



ESTUDIO DE MANIOBRAS DEL MUELLE DE CARGA LÍQUIDA DE TALARA

SECCION XI

METODOLOGIA DE CÁLCULO PARA DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE TRACCION REQUERIDA

11.1 DETERMINACION DE NECESIDAD DE APOYO DE REMOLCADORES

Los principales factores que determinan la necesidad de apoyo de remolcadores son:

- Características del área portuaria
- Tipo de instalación portuaria
- Tipo y características del buque
- Condiciones ambientales reinantes
- Método de asistencia de los remolcadores

A continuación se describen los principales factores que determinan la necesidad de apoyo de remolcadores:

11.2 REQUERIMIENTO DE TRACCION SEGÚN LAS CARACTERISTICAS DEL ÁREA Y TIPO DE INSTALACIÓN

Las características del Muelle y del área de maniobra son un factor invariable en la determinación de la capacidad de tracción requerida. En este caso el Muelle de Carga Liquida se encuentra en el sector Sur de la bahía de Talara donde el área de maniobra es reducida, estando la ruta de aproximación expuesta a los oleajes irregulares que se originan en el oeste y afectada por vientos del Sur, del Sursureste así como del sureste, y ocasionalmente del Sur suroeste, existiendo el antecedente de que en el año 2009, el B/T GALAHAD se asentó en el banco de arena al lado este de la enfilación frente a la playa San Pedro, debido a la acción de fuertes vientos del SW cuando ingresaba en lastre al Muelle de Carga Liquida, porque la fuerza de los remolcadores no fue suficiente para contener la deriva del buque producida por el viento, afortunadamente, debido a que la varadura se produjo en bajamar, el buque pudo ser liberado en 30' con el apoyo de los remolcadores, al ser reposicionados por el practico ambos a proa y deslastrando la nave.

La corriente marina no tiene mayor influencia durante la fase de aproximación; sin embargo, en las proximidades del frente de atraque, según el estado de marea, la corriente, puede tender a apartar o a acercar al buque al muelle por lo que el practico debe tomar precauciones en la maniobra de acercar el buque al frente de atraque una vez que este ha quedado paralelo al muelle, momento en que requerirá que los remolcadores empujen o jalen según las circunstancias para acercarlo al frente de atraque de la plataforma.

Cuando el viento del SSE y la corriente coinciden la tendencia del buque a apartarse del muelle aumenta, por lo que se requiere la fuerza de los dos remolcadores empujando por babor, para pegar el buque al muelle.

ESTUDIO DE MANIOBRAS DEL MUELLE DE CARGA LÍQUIDA DE TALARA

11.3 REQUERIMIENTO DE REMOLCADORES SEGÚN TIPO Y CARACTERÍSTICAS DEL BUQUE

El requerimiento de asistencia de remolcadores para una maniobra, influenciado por vientos, corrientes y olas, debe ser considerado con relación a las características del buque tales como, su tamaño, el calado en la maniobra y el consecuente espacio bajo la quilla, etc.

Asimismo, las características de maniobra de un buque pueden hacer variar el requerimiento de remolcadores en una forma positiva o negativa, mientras que los métodos y forma de uso de los remolcadores deben también ser tomados en cuenta para determinar la capacidad de tracción.

11.4 REQUERIMIENTO DE REMOLCADORES SEGÚN CONDICIONES AMBIENTALES REINANTES

Las condiciones ambientales variables conformadas por olas, vientos y corrientes que actúan sobre el buque, determinan una mayor o menor necesidad de fuerza de remolque para apoyar en la maniobra de entrada del buque al muelle, debiendo tenerse en cuenta que las fuerzas producidas sobre el buque por el oleaje son proporcionales a su desplazamiento, las fuerzas producidas por las corrientes son directamente proporcionales al área sumergida e inversamente proporcionales al espacio bajo la quilla, mientras que las fuerzas producidas por el viento son proporcionales al áreas del buque expuesta al viento e inversamente proporcionales al calado del mismo.

Por lo expuesto se puede afirmar con certeza que la fuerza de tracción de remolque requerida para apoyo a las maniobras es proporcional a la intensidad de los factores ambientales y al tamaño del buque que maniobra.

La visibilidad reducida en el área de operaciones, también se considera un factor de importancia con relación a la necesidad del apoyo de los remolcadores, sin embargo, en el caso que la niebla no permita visualizar con la debida anticipación las instalaciones a donde arriba el buque, este no deberá aventurarse a efectuar una maniobra en tales condiciones aun cuando la Autoridad competente no haya cerrado el Puerto.

11.5 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ASISTENCIA DE REMOLCADORES

Las fuerzas totales que actúan sobre un buque durante la maniobra deben en teoría ser compensadas por remolcadores, teniendo la fuerza de tracción total de los remolcadores, superar a la fuerza total generada por vientos corrientes y olas, sobre el buque que en el presente caso tienen mayor influencia en la maniobra.

Sin embargo, hay algunos factores importantes que deben ser tomados en cuenta tales como los que a continuación se indican:

Los remolcadores deben tener suficiente reserva de fuerza para empujar o jalar un buque contra el viento o la corriente, o para detener a un buque que está derivando, con suficiente rapidez para evitar que se genere una situación de peligro.

ESTUDIO DE MANIOBRAS DEL MUELLE DE CARGA LÍQUIDA DE TALARA

Sin embargo; los remolcadores no siempre pueden empujar o jalar en ángulo recto a un buque, por ejemplo durante la maniobra de arribo, un buque puede tener arrancada hacia delante, mientras el remolcador trata de empujar al buque transversalmente, lo cual da lugar a que la velocidad del buque disminuya la potencia efectiva del remolcador.

Los remolcadores empujando en la proa o en la popa del buque frecuentemente no pueden hacerlo constantemente, debido a que los movimientos de balance del buque dificultan el contacto. Cuando se producen movimientos de guiñada en el buque, el remolcador no debe jalar por proa por el lado de la guiñada, para no aumentar la caída del buque hacia ese lado.

Por otra parte, cuando el cabo de remolque no es lo suficientemente largo, la corriente producida por la hélice del remolcador que está jalando perpendicularmente, actúa sobre el casco del buque disminuyendo la efectividad del remolcador, este efecto puede evitarse utilizando una adecuada longitud de espía de remolque o un adecuado ángulo de empuje.

Las circunstancias expuestas hacen evidente la necesidad de establecer un factor de seguridad cuando se calculan las fuerzas de viento, corriente y olas actuando sobre un buque.

En los gráficos que se adjuntan se muestra la capacidad de tracción de remolque requerida para mantener un buque en posición, mientras actúan las fuerzas de viento por la cuadra, con corriente cruzada, y con olas que inciden lateralmente, incluyendo un factor de seguridad de 20%. Sin embargo, para remolcadores jalando por el costado un buque con arrancada, este factor de seguridad no es suficiente debido a la gran pérdida de eficiencia en la tracción.

11.6 FUERZA A SER COMPENSADAS POR TRACCION DE REMOLQUE

Durante la maniobra los factores ambientales tales como vientos, corrientes y olas, producen fuerzas sobre el buque que pueden desviarlo de la ruta establecida, por lo que deben ser compensados con un vector de compensación de corriente aplicado al rumbo y velocidad del buque navegando o por fuerza de remolcadores aplicadas sobre el buque maniobrando.

11.6.1 FUERZAS PRODUCIDAS POR EL VIENTO

Las fuerzas producidas por el viento sobre un buque pueden ser calculadas utilizando ecuaciones en las que intervienen los siguientes factores:

Fuerza longitudinal

$$F_{yw} = 0.6C_{yw} (\rho/76000) V^2 A_T \text{ Newton}$$

C_{yw} = Coeficiente de fuerza del viento transversal

C_{xw} = Coeficiente de fuerza del viento longitudinal

C_{xyw} = Coeficiente del momento de guiñada

ρ = densidad del aire en Kg/m³

V = Velocidad del viento en m/seg

A_L = Área lateral expuesta al viento en m²

A_T = Área del corte de sección transversal del buque perpendicular al viento.

A_{BP} = Longitud entre perpendiculares en metros

ESTUDIO DE MANIOBRAS DEL MUELLE DE CARGA LÍQUIDA DE TALARA

Fuerza Lateral

$$F_{yw} = 0.5 C_{yw} (\rho/76000) V^2 A_L \text{ Newton}$$

C_w = Coeficiente de fuerza del viento transversal

C_{xw} = Coeficiente de fuerza del viento longitudinal

C_{xyw} = Coeficiente del momento de guiñada

ρ = densidad del aire 1.223n Kg/m³ a 20° C

V = Velocidad del viento en m/seg

A_L = Área lateral expuesta al viento en m²

A_T = Área del corte de sección transversal del buque perpendicular al viento.

L_{BP} = Longitud entre perpendiculares en metros

La condición en que el viento incide transversalmente sobre el buque, se produce normalmente con vientos del SW cuando el buque transita sobre la línea de enfilación y con viento del SE en la fase de acercamiento al frente de atraque, y durante la maniobra de amarre.

En el puerto de Talara, la máxima velocidad de viento en los últimos 15 años fue de 25 nudos (12.6 m/seg.) proveniente del Suroeste, por lo que asignando al coeficiente C_{yw} un valor de 1.0 y a la densidad del aire un valor de 1.28Kg/m³, se obtiene la fuerza transversal producida por la máxima velocidad esperada de viento, sobre un buque tanque en la fase de aproximación.

A continuación se presenta como modelo los cálculos de esfuerzos producidos por el viento, para un buque de 193 metros de eslora, que es el máximo tamaño de buque que puede ingresar al Muelle de Carga Liquida de Talara.

MODELO DE CÁLCULO FUERZA PRODUCIDA POR EL VIENTO SOBRE UN BUQUE TIPO PANAMAX

Un buque Tipo Panamax de 193 metros de eslora, total, 190 metros de eslora entre perpendiculares, y un puntal de 18 metros, que ingresa al terminal en lastre con un calado de 8 metros, ha sido tomado como modelo para el cálculo por ser el máximo tamaño de buque que ha ingresado al Terminal en los últimos dos años.

Para fines de estudio se calcula, cuál hubiera sido la fuerza transversal producida por el viento sobre este buque, si hubiera ingresado en lastre, con un calado de 8 metros y a su arribo se hubiera presentado un viento de 25 nudos (12.87 m/seg).

$$F_{yw} = 0.5 C_{yw} \rho V^2 A_L \text{ Newton}$$

$$A_L = 10m * 190m = 1,900$$

$$F_{yw} = 0.5 * 1.0 * 1.28Kg/m^3 * 165.6m^2 /seg^2 * 1,900m^2 = 201.37 \text{ kNewtons}$$

20.5 toneladas fuerza

El modelo de cálculo demuestra que 20.5 toneladas fuerza serían producidas solamente por el efecto de un viento de 25 nudos, actuando perpendicularmente sobre la banda de babor del buque, sin considerar el efecto de la corriente por lo que este buque para ser controlado en una maniobra de ingreso se requeriría de una fuerza de tracción de por lo menos 43.2 toneladas, solamente para compensar la fuerza del viento transversal, considerando que la fuerza efectiva de un remolcador es el 60% de la fuerza disponible.

ESTUDIO DE MANIOBRAS DEL MUELLE DE CARGA LÍQUIDA DE TALARA

Utilizando el mismo principio, si se conoce el área del buque expuesta al viento y la fuerza de remolque disponible, se puede determinar la velocidad del viento que genera los esfuerzos que podrían ser controlados por la fuerza de remolque aplicable, que como se ha indicado es aproximadamente un 60% de la capacidad total de la fuerza de remolque disponible, que se considerará de 60 toneladas para fines de estudio conformada por dos remolcadores de 30 toneladas cada uno, por lo que la fuerza total aplicable sería de 36 toneladas correspondientes a un total de 60 Tons de fuerza de tracción disponible.

A continuación se presenta como modelo, un cálculo de la máxima velocidad de viento transversal al buque, tipo escogido, que podría ser controlada con una disponibilidad total de fuerza de tracción de 60 toneladas.

$$(F_{yw}) = (60 \text{ tons} \times 60\% = 36 \text{ Ton})$$

$$F_{yw} = 0.5 C_{yw} \rho V^2 A_L \text{ Newton}$$

$$V^2 = F_{yw} \text{ Newton} / 0.5 * C_{yw} * \rho * A_L$$

$$V^2 = (36 \text{ Ton} * 9.81 \text{ m/seg}^2) \text{ kNewtons} / (1,900 \text{ m}^2 * 0.5 * 1.0 * 1.28 \text{ Kg/m}^3)$$

$$V^2 = 353.16 \text{ kNewtons} / 1,900 \text{ m}^2 * 0.5 * 1.0 * 1.28 \text{ Kg/m}^3$$

$$V^2 = 253,160 \text{ Newton} / 1,216.0 \text{ m}^2 / \text{seg}^2$$

$$V = \sqrt{208.2} = 14.43 \text{ m/s}$$

$$V = 28.0 \text{ nudos}$$

Por lo anteriormente expuesto se puede afirmar que disponiendo de un total de 60 toneladas de bollard pull, un buque que presenta un área expuesta al viento de 1,900 m², puede ingresar al terminal con una fuerza de viento máxima de 28. nudos, sin considerar la influencia de la corriente.

El Práctico deberá calcular en cada caso, la máxima velocidad del viento con la que puede entrar el buque, teniendo en cuenta el área del buque expuesta al viento, la dirección y velocidad de la corriente, la influencia de las olas y la capacidad de remolque disponible.

Si la suma vectorial de las fuerzas generadas por el viento, la corriente y las olas iguala o supera a la máxima velocidad calculada para la fuerza de remolque disponible, el buque no deberá entrar al terminal.

FUERZA LONGITUDINAL PRODUCIDA POR EL VIENTO

$$F_{xw} = 0.5 C_{xw} \rho V^2 A_T \text{ Newton}$$

La fuerza del viento que incide longitudinalmente por la proa del buque, se produce, cuando el buque se aproxima al terminal navegando hacia el Sur.

Los estudios hidrográficos efectuados, indican que la máxima velocidad de viento esperada es de 25 nudos (12.9 m/seg), proveniente del SSW (por la proa del buque). Por lo que asignando al coeficiente C_{xw} un valor de 1.0 y a la densidad del aire un valor de 1.28 Kg/m³, y calculando el área transversal (A_T) del buque se obtiene la fuerza longitudinal producida por el viento sobre un buque tanque en la aproximación al Muelle Carga Líquida.

ESTUDIO DE MANIOBRAS DEL MUELLE DE CARGA LÍQUIDA DE TALARA

A continuación se presenta un modelo de cálculo, del esfuerzo generado por un viento de 25 nudos (12.87 m/seg) incidiendo longitudinalmente por la proa de un buque tipo Pánamax de 193 metros de eslora máxima, con 18 metros, de puntal y 32.2 metros, de manga, que ingresa a puerto con un calado de 8 metros, por lo que su francobordo era de 10 metros, con una altura del castillo de popa sobre cubierta de 15.0 metros.

$$F_{XW} = 0.5 C_{XW} \rho V^2 A_T \text{ Newton}$$

$$A_T = (15 \cdot 28 + 32.2 \cdot 10) \text{ m}^2 = 742 \text{ m}^2$$

$$F_{XW} = 0.5 \cdot 1.0 \cdot 1.28 \text{ Kg/m}^3 \cdot 165.76 \text{ m}^2 / \text{seg}^2 \cdot 806. \text{ m}^2 = 78.676 \cdot 85.505. \text{ KNewtons}$$

$$F_{XW} = 7.9 \text{ toneladas}$$

Esta fuerza incide directamente por la proa del buque por lo que es compensada durante el trayecto hasta el muelle por la fuerza de propulsión del buque.

Como se puede observar, la fuerza ejercida por un viento Longitudinal de 25 nudos, que es la mayor velocidad de viento con la que se permite operar en el Muelle de Carga Líquida, no llega a 08 toneladas y durante la maniobra de atraque esta puede ser compensada por la fuerza de tracción disponible.

MOMENTO DE GUIÑADA

De forma similar a la mostrada en los ejemplos que anteceden, el Práctico podrá calcular el momento de guiñada del buque producido por el viento utilizando la siguiente formula.

$$M_{yx} = 0.5 C_{Yw} \rho V^2 A_L L_{BP} \text{ Newton-metro}$$

Debe tenerse en cuenta que la fuerza lateral, la fuerza longitudinal y el momento de giro, tienen coeficientes que dependen de la forma del buque, del calado y de la escora, así como de la existencia de superestructuras como el puente el castillo de popa los mástiles, rampas, etc., y del ángulo de incidencia del viento.

Los coeficientes C_Y , C_X y C_{XY} difieren en cada buque y son determinados mediante modelos a escala en túneles de viento. Cada buque debe contar abordo con la información correspondiente a los coeficientes de fuerza de viento, para todos los ángulos de incidencia de viento y para ciertas condiciones de carga.

Las fuerzas laterales producidas por el viento, son evidentemente las más grandes y las que tienen mayor importancia en los cálculos de la capacidad de tracción requerida y el coeficiente para viento lateral C_{Yw} varía entre 0.8 y 1.0 con valores de 1.0 para el coeficiente C_{Yw} , de 1.28 Kg/m^3 para la densidad del aire y calculando el resultado en Kg fuerza en lugar de Newtons, la fórmula para fuerzas laterales de viento puede ser simplificada a $F_{YW} = 0.065 V^2 A_L \text{ Kgf}$.

Para mayor confiabilidad, un margen de seguridad de de 20 a 25% debe ser añadido a la formula descrita resultando la siguiente fórmula práctica para estimar la capacidad de tracción requerida para contrarrestar vientos laterales: **$F_w = 0.08 V^2 A_L \text{ Kgf}$** .

El gráfico que se presenta a continuación, se basa en esta fórmula donde:

$$1 \text{ mt./seg} = 2 \text{ nudos.}$$

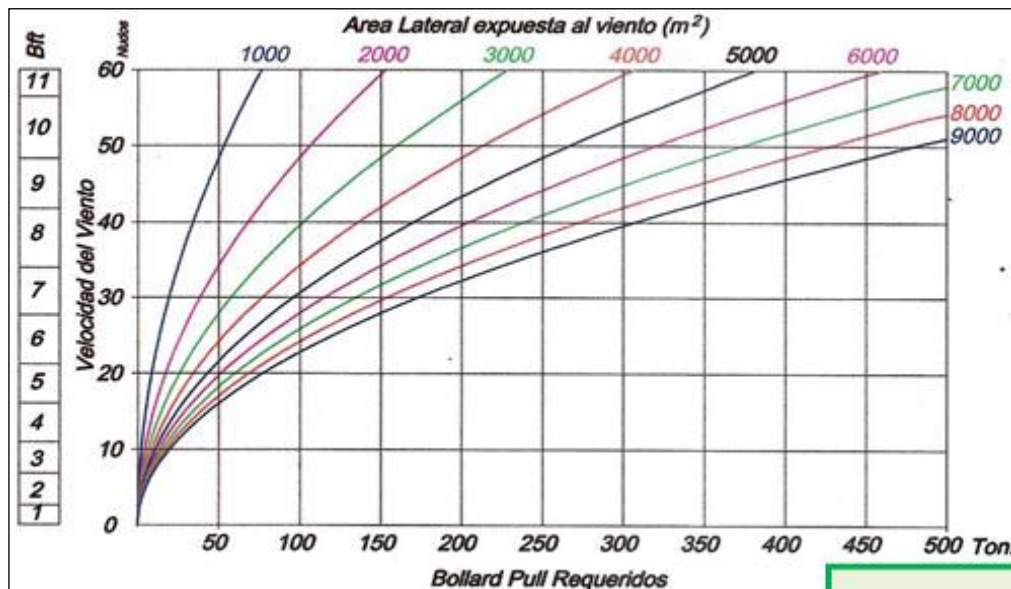
ESTUDIO DE MANIOBRAS DEL MUELLE DE CARGA LÍQUIDA DE TALARA

Habiéndose aplicado un factor de seguridad de 20% que se incluye, en la fórmula es en algunos casos más grande debido a que el coeficiente de fuerza natural del viento tiene valor 1.0, siendo frecuente el valor de 0.8. El gráfico que se muestra es válido solamente para remolcadores que están jalando a un buque por el costado con una espía larga por lo que no se considera el efecto cuando producido por la corriente del remolcador incidiendo sobre el casco del buque.

Este gráfico permite al práctico calcular directamente la velocidad del viento con la que puede ingresar al Muelle, considerando el área lateral del buque expuesta al viento y el total de bollard pull disponible. Para vientos que no inciden por el costado del buque, la fuerza requerida para compensar su efecto puede ser aproximada en función de la capacidad de tracción requerida para vientos que inciden por la cuadra.

En la práctica se puede observar que, cuando el ángulo de incidencia del viento está entre la cuadra y aproximadamente a 30 grados adelante o atrás de la cuadra la capacidad de tracción requerida es casi la misma que para vientos que inciden por la cuadra. En general el momento de giro es máximo cuando el viento incide por la amura o por la aleta a 45° de la línea de crujía, pero el efecto producido también depende de otros factores tales como, tipo de buque, condiciones de carga, inclinación longitudinal del buque y volumen de carga sobre cubierta, etc.

Debe tenerse en cuenta que los vientos no soplan constantemente con la misma fuerza, ya que las velocidades de viento fluctúan continuamente, por lo que la velocidad del viento no puede ser considerada como constante; sin embargo, la velocidad del viento, que puede experimentar aumento y disminución, debe ser registrada por un anemómetro apropiadamente instalado, en el área de operaciones y a 10 metros de altura sobre el nivel del mar, con un sistema de registro que permita almacenar en forma permanente los datos de viento, a fin de que el Terminal cuente con la mejor información para efectuar los cálculos que se requieren para dar seguridad a las maniobras.



ESTUDIO DE MANIOBRAS DEL MUELLE DE CARGA LÍQUIDA DE TALARA

Si se considera necesario, el factor de ráfagas puede ser aplicado tentativamente para encontrar la relación entre la velocidad del viento promedio y las máximas velocidades de ráfagas para cortos periodos de tiempo.

ALTURA Y VELOCIDAD DEL VIENTO

La velocidad del viento también varía con la altura como se puede ver en la figura 6.11.1.4, que se basa en la relación matemática:

$$V_w = v_w (10/h)^{1/7}$$

En la relación matemática:

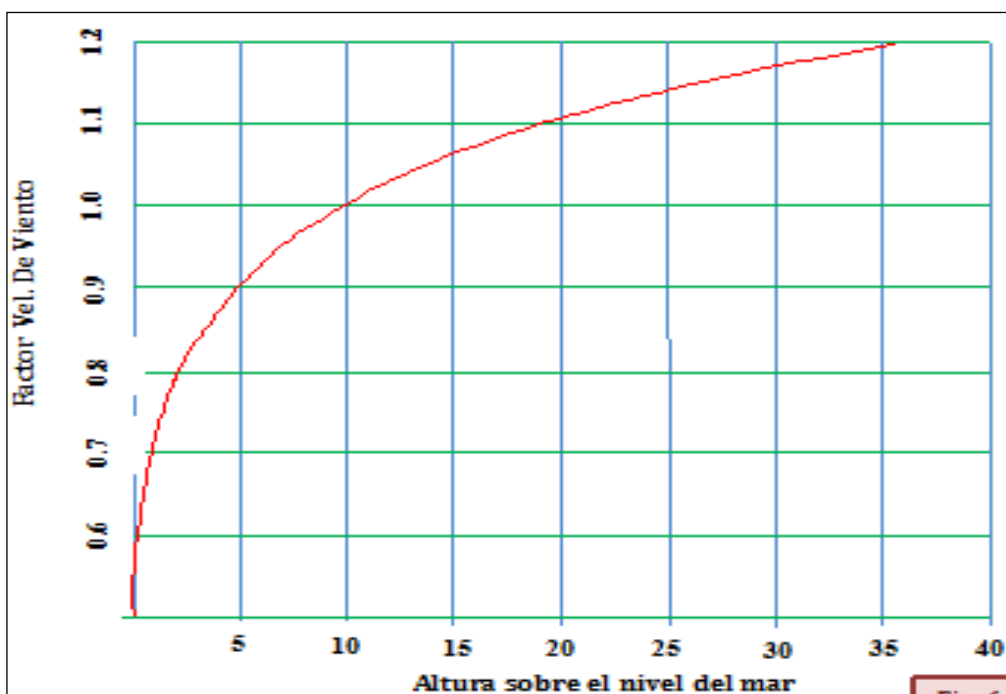
$$V_w = v_w (10/h)^{1/7}$$

V_w = a Velocidad del viento a 10 metros de altura

v_w = a Velocidad del viento a la altura h

h = altura sobre la superficie del agua en metros.

Esta ecuación puede ser utilizada por los Prácticos y por el Inspector de Embarques para calcular la fuerza del viento a alturas mayores de 10 metros, utilizando como base la velocidad del viento medida a 10 metros de altura a la que se le aplica el factor de corrección $V_w (10/h)^{1/7}$



Por otra parte las lecturas de viento proporcionadas por el anemómetro instalado en el tope del mástil del buque deben utilizarse como una aproximación segura para la evaluación de la fuerza lateral producida por el viento y de la fuerza de tracción requerida. Los Prácticos deben tener en cuenta que el buque deriva por influencia del viento cuando la fuerza del viento actúa sobre su área expuesta al viento y no es compensada con un rumbo de compensación de deriva o por la acción de los remolcadores.



ESTUDIO DE MANIOBRAS DEL MUELLE DE CARGA LÍQUIDA DE TALARA

11.6.2 FUERZAS GENERADAS POR CORRIENTES

Las fuerzas generadas por corrientes que actúan sobre el buque pueden ser calculadas en forma similar a las fuerzas generadas por el viento para tal propósito se utilizan las formulas establecida por el OCIMF.

Fuerza lateral

$$F_{Yc} = 0.5 C_{Yc} \rho V^2 L_{BP} \text{ T Newton}$$

Fuerza longitudinal

$$F_{Xc} = 0.5 C_{Xc} \rho V^2 L_{BP} \text{ T Newton}$$

Momento de Giro

$$M_{XYc} = 0.5 C_{XYc} \rho V^2 L_{BP}^2 \text{ T Newton metros}$$

Dónde:

C_{Yc} = Coeficiente de fuerza corriente lateral

C_{Xc} = Coeficiente de fuerza corriente longitudinal

C_{xy} = Coeficiente de momento de giro producido por corriente

ρ = Densidad del agua en Kg/m^3

V = Velocidad de la corriente en m/seg.

L_{BP} = Eslora entre perpendiculares en metros

T = Calado

Los coeficientes C_{Yc} , C_{Xc} , y C_{XYc} difieren en cada buque debido a las diferentes formas de obra viva del casco, mientras que el calado, la inclinación longitudinal y el ángulo de incidencia de la corriente son también afectados por la magnitud del espacio bajo la quilla, la cual tiene un fuerte efecto sobre los mencionados coeficientes, que son determinados usando modelos de escala en tanques de prueba para determinar la fuerza de tracción requerida para compensar fuerzas trasversales producidas por una corriente perpendicular.

El coeficiente de fuerza lateral (C_Y) para corrientes perpendiculares en aguas profundas es de aproximadamente 0.6. Este coeficiente, entre otros, ha sido proporcionado por OCIMF para buques tanque cargados.

Cuando el coeficiente C_{Yc} equivale a 0.6, teniendo en cuenta que la densidad del agua salada es 1.025 Kg/seg, se adiciona un 25% por pérdida de efectividad de remolcadores, obteniendo un resultado en Kg en lugar de Newtons.

A continuación se muestra la formula simplificada para calcular la fuerza de tracción aproximada que se requiere para compensar corrientes cruzadas en aguas profundas:

$$F_c = 40 V^2 L_{BP} \text{ T kgf}$$

Esta fórmula es válida solamente para aguas profundas cuando la profundidad es mayor de 6 veces el calado del buque, debiendo tener en cuenta que después de salir del fondeadero, durante la fase de aproximación al Muelle de Carga Liquida, el buque navega en profundidades entre los 100 y los 14 metros.

Cuando el buque navega del fondeadero hasta la boya exterior del canal de entrada la corriente incide por la banda de estribor y cuando navega por la línea de enfilación, la corriente actúa generalmente por popa, pero cuando cae a estribor para ponerse paralelo al

ESTUDIO DE MANIOBRAS DEL MUELLE DE CARGA LÍQUIDA DE TALARA

frente de atraque de la plataforma, la corriente puede incidir por estribor en marea creciente o babor en marea vaciante, apartando o acercando respectivamente al buque del frente de atraque.

Normalmente los buques que arriban al Muelle de Carga Liquida, vienen en lastre, por lo que el calado del buque tipo será de aproximadamente 8 metros, siendo de 10,7 metros el máximo calado permitido, por lo que tomando como modelo el máximo calado permisible, el espacio bajo la quilla variará entre los 89 metros y los 3.3 metros durante el trayecto.

Siendo de 14 metros la profundidad promedio en el frente de atraque del Muelle de Carga Liquida, el espacio bajo la quilla es aproximadamente un 31% del calado del buque, siendo de 0.5 nudos (0.257 m/seg.) la mayor velocidad de corriente esperada.

En este caso, una gruesa aproximación de la fuerza de tracción requerida para compensar la corriente transversal es:

$$F_c \text{ (kgf)} = 135 V^2 L_{BP} T$$

Donde

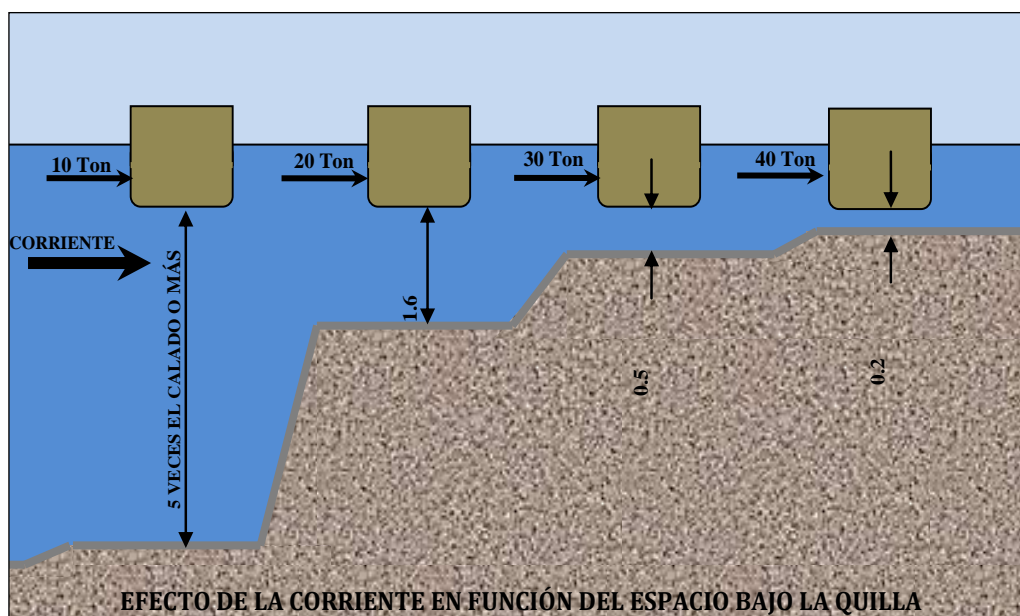
V = Velocidad de la corriente en m/seg.

L_{BP} = Eslora entre perpendiculares en metros

T = Calado

$$F_c = 135 * 0.066 \text{ m}^2/\text{seg}^2 * 190 \text{ m} * 10.7 \text{ m}$$

$$F_c = 18,114 \text{ kgf (15.68 toneladas fuerza)}$$



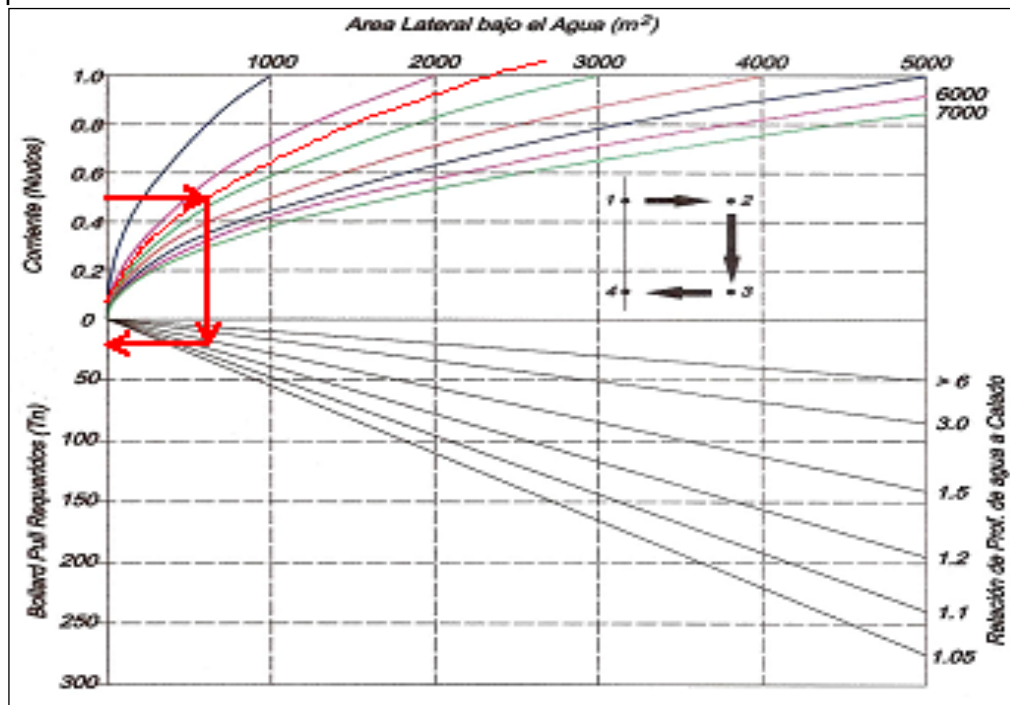
En la figura que antecede se muestra el efecto de reducir el espacio entre el casco del buque y el fondo del mar (underkeel clearance), con una corriente transversal. Empezando con una fuerza de 10 toneladas producida por una determinada velocidad de corriente, sobre la obra viva de un buque con un espacio bajo la quilla de 5 veces su calado o más, se observa que cuando este espacio disminuye, con la misma velocidad de corriente se produce un fuerte incremento de la fuerza generada por la corriente.

ESTUDIO DE MANIOBRAS DEL MUELLE DE CARGA LÍQUIDA DE TALARA

Asimismo, la velocidad de deriva disminuye cuando se reduce el espacio bajo la quilla. Debe tenerse en cuenta que el hecho que se produzca una menor velocidad de deriva no implica que se requiera una menor capacidad de tracción debido a que un buque derivando tiene que ser detenido y jalado a través del agua, considerando que parar un buque que está derivando y jalarlo a su posición original también requiere mayor fuerza en aguas poco profundas que en aguas profundas.

El gráfico, que se muestra a continuación, permite determinar la fuerza de tracción requerida para compensar la corriente transversal, en función del área lateral bajo el agua, la velocidad de la corriente, y la relación entre la profundidad y el calado del buque.

La profundidad frente al Muelle de Carga Liquida, es de 14 metros y se ha dispuesto que el máximo calado permitido sea de 10.7 metros, por lo que el mínimo espacio permitido bajo la quilla del buque es de 3.3 metros lo que permite un espacio suficiente para el paso de las corrientes sub-superficiales transversales, evitando que se produzcan tensiones excesivas por efecto de las corrientes submarinas.



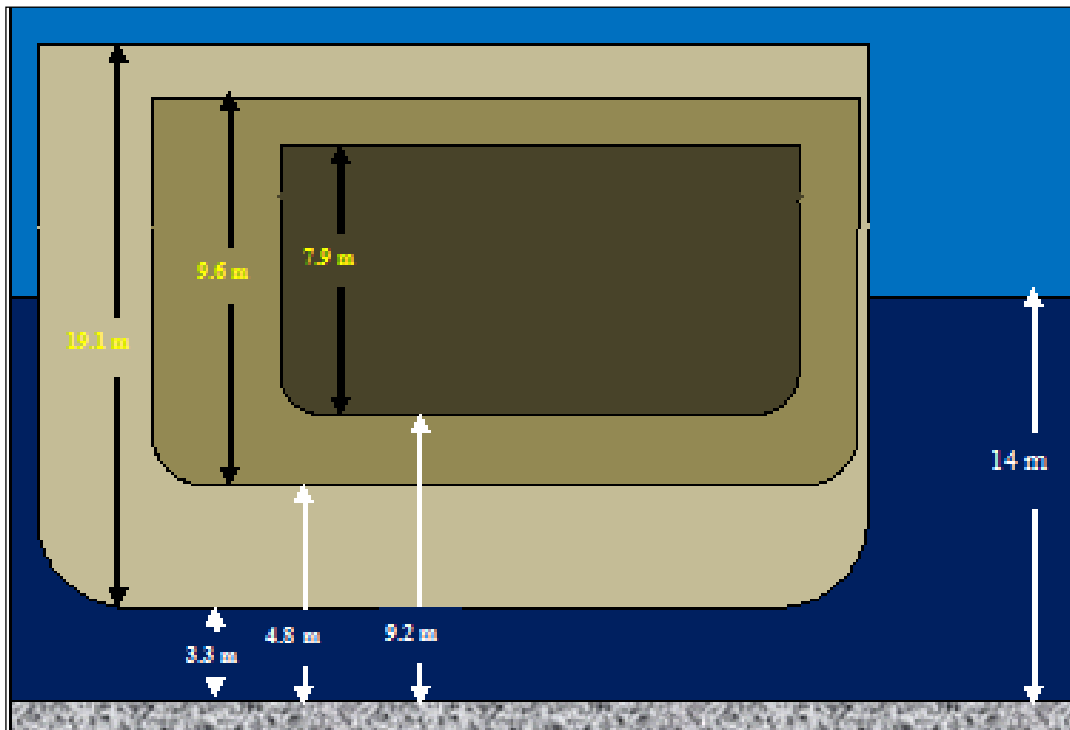
En el modelo del gráfico anterior se muestra (con flechas rojas), como una corriente de 0.5 nudos actuando sobre un buque de 190 metros de eslora entre perpendiculares y 10.7 metros de calado, genera una fuerza de aproximadamente 20 toneladas; sin embargo, las corrientes que actúan dentro de la bahía tienen valores máximos de 0.35 nudos en la aproximación y de 0.1 nudos en las proximidades del muelle.

La cantidad de agua que se mueve con el buque cuando está derivando, conocida como “masa virtual del buque” aumenta cuando disminuye el espacio bajo la quilla siendo necesario una capacidad de tracción adicional para jalar o parar al buque o jalar de retorno una nave que deriva hacia aguas poco profundas.

ESTUDIO DE MANIOBRAS DEL MUELLE DE CARGA LÍQUIDA DE TALARA

Cuando el buque llega al área de maniobra frente a la posición de amarre, la profundidad es de 14 metros y la corriente normal, incide lateralmente por babor, por lo que su efecto se suma al efecto del viento, quedando un espacio bajo la quilla de aproximadamente 3.3 metros.

El siguiente gráfico muestra la proporcionalidad de espacio bajo la quilla en estado de máxima carga de los tres tipos de buques que arriban al Muelle de Carga Liquida.



Otros efectos de la baja profundidad

No solo las fuerzas de corriente se incrementan considerablemente cuando disminuye el espacio entre la embarcación y el fondo. Cuando este espacio es pequeño, también tiene como resultado un mayor diámetro de giro, una disminución en la efectividad de la pala del timón y un incremento en la distancia para detenerse. Para compensar estos efectos, la ayuda de remolcadores permite maniobrar con seguridad cerca del muelle.

El espacio bajo la quilla también afecta considerablemente la duración del giro sobre el sitio del buque. Las fuerzas transversales que hay que superar, tanto a proa como a popa de la parte central del buque se incrementan cuando disminuye el espacio bajo la quilla. Consecuentemente, la duración del giro del buque aumenta, a no ser que se use una mayor fuerza de tracción.



ESTUDIO DE MANIOBRAS DEL MUELLE DE CARGA LÍQUIDA DE TALARA

11.6.3 FUERZAS PRODUCIDAS POR LAS OLAS

Para aproximar las fuerzas producidas por el oleaje, en principio se asume que el calado de un buque es lo suficientemente largo para reflejar por completo las olas.

Durante el transito sobre la línea de enfilación para aproximación al Muelle de Carga Líquida, el oleaje incide por la banda de estribor del buque, generando movimientos de balance que dificultan el empuje de los remolcadores que acompañan al buque por la banda de babor y movimientos de guiñada hacia estribor, que cambian el rumbo del buque el cual por tener una velocidad reducida no tiene capacidad de controlar el rumbo con el timón, por lo que requiere ser apoyado por un remolcador con cabo de remolque en proa babor.

En las proximidades del Muelle de Carga Líquida, el oleaje tiene un comportamiento distinto, especialmente en horas de pleamar, cuando una parte del oleaje refractado el Punta Rocallosa incide directamente por la popa del buque, mientras que la otra parte que se difracta en el bajo denominado "Isla Roca", se refleja en el muro de contención del terraplén e incide sobre la proa del buque, generando esfuerzos de apartamiento y de guiñada que deben ser compensados estando el buque paralelo al muelle, durante la maniobra de acercamiento al frente de atraque.

En el área marítima de bahía Talara, las olas significantes tienen una altura máxima de 1.0 metros y con una longitud de onda aproximada de 650 metros que aproximadamente son el triple de la eslora del buque.

Debido a que el casco del buque no es plano sobre su largo total y su calado, la fuerza total causada por un corto periodo de olas, sobre el buque es aproximadamente:

$$F_{\text{wave}} = 0.35 \rho g L \zeta_a^2 \text{ Newton}$$

Dónde:

ρ = Densidad del agua en Kg / m³

g = Gravedad

L = Largo de la línea de flotación o eslora entre perpendiculares

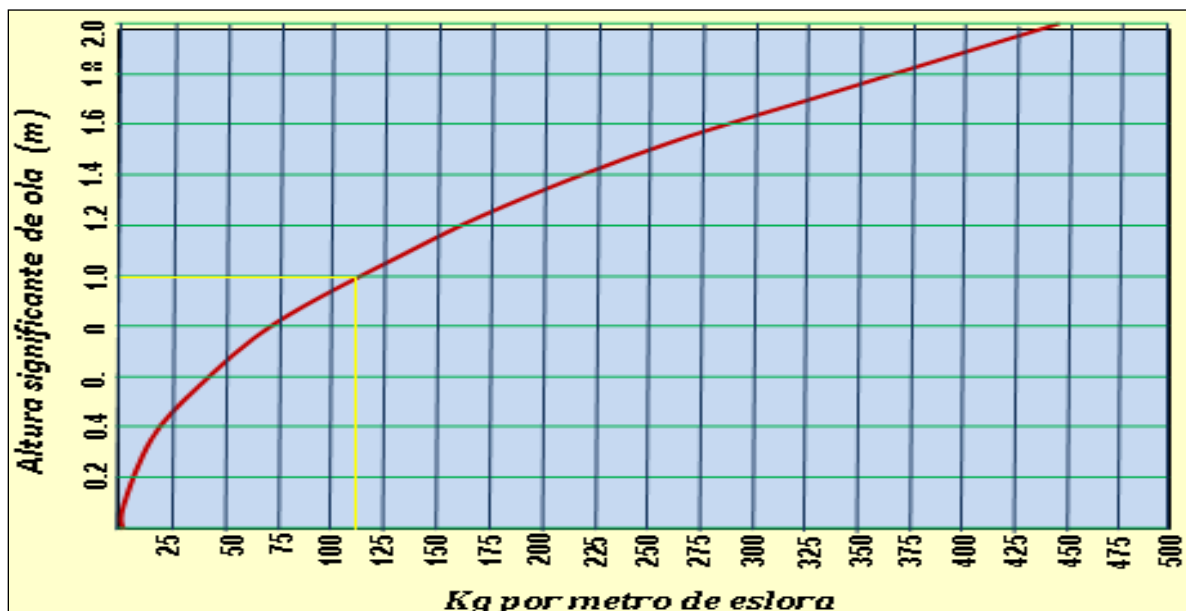
ζ_a^2 = Amplitud de ola (0.5 H_s)

El gráfico que se muestra en la siguiente página, detalla la relación aproximada entre la altura de ola y la fuerza producida por el oleaje en cada metro de eslora del buque, cuando la dirección del oleaje es perpendicular al costado del casco del buque.

A la fuerza producida por el oleaje, se le agrega otra vez, un margen de seguridad de 25%, y se convierte a kilogramos en lugar de Newton, tomando la amplitud de ola como altura de ola significativa.

En el ejemplo que sigue se reemplaza el valor de (L) por 185 metros que es la eslora entre perpendiculares del buque y el valor de (H_s) por la medida de la altura significativa de ola obteniendo la fuerza aproximada de tracción requerida para compensar el efecto de olas con una altura significativa de 1.0 metros sobre un buque de 220 metros de eslora.

ESTUDIO DE MANIOBRAS DEL MUELLE DE CARGA LÍQUIDA DE TALARA



$$F_{\text{wave}} = 112 L H_s^2 \text{ (Kgf)}$$

$$F_{\text{wave}} = 112 * 190 * (1.0\text{m})^2 \text{ Kgf}$$

$$F_{\text{wave}} = 21,280 \text{ Kgf} = 21.28 \text{ toneladas}$$

Sobre la base de esta fórmula, la capacidad de tracción requerida es representada en el gráfico, en el ejemplo el buque tiene una eslora entre perpendiculares de 190 metros, y el alto de ola estimado es de 1.0m por lo que bajando perpendicularmente a la escala horizontal desde la intersección de la línea horizontal de 1.0 metros de altura de ola, con la curva, se puede leer el factor Kg / metro correspondiente a altura de ola, por lo que la máxima fuerza de olas incidiendo por el costado de un buque de 190 m de LPP será de:

$$F_{\text{wave}} = 112 * 190 = 21,280 \text{ Kgf}$$

Dependiendo de las condiciones ambientales en el Muelle, las fuerzas de ola son un factor importante a considerar, para determinar la capacidad de tracción requerida, especialmente porque en el atraque los dos remolcadores deben empujar al para que se acerque lateralmente al frente de atraque del muelle.

También debe tenerse en cuenta que los remolcadores de puerto que apoyan la maniobra pueden operar efectivamente solo hasta cierta altura máxima de ola, debido a que los movimientos de balance, guiñada y cabeceo que producen las olas les restan efectividad y en algunos momentos, como cuando parte de la hélice queda fuera del agua pierden casi por completo su capacidad de tracción, lo cual debe ser tomado en cuenta, por encontrarse el área de maniobra ubicada en una bahía semi-cerrada y expuesta al oleaje que se origina en el Oeste, por lo que se considera el oleaje como un factor influyente en las maniobras de entrada y salida.



ESTUDIO DE MANIOBRAS DEL MUELLE DE CARGA LÍQUIDA DE TALARA

11.6.4 FUERZA DE TRACCIÓN REQUERIDA

Como resultado del presente análisis se puede afirmar que el Muelle de Carga Líquida, para recibir buques de hasta 193 metros de eslora, **requiere contar con una fuerza de tracción de por lo menos 60 toneladas, distribuidas en dos remolcadores Azimutales de 30 toneladas.**

La estrechez del canal de entrada por la enfilación, la cercanía al banco de arena del lado noreste del canal, el hecho de que actualmente después de ingresar al canal de entrada no existe una vía de escape para casos de emergencias, el reducido espacio actual de maniobra frente al Muelle de Carga Líquida, y el hecho de que dicho espacio de maniobra frente al Muelle de Carga Líquida se reducirá aún más con la construcción del Muelle N°2, determinan la necesidad de contar con remolcadores azimutales, que no requieren cambiar la dirección de su proa para aplicar su fuerza, ya que la efectividad de los remolcadores convencionales se reduce significativamente al tener que mantener su proa en una dirección casi perpendicular al costado del buque, para poder aplicar su fuerza de tracción en forma efectiva, lo cual con el buque en movimiento es imposible.


Jorge O. FILINICH
CONSULTOR MARITIMO