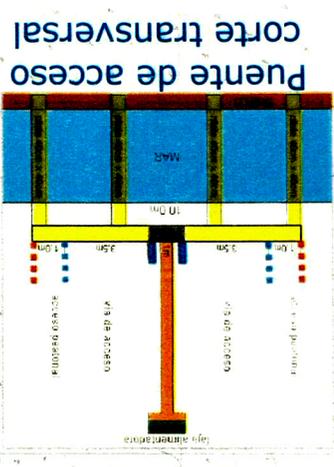
PERU HIDRONAV 1253



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
PROYECTO PLANIFICACION Y DISEÑO DE OBRAS PORTUARIAS  
DISEÑO ESTRUCTURAL DEL MUELLE  
LANTONIO VALDES Y ALVARO ROSA JR.  
TITULO: LAYOUT GENERAL  
Escala: 1:1000

Revisado	Fecha	Revisado	Fecha
Diseñado	04/02/2011	AVR	AVR

PLANO N.º 01



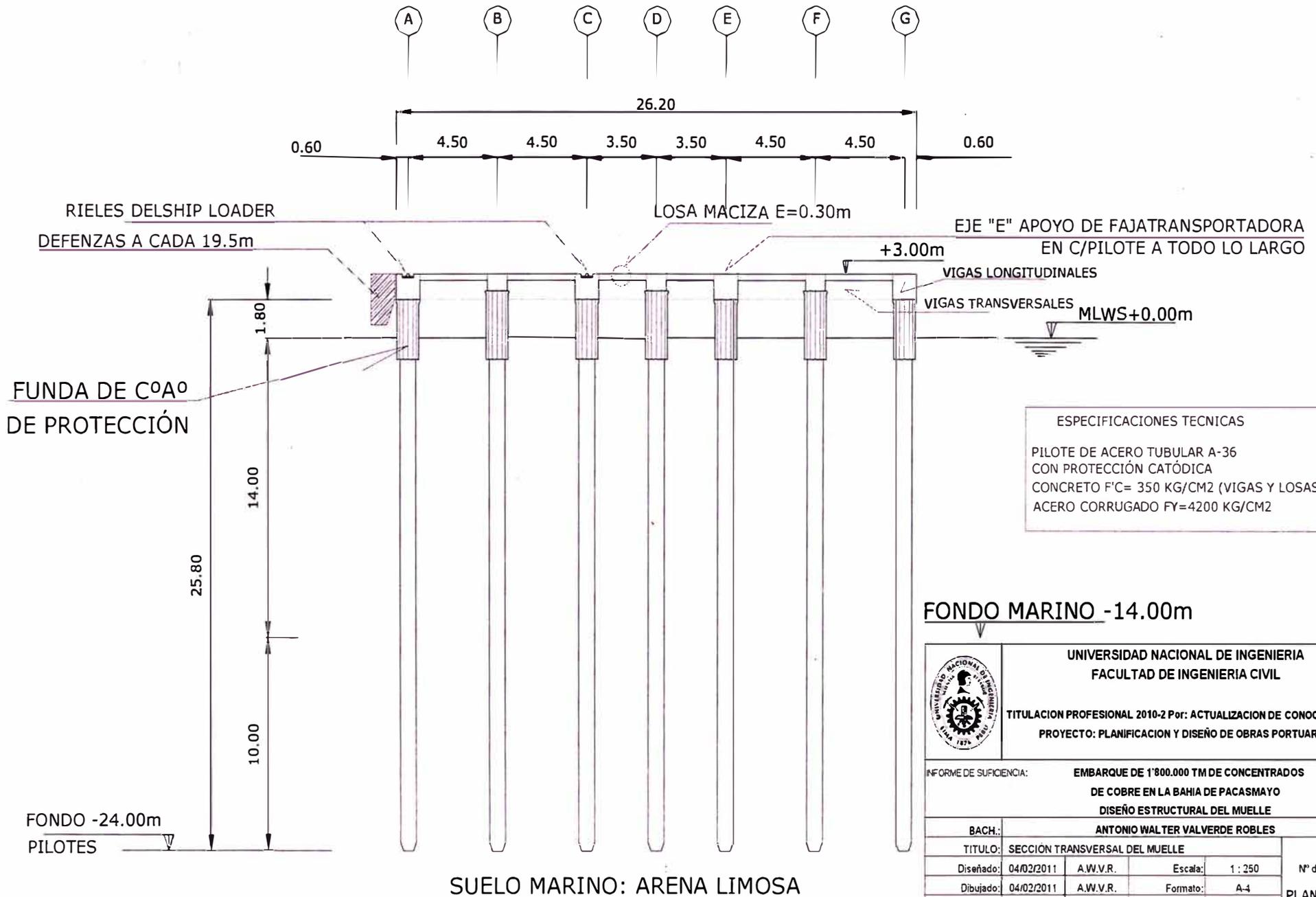
LEONARDO  
AMERICA DEL SUR  
COSTA DEL PERU  
PUERTO PACASMAYO

SONDAJES EN METROS  
Proyección Mercator  
Escala 1:15000 (P.O. 91)  
DATUM WGS 84  
PROYECTO PLANIFICACION Y DISEÑO DE OBRAS PORTUARIAS  
DISEÑO ESTRUCTURAL DEL MUELLE  
LANTONIO VALDES Y ALVARO ROSA JR.  
TITULO: LAYOUT GENERAL  
Escala: 1:1000

PERU HIDRONAV 1253

SONDAJES EN METROS

PERU HIDRONAV 1253



FONDO MARINO -14.00m

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL</b>	
	<b>TITULACION PROFESIONAL 2010-2 Por: ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTOS</b> <b>PROYECTO: PLANIFICACION Y DISEÑO DE OBRAS PORTUARIAS</b>	
<b>INFORME DE SUFICIENCIA:</b>		<b>EMBARQUE DE 1'800.000 TM DE CONCENTRADOS DE COBRE EN LA BAHIA DE PACASMAYO</b> <b>DISEÑO ESTRUCTURAL DEL MUELLE</b>
<b>BACH.:</b>	<b>ANTONIO WALTER VALVERDE ROBLES</b>	
<b>TITULO:</b>	<b>SECCIÓN TRANSVERSAL DEL MUELLE</b>	
<b>Diseñado:</b> 04/02/2011	A.W.V.R.	<b>Escala:</b> 1 : 250
<b>Dibujado:</b> 04/02/2011	A.W.V.R.	<b>Formato:</b> A-4
<b>Revisado:</b>		<b>Revision:</b>
		<b>Nº de Plano:</b> PLANO M - 02

LOSA MACIZA E=0.30

VIGAS LONGITUDINALES  
EJES A,C,E y G : 1.20x12.0m  
EJES B,D y F : 1.00x0.80m

VIGAS TRANSVERSALES  
EJES 1 AL 39 : 1.20x12.0m

FUNDA DE CºAº PREFABRICADO  
DE PROTECCION

GROUT

REFUERZO DE CºAº DEL PILOTE  
HASTA NIVEL -2.00m

TAPA ACERO  
A-36, e=20mm

PILOTE TUBULAR Øext=80cm  
ACERO A-36, e=20mm



26.20

+3.00m

1.80  
-2.00m

MLWS+0.00m

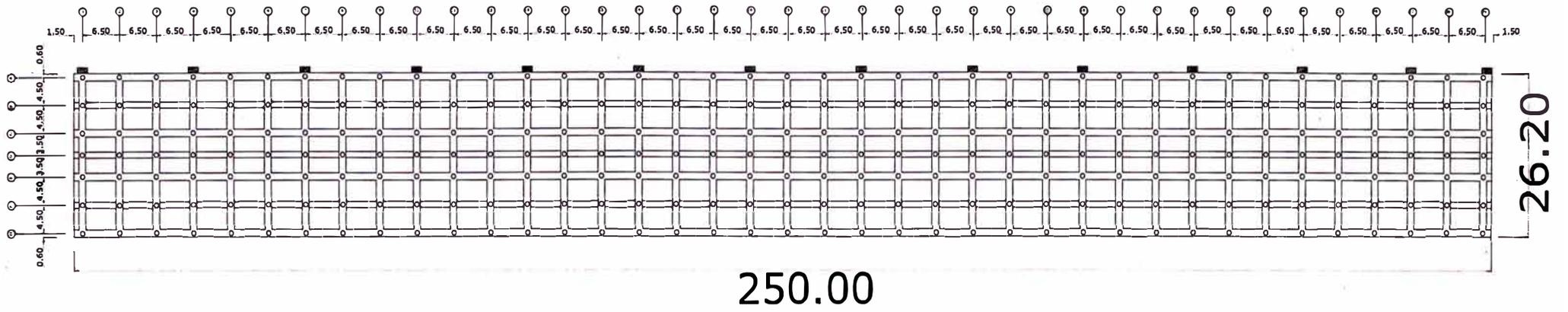
14.00  
25.80  
10.00

FONDO -24.00m  
PILOTES

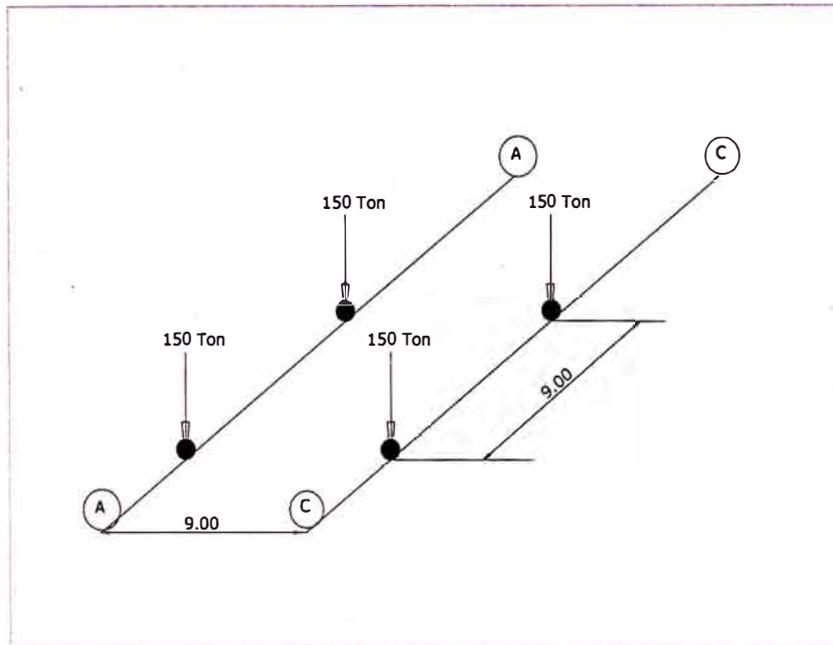
SUELO MARINO: ARENA LIMOSA

FONDO MARINO -14.00m

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL		
	TITULACION PROFESIONAL 2010-2 Por: ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTOS PROYECTO: PLANIFICACION Y DISEÑO DE OBRAS PORTUARIAS		
INFORME DE SUFICIENCIA:		EMBARQUE DE 1'800.000 TM DE CONCENTRADOS DE COBRE EN LA BAHIA DE PACASMAYO DISEÑO ESTRUCTURAL DEL MUELLE	
BACH.:	ANTONIO WALTER VALVERDE ROBLES		
TITULO:	SECCION TRANSVERSAL DEL MUELLE - DETALLES		
Diseñado:	04/02/2011	A.W.V.R.	Escala: 1 : 250
Dibujado:	04/02/2011	A.W.V.R.	Formato: A-4
Revisado:			Revision:
			Nº de Plano: <b>PLANO M - 03</b>



## PLATAFORMA LOSAS Y VIGAS



Carga móvil del equipo:  
SHIP LOADER

$\frac{1}{2}"\varnothing$  cada 0.30

RETALLE DE LOSA MACIZA

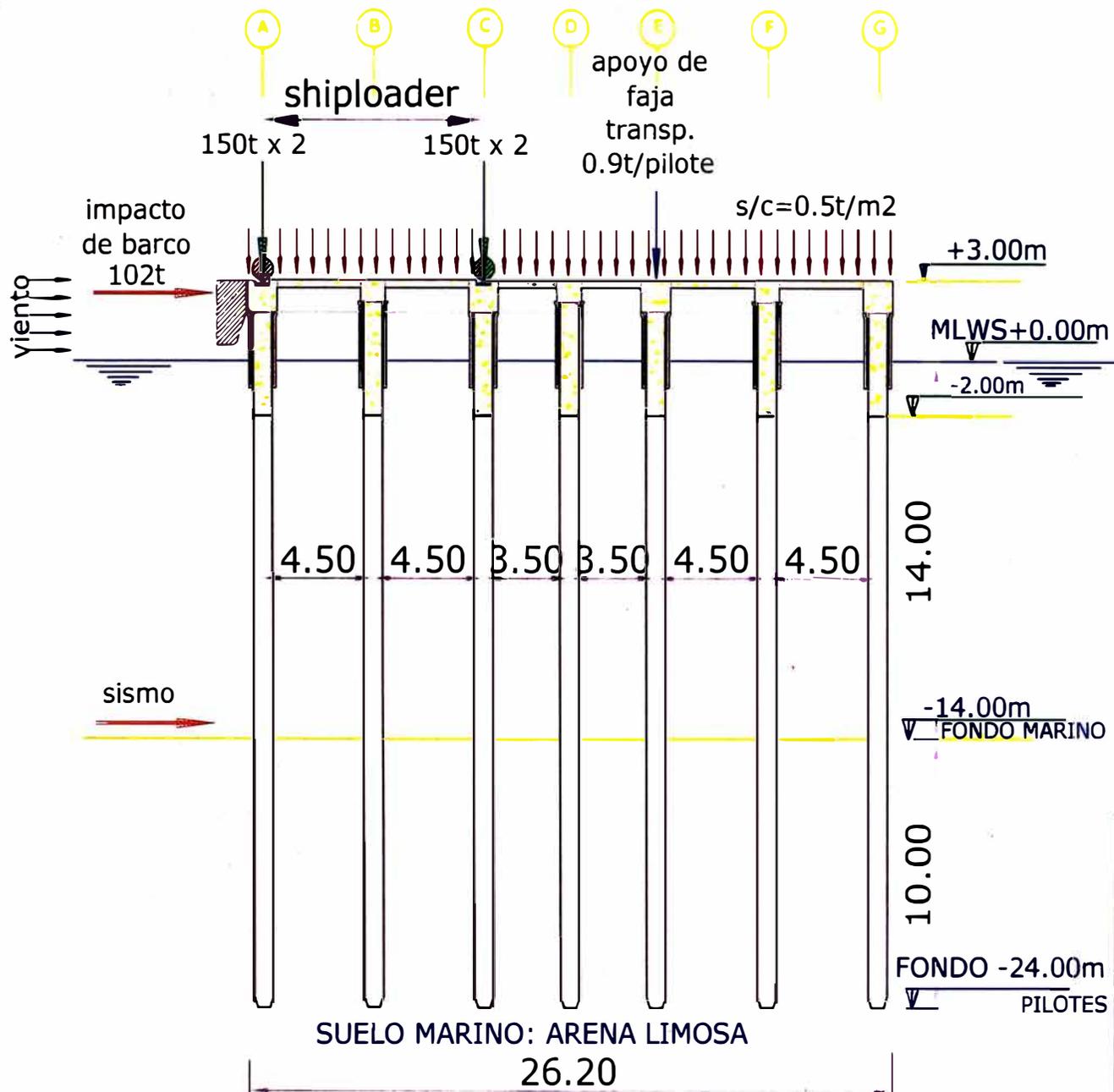
$\frac{1}{2}"\varnothing$  cada 0.24



0.30

corte transversal paralelo a ejes 1, 2,...

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL</b>		
	<b>TITULACION PROFESIONAL 2010-2 Por: ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTOS</b> <b>PROYECTO: PLANIFICACION Y DISEÑO DE OBRAS PORTUARIAS</b>		
<b>INFORME DE SUFICIENCIA:</b>		<b>EMBARQUE DE 1'800.000 TM DE CONCENTRADOS DE COBRE EN LA BAHIA DE PACASMAYO</b> <b>DISEÑO ESTRUCTURAL DEL MUELLE</b>	
<b>BACH.:</b>		<b>ANTONIO WALTER VALVERDE ROBLES</b>	
<b>TITULO:</b>		<b>PLANTA DEL MUELLE. CARGA DEL SHIPLOADER</b>	
<b>Diseñado:</b>	04/02/2011 A.W.V.R.	<b>Escala:</b>	1 : 750
<b>Dibujado:</b>	04/02/2011 A.W.V.R.	<b>Formato:</b>	A-3
<b>Revisado:</b>		<b>Revisión:</b>	
			<b>Nº de Plano:</b> <b>PLANO M - 04</b>



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL</b>	
	TITULACION PROFESIONAL 2010-2 Por: ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTOS PROYECTO: PLANIFICACION Y DISEÑO DE OBRAS PORTUARIAS	
INFORME DE SUFICIENCIA:	<b>EMBARQUE DE 1'800,000 TM DE CONCENTRADOS DE COBRE EN LA BAHIA DE PACASMAYO</b> <b>DISEÑO ESTRUCTURAL DEL MUELLE</b>	
BACH:	<b>ANTONIO WALTER VALVERDE ROBLES</b>	
TITULO:	CARGAS ACTUANTES EN EL MUELLE	
Diseñado:	04/02/2011	A.V.V.R.
Dibujado:	04/02/2011	A.V.V.R.
Revisado:		
Escala:		
Formato:		A-4
Revision:		
		N° de Plano: <b>PLANO M - 05</b>

## **El Uso del Acero en Obras Portuarias**

Por Ing. Carlos Casabonne R.  
GALLEGOS CASABONE ARANGO Ingenieros Civiles S.A.C.

### **Resumen**

Las obras marinas es un tema de actualidad en nuestro país por la necesidad de ampliar nuestra infraestructura portuaria. En el trabajo se analiza los materiales más empleados en la construcción de obras portuarias (acero y concreto), sus ventajas comparativas tanto en su empleo en las subestructura como en la superestructura de obras portuarias. En el análisis se compara las ventajas desde el punto de vista de constructibilidad, de durabilidad, de mantenimiento.

### **Introducción**

La construcción de obras portuarias para dar facilidad para el atraque de embarcaciones, ha sido una continua preocupación desde que el hombre tuvo necesidad de desplazarse por el mar para sus actividades de comercio o de exploración y conquista.

En el mundo antiguo las primeras grandes obras de ingeniería portuaria (aquellas construidas por ingenieros fenicios, griegos y romanos) fueron fundamentalmente construidas con piedra y madera. Así lo atestiguan los restos de los puertos de Tiro, Ostia Antica, Alejandría. La piedra, en la forma de grandes bloques tallados, fue empleada para la construcción de rompeolas, espigones y muelles marginales; en algunos casos los romanos reemplazaron parcialmente la piedra por concreto vaciado. La madera fue empleada en pilotes para muelles y tableros, pasarelas, en defensas para el atraque y en edificaciones.

La práctica de construcciones portuarias no cambió sustancialmente en los 1500 años que siguieron a la caída de Roma en el siglo V, hasta que los nuevos materiales (acero y concreto) comenzaron a ser empleados en la construcción de puertos. El muelle Dársena construido con ingeniería francesa en los últimos años del siglo pasado fue enteramente en madera empleando pino oregón creostado. Este muelle sirvió al movimiento de carga general y luego para productos de pesca hasta que fue demolido en los años 70, aún en buenas condiciones de servicio, para dar paso a una de las remodelaciones del puerto.

Los primeros muelles de acero en el Perú, fueron aquellos construidos para el embarque de productos agrícolas de exportación como azúcar y algodón, de los valles de la costa y los muelles para la industria del petróleo. Entre los primeros citamos los muelles de Pacasmayo, Eten y Pimentel. La infraestructura de dichos muelles fue construida con pilotes de acero empleando básicamente rieles de ferrocarril y tubos de sección circular. Los tableros fueron hechos de madera apoyados sobre vigas del mismo material. De igual manera se construyó el primer muelle de carga líquida del puerto de Talara por los años 20 y que prestó servicios hasta la construcción del nuevo terminal en los 90.

En los años 30 se introdujo la tecnología del concreto armado para la construcción de estructuras marinas con la construcción del nuevo terminal marítimo del Callao. Los muelles 1, 2, 3 y 4 fueron construidos enteramente de concreto: pilotes prefabricados de sección cuadrada como subestructura y tablero de vigas y losas macizas todo en concreto armado vaciado en sitio.

Los años 60 trajeron innovaciones con la introducción del concreto pretensado en la fabricación de pilotes y en la prefabricación en concreto armado o pretensado de elementos para los tableros (vigas y losas).

La experiencia tenida en el Perú con las obras construidas con pilotes pretensados no ha sido buena, todos los amarraderos del muelle No. 5 han tenido que ser intervenidos por deterioro de los pilotes pretensados. Mejor comportamiento se ha observado en los elementos de los tableros, éstos han soportado bien la agresión del medio.

### **Uso del Acero Estructural**

Hay muy buenas razones para seleccionar el acero para la construcción de obras marinas en la costa Oeste de Sudamérica:

#### **La razón primera son las fuerzas sísmicas**

Para la costa peruana, que es la zona de mayor sismicidad en nuestro territorio y es clasificada como zona sísmica 3 en la Norma de Diseño Sismo Resistente, la fuerza sísmica equivalente para una estructura de muelle soportada en pilotes es probablemente mayor que las fuerzas debidas al atraque de los buques. Como quiera que este tipo de estructuras tiene su masa sísmica concentrada en su parte alta como un péndulo invertido, cualquier disminución en la masa sísmica reduce los efectos del sismo. La reducción se traducirá en un menor número de pilotes y en ahorros significativos en el costo y en el tiempo de ejecución.

#### **La segunda razón es constructibilidad**

En la costa Oeste de Sudamérica no existe equipo flotante adecuado, el equipo que existe está generalmente equipado con grúas de construcción pequeñas. El uso de pilotes de acero, que son livianos comparados con los de concreto, el uso de cabezales de acero y de elementos de acero para el tablero permite el uso de grúas relativamente pequeñas. Las condiciones del mar en zonas no abrigadas de la costa del Pacífico son difíciles para la construcción marina. Las olas de gran período predominantes hacen difícil la construcción con equipo flotante. Por esta razón muchas estructuras marinas en mar abierto han sido construidas por el método de lanzamiento con avance desde tierra. Las estructuras livianas son favorables para este método porque permiten el uso de grúas de menor tonelaje y siendo que la carga de la grúa empleada para el montaje termina siendo la carga que controla el dimensionamiento de los elementos del tablero, se logra ahorros sustantivos en la estructura.

Por otro lado cuanto más livianos son los elementos por izar mayor será el alcance del equipo de izaje, lo que permite ampliar la distancia entre cerchas de pilotes, con lo cual se consigue otra ventaja que puede ser significativa tanto en el costo de obra como en el plazo de ejecución.

#### **La tercera razón es menor costo inicial**

Lo tradicional en nuestro medio es que las estructuras de concreto sean más económicas que las estructuras de acero, sin embargo en la construcción de obras marinas, en particular en la construcción de muelles tipo espigón en mar abierto, las ventajas del menor peso de las estructuras metálicas descritas al explicar los aspectos de constructibilidad, llevan por lo general ahorros en el costo, que cambian el resultado tradicional y dan como resultado un menor costo de construcción.

Debe estudiarse en cada caso si el ahorro en costo inicial usando estructuras metálicas no se pierde por el mayor costo del mantenimiento requerido por las estructuras metálicas. En teoría es posible mantener estructuras de acero por muchos años con la provisión de protección catódica pasiva o activa para el caso de estructuras sumergidas y con recubrimientos de alta calidad para los elementos de acero en las zonas de marea, salpicadura y para las sometidas a la atmósfera. El revestimiento de polietileno para los pilotes tubulares de acero desarrollado en Japón hace 15 años, ha dado excelentes resultados ya que elimina los problemas de corrosión en particular en las zonas de marea y salpicadura que son las más vulnerables y difíciles de proteger y mantener y elimina la necesidad de protección catódica en las zonas sumergidas.

Si bien el acero tiene ventajas evidentes tanto para la construcción de las superestructuras, es en los pilotes donde dichas ventajas son más notorias. En el cuadro 1 se compara pilotes de acero con pilotes de concreto, dicho cuadro, fue elaborado con ocasión de la elaboración del proyecto del muelle de carga líquida para Petróleos del Perú en Talara, los parámetros usados en la comparación y sus conclusiones tienen aún vigencia.

### **Estudio comparativo entre pilotes de concreto y pilotes de acero aplicables a obras en mar abierto en el Perú**

<b>Tipo de Pilote</b>	<b>Tubular de acero</b>	<b>Tubular de concreto</b>
Peso. Considerando una longitud de fabricación de 30m	Menor 7.0 t	Mayor 20 t
Sección del pilote	Tubular	Maciza La fabricación de pilotes tubulares de concreto requiere de una industria de prefabricación sofisticada no disponible en nuestro medio.
Manipuleo transporte	Más fácil	Complicado. Requiere equipo más pesado. Obliga a maniobras más cuidadosas para no dañar los pilotes.
Procedimiento de hinca	Fácil. El pilote tubular permite mayor penetración y permite la excavación interior para lograr mayor profundidad de penetración.	Más difícil. Requiere equipo de hinca pesado. No es fácil lograr la penetración deseada, en algunos casos imposible, lo que obligaría a otra estructuración.
Empalme	Fácil y rápida	Complicado y moroso. Puede haber problemas de corrosión en la unión. En pilotes pretensados el empalme es muy difícil.
Equipo de hinca	Más liviano D30/44	Más pesado. No existe en el país D44 o mayor para lograr penetración
Degradación de hinca	Mínima y localizada	Mayor fisuración transversal en toda su longitud debido a los efectos dinámicos producidos en la hinca. La fisuración atentaría contra la durabilidad del pilote.
Resistencia	Mayor resistencia a la flexión. No fisura. Tiene mayor resistencia a la fatiga.	Buena resistencia a la compresión. Poca resistencia a la tracción y se fisura.
Durabilidad	Necesaria su protección. Hay métodos confiables para	Vulnerable a la corrosión cuando se fisura. Difícil de proteger. Requiere

	protección catódica y el recubrimiento con polietileno.	ingredientes densificadores, control riguroso de la producción, colocación consolidación y curado.
Reparabilidad	Muy fácil	Compleja pero posible en pilotes de concreto armado. Muy difícil en pilotes de concreto pretensado.

### Uso del concreto

El uso del concreto en obras marinas está enraizado en el mundo entero. Las principales ventajas sobre el acero son su durabilidad y su bajo costo de mantenimiento.

Con el concreto también es posible desarrollar conceptos estructurales diferentes y hay campo para la innovación. Por ejemplo, en algunas regiones es posible construir estructuras de gravedad económicas como cajones, a menores costos que estructuras soportadas sobre pilotes. La principal ventaja del cajón está en su gran capacidad para resistir cargas verticales, que los hacen muy adecuados para grúas porta contenedores, otros equipos pesados y por su constructibilidad. Los cajones de concreto son muy fáciles de mantener y son muy resistentes al impacto debido al atraque de las naves.

Los usos principales del concreto se dan en la superestructura, en particular en las estructuras para el atraque y amarre de las naves en las que se requiere una gran masa, en las superficies de plataformas de carga y en los tableros de los puentes de acceso cuando tienen tránsito de vehículos.

Los principales aspectos para producir estructuras durables de concreto para ambiente marino son: diseño apropiado de mezcla y técnicas apropiadas de colocación. El diseño de mezcla requiere una relación baja A/C, aire incorporado y cemento moderadamente resistente a sulfatos. Con relación a la colocación se requiere: recubrimientos generosos para el refuerzo, concretos muy densos, muy buena consolidación del concreto y un control ceñido del contenido de aire y agua. Hay desarrollos recientes en el diseño de mezclas que mejoran su durabilidad en ambiente marino. Ellos incluyen el uso de puzzolanas y/o cenizas, revestimientos con membranas impermeables y el uso de barras protegidas con recubrimientos epóxicos.

### Conclusiones

El acero estructural, el concreto armado y/o pretensado tiene características propias que los hacen atractivos para obras portuarias. El acero por su menor peso permite el uso de equipos de construcción más ligeros, reduce la masa sísmica, permite estructuras con menos pilotes y con luces mayores. El concreto tiene su uso más aparente en las estructuras de tableros ya sea con elementos prefabricados o llenados en sitio. El acero tiene ventajas evidentes para la infraestructura de muelles de espigón cuando las características del mar hacen difícil el uso de equipos flotantes para el transporte e hincas de pilotes.

El acero y el concreto tienen usos complementarios en obras portuarias.

Las características de cada material deben ser evaluadas y comparadas integralmente de manera de optar por una selección que sea la óptima considerando los aspectos: características del sitio, comportamiento estructural, de disponibilidad de materiales, de durabilidad, constructibilidad, tiempo de ejecución, costo inicial y costo de mantenimiento.

## **Ejemplos de Obras Portuarias Recientes**

Seguidamente describimos algunas obras portuarias, algunas de ellas íntegramente en concreto, otras íntegramente en acero y otras mixtas donde el concreto y el acero han sido empleados en forma complementaria.

### **Muelle para carga de minerales a granel Compañía Minera Escondida Ltda., Antofagasta, Chile**

Este es un buen ejemplo de un terminal especializado de carga en una región de alto riesgo sísmico y en mar abierto.

Fundación: Pilotes tubulares de acero con anclajes perforados en la roca.

Superestructura: Cabezales de pilotes en concreto armado y puentes reticulados de acero de 35 m de luz para el acceso de vehículos al muelle, La luz fue limitada por la disponibilidad de grúas montadas sobre plataformas gateadas. (Ver Foto 1).



**Foto 1**

**La Escondida, Colos - Chile  
Exportación de concentrados de cobre**

### **Muelle para carga de minerales a granel de la Compañía Doña Inés de Collahuasi**

Ejemplo de estructura en mar abierto en una región de alto riesgo sísmico.

Fundación: Pilotes tubulares de acero con anclajes perforados en la roca.

Superestructura: cabezales de acero y vigas puente reticuladas de 60 m de luz para el acceso de vehículos a la plataforma de carga; las vigas fueron lanzadas desde tierra. (Ver Foto 2 y 3).

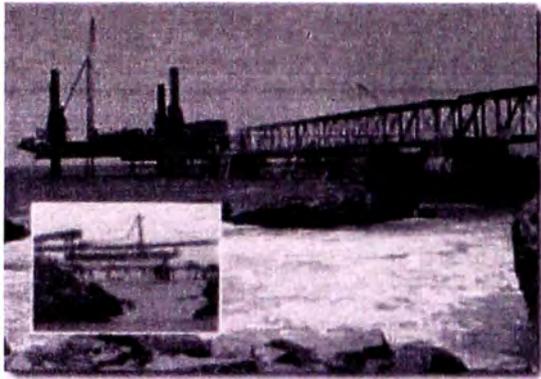


Foto 2



Foto 3

**Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi - Chile  
Concentrate Export Terminal**

**Collahuasi**

### **Muelle de Carga Líquida de Talara**

Fundaciones: Pilotes tubulares de acero.

Superestructura: En el viaducto vigas prefabricadas de concreto armado de 12 m de luz lanzadas desde tierra, apoyadas sobre cabezales de concreto vaciado en sitio. En la plataforma, el nivel inferior formado por vigas prefabricadas de concreto armado y una losa maciza vaciada sobre prelosas también de concreto armado. (Ver Fotos 4, 5, 6 y 7).

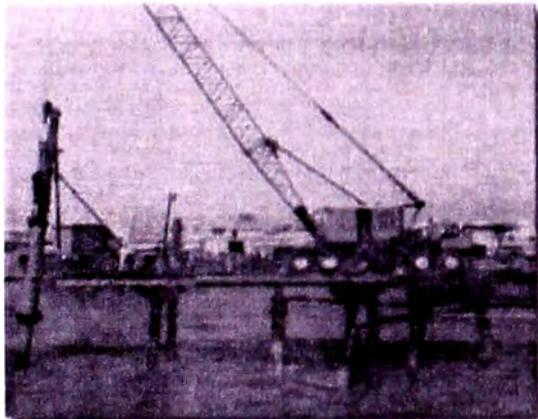


Foto 4

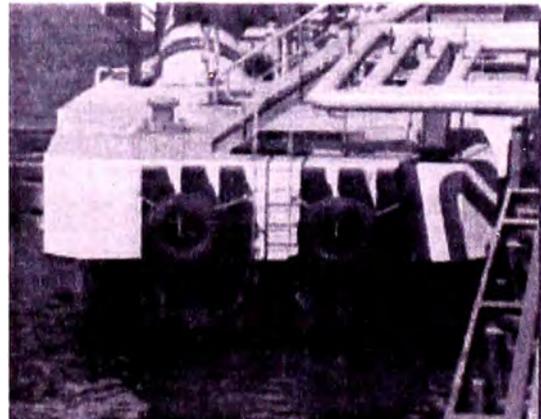


Foto 5



Foto 6

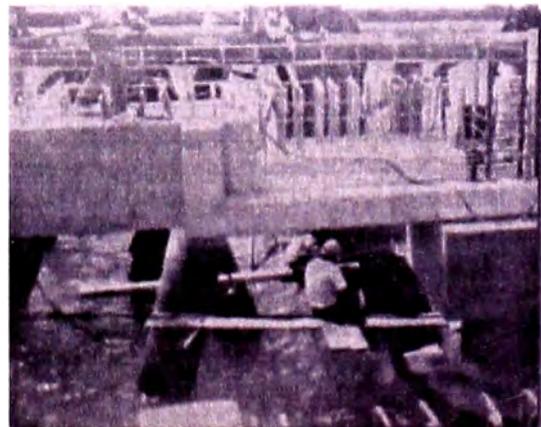


Foto 7

## Muelle de Conchán

Terminal de carga a granel para la recepción de carbón y exportación de cemento.

Fundaciones: Pilotes tubulares de acero revestidos con polietileno y cabezales de acero.

Superestructura: Elementos prefabricados de concreto armado y losas vaciadas en sitio. (Ver Fotos 8, 9, 10, 11, 12 y 13).

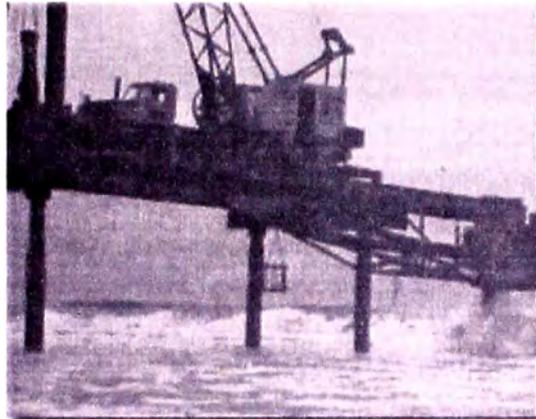


Foto 8



Foto 9

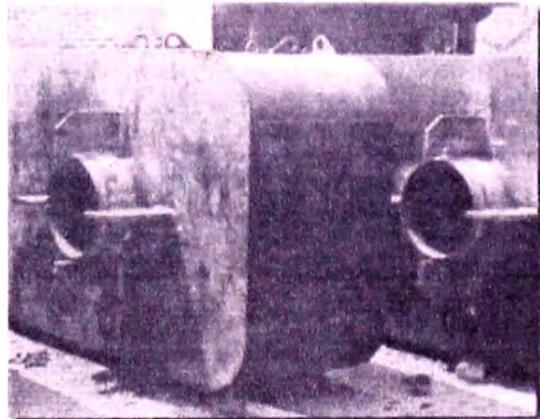


Foto 10



Foto 11

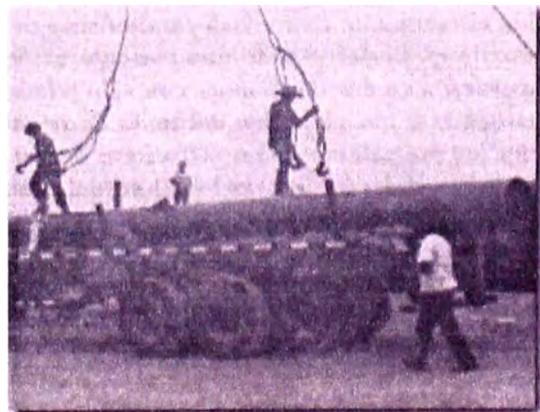
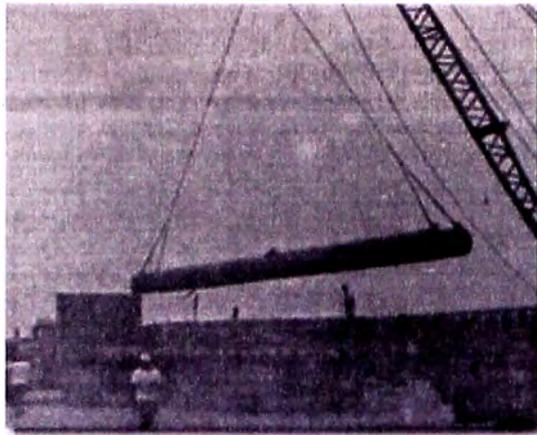


Foto 12

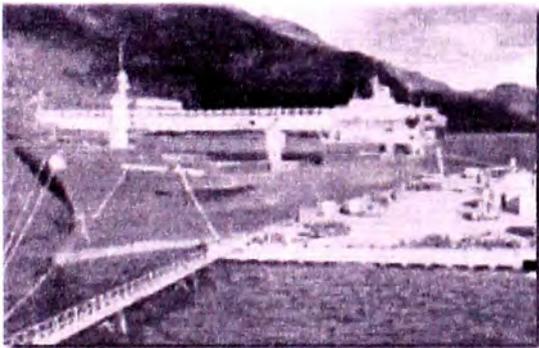


**Foto 13**

### **Nuevo muelle marginal en el Terminal de Squamish, British Columbia, Canadá**

Superestructura: cabezales de pilotes vaciados en sitio, vigas doble T pretensadas y sobre losa de concreto en sitio.

Fundación: Pilotes tubulares de concreto pretensado, hincados en suelo blando del delta del río. En la decisión del uso de elementos pretensados pesó la existencia de una planta de prefabricación de elementos de concreto pretensado. La construcción en concreto fue decidida principalmente por su menor costo inicial y su menor mantenimiento comparado con una estructura de acero. Una característica del muelle es la del uso de una estructura de acero. Una característica del muelle es la del uso de una estructuración aporticada en dos direcciones con sólo pilotes verticales e independiente del muro de retención interior para evitar concentraciones de fuerzas horizontales de sismo en los pilotes del muro retenedor. (Ver Fotos 14 y 15).



**Foto 14**

**Squamish**



**Foto 15**

**Squamish**

### **Westshore Terminals Ltd.**

Muelle para la exportación de carbón.

Superestructura: cabezales de pilotes vaciados en sitio, vigas doble T pretensadas y sobre losa de concreto en sitio.

Fundación: Pilotes tubulares de concreto pretensado. La dimensión y peso de los pilotes exigió movilizar desde los Estados Unidos equipo flotante pesado. (Ver Foto 16).



**Foto 16**

**Westshore**

**Muelle de carga general de Fairview Terminals Ltd. en Prince Rupert (900 km al Norte de Vancouver)**

Estructura: Cajones rellenos de roca y losa vaciada en sitio para formar la plataforma.

Los cajones fueron elegidos en base a consideraciones de costo, la que incluyó: fundación en roca, disponibilidad de roca para el relleno, la economía de la prefabricación de los cajones en un dique seco en Vancouver y su instalación rápida. Su elección se basó también en el costo bajo de mantenimiento y su gran capacidad de carga de la plataforma sobre el relleno de roca. (Ver Foto 17).



**Foto 17**

# FENDER SYSTEM DESIGN

## 1. INTRODUCTION

A fender is the interface between a ship and the shore facilities. Generally, its main objective is to protect the ship's hull from damage. In some cases it's the shore facilities that require protection against the impact of the ship.

There are many types of fender systems available ranging in complexity from a simple bolt-on timber whaler to a very sophisticated arrangement of frames, chains and buckling components.

A proper berth design will include a comprehensive analysis of two or three fendering alternatives, as the choice of fendering system could have a significant impact on the berth design. Consideration of such items as damage risk, load distribution to the structural members, pier facing design and cost will influence the total berth design.

The designer must first put together all available information on the design vessel and on the site conditions. Next he/she must judge the primary objective of the fender system which will include considerations for:

- 1) absorbing a certain amount of the energy generated on berthing the ship,
- 2) the role of the fender after the ship has been moored and it is subject to more or less static loads,
- 3) the role of the fender when the ship is moored and is subject to significant dynamic loads resulting from wave action, surges, high winds, etc.

With this, the designer will have developed the Design Criteria for the fender system and it is a matter of analyzing the available alternatives and selecting that system which best meets the Design Criteria.

Our manual is set-up in such a way to take the designer through a step-by-step procedure to arrive at the optimal fender selection for his/her project.

## 1.1 DESIGN WORKSHEET

To further assist the Engineer we've prepared a "Design Worksheet" which can be filled out and used during the fender system design process. This four page worksheet is located at the back of this section. Standard metric conversions are also included in Section 3.0 for convenience.

## 1.2 BERTHING ENERGY REQUIREMENTS

In general, the determination of the absorbed energy of a berthing ship can be made by the following methods:

- a) Kinetic Energy Method
- b) Statistical Method
- c) Scale Model Tests
- d) Mathematical Modeling

The most commonly used approach and the one covered here is the KINETIC ENERGY METHOD. It is the traditional method and is subject to the judgement of the designer, however, it is time tested and seems to account for the major variables influencing vessel berthing.

The Kinetic Energy of the berthing ship is calculated using the formula:

$$E_{\text{ship}} = 1/2 MV^2$$

Where  $E_{\text{ship}}$  = Energy on Berthing

$M$  = Mass or Water displacement of the ship

$V$  = Approach Velocity of the ship at the moment of impact with the fender

This energy must be factored up or down, depending on rotation of the vessel on impact, the amount of water moving with the vessel thereby adding to its mass, the deformation of the ship's hull and the berth type.

Therefore, Energy to be absorbed by the fender system is:

$$E_{\text{fender}} = E_{\text{ship}} \times f$$

Where  $f = C_e \times C_m \times C_s \times C_c$

$C_e$  = Eccentricity Factor

$C_m$  = Virtual Mass Factor

$C_s$  = Softness Factor

$C_c$  = Berth Configuration Coefficient

These variables are covered in detail on the following pages. Also, convenient charts are provided in Section 2.3 which indicate the amount of berthing energy generated by various ship sizes under standard conditions.

## 2. CALCULATING BERTHING ENERGY

### 2.1 KINETIC ENERGY EQUATION

The equation detailing the variables:

$$E_{\text{Fender}} = 1/2 MV^2 \times C_e \times C_m \times C_s \times C_c$$

### 2.2 VARIABLES

#### a) Mass - M

One or more of the following weights should be readily available from the facility user:

##### Displacement Tonnage - DT

This is the weight of the water displaced by the immersed part of the ship.

##### Dead Weight Tonnage - DWT

This is the weight that the ship can carry when loaded to a specified load draft. (Includes cargo fuel, stores, crew, passengers.) It is the most common measurement.

##### Gross Tonnage - GT

This is based on the cubic capacity of the ship below the tonnage deck with allowance for cargo compartments above.

When calculating the mass - M, use the loaded displacement tonnage DT.

Typically DT is 30% - 40% greater than DWT.

Where:  $M = \frac{DT}{g}$

DT = Displacement Tonnage (tonnes)

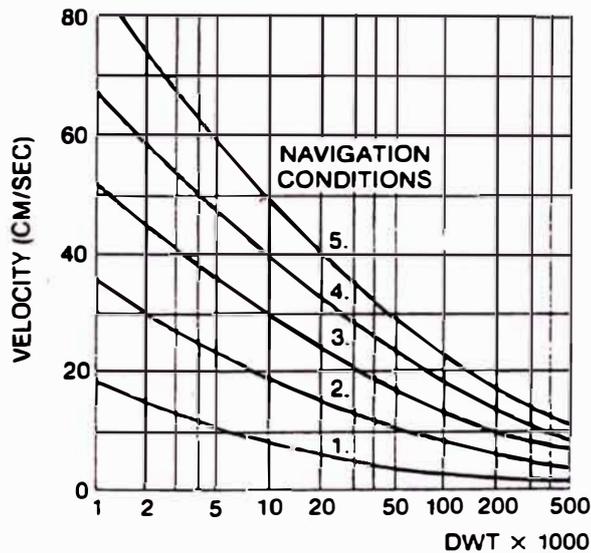
g = Acceleration Due to Gravity = 9.81 M/Sec<sup>2</sup>

#### b) Velocity - V

As can be seen from the Kinetic Energy Equation, the energy to be absorbed is a function of the square of the approach velocity. For this reason, **DETERMINING THE VELOCITY IS ONE OF THE MOST IMPORTANT DECISIONS IN THE DESIGN.**

The choice of design velocity (velocity component normal to the dock) is a judgement based on ship size, site exposure and berthing procedure. Environmental aspects such as wind and current forces may be an influence. Section 2.5 b) describes how these forces can be calculated. Consultation with Port Management, ship operators and any other available information should be used when making the judgement.

The following chart is offered as a guide to assist in selecting a design velocity:

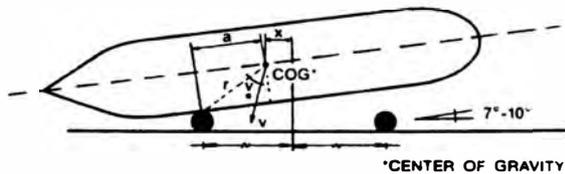


#### Navigation Conditions

1. Easy Docking: Sheltered
2. Difficult Docking: Sheltered
3. Easy Docking: Exposed
4. Good Docking: Exposed
5. Difficult Docking: Exposed

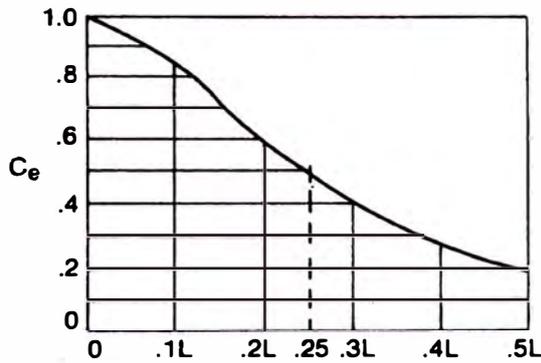
**c) Eccentricity -  $C_e$**

Usually the ship is not parallel to the pier face during berthing. As a result, not all of the Kinetic Energy will be transmitted to the fenders. At impact, the ship will start to rotate around the contact point thus dissipating part of its energy.



Schematic diagram of berthing ship

The following graph illustrates the relationship between the eccentricity coefficient and the distance "a" (as shown above).



Alternatively, it is represented by the formula

$$C_e = \frac{K^2}{a^2 + K^2}$$

Where:

- K** = radius of longitudinal gyration of the ship
- a** = distance between the ship's centre of gravity and the point of contact on the ship's side projected onto the longitudinal axis (in terms of L - the ship's length)

The value of K is related to the block coefficient of the ship and its length. It can be approximated by the following expression:

$$K = (0.19 C_b + 0.11) \times L$$

and the block coefficient  $C_b$

$$C_b = \frac{DT}{D \times B \times L \times W_o}$$

Where:

- DT** = Displacement of the ship (tonnes)
- D** = Draft (m)
- B** = Width (m)
- L** = Length (m)
- W<sub>o</sub>** = Water Density (tonnes/M<sup>3</sup>)

Typical Seawater  $W_o = 1.025$  tonnes/M<sup>3</sup>  
(64 lb/ft<sup>3</sup>)

Typical Freshwater  $W_o = 1.00$  tonnes/M<sup>3</sup>  
(62.3 lb/ft<sup>3</sup>)

- for larger Bulk Ships and Tankers  
K = 0.2L - 0.25L
- for Passenger Ships and Ferries  
K = 0.17L - 0.2L
- for 1/4 point Berthing a = 0.25L

The formula is based on the generally accepted assumptions that at the moment of maximum fender deflection:

1. Rotation only occurs at the contact point
2. Ship's hull does not slide along the fender
3. Forces such as wind, currents tugs are negligible compared to the fender reaction.

The approach angle is usually taken as 7° with a maximum of 10°. If the ship is berthing properly under control at the moment of contact with the fender then the direction of travel will be at right angles to the berthing face.

Examples:

In the case of a two dolphin mooring where the dolphins are 1/3 L distance apart, the minimum  $C_e$  is reached when the center of gravity of the large ship falls halfway between the two dolphins on contact with the fenders.

This is when  $a = 1/6 L$

therefore

$$C_e = \frac{(.25L)^2}{(1/6L)^2 + (.25L)^2} = 0.692$$

The maximum in this case, would occur when the ship's center of gravity falls in line with the point of contact with the fender or  $a = 0$  Then  $C_e = 1$ .

In the case of a continuous fender system and a large oil tanker  $a = 0.3L$

therefore

$$C_e = \frac{(0.25L)^2}{(0.3L)^2 + (0.25L)^2} = 0.41$$

Generally  $C_e$  ranges between 0.4 and 0.8

#### d) Virtual Mass Coefficient - $C_m$

When the ship is in motion and contacts the fender, the mass of the ship has to be decelerated as well as a certain mass of water surrounding and moving with the ship. This addi-

tional mass is accounted for in the virtual mass coefficient -  $C_m$  which is a function of: the block coefficient of the vessel, its draft and its width.

where:

$$C_m = 1 + \frac{\pi}{4 C_b} \times \frac{D}{B}$$

$C_b$  = block coefficient (see section 2.2c)

$D$  = Draft

$B$  = Width

an alternate formula recommended by Vasco Costa is:

$$C_m = 1 + \frac{2D}{B}$$

Since there is no conclusive experimental data, we would recommend calculating  $C_m$  both ways and using the higher value.

#### e) Softness Coefficient - $C_s$

This factor accounts for the relation between the rigidity of the ship and that of the fender. It expresses that proportion of impact energy absorbed by the fender. For a soft fender  $C_s = 1.0$  as deflection of the ship's hull will be negligible and therefore all the energy will be absorbed by the fender. In the instance of hard fenders, it is assumed that the ship's hull will absorb 2 to 7 percent of the impact energy so  $C_s$  is taken as 0.98 to 0.93.

#### f) Berth Configuration Coefficient - $C_c$

This factor attempts to quantify the difference between an open pile supported pier and a solid sheetpile or concrete crib structure.

In the first case, the water being pushed by the berthing ship is easily able to be displaced around the pier. In the second case, the moving water is squeezed in between the structure wall and the ship causing a cushion effect. A reduction factor has to account for this effect.

For solid structures with parallel approach  $C_c = 0.8$ . As the approach angle increases from zero and as the under keel clearance increases then  $C_c$  increases to 1.0 which is the value for an open type support structure such as a pile supported pier.

## 2.3 VESSEL DIMENSIONS AND TYPICAL ENERGY REQUIREMENTS

The following tables show typical weights and dimensions for the various vessel classes. These are general and should be used only as a cross reference.

A berthing energy has been calculated based on standard conditions where:

1. Velocity: 0.15 m/sec in all cases
2. Eccentricity Coefficient: 0.5 (for 1/4 point berthing)
3. Virtual Mass Coefficient: as shown
4. Softness Coefficient: 1.0
5. Berth Configuration Coefficient: 1.0
6. Large under keel clearance / open berth

### a) GENERAL CARGO

Tonnage (D.W.T.)	Length (m)	Width (m)	Height (m)	Loaded Draft (m)	Displacement Tonnage (DT)	Virtual Mass Coefficient	Berthing Energy (Tonne-M)*
800	56	9.0	4.0	3.8	1.115	1.6	1.02
1.000	58	9.4	4.6	4.2	1.390	1.59	1.27
2.500	83	12.4	6.7	5.5	3.470	1.58	3.15
5.000	109	15.0	8.4	6.7	6.930	1.57	6.23
7.500	129	18.0	10.2	7.7	10.375	1.59	9.48
10.000	142	19.1	11.1	8.2	13.800	1.56	12.32
12.000	150	20.1	11.9	8.7	16.500	1.55	14.73
15.000	162	21.6	12.7	9.1	20.630	1.52	18.02
20.000	180	23.5	14.0	10.1	27.400	1.54	24.19
25.000	195	25.0	14.5	10.3	34.120	1.50	29.35
30.000	200	26.0	15.7	11.0	40.790	1.48	34.62
35.000	210	27.2	16.2	11.7	47.400	1.49	40.50
40.000	217	28.3	17.3	12.0	54.000	1.47	45.52
45.000	225	29.2	17.9	12.4	60.480	1.46	50.65

### b) CONTAINER SHIPS

Tonnage (D.W.T.)	Length (m)	Width (m)	Height (m)	Loaded Draft (m)	Displacement Tonnage (DT)	Virtual Mass Coefficient	Berthing Energy (Tonne-M)*
10.000	175	25.6	15.8	9.8	14.030	1.96	15.77
20.000	200	27.3	16.8	10.4	27.940	1.62	25.95
25.000	213	30.1	16.3	10.5	34.860	1.54	30.78
30.000	290	32.0	19.8	10.3	41.740	1.60	38.29
35.000	265	32.8	20.5	11.6	48.600	1.59	44.31
40.000	279	32.5	22.8	11.0	55.430	1.49	47.36
50.000	290	32.4	24.2	11.3	69.000	1.43	56.58

\* These values are for general guidelines only. They should be checked using actual site conditions.

**c) ORE CARRIERS**

<b>Tonnage (D.W.T.)</b>	<b>Length (m)</b>	<b>Width (m)</b>	<b>Height (m)</b>	<b>Loaded Draft (m)</b>	<b>Displacement Tonnage (DT)</b>	<b>Virtual Mass Coefficient</b>	<b>Berthing Energy (Tonne-M)*</b>
2.500	83	11.9	6.4	5.4	3.290	1.59	3.0
5.000	105	14.9	8.0	6.5	6.570	1.54	5.8
10.000	140	18.5	10.5	8.0	13.100	1.55	11.64
15.000	160	21.0	12.0	9.0	19.600	1.53	17.19
20.000	175	23.5	13.0	9.7	26.090	1.51	22.60
30.000	195	26.6	14.4	10.5	38.970	1.44	32.18
40.000	210	29.7	15.9	11.1	51.740	1.40	41.53
50.000	222	32.5	17.0	11.8	64.390	1.40	51.69
60.000	238	34.0	17.6	12.3	76.940	1.38	60.88
80.000	259	38.0	19.1	13.1	101.690	1.35	78.72
100.000	278	41.0	21.0	15.2	126.000	1.41	101.87
150.000	310	45.5	25.0	17.6	184.840	1.42	150.50

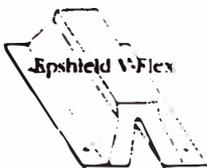
**d) TANKERS**

<b>Tonnage (D.W.T.)</b>	<b>Length (m)</b>	<b>Width (m)</b>	<b>Height (m)</b>	<b>Loaded Draft (m)</b>	<b>Displacement Tonnage (DT)</b>	<b>Virtual Mass Coefficient</b>	<b>Berthing Energy (Tonne-M)*</b>
1.000	58	9.4	4.5	4.2	1.360	1.60	1.25
2.500	82	12.0	6.1	5.5	3.400	1.59	3.10
5.000	102	15.0	7.7	6.5	6.790	1.51	5.88
8.000	126	15.7	9.0	7.4	10.600	1.52	9.24
10.000	140	19.0	9.8	7.9	13.540	1.52	11.80
15.000	163	20.0	11.2	8.6	20.250	1.48	17.19
20.000	175	23.5	12.3	9.6	26.930	1.48	22.85
30.000	195	27.0	14.1	10.7	40.190	1.45	33.41
40.000	213	29.6	15.2	11.8	53.300	1.45	44.31
50.000	224	32.0	16.6	12.3	66.270	1.41	53.58
60.000	236	34.0	17.7	12.7	79.100	1.39	63.04
70.000	248	35.8	18.6	13.5	91.790	1.40	73.69
85.000	260	38.1	18.7	14.0	110.550	1.37	86.84
100.000	285	40.1	21.1	14.8	129.000	1.39	102.82
150.000	300	46.1	24.3	17.0	188.200	1.37	147.84

\* These values are for general guidelines only. They should be checked using actual site conditions.

## 2.4 OVERVIEW OF FENDER TYPES AVAILABLE BASED ON ENERGY RANGE REQUIRED

The following chart indicates the fender products available to cover particular energy ranges. It also points out the features and benefits of the various fender types.

ENERGY RANGE (Tonne-m)	FENDER TYPE	FEATURES	BENEFITS	RESTRICTIONS	REF. PAGE
50 & Larger	 Epsshield V-Flex	A high efficiency fender which features rubber encapsulated steel mounting plates in its base. Rubber covered, slotted bolt holes are included. Available in a range of standard sizes and lengths.	High energy absorption capacity is obtained while minimizing the reaction load. No exposed metal and a secure mounting ensure low maintenance and a durable installation. Easily installed and the range of available lengths will fit most designs.	There are length restrictions.	
20 to 50	Epsshield V-Flex	SEE ABOVE			
	 Super Cylinder	Good performance characteristics are achieved. Fender can roll for even wear. It is available in a wide selection of sizes.	Allows a wide range of ship sizes to use the pier. It is durable and easily accessible for maintenance or replacement.	Require large stand off distances. Exposed mounting hardware.	
	 Large Profile Fenders	Easily adaptable to specific mounting requirements.	These low initial cost fenders are well suited for parallel berthing in well protected conditions.	Mounting hardware is exposed.	
10 to 20	Epsshield V-Flex	SEE ABOVE			
	Large Profile Fenders	SEE ABOVE			
	 Bucking Columns	Rubber encapsulated steel support plates. Good performance characteristics are achieved.	Excellent durability with no exposed metals. Mounted behind a protective fender pile system.	Cannot be used for direct contact.	
0 to 10	 Profile Fenders	A large selection of shapes and sizes.	Economical protection against wharf face damage.	Mounting hardware is exposed.	

## 2.5 OTHER FACTORS TO CONSIDER

Now that the fender design has been narrowed down to a couple of options, the designer must look at a number of other considerations and decide whether or not they are important in his design.

The following are a few common considerations:

### a) Fender Performance Characteristics

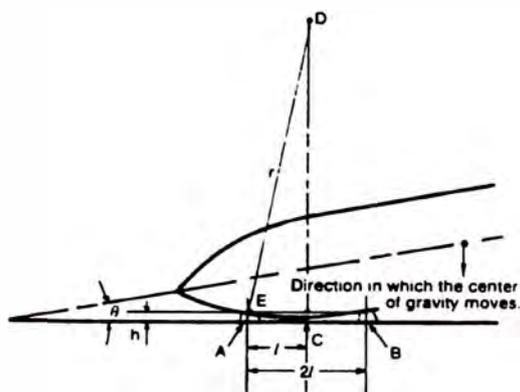
Not only must the fender design absorb the required berthing energy, but the designer must also consider the reaction loads that this system will impart to the structure. The reaction loads and their location may have a significant impact on the structure design. Generally the reaction loads are not a problem with gravity structures, however, with pile supported piers, the reaction loads may become critical to the design and may influence such things as batter pile locations and the rebar design.

### b) Fender Spacing

Fender spacing along the pier face is an important design consideration. Here the designer is trying to maximize protective pier coverage while minimizing the fendering costs. Three methods are standardly used.

- i) Fender spacing of not more than 1/10 the length of the design vessel.

ii) From the design vessel's geometry:



with the above configuration, the following formula can be developed:

$$2l = 2 \sqrt{r^2 - (r - h)^2}$$

where:

$r$  = the bent radius of the ship's hull at the contact line.

$h$  = the compressed height of the fenders at their rated deflection.

Some typical bow bent radius values are shown below. Exact values from the design vessel should be used.

Approach Angle	Contact Line	General Cargo 10,000 DWT	General Cargo 30,000 DWT	Ore Carrier 35,000 DWT	Tanker 50,000 DWT
1°	Load Line	209	230	240	240
	Upper Deck	155	200	360	240
5°	Load Line	54	70	85	110
	Upper Deck	53	70	100	85
10°	Load Line	44	60	70	75
	Upper Deck	40	65	55	60

Units: Meters

iii) From the site conditions.

The fender spacing can be determined using the wind and current forces and equating them to the fender reaction forces. Use the following formula:

$$N = \frac{R_a + R_c}{R}$$

Where:

- N = Number of fenders required
- R<sub>a</sub> = Load due to wind (see below)
- R<sub>c</sub> = Load due to current (see below)
- R = Fender Reaction at rated deflection

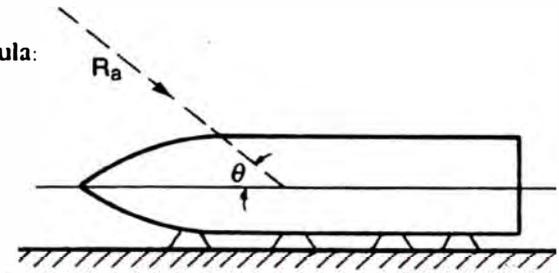
#### Wind Loads

The wind loads can be calculated using the following formula:

$$R_a = 1/2 \times d_a \times (V_w)^2 \times C_w \times (A \cos^2\theta + B \sin^2\theta)$$

Where:

- R<sub>a</sub> = Force due to wind (kg)
- d<sub>a</sub> = Force of air ( = 0.12 kg. sec<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>)
- V<sub>w</sub> = Wind Velocity (m/sec)
- C<sub>w</sub> = Wind pressure coefficient
- A = Area of the front projection of the vessel above sea level (m<sup>2</sup>)
- B = Area of the side projection of the vessel above sea level (m<sup>2</sup>)
- θ = Angle of the wind direction relative to the centerline of the vessel.



The wind pressure coefficient is relative to the angle of wind direction as shown in the table below:

Wind Direction θ°	0°	20	40	60	80	100	120	140	160	180
C <sub>w</sub>	1.08	1.025	1.18	1.09	0.98	0.94	1.0	1.15	1.28	0.99

#### Current Loads

The loading on the vessel due to current pressure is calculated as follows:

$$R_c = 1/2 \times d_w \times C \times (V_c)^2 \times L \times D$$

Where:

- R<sub>c</sub> = Reaction load due to current (kg)
- d<sub>w</sub> = Water Force ( = 104.5 kg. sec<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>)
- C = Current Pressure Coefficient
- V<sub>c</sub> = Velocity of the current (m/sec)
- L = Vessel Length (m)
- D = Vessel Draft (m)

The Current Pressure Coefficient is relative to the angle of current direction and to the water depth to draft ratio.

Current Direction $\theta^\circ$	C		
	H/D = 1.1	H/D = 1.5	H/D = 7.0
0	0	0	0
20	1.2	0.5	0.3
40	3.1	1.3	0.6
60	4.1	2.1	0.8
80	4.6	2.3	0.9
100	4.6	2.2	0.8
120	4.0	1.8	0.7
140	2.8	1.3	0.5
160	1.0	0.5	0.3
180	0	0	0

H = Water Depth: D = Draft

### c) Normal Operations

#### i) Stand Off Distance

The allowable standoff distance will be governed by the loading/unloading activities and the normal operating procedures of the ship and pier while berthed. Operating constraints such as crane reach, roll, yaw and freeboard are major considerations in the design. The fenders must provide adequate protection yet accommodate the design.

#### ii) Vertical vs. Horizontal Mounting

There is an ongoing concern as to when the fenders should be mounted horizontally and when vertical. In general, vertically mounted fenders provide the best coverage for piers which experience tidal fluctuations. Where the operating procedures require that the vessel slide along the pier face, horizontal bolt-on fenders provide good protection. A combination of horizontal and vertical arrangements are often used.

#### iii) Tidal Variation

The change in water level due to tides will have a significant impact on the operation of the pier and consequently the pier design and the fender design as well. Protection in all cases must be achieved for both the largest and smallest ships.

#### iv) Range of Ship Sizes

While the energy absorption capacity of the fender system is chosen for the design vessel, the fender system should be suitable for the

full range of ships expected to use the facility. Fender stiffness on the smaller vessels may have an influence on the arrangement of the fenders. Also, if barges are to use the facility, special attention must be given to their fender requirements.

#### v) Frequency of Berthing

A high frequency of berthings normally justifies greater capital expenditures for the fender system.

### d) Accidental Impact

The fender system is less expensive than the dock structure and it should be recognized that damage to the fenders is less critical than to the vessel or the structure. The design should incorporate a reasonable level of energy absorbing capacity. If the fender system fails, it would be an advantage if the structure were designed so that it could inexpensively be repaired. The mode of failure of a fender and its effect on the dock structure should be considered.

### e) Ongoing Maintenance Costs

Maintenance costs can be an important factor and should be considered when analyzing the overall costs of the various fender options. Maintenance costs will vary with fender type.

### f) Ease of Installation

A well designed fender system will be as easy to install as possible. This will minimize initial capital costs and reduce down the road maintenance costs.

### 3.0 CONVERSION TABLES

#### Distance

From	To	Factor	Reciprocal
inch	mm	25.4	0.03937
ft.	m	0.3048	3.2808
Yd.	m	0.9144	1.09361

#### Velocity

From	To	Factor	Reciprocal
cm/sec	ft./min.	1.969	0.508
cm/sec	ft./sec.	0.0328	30.48
Knot	ft./sec.	1.689	0.592
miles/hr	ft./min.	88.0	0.0114
miles/hr	Km./hr.	1.609	0.6215
m/sec	ft./sec.	3.281	0.3048

#### Force

From	To	Factor	Reciprocal
Kg	lbs.	2.205	0.454
Kips	lbs.	1000.0	0.001
Kips	tonnes	0.454	2.205
Tons (long)	lbs.	2240.0	0.000446
Newtons	lbs.	0.225	4.45
Kg	Newtons	9.807	0.102

#### Energy

From	To	Factor	Reciprocal
ft.-Kips	Tonne-Meters	0.1383	7.235
ft.-lbs.	Newton-Meters	1.356	0.738
Tonne-Meters	KN-Meters	9.807	0.102

#### Pressure

From	To	Factor	Reciprocal
lbs./ft. <sup>2</sup>	Kg/m <sup>2</sup>	4.882	0.2048
lbs./ft. <sup>2</sup>	psi	0.006944	144.0
psi	Kg/m <sup>2</sup>	702.9	0.00142
tonne/m <sup>2</sup>	Kips/ft. <sup>2</sup>	0.2048	4.882
tonne/m <sup>2</sup>	KN/m <sup>2</sup>	9.807	0.1020
Kips/ft. <sup>2</sup>	KN/m <sup>2</sup>	47.86	0.02090

#### 4. FENDER OPTIONS

Using the total berthing energy calculated in part 3 as a guideline, review available fender products and narrow down the number of possible options to two or three. Refer to "Fender Overview Guide" sub-section 2.4 in the Engineering section.

	OPTION 1	OPTION 2
Fender Type (make, model)		
Energy Absorption/unit (from literature)		
Quantity Required = E/Energy absorbed per unit		
Reaction Load (from literature)		
Cost Estimate:		
1. Rubber Fenders (Supply & Install)		
2. Hardware (Supply & Install)		
3. Maintenance Costs		
4. Other Costs (Modifications for mounting, fender piles, frames, etc.)		

## **5. ANALYSE THE OPTIONS**

Do a detailed review of the two or three options making sure to consider any special circumstances or requirements. Refer to sub-section 2.5 for additional factors to consider.

## **6. FINAL DESIGN**

Specification  
should include:

1. Performance requirement for the fender  
in terms of energy and reaction
2. Material specification for the rubber
3. Part dimensions
4. Fastening details

## MÓDULOS DE REACCIÓN DEL SUELO (CONOCIDO TAMBIÉN COMO COEFICIENTE DE BALASTO O MODULO DE WINKLER)

Esta es una tabla con diferentes valores del modulo de reacción del Suelo (conocido también como Coeficiente de Balasto o Modulo de Winkler) en función de la resistencia admisible del terreno en cuestión.

Estos Valores de la constante elástica del terreno están dados en  $\text{Kg/Cm}^3$  y la Resistencia del suelo debe ser en  $\text{Kg/Cm}^2$ .

Esta tabla es un resumen de diferentes trabajos en mecánica de suelos que han realizado el Prof. Terzaghi y otros cinco Ingenieros connotados (en diferentes épocas).

Esta tabla se extrajo de la Tesis de maestría "Interacción Suelo-Estructuras: Semi-espacio de Winkler", Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona- España. 1993 (Autor Nelson Morrison).

Modulo de Reacción del Suelo					
<b>Esf Adm</b> ( $\text{Kg/Cm}^2$ )	<b>Winkler</b> ( $\text{Kg/Cm}^3$ )	<b>Esf Adm</b> ( $\text{Kg/Cm}^2$ )	<b>Winkler</b> ( $\text{Kg/Cm}^3$ )	<b>Esf Adm</b> ( $\text{Kg/Cm}^2$ )	<b>Winkler</b> ( $\text{Kg/Cm}^3$ )
<b>0.25</b>	0.65	<b>1.55</b>	3.19	<b>2.85</b>	5.70
<b>0.30</b>	0.78	<b>1.60</b>	3.28	<b>2.90</b>	5.80
<b>0.35</b>	0.91	<b>1.65</b>	3.37	<b>2.95</b>	5.90
<b>0.40</b>	1.04	<b>1.70</b>	3.46	<b>3.00</b>	6.00
<b>0.45</b>	1.17	<b>1.75</b>	3.55	<b>3.05</b>	6.10
<b>0.50</b>	1.30	<b>1.80</b>	3.64	<b>3.10</b>	6.20
<b>0.55</b>	1.39	<b>1.85</b>	3.73	<b>3.15</b>	6.30
<b>0.60</b>	1.48	<b>1.90</b>	3.82	<b>3.20</b>	6.40
<b>0.65</b>	1.57	<b>1.95</b>	3.91	<b>3.25</b>	6.50
<b>0.70</b>	1.66	<b>2.00</b>	4.00	<b>3.30</b>	6.60
<b>0.75</b>	1.75	<b>2.05</b>	4.10	<b>3.35</b>	6.70
<b>0.80</b>	1.84	<b>2.10</b>	4.20	<b>3.40</b>	6.80
<b>0.85</b>	1.93	<b>2.15</b>	4.30	<b>3.45</b>	6.90
<b>0.90</b>	2.02	<b>2.20</b>	4.40	<b>3.50</b>	7.00
<b>0.95</b>	2.11	<b>2.25</b>	4.50	<b>3.55</b>	7.10
<b>1.00</b>	2.20	<b>2.30</b>	4.60	<b>3.60</b>	7.20
<b>1.05</b>	2.29	<b>2.35</b>	4.70	<b>3.65</b>	7.30
<b>1.10</b>	2.38	<b>2.40</b>	4.80	<b>3.70</b>	7.40
<b>1.15</b>	2.47	<b>2.45</b>	4.90	<b>3.75</b>	7.50
<b>1.20</b>	2.56	<b>2.50</b>	5.00	<b>3.80</b>	7.60
<b>1.25</b>	2.65	<b>2.55</b>	5.10	<b>3.85</b>	7.70
<b>1.30</b>	2.74	<b>2.60</b>	5.20	<b>3.90</b>	7.80
<b>1.35</b>	2.83	<b>2.65</b>	5.30	<b>3.95</b>	7.90
<b>1.40</b>	2.92	<b>2.70</b>	5.40	<b>4.00</b>	8.00
<b>1.45</b>	3.01	<b>2.75</b>	5.50		
<b>1.50</b>	3.10	<b>2.80</b>	5.60		



**NRMCA**

# ¿Qué, por qué y cómo? Grouts (Lechadas de relleno)

**EL CONCRETO EN LA PRÁCTICA**

**CIPes 22**

## ¿QUÉ es el grout?

El ACI<sup>1</sup> define el grout (*lechada de relleno*), como una "mezcla de material cementicio (*cementante*) y agua, con o sin agregados, dosificada para obtener una consistencia que permita su colocación sin que se produzca la segregación de los constituyentes".

Los términos "grout" y "mortero" son utilizados indistintamente de forma frecuente pero tienen diferencias bien claras. El grout no necesita tener agregados, mientras que el mortero contiene agregado fino. El grout se suministra con una consistencia que permite su colocación, mientras que el mortero no. El grout se utiliza para rellenar espacios vacíos, mientras que el mortero se utiliza para generar adherencia entre elementos, como en el caso de la construcción de albañilería (*mampostería*). El grout se identifica frecuentemente por sus aplicaciones. Algunos ejemplos son: Grout adherente para los cables de pretensado, grout para el barrenado de los pilotes excavados fundidos in situ, grout de mampostería y grout para prefabricados. El material de baja resistencia controlada (*relleno fluido*) es un tipo de grout.

## ¿POR QUÉ se emplea el grout?

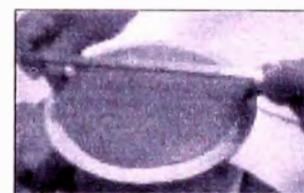
El grout se utiliza para llenar espacios o cavidades y garantiza la continuidad entre los elementos de la edificación. En algunas aplicaciones, el grout actúa con capacidad estructural. En proyectos donde se requieran pequeñas cantidades de grout, estas son dosificadas y mezcladas en el lugar. Generalmente cuando se necesitan grandes cantidades de este producto se solicita la asesoría del proveedor de concreto premezclado.

## ¿CÓMO se especifica el grout?

La Norma ASTM C476 para los grouts de mampostería, establece las dosificaciones por volumen lo cual resulta conveniente para pequeñas cantidades de grout mezcladas en la obra. Estos grout tienen un alto contenido de cemento y tienden a producir resistencias mucho más altas<sup>4</sup> que las especificadas en el ACI 530<sup>5</sup> o los Códigos que se utilizan como patrón.



**Cono de Fluidez (Flujo)**



**Mesa de Fluidez (Flujo)**

Cuando el grout se le solicita a un productor de concreto premezclado, las especificaciones deberán estar basadas en la resistencia a compresión y la consistencia. La conversión de la dosificación por volumen en dosificación por peso para cada yarda o metro cúbico está sujeta a errores y puede conducir a controversias en el trabajo.

Las especificaciones deben incluir la adición de cualquier aditivo que sea requerido para el grout. Las condiciones de entrega, tales como la temperatura, los límites de tiempo y la regulación sobre la adición de agua en el lugar, deben ser especificados. La frecuencia de ensayos y los métodos de aceptación también deben estar detallados en las especificaciones.

## ¿CÓMO se ensaya el grout?

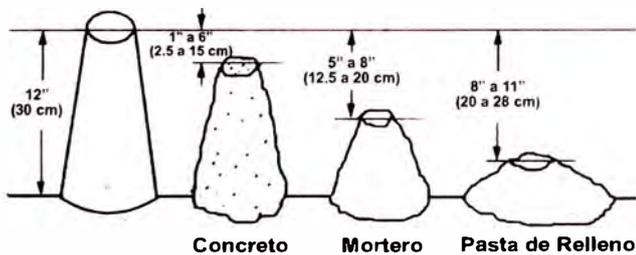
La consistencia de los grouts afecta su resistencia y otras propiedades. Es en extremo importante que la consistencia del grout permita el completo llenado de los espacios vacíos sin segregación de sus ingredientes.

La consistencia del grout de mampostería puede ser medida con un cono de asentamiento (ASTM C 143), y se sugieren los asentamientos de 8 a 11 pulgadas (20 a 28 cm). Esto es particularmente aplicable para grouts que contienen agregado grueso de ½ pulgada (12.5 mm), o más pequeños.

Para los grouts sin agregados, o sólo con agregado fino que pasa por el tamiz No. 8, la consistencia se determina mejor con un cono de fluidez (ASTM C 939). Para valores de fluidez que excedan los 35 segundos, utilice la mesa de fluidez según la ASTM C 109, modificada de manera que emplee 5 caídas en 3 segundos.

El grout de mampostería (*relleno de bloques*) para los ensayos de resistencia de los especímenes, debe ser vaciado en moldes formados por unidades de albañilería que tengan las mismas características de absorción y contenido de humedad que las unidades empleadas en la construcción de la obra (ASTM C 1019). Nunca utilice moldes cúbicos o cilíndricos no absorbentes para este propósito.

La resistencia de otros tipos de grout se determina utilizando cubos de 2 pulgadas de lado (5cm), según la ASTM C 942. El Método C 942 es el indicado para la preparación en el campo, distíngue la consistencia fluida y además proporciona un medio para determinar la resistencia a compresión de pastas de relleno que contienen agentes expansivos o grouts no fluidificados. Esto es extremadamente importante partiendo de que los grouts "expansivos" pueden perder sustancialmente resistencia a compresión si los cubos no están confinados. Sin embargo los especímenes cilíndricos de 6 x 12 in (150 x 300 mm) ó 4 x 8 in (100 x 200 mm), pueden dar resultados más confiables para grouts que contienen agregado grueso.



**Comparación de Asentamientos Típicos**

Los grouts de aplicaciones especiales frecuentemente requieren modificación de los procedimientos de ensayo normalizados. Todas estas modificaciones deben ser indicadas en las especificaciones y discutidas antes de comenzar el trabajo.

### Referencias

1. "Cement and Concrete Terminology", ACI Committee 116R. *ACI Manual of Concrete Practice*, Part 1.
2. Cementitious Grouts and Grouting, S.H. Kosmatka, Portland Cement Association, 1990.
3. ASTM C 476, "Standard Specification for Grout for Masonry" *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.05.
4. Hedstrom, E. G., and Hogan, M.B., "The Properties of Masonry Grout in Concrete Masonry", *Masonry: Components to Assemblages*, ASTM STP 1063, ed. John H. Matthys, 1990, pp. 47-62
5. "Building Code Requirements for Masonry Structures (ACI 530-88/ASCE 5-88) and Specifications for Masonry Structures (ACI 530.1-88/ASCE 6-88)", *ACI - ASCE standards*, American Concrete Institute/American Society of Civil Engineers, 1988.
6. ASTM C 143 "Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete", *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04-02.
7. ASTM C 939 "Test Method for Flow of Grout for Preplaced Aggregate Concrete (Flow Cone Method)" *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02
8. ASTM C 1019. "Standard Method of Sampling and Testing Grout", *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.05
9. ASTM C 942. "Standard Test Method for Compressive Strengths of Grouts for Preplaced-Aggregate Concrete in the Laboratory", *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02
10. ASTM C 109, "Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars", *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.01.



Información Técnica preparada por  
**National Ready Mixed Concrete Association**  
 900 Spring Street  
 Silver Spring, Maryland 20910

Si existen dudas sobre la terminología utilizada en el presente documento, está disponible un glosario de términos en nuestra página web [www.nrma.org](http://www.nrma.org) para su consulta.

©National Ready Mixed Concrete Association  
 Todos los derechos reservados.

Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida de cualquier forma, incluyendo el fotocopiado u otro medio electrónico, sin el permiso por escrito de la National Ready Mixed Concrete Association

Traducción en convenio con la



Federación Interamericana de Ingenieros Químicos, F.I.Q.

## Sikadur® 42, Grout-Pak

### Sistema epóxico para grouting

#### Definición

##### General

**Sikadur® 42, Grout-Pak**, es un mortero epoxico de tres componentes, 100% sólido, de alta resistencia y de consistencia autonivelante para grouting.

##### Usos

- Grouting de precisión de maquinaria y estructuras
- Grouting bajo equipos, incluyendo maquinaria con fuerte vibración e impactos, motores, compresores, bombas, molinos, chancadores, etc.
- Grouting bajo rieles de servicio pesado, etc.

##### Ventajas

- Listo para usar, juego predosificado
- Tolerante a la humedad
- Sin retracción
- Autonivelante
- Alta resistencia al impacto
- Alta resistencia química
- Alta resistencia a compresión
- Alta resistencia a la vibración
- Rápida adquisición de resistencia
- Excelente adherencia, incluso en superficies húmedas.

#### Datos Básicos

##### Almacenamiento

Dos años en su envase original bien cerrado en lugar fresco y bajo techo, a temperaturas entre 5°C y 35°C. Acondicionar el producto antes de su empleo a 18 - 24°C

##### Presentación

Juego (A +B +C) de 26,65 kg

#### Datos Técnicos

##### Densidad

A +B+C : 2,0 kg/dm<sup>3</sup>

##### Resistencias

- Resistencia a compresión ( Probeta RILEM 4x4X16 cm)
  - 1 día : 740 kgf/cm<sup>2</sup>
  - 14 días: 950 kgf/cm<sup>2</sup>
- Resistencia a flexotracción ( Prcbeta RILEM 4x4X16 cm)
  - 1 día : 300 kgf/cm<sup>2</sup>
  - 14 días: 310 kgf/cm<sup>2</sup>
- Resistencia inicial a compresión ( Probeta RILEM 4x4X16 cm)

Edad (horas)	Temperatura		
	10 °C	20°C	30°C
4			314
6		194	528
8		319	610
15	213	650	800
18	272	729	866
24	280	744	907

##### Pot life ( 20° C)

50 minutos

#### Aplicación

##### Consumo

Aprox. 2 kg de **Sikadur® 42, Grout-Pak**, por litro de relleno

## Preparación de las superficies

### Hormigón :

Al momento de aplicarse **Sikadur® 42, Grout-Pak** el hormigón debe encontrarse limpio, exento de polvo, agua, partes sueltas o mal adheridas, sin impregnaciones de aceite, grasa, pintura, etc. El hormigón debe tener su resistencia de diseño ( mínimo 20 Mpa) y estar estable en sus dimensiones.

Se requiere de un espesor mínimo de 2,5 cm bajo la placa para anchos de hasta 40 cm y un mínimo de 5 cm para anchos de hasta 80 cm.

Para una adecuada limpieza es recomendable el uso de chorro de arena u otros métodos mecánicos tales como pulidora, gratas de acero, un tratamiento enérgico con escobilla de acero, picado etc.

### Metales :

Deben encontrarse limpios, sin óxido, grasa, aceite, pinturas, etc. Se recomienda un tratamiento con chorro de arena a metal blanco para obtener la máxima adherencia.

Para prevenir la formación de bolsas de aire, se recomienda que la placa base tenga perforaciones de ventilación en su periferia o en cualquier otro lugar de difícil acceso para el grout.

### Moldaje:

La consistencia fluida de **Sikadur 42, Grout-Pak** requiere del uso de moldajes alrededor de la placa base para mantener el producto en su lugar hasta su endurecimiento. Para prevenir filtraciones o absorción selle completamente el moldaje. Aplique polietileno o una cera para prevenir la adherencia del grout al moldaje.

El moldaje debe quedar a lo menos 5 cm sobre el nivel inferior de la placa para facilitar la colocación. Utilizar un buzón para facilitar el vaciado y escurrimiento del grout.

El uso de juntas de expansión es recomendable en extensiones largas para minimizar el riesgo de fisuras en el grout ( máximo 0.75 - 1 m en cada dirección)

**Instrucciones de mezclado** Mezclar totalmente los envases A y B de **Sikadur® 42, Grout-Pak**, por dos minutos en un tercer recipiente limpio y seco, con un taladro de bajas revoluciones ( 400 – 600 rpm), cuidando de no incorporar aire durante el mezclado. Agregar lentamente el componente C en aprox. 70% inicialmente, mezcle cuidando de no incorporar aire, agregue el resto y continúe el mezclado hasta obtener una mezcla homogénea (aprox. 5 minutos).

**Limpieza de herramientas** Las herramientas e instrumentos deben ser limpiado inmediatamente con diluyente a la piroxilina.

**Método de aplicación** La colocación puede ser mediante carretillas o recipientes. La mezcla debe colocarse en forma continua y rápida, asegurándose de preparar la cantidad suficiente para cada aplicación.

Vaciar el mortero **Sikadur® 42, Grout-Pak** por un solo lado de la placa para eliminar aire atrapado, hasta que escurra hacia el lado opuesto. Pueden utilizarse varillas para facilitar la colocación.

La colocación debe asegurar el llenado completo de todos los espacios bajo las placas y lograr un íntimo contacto con todas las superficies.

Mantener el grout sobre el nivel inferior de la placa base para asegurar el íntimo contacto con el grout. El nivel del grout debe ser ligeramente superior al nivel de la superficie inferior de la placa base.

Cuando se emplee **Sikadur® 42, Grout-Pak** en grandes espesores, se debe aplicar en capas no superiores a 5 cm para evitar contracciones térmicas y aire atrapado.

### Notas sobre aplicación

- La temperatura mínima del ambiente y del sustrato debe ser de 10°C.
- Acondicionar el producto antes de su empleo a 18 - 24°C
- Espesor mínimo de grouting debe ser 2,5 cm
- Espesor máximo por capa debe ser de 5 cm
- La placa base debe ser protegida del sol directo y de la lluvia 24 horas antes y 48 horas después de la colocación del grout.
- El componente C debe ser mantenido seco.
- Mezcle el juego completo, sin subdividir los componentes.

## Instrucciones de seguridad

# Construcción

## Precauciones de Manipulación

Evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase utilizando guantes de goma natural o sintética, anteojos de seguridad y mascarillas con filtro para vapores orgánicos. En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua. En general, en caso de emergencia contacte al CITUC, FONDO: **635 38 00**

## Ecología

No disponer el producto en el suelo o cursos de agua, sino conforme a las regulaciones locales y previa neutralización. Para mayor información, solicite la hoja de seguridad del producto

## Observaciones

Las indicaciones que anteceden están basadas en ensayos que consideramos seguros y son correctas de acuerdo a nuestra experiencia. Sin embargo, no pudiendo controlar las condiciones de aplicación, no nos responsabilizamos por daños, perjuicios o pérdidas ocasionadas por el uso inadecuado de los productos.

Aconsejamos al usuario determinar previamente si estos son apropiados para el uso particular propuesto. Nos reservamos el derecho a efectuar cambios a fin de adaptar nuestros productos a los niveles más altos de la tecnología.



**Sika**®

Sika SA Chile  
Av. Pdte. Salvador Allende 85  
San Joaquín  
Santiago

Tel. 2-5106510  
Fax 2-5523875  
www.sikachile.cl



CERTIFICACION  
**ISO 9001**  
**ISO 14001**