

SECCION XII

CONDICIONES DE PERMANENCIA DE LA NAVE EN EL TERMINAL MULTIBOYAS

12.1 CONDICIONES DE DISEÑO DEL TERMINAL

El diseño de un amarradero de boyas considera tres aspectos imprescindibles:

- La profundidad en el lugar del amarradero debe ser adecuada para el calado de los buques que operan en el mismo, dejando un espacio suficiente entre la quilla y el fondo marino. El Terminal Submarino Punta Arenas cumple este requisito porque la profundidad en el amarradero es de 12.5 metros y en el trayecto de aproximación desde el fondeadero alcanza los 35 metros.
- Durante su permanencia en el amarradero, el buque debe quedar con su manifold al costado del extremo de mar de las tuberías, señalado por el boyarín de la troncal, para poder conectarse al tren de mangas por el que se efectuara la transferencia de carga líquida. En el Terminal Submarino Punta Arenas el Inspector de Embarque indica al Práctico la posición en que debe quedar el buque respecto de las líneas submarinas.
- Durante su permanencia en el amarradero, la proa del buque debe estar orientada hacia la dirección signifiante de donde proviene la resultante de las fuerzas ambientales que actúan sobre el buque, que en este caso es el 210°.
- El buque debe fondear con las dos anclas, para que las fuerzas de retención del dispositivo de amarre sean simétricas, con 3 puntos de sujeción a proa y 3 puntos de sujeción a popa.



Estas características de diseño determinan, y las boyas colocadas simétricamente alrededor de la posición en que debe quedar el buque amarrado, permiten que en un estado de mar normal, la suma de esfuerzos, fuerzas y de momentos en el dispositivo de amarre sea cercana a cero, manteniendo al buque en condiciones seguras.



ESTUDIO DE MANIOBRAS DEL TERMINAL SUBMARINO MULTIBOYAS PUNTA ARENAS

12.2 EVALUACIÓN DE FUERZAS QUE ACTÚAN SOBRE UN BUQUE AMARRADO

El análisis de esfuerzos en un amarradero requiere la evaluación de las fuerzas ambientales (viento, olas y corrientes) y de los movimientos del buque amarrado debidos a dichas fuerzas, cada uno de los cuales produce esfuerzos variables cuya magnitud es directamente proporcional a la magnitud de los factores ambientales y al tamaño del buque amarrado.

Para el presente estudio se han evaluado los factores ambientales considerados como máximos permisibles para las maniobras de entrada y salida del buque con el fin de comprobar, si con dichos factores actuando sobre el buque, la resistencia de los elementos de sujeción del buque en el amarradero, es suficiente para mantener al buque amarrado en condiciones seguras.

Factores ambientales limite en el área de Punta Arenas-Talara

- Viento del 220° vel. 30 nudos (15 mts/seg)
- Corriente de 0.5 nudos (0.257 mts/seg)
- Olas 2.0 mts. de altura significativa, con, dirección al 030°

Los esfuerzos generados por los mencionados factores deben ser evaluados en forma individual y luego sumados para obtener el estado total de las fuerzas ambientales que son resistidas por los elementos de sujeción del amarradero, estableciendo un sistema de fuerzas contrapuestas en el dispositivo de amarre, y proporcionales al tamaño del buque, que deben mantenerse en equilibrio.

En un amarradero multiboyas, el esfuerzo total instantáneo es igual a la suma del esfuerzo producido por el movimiento oscilatorio del buque al ser movido por las olas, más el esfuerzo variable producido por las ráfagas de viento sobre el área del buque expuesta al viento y más el esfuerzo constante producido por la corriente sobre la superficie sumergida del casco.

A continuación se muestran las dimensiones del buque típico Panamax de máximo tamaño para luego determinar las cargas y esfuerzos producidos sobre el dispositivo de amarre por las fuerzas ambientales a través del buque:

DIMENSIONES PRINCIPALES DEL BUQUE TIPO DE MAXIMO TAMAÑO

Eslora (Length)	Largo	230 mts.	(755` pies)
Manga (Breath)	Ancho	32.2 mts.	(105` pies)
Puntal (Depth)	Alto	20mts.	(66` pies)
Calado (Draft)	Sumergido	10.36 mts.	(34` pies)
Desplazamiento		78,850. Tons.	

Superestructura (Castillo de popa)

- Ancho(Frontal) 28mts (92` pies)
- Largo (Lateral) 40mts (131` pies)
- Altura (Castillo) 20mts (66` pies)

Para tener una idea de la magnitud de esfuerzos sobre las boyas de amarre en condiciones adversas de mar, se presenta el cálculo de esfuerzos utilizando los valores máximos promedio de corrientes, olas y vientos, no obstante debe tenerse en cuenta que las condiciones de tiempo son variables y que las direcciones de vientos y corrientes pueden variar hasta direcciones opuestas a las normales.

ESTUDIO DE MANIOBRAS DEL TERMINAL SUBMARINO MULTIBOYAS PUNTA ARENAS

BUQUE TIPICO DE MÍNIMO TAMAÑO

La magnitud de los esfuerzos producidos sobre el dispositivo de amarre por un buque de mínimo tamaño, son de hecho mucho menores que los que produce un buque del máximo tamaño; sin embargo, la eslora del buque de tamaño mínimo determina que la longitud de las espías de amarre sea mayor para alcanzar las boyas de amarre por lo que debe efectuarse un análisis de este aspecto y al igual que las cadenas de las anclas del buque las cuales deben ser fondeadas en una posición más cercana para que su longitud sea apropiada. Habiendo evaluado los esfuerzos producidos en el amarradero por el buque más grande, la evaluación de condiciones de permanencia del buque más pequeño es de distancias y no de fuerzas.

DIMENSIONES PRINCIPALES DEL BUQUE DE MÍNIMO TAMAÑO

Eslora	(Length)	Largo	120 mts. (394 pies)
Manga	(Breath)	Ancho	19 mts. (62.3 pies)
Puntal	(Depth)	Alto	9.6 mts. (31.5 pies)
Calado	(Draft)	Sumergido	7.25 mts. (24 pies)

Desplazamiento = 18,835. Tons.



12.3 CALCULO DE ESFUERZOS SOBRE EL BUQUE AMARRADO

12.3.1 ESFUERZOS PRODUCIDOS POR LA CORRIENTE

Las fuerzas producidas por la corriente son normalmente tratadas como fuerzas constantes en el análisis de esfuerzos en el amarradero y pueden ser estimadas mediante un modelo de prueba o mediante cálculos.

Se utilizan modelos de prueba para predecir las cargas producidas por la corriente a fin de determinar las características de diseño del sistema de amarre en función de un modelo de casco sumergido de la unidad a prueba en el cual se determina también la contribución al esfuerzo producido por la corriente debido a los apéndices en el casco.

Debe tenerse cuidado que la dirección del flujo y su naturaleza en el modelo de prueba sea la misma que la del flujo a escala real.

Para los cálculos de esfuerzos producidos por corrientes marinas se requiere contar con datos de velocidad y dirección de corrientes obtenido durante el año en condiciones normales y en cada una de las cuatro estaciones del año. Cada medición debe ser efectuada en marea creciente y en vaciante.



ESTUDIO DE MANIOBRAS DEL TERMINAL SUBMARINO MULTIBOYAS PUNTA ARENAS

Para el cálculo de esfuerzos por corrientes se utiliza normalmente el método de probabilidad acumulativa en el cual se toma un específico porcentaje de tiempo en el que se ha tomado las observaciones para determinar el promedio y las variaciones atípicas del comportamiento del factor analizado. En el presente caso se utilizó mediciones puntuales de corrientes, tomadas en condiciones normales de tiempo.

Los datos de las mediciones efectuadas se han aplicado como una aproximación a la determinación de los efectos de la corriente sobre el buque amarrado y los esfuerzos que se producen en el amarradero como consecuencia de dichos efectos. El esfuerzo producido por corrientes se caracteriza por ser de naturaleza constante y de magnitud proporcional a la velocidad de la corriente y al área de la superficie sumergida del casco, siendo su efecto menor que el producido por el oleaje.

El cálculo que forma parte del análisis toma el componente de la corriente que actúa en la dirección de la línea de crujía y el componente de esfuerzos por corriente que actúa por la cuadra, para luego integrarlos como vectores componentes del vector resultante final de esfuerzos producidos por la corriente. Para el cálculo de esfuerzos se considera el buque de mayor tamaño que es el que genera mayores esfuerzos, el buque de menor tamaño no requiere de verificación.

12.3.1.1 DESARROLLO DEL CALCULO DE ESFUERZOS PRODUCIDOS POR LA CORRIENTE

Dimensiones del buque amarrado

Eslora	(Length)	Largo	230 mts.
Manga	(Breath)	Ancho	32 mts.
Puntal	(Depth)	Alto	20mts.
Calado	(Draft)	Max	10.30 mts.

1. Esfuerzo producido por una corriente que incide por la proa o la popa del casco sumergido se determina por la relación:

$$F_{cx} = K_{cx} * S_{cx} * V^2$$

Dónde:

F_{cx} = fuerza de la corriente en la proa

K_{cx} = coeficiente de esfuerzo de la corriente sobre la proa (2.89 N seg²/m⁴)

S_{cx} = superficie del casco sumergido incluyendo apéndices 11,155m²

V_c = velocidad de la corriente de diseño, (0.257 m/seg).

$$F_{cx} = 2.89 \text{ N seg}^2/\text{m}^4 * 11,155 \text{ m}^2 * (0.257 \text{ m/seg})^2$$

$$F_{cx} = 2,129.3 \text{ N} = 217.00 \text{ Kilos}$$

2. Esfuerzo de corriente producido por una corriente que incide sobre el costado del casco sumergido.

$$F_{cy} = C_{cy} * S_{cy} * V^2$$

Dónde:

F_{cy} = fuerza de la corriente sobre el costado.

K_{cy} = coeficiente de esfuerzo de corriente sobre el costado (72.37 N seg² /m⁴)

S_{cy} = superficie total del casco sumergido incluyendo apéndices, (m²).

V_c = velocidad de la corriente de diseño, k/nudos (m/seg).

$$F_{cy} = 72.37 \text{ N seg}^2/\text{m}^4 * 11,155 \text{ m}^2 * (0.257 \text{ m/seg})^2 = 53,520.5 \text{ N}$$

$$F_{cy} = 5.435 \text{ tons}$$

ESTUDIO DE MANIOBRAS DEL TERMINAL SUBMARINO MULTIBOYAS PUNTA ARENAS

NOTA:

Estas ecuaciones han sido desarrolladas para corrientes estimadas sobre cascos que tienen similar forma y tamaño que los de los buques tanque.

Para el cálculo de esfuerzos se considera la resultante aplicada sobre el centro de flotación

12.3.1.2 ESFUERZO RESULTANTE DE LA CORRIENTE (Fr)

En el cálculo del esfuerzo generado por una corriente transversal, que se muestra en el párrafo anterior, se muestra que una corriente de 0.5 nudos incidiendo por el costado del buque, produce un esfuerzo de 19.90 Tons, no obstante la corriente en el área de estudio tiene una dirección Norte e incide con un ángulo aproximado de 15° por la amura de estribor del buque.

Por lo que puede afirmarse que una corriente de 0.5 nudos que puede ser considerada una corriente de máxima velocidad en el área del amarradero produciría un esfuerzo resultante (Fr) sobre el buque de:

$$F_{cx} = 0,217 \text{ Ton}$$

$$F_{cy} = 5.435 \text{ tons}$$

$$F_{cr} = F_{cx} [(2\cos^2 \varphi) / (1 + \cos^2 \varphi)] + F_{cy} [(2 \sin^2 \varphi) / (1 + \sin^2 \varphi)]$$

Donde φ es el ángulo de incidencia de la corriente respecto a la línea de crujía del buque.

$$F_{cr} = 0.217 [(2\cos^2 30^\circ) / (1 + \cos^2 30^\circ)] + 5.435 [(2 \sin^2 30^\circ) / (1 + \sin^2 30^\circ)]$$

$$F_{cr} = 0.217 [(1.5) / (1 + 0.75)] + 5.435 [(0.5) / (1 + 0.25)]$$

$$F_{cr} = 2.36 \text{ toneladas}$$

Los datos que se exponen corresponden al esfuerzo producido por una corriente actuando sobre un buque amarrado a boyas. La velocidad y dirección de la corriente varían muy lentamente con los movimientos de marea, por lo que la corriente se toma como una constante para un determinado periodo de tiempo, considerándose como una fuerza permanente.

12.3.2 ESFUERZOS PRODUCIDOS POR EL VIENTO

Para el presente análisis se utilizó algunos datos de viento proporcionados por el Laboratorio de la Refinería Talara, los cuales fueron ordenados como promedios de mediciones horarias, de dirección y velocidad del viento, encontrando un comportamiento típico en dirección y en velocidad. La dirección de barlovento es del Suroeste desde la media mañana hasta el ocaso y del sureste el resto del tiempo, asimismo la velocidad del viento aumenta a partir del mediodía y disminuye a partir del ocaso presentándose algunos casos de fuertes vientos nocturnos.

La máxima velocidad significativa de viento determinada del análisis de los datos recibidos es de 15 metros/ seg, por lo que se ha utilizado ese valor para los cálculos pertinentes.

12.3.2.1 CÁLCULO DE ESFUERZOS PRODUCIDOS POR EL VIENTO

Los datos que se exponen corresponden al esfuerzo producido por el viento durante el tiempo que actúa sobre el buque.

ESTUDIO DE MANIOBRAS DEL TERMINAL SUBMARINO MULTIBOYAS PUNTA ARENAS

La velocidad de viento establecida como dato, es la velocidad máxima permisible, con el fin de calcular las condiciones de permanencia en el amarradero con las condiciones más adversas de tiempo.

DATOS:

Proa del Buque	210°
Dirección del viento predominante	220°
Velocidad del viento limite	15 mts/Seg
Superficies expuestas al viento	
Superficie frontal	850 m ²
Superficie Lateral	2,766.5 m ²

DETERMINACIÓN DE LA COMPONENTE TRANSVERSAL DE LA FUERZA DEL VIENTO (F_{vy})

$$F_{vy} = A_{Ly} * K * V^2$$

$$A_l = \text{Area lateral expuesta al viento} = 2,766.5$$

$$K = \text{Coeficiente de fuerza de viento lateral} = 0.615 \text{ N} * \text{seg}^2/\text{m}^4$$

$$V^2 = \text{Velocidad del viento} = 15 \text{ m/seg}$$

$$F_{vy} = 2,766.5 \text{ m}^2 * 0.615 \text{ N} * \text{seg}^2/\text{m}^4 * 225 \text{ m}^2/\text{seg}^2$$

$$F_{vy} = 39.02 \text{ Tons}$$

DETERMINACIÓN DE LA FUERZA DEL VIENTO EN PROA (F_{vx})

$$F_{vx} = A_f * K * V^2$$

$$A_f = \text{Area frontal expuesta al viento} = 850 \text{ m}^2$$

$$K = \text{Coeficiente de fuerza de viento lateral} = 0.615 \text{ N} * \text{seg}^2/\text{m}^4$$

$$V^2 = \text{Velocidad del viento} = 15 \text{ m/seg}$$

$$F_{vx} = \text{componente longitudinal de la fuerza del viento.}$$

$$F_{vx} = 850 \text{ m}^2 * 0.615 \text{ N} * \text{seg}^2/\text{m}^4 * 225 \text{ m}^2/\text{seg}^2$$

$$F_{vx} = 11.99 \text{ Tons}$$

ESFUERZO DE VIENTO RESULTANTE:

$$F_{vx} = 11.99 \text{ Tons}$$

$$F_{vy} = 39.02 \text{ Tons}$$

$$F_r = F_x 2 \cos^2 \phi / (1 + \cos^2 \phi) + F_y 2 \sin^2 \phi / (1 + \sin^2 \phi)$$

Reemplazando valores en la formula se obtiene:

$$F_r = 11.99 * 2 \cos^2 10 / (1 + \cos^2 10) + 39.02 * 2 \sin^2 10 / (1 + \sin^2 10)$$

$$F_r = 14.09 \text{ Ton}$$

Donde ϕ es el ángulo de incidencia del viento respecto a la línea de crujía del buque.

Por lo tanto la fuerza resultante (F_r) producida por el viento es:

F_r = 14.09 Tons, con un Angulo de incidencia de 10° a estribor de la línea de crujía del buque

12.3.3 FUERZAS PRODUCIDAS POR OLAS

El oleaje incidiendo por la amura, en la orientación actual del amarradero, tiene una mayor componente transversal la cual produce sobre el buque un efecto de deriva virtual que ocasiona considerables esfuerzos transversales que son soportados por el ancla del buque y las boyas de amarre del lado de estribor. La interacción entre las olas y una embarcación a

ESTUDIO DE MANIOBRAS DEL TERMINAL SUBMARINO MULTIBOYAS PUNTA ARENAS

flote produce fuerzas que actúan sobre la embarcación y que pueden ser convenientemente divididas en tres categorías.

Fuerzas de primer orden que oscilan a la misma frecuencia de las olas y que inducen movimientos de primer orden los cuales son conocidos como movimientos de alta frecuencia.

Fuerzas de segundo orden por debajo de la frecuencia de las olas que inducen movimiento de segundo orden conocido como movimientos de baja frecuencia.

Componente permanente de las fuerzas de segundo orden conocidas como la fuerza media de arrastre de la ola promedio.

12.3.3.1 MOVIMIENTO DEL BUQUE A LA FRECUENCIA DE LAS OLAS

El movimiento del buque a la frecuencia de las olas es una importante contribución a la carga total sobre el sistema de amarre particularmente en aguas poco profundas. Estos movimientos de frecuencia de olas pueden ser obtenidos por la información de un modelo de prueba en forma regular o mediante un análisis computarizado usando técnicas de tiempo o técnicas de dominio de frecuencias. La técnica de dominio de frecuencia que es más frecuentemente usada involucra primero la determinación de la amplitud de respuesta del operador (RAO) como una función de la frecuencia sobre todo el espectro de respuesta.

12.3.3.2 RANGO DE FRECUENCIA DE OLAS

El espectro de respuesta puede ser obtenido mediante la integración del RAO con un espectro de olas. A continuación el espectro de respuesta es integrado y su raíz cuadrática determina la respuesta (RMS). Finalmente, la respuesta significativa y máxima puede ser obtenida usando una apropiada distribución de factores.

Los movimientos del buque a la frecuencia de olas, tienen seis grados de libertad, vertical, corrida horizontal lateral, corrida horizontal longitudinal, cabeceo, guiñada y balance. Todas estas son consideradas normalmente en forma independiente de la rigidez del sistema de amarre.

12.3.3.3 FUERZA DE ARRASTRE DE LA OLA PROMEDIO

La fuerza de deriva producida por la ola promedio induce una componente permanente de las fuerzas de segundo orden de las olas. La determinación de la fuerza de deriva promedio requiere de un análisis avanzado del movimiento mediante programas computarizados o modelos de prueba.

12.3.3.4 MOVIMIENTOS DE BAJA FRECUENCIA DEL BUQUE

Los movimientos de baja frecuencia son inducidos por las componentes de baja frecuencia de las fuerzas de segundo orden de las olas, estas fuerzas siguen una ley cuadrática donde, en el caso de una ola regular, la fuerza es proporcional al cuadrado de la altura de la ola. Sin embargo, en el caso de olas irregulares los movimientos de baja frecuencia debido a fuerzas de segundo orden no se incrementarán tan rápidamente con la altura de las olas, como con las fuerzas por sí mismas desde que la resistencia al movimiento del buque debido a la inercia estática y al período de olas, también se incrementa con la altura de la ola. Esto significa que las fuerzas sobre el sistema de amarre no se incrementan tan rápidamente como las fuerzas sobre el buque.

La fuerza de arrastre en general son relativamente pequeñas en comparación con las fuerzas de primer orden; debido a esto, el movimiento de arrastre de olas no tiene un rol significativo en los movimientos en el plano vertical (balance, cabeceo, vertical) donde grandes fuerzas

ESTUDIO DE MANIOBRAS DEL TERMINAL SUBMARINO MULTIBOYAS PUNTA ARENAS

hidrostáticas de recuperación (como los momentos de adrizamiento de la nave y la fuerza de flotación) están presentes.

En el plano horizontal (corrida lateral, corrida longitudinal, giro horizontal), donde la única fuerza de recuperación presente se debe al sistema de amarre, el movimiento producido por las fuerzas de arrastre puede ser sustancial, esto es particularmente cierto en frecuencias cercanas a la frecuencia natural del amarradero. Por lo tanto en general, solamente bajas frecuencia de movimientos, se incluyen en el análisis de esfuerzos horizontales del sistema de amarre.

Los movimientos de baja frecuencia de un buque amarrado tienen influencia sobre los esfuerzos, desde que están dominadas por la respuesta de resonancia a la frecuencia natural del buque amarrado.

La amplitud de movimientos es dependiente de la rigidez del sistema de amarre y del denominado damping del sistema, por lo tanto una buena aproximación del damping es crítica para calcular movimientos de baja frecuencia.

Los métodos para predicción de movimientos de baja frecuencia están aún en grado de desarrollo. Este es un grado sustancial de incertidumbre del cálculo de damping en particular para grandes buques tanque.

La determinación de movimientos de baja frecuencia requiere programas de análisis computarizados avanzados de movimiento o modelos de prueba.

Los cálculos que se requieren para determinar con exactitud los esfuerzos producidos por el oleaje en función de las frecuencias de olas, las alturas máxima y mínima de olas y los valores de olas significantes, requiere de datos provenientes de observaciones localizadas en diferentes estaciones del año y establecer un apropiado sistema de cálculo computarizado, con gran número de variables que no podrían ser materia de este estudio

Sin embargo, es posible efectuar aproximaciones de efectos instantáneos con los valores más frecuentes en condiciones normales y con valores de máximo esfuerzo en condiciones de mar gruesa teniendo en cuenta observaciones de movimiento de buques y la reacción del sistema de amarre, que es lo que se ha efectuado con el presente estudio.

12.3.3.5 CÁLCULOS DE ESFUERZOS PRODUCIDOS POR EL OLEAJE

Para el desarrollo de los esfuerzos producidos por el oleaje sobre el buque amarrado, se ha tomado 2.0 metros, como altura máxima de ola significativa, con un periodo de 18 segundos y una dirección ortogonal del frente de olas 030°, actuando sobre el buque típico de 230 metros de Eslora.

A continuación se expone el desarrollo de los cálculos para determinación de los esfuerzos producidos, los cuales se basan en los criterios para diseño de amarraderos establecidos en el estándar internacional ANSI/API RP 2P 87, y utilizan curvas RMS para deducción de factores no lineales, las cuales se adjuntan para fines de comprobación

1. FUERZA DE TRASLACIÓN DE OLAS INCIDIENDO POR PROA

$$(H_s)_{REF} = H_s (L_{REF}/L)$$

$$(H_s)_{REF} = 6.56 (540/755) = 4.69 \text{ pies}$$

$$\text{De la Curva de la Figura N° 11. } (F_{mdx})_{REF} = 4.74 \text{ Klbs (2.156 Tn.)}$$

$$F_{mdx} = (F_{mdx})_{REF} \times (L/L_{REF})^2$$

$$F_{mdx} = 4.74 \times (755/540)^2 = 9.27 \text{ Klbs. (4.23 Tn.)}$$

ESTUDIO DE MANIOBRAS DEL TERMINAL SUBMARINO MULTIBOYAS PUNTA ARENAS

2. FUERZA DE TRASLACION DE OLAS INCIDIENDO POR EL COSTADO DEL BUQUE

De la Curva de la Figura N° 20

$$(F_{mdy})_{REF} = 23.25 \text{ Klbs (10.57 Tn)}$$

$$F_{mdy} = 23.25 (755/540)^2 = 45.46 \text{ Klbs (20.66 Tn.)}$$

3. FUERZA DE TRASLACIÓN RESULTANTE INCIDIENDO POR LA DIRECCIÓN NOMINAL DEL FRENTE DE OLAS.

$$(F_{mdx})_{REF} = 4.495 \text{ Klbs (curva Fig. 14)}$$

$$(F_{mdy})_{REF} = 13.79 \text{ Klbs (curva Fig. 17)}$$

$$F_{mdx} = 4.495 (755/540)^2 = 8.790 \text{ Klbs (3.99 Tn)}$$

$$F_{mdy} = 13.79 (755/540)^2 = 26.96 \text{ Klbs (12.25 Tn)}$$

$$F_{mdx} = \sqrt{8.79^2 + 26.96^2} = 28.36 \text{ Klbs (12.89 Tn)}$$

12.4 FUERZAS RESULTANTES SOBRE EL BUQUE AMARRADO PROA AL 210°

Como resultado de los cálculos efectuados se ha establecido las fuerzas resultantes producidas por los factores ambientales registrados, actuando simultáneamente sobre el buque amarrado, los cuales según los datos hidrográficos disponibles son los siguientes:

Corriente : Dirección predominante al 045° velocidad 0.5 nudos
Viento : Dirección predominante del 220° velocidad 25 nudos
Olas : Dirección predominante 030°, altura significativa 2.0 metros

Los vectores de esfuerzos producidos sobre el buque por fuerzas ambientales extremas han sido descompuestos en sus componentes longitudinal y transversal respecto al buque, con el fin de establecer las fuerzas que actúan sobre los ejes longitudinal ("X"), y transversal ("Y") a la línea de crujía del buque amarrado.

Para tal propósito se establece que, las fuerzas actuando por proa y por babor son positivas, mientras que las fuerzas ambientales que inciden por popa y por estribor del buque son negativas.

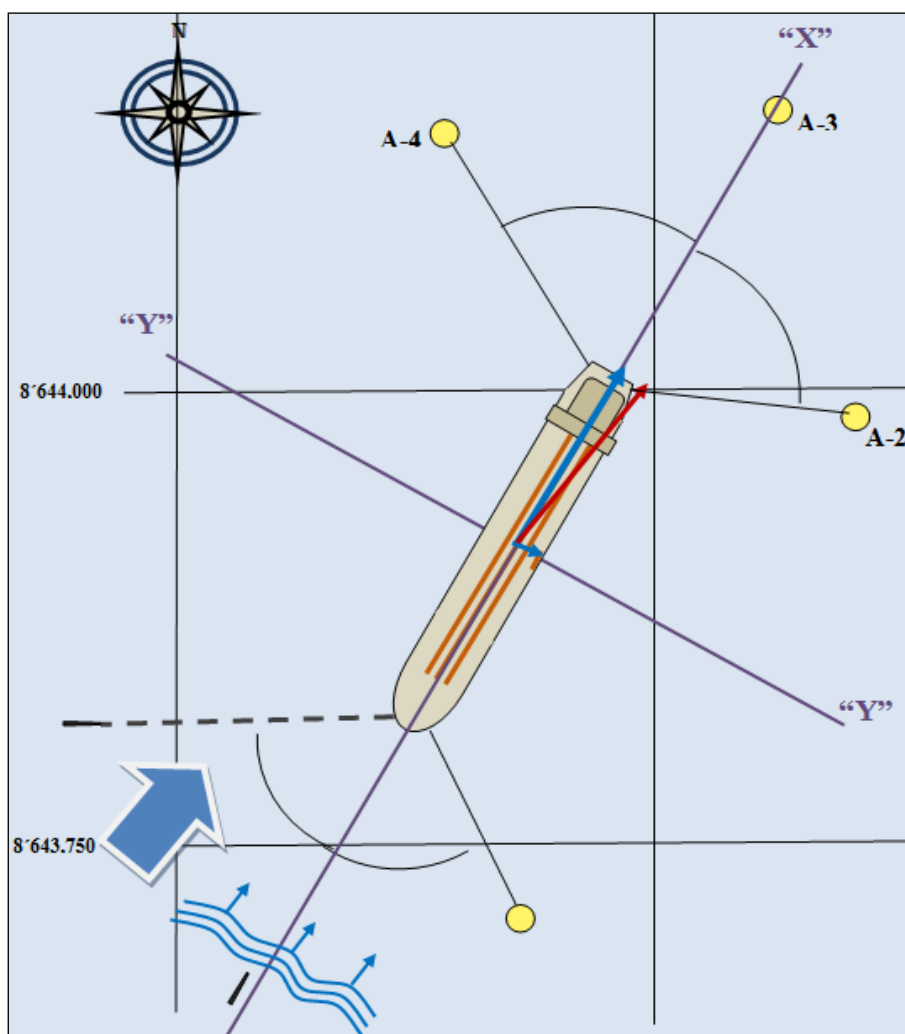
VECTORES RESULTANTES DE FUERZAS AMBIENTALES ACTUANDO SIMULTÁNEAMENTE SOBRE EL BUQUE AMARRADO

FUERZAS	EJE X	EJE Y	OBSERVACIONES
CORRIENTES	2.36 tons*cos 15° + 2.28 tons	2.36 tons*sen 15° -0.61 tons	La corriente NW, incide por estribor a 15° de la proa
VIENTOS	14.09 tons*cos 10° + 13.88 tons	14.09 tons*sen 10° - 2.45 tons	El viento del Oeste incide por estribor a 10° de la proa
OLAS	12.89 tons*cos 00° +12.89 tons	12.89 sen 00° 00 tons	El oleaje incide por la proa del buque
TOTALES	+29.05 tons	-3.06 tons	Fza resultante 29.21 tons

La resultante incide por proa estribor del buque amarrado con un ángulo de 6° desde crujía.

En el siguiente grafico se muestra la dirección de incidencia de los factores ambientales en el Terminal Submarino de Punta Arenas.

ESTUDIO DE MANIOBRAS DEL TERMINAL SUBMARINO MULTIBOYAS PUNTA ARENAS



La fuerza de traslación de olas no incide por la amura del buque cuando está amarrado, pero se presenta como una referencia para ser utilizada por el Práctico durante las maniobras de aproximación y de salida del terminal.

Factor de adaptación = 1.92

Hs máxima considerada = 2.5 metros = 8.2 pies

Entrando con Hs a la curva fuerza de deriva longitudinal

$$F_{mt\ x} = 10.1 \text{ Klbs}$$

Entrando con Hs a la curva de la fuerza de deriva transversal

$$F_{mt\ y} = 37.5 \text{ Klbs}$$

Para adaptar los valores obtenidos de las respectivas curvas al tamaño del buque propuesto se multiplica cada valor por el factor de adaptación (1.92):

$$F_{mt\ x} = (10.1)1.92 = 19.39 \text{ Klbs} = 8.80 \text{ ton}$$

$$F_{mt\ y} = (37.5)1.92 = 72.00 \text{ Klbs} = 32.66 \text{ ton}$$



ESTUDIO DE MANIOBRAS DEL TERMINAL SUBMARINO MULTIBOYAS PUNTA ARENAS

Calculando la fuerza resultante de los vectores longitudinal y transversal producida por la ola que incide por la amura con un ángulo de 45° de la crujía

$$F_{mR} = \sqrt{(8.80^2 + 32.66^2)}$$

$$F_{mR} = 33.82 \text{ tons.}$$

12.5 CALCULO DE VECTORES DE FUERZA EN LÍNEAS DE AMARRE

El cálculo de vectores de esfuerzo sobre las líneas de amarre, requiere el desarrollo de ecuaciones hiperestáticas basadas en la dimensión y magnitud de los esfuerzos producidos por factores ambientales y en la elasticidad del sistema.

Utilizando la curva de la figura 32 se determina la elasticidad de cada línea de amarre como a continuación se indica:

$$F = K \Delta x \rightarrow K = F/\Delta x$$

De la figura 32:

$$K = 196 \text{ klbs/30 pies} = 6.54 \text{ klbs/ pies} (9.75 \text{ Tn/m})$$

La resultante de las fuerzas ambientales en los ejes longitudinal (X) y transversal (Y), según cálculos realizados anteriormente se reducen a:

$$F_x = 19.91 \text{ Tn}$$

$$F_y = 3.63 \text{ Tn}$$

Por los ángulos en que actúan las fuerzas ambientales, se deduce que las espías de las boyas A3 y A4 no se tensan en los momentos de mayores esfuerzos como se puede apreciar.

Luego:

Cuando $SF_x = 0$

$$-F_1 \cos 67^\circ + F_2 \cos 44^\circ - F_5 \cos 60^\circ - F_6 + 19.91 = 0 \quad (1)$$

y cuando $SF_y = 0$

$$-F_1 \sin 67^\circ - F_2 \sin 44^\circ - F_5 \sin 60^\circ + 3.67 = 0 \quad (2)$$

$$F_1 = K D x_1 \quad (3)$$

$$F_2 = K D x_2 \quad (4)$$

$$F_5 = K D x_5 \quad (5)$$

$$F_6 = K D x_6 \quad (6)$$

$$\cos 67^\circ D x_6 = D x_1 \quad (7)$$

$$\cos 60^\circ D x_6 = D x_5 \quad (8)$$

$$S M_o = 0$$

$$-F_1 \sin 67^\circ + F_2 \sin 44^\circ + F_5 \sin 60^\circ = 0$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones se tiene que:

$$F_2 = 2.61 \text{ Ton}$$

$$F_1 = 8.868 \text{ Ton}$$

$$F_6 = 22.695 \text{ Ton}$$

$$F_5 = 11.348 \text{ Ton}$$

ESTUDIO DE MANIOBRAS DEL TERMINAL SUBMARINO MULTIBOYAS PUNTA ARENAS

12.5.1 FUERZAS ESTÁTICAS TOTALES PRODUCIDAS POR EL BUQUE AMARRADO

ESFUERZOS PRODUCIDOS POR FUERZAS AMBIENTALES SOBRE AMARRAS DE PROA

$F_1 = 8.868$ Ton.- Espías de proa babor

$F_6 = 22.695$ Ton.- Ancla de babor

$F_5 = 11.348$ Ton ancla de estribor

ESFUERZOS PRODUCIDOS POR FUERZAS AMBIENTALES SOBRE AMARRAS DE POPA

$F_2 = 2.61$ Ton.- Espías de popa babor,

$F_3 = 0.00$ Ton.- Espías en la boya de popa centro

$F_4 = 0.00$ Ton.- Espías de popa estribor

12.6 FUERZAS DINÁMICAS ACTUANTES

12.6.1 ESFUERZOS POR EL MOVIMIENTO LONGITUDINAL DEL BUQUE SOBRE AMARRAS DE POPA

Hasta aquí se han calculado los esfuerzos producidos por factores considerados casi constantes como la corriente, el viento y la fuerza producida por el deslizamiento de las olas sobre el casco.

Las olas son un factor que tiene características de movimiento armónico, multifrecuencias ya que cada ola tiene una amplitud, un período de paso, produciendo movimientos considerados como de alta frecuencia. Mientras que las olas sucesivas cambian en longitud y periodo en un determinado número de crestas, que constituyen un tren de olas, produciendo movimientos de frecuencia media, y los trenes de olas, a su vez, varían produciendo movimientos de baja frecuencia. Todos estos movimientos responden a un complicado sistema de frecuencias armónicas.

Como se ha explicado anteriormente, el movimiento oscilatorio del buque producido por la frecuencia variable de las olas es una importante contribución a la carga total sobre el sistema de amarre particularmente en aguas poco profundas. Estos movimientos de frecuencia de olas pueden ser obtenidos por observación regular de un modelo de prueba o aproximados mediante un modelo matemático computarizado usando técnicas de tiempo o técnicas de dominio de frecuencias. La técnica de dominio de frecuencia que es más frecuentemente usada involucra primero la determinación de la amplitud de respuesta del operador (RAO) como una función de la frecuencia sobre todo el espectro de respuesta.

Los movimientos del buque producidos por la frecuencia de olas, tienen seis grados de libertad, vertical, corrida horizontal lateral, corrida horizontal longitudinal, cabeceo, guiñada y balance. Todas estas son consideradas normalmente en forma independiente de la rigidez del sistema de amarre.

La aproximada evaluación de la mayor fuerza oscilante producida por el oleaje sobre el dispositivo de amarre del Terminal Submarino Multiboyas Punta Arenas, se ha determinado por el método de observación. Después de que un tren regular de olas de altura significativa pasa por la proa del buque, la catenaria de las cadenas; de las anclas así como la espía de la boya de proa babor se estiran al máximo, generando una fuerza de recuperación que impulsa al buque hacia adelante. Esto da lugar a la formación de una inercia hacia proa que es retenida por el esfuerzo compartido de las espías de popa.



ESTUDIO DE MANIOBRAS DEL TERMINAL SUBMARINO MULTIBOYAS PUNTA ARENAS

De la observación de ese movimiento con olas de 2.0 metros se ha determinado que el buque es empujado hacia popa por el oleaje haciendo que se estiren la catenaria de las anclas y la espía de proa babor, generando un esfuerzo de creciente recuperación elástica de estos elementos, el cual detiene al buque y lo hace moverse hacia proa cuando las fuerzas ambientales disminuyen.

La fuerza de reacción en popa es proporcional al desplazamiento del buque y a la amplitud de su movimiento por lo que los esfuerzos de las espías de popa en conjunto son similares a los esfuerzos de las anclas del buque y de la boya de proa babor, por lo que consideramos como supuesto que las boyas de popa resisten el mismo esfuerzo compartido de acuerdo a la geometría vectorial de dichas boyas (ángulo respecto a crujía)

$$F1\cos 67^\circ - F2\cos 44^\circ + F5\cos 60^\circ + F6 = 19.91$$

Por lo tanto la fuerza máxima de recuperación ejercida por las espías de popa se aproxima como a continuación se indica

FUERZAS EN LAS AMARRAS DE POPA

$$F_2 = (19.91 \cdot \cos 44^\circ) / 2 = 7.16 \text{ Espía de popa babor}$$

$$F_3 = (19.91 \cos 0.00) / 2 = 9.96 \text{ Espía en la boya de popa centro}$$

$$F_4 = (19.91 \cdot \cos 48^\circ) / 2 = 6.66 \text{ Espía de popa estribor}$$

12.6.2 EVALUACIÓN DE ESFUERZOS SOBRE EL DISPOSITIVO DE AMARRE DEL TERMINAL

Debido a la conformación del fondo marino y a la orografía costera, el oleaje siempre tendrá una dirección hacia el Nor Noreste (210°), con pequeñas variaciones hacia ambos lados la corriente tiene también una dirección predominante hacia el Nor Noreste, presentando en casos excepcionales (solo en tiempo de verano) una dirección hacia el Sur, Suroeste.

El viento tiene un patrón horario de comportamiento soplando del Sur durante la noche y a primeras horas de la mañana para cambiar a viento del Sur Suroeste y del Sureste en horas de la tarde, ocasionalmente en tiempo de verano el viento puede adoptar una dirección del Norte, pero con menor fuerza de lo normal.

Lo anteriormente expuesto determina que los esfuerzos producidos por los factores ambientales sobre el buque amarrado, actúan principalmente en sentido longitudinal mientras que, los mayores esfuerzos transversales, que son siempre menores que los esfuerzos longitudinales, se presentan cuando todos los factores ambientales tienen vectores de fuerza con su respectiva componente transversal del mismo sentido.

Los mayores esfuerzos longitudinales sobre el dispositivo de amarre se presentan cuando todos los factores inciden directamente por la proa del buque.

En el capítulo II se ha determinado los componentes vectoriales longitudinales y transversales de los vectores de fuerza de resistencia de los elementos de sujeción del amarradero, los cuales comparados con los vectores de esfuerzos producidos sobre el buque por los factores ambientales y resistidos por dichos elementos de sujeción del buque en el amarradero, permiten comprobar que los vectores de esfuerzos resistentes del amarradero son mayores que los esfuerzos actuantes producidos por el buque sobre estos.



ESTUDIO DE MANIOBRAS DEL TERMINAL SUBMARINO MULTIBOYAS PUNTA ARENAS

Esto hace evidente que aun en las condiciones más adversas de tiempo previsible de acuerdo a las estadísticas de 20 años, de olas, vientos y corrientes la resistencia de los elementos de sujeción del amarradero siempre será superior a los esfuerzos producidos sobre ellas por el buque amarrado.

A continuación se presenta la comparación de las fuerzas resistentes con las fuerzas actuantes en el dispositivo de amarre del Terminal Submarino Multiboyas Punta Arenas.

12.7 COMPARACIÓN DE FUERZAS EN EL DISPOSITIVO DE AMARRE

Resultante de fuerzas longitudinales resistentes en proa.- Total = 122.5 Ton
Esfuerzos máximos producidos por el buque sobre amarras de proa: 19 Ton

Resultante de fuerzas longitudinales resistentes en popa.- Total = 240.7 Ton
Esfuerzos máximos producidos por el buque sobre amarras de popa: 18.3 Ton

Resultante de fuerzas transversales resistentes en estribor.- Total = 118.00 Ton
Esfuerzos máximos producidos por el buque sobre amarras de estribor: 3.6 Ton.

Resultante de fuerzas transversales resistentes en babor.- Total = 185.46 Ton
Esfuerzos máximos producidos por el buque sobre amarras de babor: 3.6 Ton

La comparación de fuerzas resistentes y fuerzas actuantes en el amarradero demuestra que esta instalación tiene ventaja mecánica suficiente para resistir las condiciones más adversas de tiempo.

No obstante es necesario controlar la resistencia de las espías y reforzarlas en caso necesario cuando las condiciones de tiempo se tornan adversas.


Jorge O. FILINICH
CONSULTOR MARITIMO