

INFORME DE REMOLCADORES

**POTENCIA PARA IMPRIMIR A UN BUQUE UNA VELOCIDAD DADA:
FORMULA DEL ALMIRANTAZGO.**

R- resistencia de la carena en Kg.

T- trabajo que deberá realizar la máquina del buque a una velocidad V (m/seg)

T=R x V

Potencia en caballos efectivos $EHP = \frac{R \times V}{75}$

Coefficiente de Propulsión, es la relación entre la Potencia Efectiva y la Potencia Indicada

$$0.55 \leq \frac{EHP}{IHP} \leq 0.75$$

FORMULA DEL ALMIRANTAZGO

Esta fórmula nos permite calcular la potencia indicada de barcos del mismo tipo y que no varíen mucho sus dimensiones; el error que se introduce es por aplicar la ley de FROUDE, además de a las resistencias residuales (por remolinos y olas) a la resistencia por fricción. Esa es la razón por la cual no pueden variar mucho sus dimensiones.

En estas condiciones se observa una relación constante entre las potencias indicadas, velocidades y desplazamiento que se llaman **CONSTANTE del ALMIRANTAZGO “Ca”**

$$Ca = \frac{D_1^{2/3} \times V_1^3}{P_1} = \frac{D_2^{2/3} \times V_2^3}{P_2} = \frac{D_3^{2/3} \times V_3^3}{P_3}$$

$P = \frac{D^{2/3} \times V^3}{Ca}$

P- Potencia Indicada en caballos

D- Desplazamiento en Long Tons.

V- Velocidad en nudos.

Ca- Constante del Almirantazgo

Ca se obtiene de una tabla en función de la velocidad del buque en nudos (V) y la Eslora del buque en metros (E).

$$Ca = V \times E^{-1/2}$$

Estas tablas son confeccionadas para cada buque en canales o túneles de experiencia donde se obtienen posteriormente en función de la velocidad y la eslora .

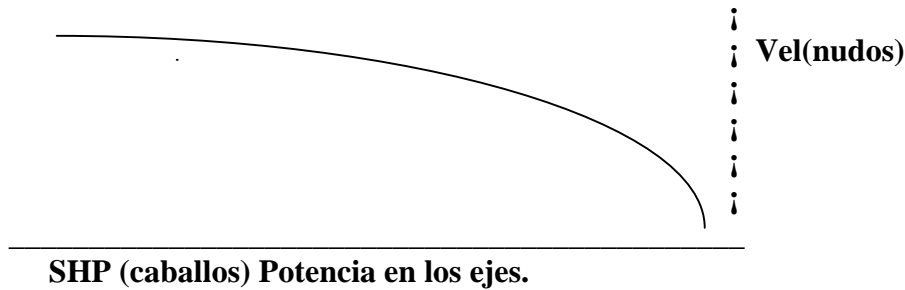
Los valores medios de esta constante “Ca” son : 264 ≤ Ca ≤ 336

CURVA DE POTENCIA EN LOS EJES PARA DISTINTAS VELOCIDADES.

De la observación de la curva de potencia en los ejes, dentro de ciertas velocidades podemos

$$\text{expresar : } \frac{\text{SHP}}{\text{SHP}'} = \frac{V^3}{V'^3}$$

Las potencias en los ejes son directamente proporcionales al cubo de la velocidad.



CALCULO DE POTENCIA EFECTIVA DEL BUQUE

POTENCIA = FUERZA X VELOCIDAD

$$\text{EHP - Potencia Efectiva del Remolque } \text{EHP} = \frac{R \times V}{75}$$

IHP - Potencia Indicada (Es la potencia de los indicadores en los cilindros)

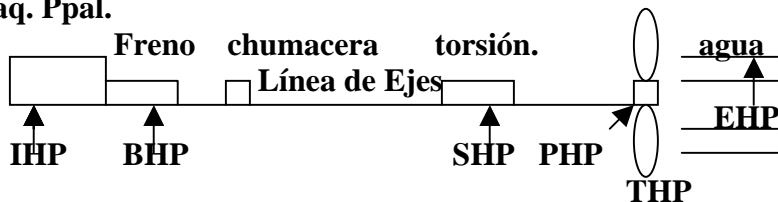
BHP - Potencia en el freno (Es la potencia medida en el acople de un eje por un freno mecánico)

SHP - Potencia en el eje (Es la potencia transmitida a la Hélice a través de un eje)

PHP - Potencia en el Propulsor

THP - Potencia de Empuje (Es el empuje que el propulsor entrega a su chumacera, multiplicado por la velocidad de avance y una constante)

Maq. Ppal.



EHP - Es la potencia que se necesita para remolcar al buque a una velocidad determinada.

Es la menor de todas las potencias o sea es la Potencia Util.

Se obtiene multiplicando la Resistencia Total del buque a la marcha por la Velocidad y por una constante.

$$\text{EHP} = \frac{R \times V}{75}$$

R en Kg. (Resistencia Total por toneladas de Desplazamiento)

V en Metros por Segundo (nudos x 1852/3600 = m/s)

COROLARIO

Esto nos da la pauta que la Fórmula del Almirantazgo es de utilidad en lo que respecta al movimiento del buque en la misma dirección que el eje principal.

Es decir que cuando hablamos de la potencia necesaria de remolque, debemos tener en cuenta que este remolque es tomado por proa, y remolcado en igual dirección que el eje de propulsión del buque remolcado.

No nos olvidemos que la “Constante de Almirantazgo” se obtiene de una tabla confeccionada para cada buque en particular, realizada según experiencias realizadas con modelos en túneles de prueba.

Digamos que en el único caso que podemos decir que la potencia necesaria de un remolcador es equivalente a la Potencia Efectiva de un buque, es cuando este último es remolcado por medio de un cabo pasado por su proa al gancho del remolcador y este último tirando en igual dirección que el eje del propulsor del buque.

Para el caso en que el remolcador se utilice como apoyo para maniobrar buques de porte en espejos de agua restringida, se deberá calcular la potencia del remolcador mediante fórmulas que tomen en cuenta la peor condición de resistencia al movimiento (traslado lateral), ya sea la superficie lateral aérea, como la inmersa. Teniendo en cuenta las limitaciones operativas por intensidad de viento y corriente, así como del agua debajo de la quilla del remolcador y del buque remolcado.

FORMULA PARA CALCULAR BOLLARD PULL (B.P.)

Factores que afectan: 1-VIENTO

2- CORRIENTE

3- AGUA BAJO LA QUILLA

4- AREA LATERAL CONTRA EL VIENTO

5- AREA LATERAL CONTRA LA CORRIENTE

$$F = C \times S \times V^2 \quad \text{donde} \quad \begin{array}{l} S \text{ es la superficie opuesta al viento} \\ V \text{ es la velocidad relativa del viento} \end{array}$$

$$C = \frac{1}{2} \rho c \quad \text{donde} \quad \begin{array}{l} \rho \text{ es la densidad del aire} \\ c \text{ es un coeficiente de cada buque} \end{array}$$

Asumiremos que es una superficie plana y que el viento actúa en Angulo recto(peor condición)

$$\rightarrow \frac{1}{2} \rho c = 0,08$$

$$\rightarrow F_v = 0,08 \times S_v \times V_v^2 \quad \text{donde} \quad \begin{array}{l} F \text{ esta dado en Kg} \\ S_v \text{ esta en metros cuadrados} \\ V_v \text{ esta en metros por segundo} \end{array}$$

Asumiendo que es una superficie plana y que la corriente actúa en ángulo recto (peor condición)

$$\rightarrow \frac{1}{2} \rho c = 15$$

Aplicando la misma fórmula para la corriente que para el viento.

$$\rightarrow F_c = 15 \times S_c \times V_c^2 \quad \text{donde} \quad V_c \text{ esta en Nudos}$$

Esta fórmula es correcta si el agua bajo la quilla es por lo menos tres veces el calado.

Si el agua bajo la quilla fuera dos veces el calado:

$$\rightarrow F_c = 20 \times S_c \times V_c^2$$

Si el agua bajo la quilla fuera el 10% del calado :

$$\rightarrow F_c = 40 \times S_c \times V_c^2$$

Consideramos como resultado $\rightarrow F = F_v + F_c$

AGUA BAJO LA QUILLA (CLEARANCE)

El agua bajo la quilla afecta el giro del buque . El buque necesita mayor radio de giro, lo que lo expone mayor tiempo a la corriente de través , motivando esto que en ocasiones la deriva le gane al giro.

Por esto cuando el buque ofrece mayor superficie debe haber obtenido su mayor inercia de giro.

ORIENTACIÓN DE LOS MUELLES

Según corriente:

Cuando la orientación del muelle es la misma que la dirección de la corriente, tanto en el atraque como en el desatraque, el buque al girar se encontrara en movimiento, y por lo tanto con cierta inercia de giro , como para contrarrestar la presión de la corriente.

Cuando la orientación del muelle es distinta a la dirección de la corriente, y en el peor de los casos normal a ella, tanto en el momento inicial como en el final, la inercia de giro es nula lo que no permite contrarrestar la presión de la corriente.

Según viento:

Pocas son las veces que se puede prever la dirección y sentido de los mayores vientos (según su intensidad y frecuencia)que afectan la seguridad de las maniobras de atraque y desatraque de los buques.

Para los casos en que no es posible preverlo, solo se tendrá en cuenta la dirección de la corriente para la construcción de los muelles y sus instalaciones.

COROLARIO

Por todo lo expuesto se recomienda como regla general para la construcción de muelles en margenes de ríos,

Que :

- Preferentemente estén orientados en igual dirección que la corriente .**
- No construirlos frente a la desembocadura de otro rio .**
- No construirlos en zonas de confluencia.**

POTENCIA DE REMOLQUE REQUERIDA (Rule of thumb)

$$\text{B.P.} = \frac{\text{Desplazamiento}}{100.000} \times 60 + 40$$

Teniendo en cuenta:

- a - Los remolcadores deberán tener suficiente potencia para remolcar el buque contra viento y corriente o para detener la deriva.
- b - Los remolcadores no siempre pueden tirar en dirección normal al buque, debido a la corriente.
- c - El B.P. de los remolcadores no siempre es mismo que se certificó al momento del test.
- d - No siempre pueden tirar a la vez los remolcadores de proa y popa.
- e - El ángulo de la línea de remolque no debe ser muy empinado, esto le quita efectividad de tiro y estabilidad.

Volviendo a las fórmulas

$$F_v = 0,08 \times S_v \times V_v^2$$

$$F_c = 40 \times S_c \times V_c^2$$

Estas fórmulas se resumen de los cuadros siguientes donde se grafican:

- 1- El B.P. necesario según el viento
- 2- El B.P. necesario según la corriente

Nota:

Si tenemos en cuenta los puntos a, b, c, d, e ;al resultado le debemos agregar entre un 20% y un 40%

EJEMPLO

ESLORA – 290 M

MANGA – 32 M

CALADO – 12 M

PROFUNDIDAD DEL AGUA – 13,2 M

ALTURA DESDE LA LINEA DE AGUA HASTA EL TOPE DEL ULTIMO CONTEINER – 20,60 M

RELACION (PROFUNDIDAD / CALADO) = $13,2/12 = 1,1$

FUERZA DEL VIENTO – 30 NUDOS

FUERZA DE LA CORRIENTE – 0,5 NUDOS

AREA SOBRE LA SUPERFICIE – 6000 m^2 AREA DEBAJO DE LA SUPERFICIE – 3600 m^2

DESPLAZAMIENTO – 100.000 Tons.

SEGÚN VIENTO

B.P. REQUERIDO SEGÚN LA GRAFICAS → 110 Tons.
 20 % ADICIONAL → 22 Tons.
 132 Tons.

SEGÚN CORRIENTE

B.P. REQUERIDO SEGÚN LA GRAFICA → 65 Tons.

Por lo tanto, con B.P. $\geq 197 \text{ T.}$ Satisface la necesidad por viento y corriente.

El B.P. es distribuido linealmente entre los remolcadores actuantes

→ $132 \text{ T.} \leq \text{BP1} + \text{BP2} + \dots + \text{BPi} + \dots + \text{BPn}$

Para los buques con Bow Thruster, este será considerado como un remolcador más. (Bpi)

Según LIPS cada 100 HP le corresponde a 1,1 tons.

Este buque posee un B.T. de 2.000 HP → 22 tons.

Entonces los remolcadores deberán satisfacer una necesidad de $(197 \text{ t.} - 22 \text{ t.}) = 175 \text{ tons.}$ Según (Rule of Thumb) → $\text{B.P.} = \frac{100.000 * 60}{100.000} + 40 = 100 \text{ T.}$ Si aplico la corrección → $\text{B.P.} = 100 \text{ T.} * 1.4 = 140 \text{ T.}$

CALCULO DEL BOLLARD PULL (B.P.) SEGÚN “ MARIN “ (NETHERLANDS)

Toma del buque los siguientes datos:

- Superficie lateral ofrecida al viento
- Eslora entre perpendiculares
- Desplazamiento
- Calado

Realiza cada calculo según las siguientes condiciones :

- Viento en (m/seg.)
- Corriente en (m/seg.)
- Altura de la ola en metros
- Profundidad al pie del muelle (con relación al calado)

Según tipo de muelle

Una vez realizado el cálculo del B.P. para cada condición , si existe forma de determinar la velocidad de traslado lateral (para la aproximación al muelle).

Según la velocidad lateral en m/seg y si el muelle es cerrado o abierto calcula la fuerza necesaria para frenar al buque en 30 metros (1 manga aprox.)

Las fórmulas utilizadas son las siguientes:

$$\text{Según Viento} \rightarrow F_v = \frac{0,065 * V_v^2 * \text{Sup. Lat.}}{1000} * 1.2$$

$$\text{Según corriente y profundidad} \rightarrow F_c' = \frac{40 * V_c^2 * (L_{pp} * \text{Calado})}{1000}$$

Coefficiente T = Profundidad / calado

En aguas profundas T > 3 → Fc = Fc'

Si T = 1.5 → Fc = Fc' * (110/ 40)

Si T = 1.2 → Fc = Fc' * (150/ 40)

Si T = 1.1 → Fc = Fc' * (185/40)

$$\text{Según la altura de la ola} \rightarrow F_o = \frac{(\text{Alt.ola})^2 * L_{pp} * 112}{1000}$$

Según velocidad de traslado lateral

$$\text{Para muelles abiertos} \rightarrow F_t = \frac{\text{Calado} * 0,09 * V_t^2}{30}$$

$$\text{Para muelles cerrados} \rightarrow F_t = \frac{\text{Calado} * 0,07 * V_t^2}{30}$$

El resultado final es $F = F_v + F_c + F_o + F_t$ (la suma de las fuerzas necesarias para vencer todas las resistencias)

TIPOS DE REMOLCADORES

Los remolcadores pueden ser clasificados en dos principales tipos, dependiendo del punto de aplicación de la línea de remolque en relación con la posición de la propulsión.

Se dividen en dos principales grupos: Convencionales y Tractor

a.- CONVENCIONALES

Son los remolcadores con la propulsión en popa . La que puede ser con hélice fija ,de paso variable o Z-peller y el punto de aplicación de la línea de remolque próximo a la sección media del remolcador.

b.- TRACTOR

Son los remolcadores con la propulsión delante de la sección media. La que puede ser Voith-Schneider o Z-peller y el punto de aplicación de la línea de remolque cerca de la popa del remolcador.

ANÁLISIS RELACIONANDO EL PUNTO DE LA LINEA DE REMOLQUE Y LA VELOCIDAD DEL BUQUE ASISTIDO

- - La velocidad del buque asistido es inversamente proporcional a la seguridad del remolcador y a la efectividad del remolque.
- - El tipo Tractor de mayor maniobrabilidad que el Convencional.
- - El tipo Convencional no puede maniobrar remolcando a popa del buque asistido cuando este desarrolla cierta velocidad.
- - Entre ambos es grande la diferencia cuando se asiste un buque en movimiento , a proa o popa del mismo. Los del tipo Tractor reaccionan más rápido manteniendo su fuerza de remolque , por su mayor maniobrabilidad.
- - El tipo Convencional es más efectivo actuando en la proa de un buque remolcado con cierta velocidad.

COROLARIO

Solo los remolcadores con posibilidad de mantener la misma fuerza de remolque , hacia proa que hacia popa se pueden usar para empujar y tirar (push-pull).

Por lo expuesto es recomendable la disponibilidad de ambos tipos, si esto no es posible, es más versátil el tipo Tractor.

NUEVOS TIPOS DE REMOLCADORES

Actualmente sé esta construyendo un nuevo tipo de remolcador con un guinche para tomar remolque cerca de la sección media hacia proa, esto da mayores posibilidades para tomar el cabo de remolque. Estos remolcadores están equipados en popa con dos hélices direccionables los 360° y bow-thruster, lo que le da la misma fuerza de remolque hacia proa que hacia popa ; así como también aumenta su maniobrabilidad.

Los remolcadores del tipo convencional están siendo objeto de reformas variando el punto de aplicación de la línea de remolque ,combinado con la instalación de bow-thruster direccionable los 360°.

Como se puede apreciar, actualmente los diseñadores de remolcadores están agudizando su ingenio en pos de darle mayor maniobrabilidad manteniendo la máxima fuerza de remolque en cualquier dirección y sentido, cualquiera sea la posición y velocidad relativa entre el remolcador y el buque asistido.

CARACTERÍSTICAS DE DIFERENTE BUQUES

LIBANITA

Eslora: 185,74 m.
Lpp. : 172 m
Manga: 30,40 m.
Puntal: 16,50 m.
TRB: 26.044 T.
BHP:

TINITA

Eslora: 182,80 m
Lpp. : 174 m
Manga: 30,50 m
Puntal: 15,75 m
TRB: 26625 T.
BHP: 8419 HP

MEXICAN REEFER & URUGUAYAN REEFER

Eslora: 144,52 m
Lpp. : 136 m
Manga: 21,80 m
Puntal: 13,10 m
TRB: 10203 T.
BHP: 11338 HP

ATLANTIC FRIGO & PACIFIC FRIGO

Eslora: 143,00 m
Lpp. : 131 m
Manga: 22,50 m
Puntal: 13,20 m
TRB: 10360 T.
BHP: 11338 HP

ORGEN

Eslora: 228,00 m
Lpp. : 220 m
Manga: 32,23 m
Puntal: 19,20 m
TRB: 38237 T.
BHP:

TRANSWORLD

Eslora: 223,70 m
Lpp. : 215 m
Manga: 32,20 m
Puntal: 18,60 m
TRB: 38180 T.
BHP: 9330 HP

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

“ Tratado de Maniobra “
Enrique Barbudo Duarte
Almirante

“ El Remolque en el Mar o Remolque Transporte “
Mario Baselga Rodríguez
Capitan de la Marina Mercante

“ Teoria del Buque “
Antonio Bonilla de la Corte
Capitán de la Marina Mercante

“ Problemas de Teoría del Buque “
Cesareo Diaz Fernández
Catedrático de Teoría del Buque

“ Harbour Tugs (Types and Assisting Methods)”
Henk Hensen
Captain

“ Lloyd’s Register of Shipping”

Cálculo de Bollard Pull
(MARIN’S NAUTICAL CENTRE MSCN)

CONCLUSIONES

- **En las diferentes formas de cálculo que se han citado, consideramos el B.P. como la suma de las fuerzas necesarias para vencer todas las resistencias, como sería el caso del muelle de Cabotaje del Puerto de Fray Bentos. Esto es debido a que dicho muelle está orientado atravesado a la dirección de la corriente, motivo este por el que pueden actuar simultáneamente: la corriente, el viento, el bajo fondo y la velocidad de aproximación lateral (por ser un muelle abierto).**
- **Otro caso en el que debemos considerar el B.P. como la suma de las fuerzas necesarias para vencer el viento y la corriente a la vez, es cuando ambos provienen en igual dirección y sentido y el buque debe efectuar un giro, independientemente de la dirección del muelle.**
- **Para los muelles orientados en igual dirección que la corriente, podremos considerar el B.P. como la mayor de las fuerzas necesarias que actúan a la vez. Es decir cuando la corriente y el viento provienen de diferente dirección.**
- **Para el caso de los remolcadores tipo Convencional, el B.P. certificado solo es aprovechado al máximo cuando éste es utilizado remolcando por largo desde la proa del buque asistido. Las características de este tipo de remolcador le hacen perder efectividad por su poca maniobra en relación a su seguridad y a la combinación de la posición de la propulsión y el punto de aplicación de la línea de remolque.**
- **Los remolcadores tipo Tractor, tienen como mayor ventaja frente a los convencionales que sea cual sea su posición relativa al buque o a la corriente, siempre mantienen la misma fuerza de B.P. , por esta característica son recomendables utilizar en la popa del buque asistido, contrariamente a lo que se recomienda para los tipo convencionales.**
- **Para cumplir con un mínimo de seguridad en las maniobras con buques de porte en muelles sobre la margen de un río, es necesario por lo menos una pareja combinada de remolcadores que satisfaga los requerimientos de B.P. para los vientos y corriente que actúan con mayor frecuencia en la zona.**
- **Tener en cuenta que las infinitas combinaciones de viento, corriente, marea, profundidades, calado, características de remolcadores y muelles hacen necesario la continua evaluación del Practico actuante respecto a las posibilidad de efectuar la maniobra en forma segura.**
- **A continuación se presenta, como ejemplo, el B.P. necesario para distintos buques que actúan frecuentemente en los puertos de Nueva Palmira y Fray Bentos.**

FERNANDO FELIX ADAIME GERMAN
Práctico del Río Uruguay, Río de la Plata y
Litoral Marítimo Oceánico.
Capitán de la Marina Mercante.
Analista Programador.