

HIDRODINÁMICA

Clase de Ramiro Mege para
Magíster Náutico y Marítimo

06 Mayo 2011
Apunte: Odoardo Pizzagalli

PARAMETROS ADIMENSIONALES

Nos vamos a conectar con lo que vamos a ver hoy día, lo que vimos la clase pasada. Estuvimos viendo éste ejemplo, el de la pérdida de carga.

Ejemplo:

La pérdida de carga, h_p , se cree que depende de la longitud de la tubería, l , de su diámetro, D , de su rugosidad interna, e , de la velocidad del flujo, V , de la densidad ρ . Y la viscosidad del fluido, μ .

$$h_p = f(l, D, e, V, \rho, \mu)$$

Decíamos que la pérdida de carga era una función de 6 variables, la longitud de la tubería, el diámetro, la rugosidad, la velocidad, la densidad y la viscosidad y con eso podíamos determinar que podíamos formar cuatro parámetros adimensionales y que vamos a llamar de π_1 a π_4 y después resolvimos algunas cosas:

Primero vimos qué dimensión tenía cada una de las variables, las 6 más nuestra incógnita que es la variable principal que era la pérdida de carga.

	L	M	T	OBSERVACIONES
h_p	2	0	-2	Como es la incógnita no se repite
μ	-1	1	-1	No se repite porque basta que figure un solo parámetro
ρ	-3	1	0	Variable repetible
V	1	0	-1	Variable repetible
D	1	0	0	Variable repetible
l	1	0	0	No se repite porque ya está en D
e	1	0	0	No se repite porque ya está en D

Tenemos ahí cuáles son los exponentes de las variables de longitud más el tiempo que intervienen en cada unidad de estos parámetros y con eso nos permitió, primero definimos cuál va a ser π_1 π_2 π_3 π_4

$$\pi_1 = V^x D^y \rho^z h_p^1 \quad \pi_2 = V^1 D^u \rho^v \mu^w \quad \pi_3 = V^a D^b \rho^c l^2 \quad \pi_4 = V^d D^f \rho^g e^i$$

Y después dijimos dentro de cada uno de estos grupos a una de nuestras variables le damos nuestro exponente uno. En el caso de π_1 dijimos, bueno se lo damos a la variable principal para que no nos cueste después despejar

$$\pi_1 = V^x D^y \rho^z h_p^1$$

y después se puede elegir ahí arbitrariamente al cual le damos el exponente 1, pero yo la elegí porque sé que me van a resultar, aquí está el número de Reynolds

$$\pi_2 = V^1 D^u \rho^v \mu^w$$

entonces me conviene que la velocidad tenga el exponente uno para que quede la forma típica del número de Reynolds. Acá

$$\pi_3 = V^a D^b \rho^c l^1$$

también lo manejé para que quedara L/D y allá

$$\pi_4 = V^d D^f \rho^g e^i$$

E/B y el asunto siguiente fue determinar los exponentes que son incógnitos. El otro día desarrollamos uno solo. Ahora viene la *punta* están desarrollados los 4 de tal manera que los vayan viendo y separé con paréntesis cada una de las variables, entonces para que se puedan guiar fácilmente ahí está el sistema de ecuaciones y los resultados y como queda la variable al final.

$$\pi_1 = (L^x T^{-x})(L^y)(L^{-3z} M^z)(L^2 T^{-2})$$

Para:

$$L: x + y - 3z + 2 = 0$$

$$T: -x - 2 = 0$$

$$M: z = 0$$

Resolviendo: $x = -2$ $y = 0$ $z = 0$

$$\pi_1 = \frac{hp}{V^2}$$

Ahí está el otro para π_2 que es el número de Reynolds es lo mismo:

(velocidad)(diámetro)(masa)(viscosidad)

$$\pi_2 = (L^1 T^{-x})(L^u)(L^{-3v} M^v)(M^w L^{-w} T^{-w})$$

y el sistema de ecuaciones:

$$L: 1 + u - 3v - w = 0$$

$$T: -1 - w = 0$$

$$M: v + w = 0$$

Resolviendo: $u = 1$ $v = 1$ $w = -1$

$$\pi_2 = \frac{VD\rho}{\mu}$$

Y de la misma forma el 3:

$$\pi_3 = (L^a T^{-a})(L^b)(L^{-3c} M^c)(L^1)$$

Para:

$$L: 1 + a + b - 3c = 0$$

$$T: -a = 0$$

$$M: c = 0$$

$$\text{Resolviendo: } a = 0 \quad b = -1 \quad c = 0$$

$$\pi_3 = \frac{l}{D}$$

Y el parámetro 4.

$$\pi_4 = (L^d T^{-d})(L^f)(L^{-3g} M^g)(L^1)$$

Para:

$$L: 1 + d + f - 3g = 0$$

$$T: -d = 0$$

$$M: g = 0$$

$$\text{Resolviendo: } d = 0 \quad f = -1 \quad c = 0$$

$$\pi_4 = \frac{e}{D}$$

Después volvimos a la expresión general, pero en función de tales variables ahora es en función de los parámetros π .

$$hp = \pi_1 V^2 (\pi_2, \pi_3, \pi_4)$$

$$hp = \pi_1 V^2 \left(\frac{VD\rho}{\mu}, \frac{l}{D}, \frac{e}{D} \right)$$

$\pi_1 \times V^2$ (este π_1 es una constante).

Teniendo esta expresión todavía no está resuelto el problema,

$$hp = \pi_1 V^2 \left(\frac{VD\rho}{\mu}, \frac{l}{D}, \frac{e}{D} \right)$$

ahora hay que hacer la parte experimental, pero si teníamos 7 variables calculábamos que tenían que ser, variando cada uno 10 veces, tenía que ser 10000000... pero ahora lo que tenemos que variar es π_2 , π_3 y π_4 . Así que redujimos la cosa a 10.000 ensayos y puede ser más porque si hay uno como este que es el parámetro número de Reynolds:

$$h_p = \pi_1 V^2 \left(\frac{VD\rho}{\mu}, \frac{l}{D}, \frac{e}{D} \right)$$

que ya es conocido y muy estudiado no lo vamos a estudiar de nuevo, entonces se nos reduce a 1.000, entonces los 10000000 pasaron a 1.000 ensayos en el peor de los casos.

¿qué se hizo con esto?

$$h_p = \pi_1 V^2 \left(\frac{VD\rho}{\mu}, \frac{l}{D}, \frac{e}{D} \right)$$

Se hicieron los ensayos para determinar ¿qué relación existen entre estas variables? Y ahí se estableció la fórmula que usamos para determinar la pérdida de carga que era el factor de fricción por la longitud partido por el diámetro, por V^2 partido por $2g$ para que esto quedara en metros de columnas de fluido.

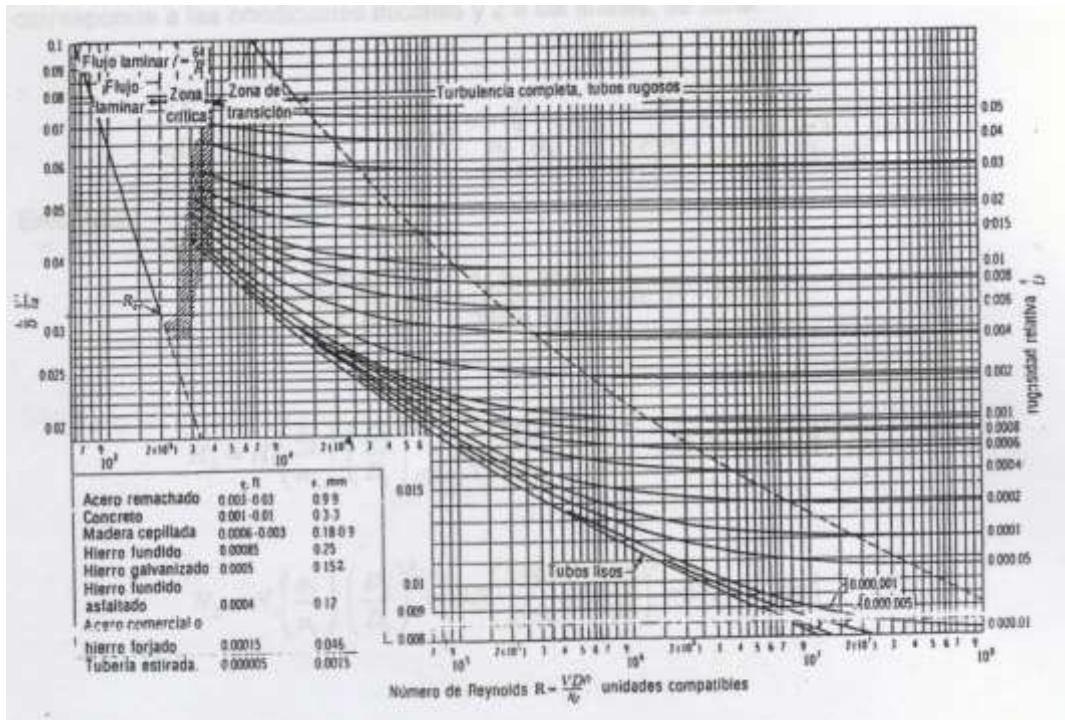
$$h_p = f \frac{l}{D} \frac{V^2}{2g} \quad [m_{columna de agua}]$$

El V^2 salió de aquí, el $2g$, suele aparecer y lo conversamos el otro día porque eso refleja la energía cinética, entonces se agrega para que quede claro que ahí está la energía cinética interviniendo. El l/D está aquí, pero los que no aparecen directamente en la fórmula son el número de Reynolds y la rugosidad relativa ¿qué fue de ellos? Están incorporados aquí en f .

f es una función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa

$$\frac{VD\rho}{\mu} = N^{\circ} \text{ de Reynolds} = R_o \quad \text{y de} \quad \frac{e}{D}$$

¿cómo sabemos eso? Porque aquí tenemos el diagrama de Moody. Tenemos el valor de F , tenemos el número de Reynolds y la rugosidad relativa.



Hay que pensar en el trabajito que hizo este caballero para sacar este gráfico, pero llegó a establecer la relación entre el número de Reynolds, la rugosidad relativa en este factor de fricción, así que después de la experimentación, todas las variables con las cual habríamos partido están incorporadas directa o indirectamente al final

USO DE LOS PARÁMETROS ADIMENSIONALES

¿Cómo podemos usar estos parámetros adimensionales?

Aquí voy a tomar dos ejemplos: un ejemplo bien mecánico y un ejemplo de lo que están Uds. viendo. Para una curvo máquina en este caso voy a hacer una bomba, los parámetros adimensionales que las rige son los siguientes:

$$\pi_1 = \frac{Q}{nD^3} \quad \pi_2 = \frac{H}{n^2 D^2} \quad \pi_3 = \frac{N}{\rho n^3 D^5} \quad + \quad R_D$$

Son estos tres más el número de Reynolds, pero el número de Reynolds tiene que ver más con la eficiencia y ese funciona mal. Uno puede predecir muy mal con el número de Reynolds la rugosidad la eficiencia y por eso normalmente no se usa, pero estos funcionan bastante bien

¿qué dice?

Que π_1 es el caudal(Q) partido por n, n es la velocidad rotacional, tantas RPM. Y el diámetro(D) del rodete al cubo.

El π_2 es la altura(H), es decir la energía por unidad de peso de fluido que se le transmitió al fluido, dividido también por la RPM^2 y por el diámetro exterior del rodete al cuadrado.

Y π_3 es la potencia(N) dividido por la densidad del fluido, por la velocidad rotacional al cubo y por el diámetro del rodete a la quinta.

Uno podría darse cuenta inmediatamente de lo siguiente:

- si yo duplico la velocidad el caudal se me duplica.

$$\pi_1 = \frac{Q}{nD^3}$$

- Si yo duplico el diámetro el caudal aumenta 8 veces.

$$\pi_1 = \frac{Q}{nD^3}$$

- Si yo duplico el caudal, la potencia consumida me aumenta 64 veces

$$\pi_3 = \frac{N}{\rho n^3 D^5}$$

Y ahí es donde hay que tener cuidado, con ese de allá, porque el aumento provocado en las dimensiones, en este caso del rodete de una bomba, es sumamente fuerte. Fuerte tanto si lo aumento y como si también lo disminuyo, porque está elevado a la quinta y la velocidad aquí también influye mucho, al cubo, así que un cambio en la velocidad trae un cambio en la potencia consumida y eso tendríamos que pensarlo un poco también, para el auto, cuando yo aumento la velocidad, el roce tanto con el aire como con el piso va a aumentando y la potencia va creciendo y no es lineal, así que el aumento es exponencial.

¿Esa velocidad rotacional n que tiene que ver con la velocidad V que trabajamos siempre?

Una es cuantas veces da vuelta el eje de un motor, o cuantas veces de vuelta las ruedas de un vehículo, esa es la velocidad rotacional. Se pueden relacionar.

Voy a poner un ejemplo numérico.

Se tiene una bomba que mueve 75[m³/h], con una altura de 35 [m_{ca}] y consume una potencia de 13,3[hp], cuando opera a 2950[rpm] y con un diámetro exterior del rodete de 180[mm].

¿Cuáles son sus condiciones de operación a 3550[rpm] y con el rodete reducido a 170[mm] de diámetro?

Tratándose de la misma máquina que opera bajo otras condiciones se da la similitud geométrica y dinámica, entonces se debe cumplir que los parámetros adimensionales correspondientes tienen el mismo valor. Si el subíndice 1 corresponde a las condiciones iniciales y el 2 a las finales.

Voy a suponer que tengo una bomba que mueve 75[m³/h] de agua y que genera una altura de 35[m_{ca}] y consume una potencia de 13,3[hp]

Tiene un rodete de diametro exterior que tiene 180[mm] es pequeño. El diámetro lo vamos a llamar $D_1=180$ y gira a una velocidad de 2.950[rpm]. Esta velocidad 2.950 es una velocidad bastante normal para un motor. Los motores de corriente alterna funcionan a 2.950 a 1.450 a 950. Teóricamente viene a ser 3.000, 1.500 y 1.000, pero hay un problema magnético que el rotor del motor que gira no puede seguir exactamente al campo magnético. El campo magnético gira a 3.000, 1.500 ó 1.000, pero el rotor trata de seguir, pero no lo logra completamente, entonces tiene esa velocidad. Eso es en Chile y todos los países que tienen una frecuencia de 50 *ciclos* pero si yo tomo el motor y me lo llevo a EE.UU, en EE.UU la frecuencia es de 60 ciclos, entonces tengo una velocidad teórica de 3.600, por lo tanto resulta una velocidad 3.550 a.p.p. Y así.

El otro sería la mitad, es decir, 1.800, 1.750, etc.

Entonces a una bomba o una máquina en general, la cambio de país, cambia la frecuencia y me cambia la velocidad rotación y su producción. A veces uno no se percata de eso y entonces después la máquina no rinde lo que uno quería, porque uno la compró pensando, o se la ofrecieron para motores funcionando a 60 ciclos, pero acá yo la tengo a 50, entonces se bajo en un quinto la velocidad.

(volviendo al ejercicio)

Aquí está operando a una velocidad bastante normal y por eso yo ahora lo cambio y la hago operar a una velocidad mayor, vale decir pasé a una zona de 60 ciclos por segundo, por lo tanto va a operar a 3.550 RPN.

Pero yo le hago otro cambio adicional y este cambio puede ser paliativo, del cambio anterior ¿por qué?

Le reduzco el diámetro al rodete.

El rodete era así tenemos su zona de entrada y yo aquí le reduzco 10mm en el diámetro, casi nada, pero vamos a ver que tiene una influencia grande porque el diámetro está al cubo, al cuadrado y a la quinta. Así que esos 10mm pasa de 180, 170 van a ser influyentes.

Tratándose de la misma máquina que opera bajo otras condiciones se da la similitud geométrica y dinámica, no hay nada más perfecto que cuando la misma máquina que la ensayo en condiciones distintas, porque no puede ser nada igual. Entonces se debe cumplir que los parámetros adimensionales correspondientes tienen el mismo valor.

Si al su índice de 1 corresponden a condiciones finales y dos a las finales se tiene que:

$$\frac{Q_1}{n_1 D_1^3} = \frac{Q_2}{n_2 D_2^3} \quad \frac{H_1}{n_1^2 D_1^2} = \frac{H_2}{n_2^2 D_2^2} \quad \frac{N_1}{\rho_1 n_1^2} = \frac{N_2}{\rho_2 n_2^2}$$

Igualemos despejo el caudal 2 que va a ser mi incógnita:

$$Q_2 = Q_1 \frac{n_2}{n_1} \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^3 = 75 \frac{3550}{2950} \left(\frac{170}{180} \right)^3 = 76,03 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

Escriba aquí la ecuación.

Es = al caudal 1 por la relación de velocidades y por la relación de diámetros, pero al cubo. Esto me traería un aumento de caudal relativamente significativa, pero esto me trae una disminución. Yo tenía 75m^3 al principio y me subió a 76m^3 , fue poco, porque si llego a aumentar la velocidad, se disminuyo el diámetro.

En segundo lugar:

$$H_2 = H_1 \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 = 35 \left(\frac{3550}{2950}\right)^2 \left(\frac{170}{180}\right)^2 = 45,20 [m_{ca}]$$

La altura. Tenía 35, pero la altura aquí está con la velocidad rotacional al cuadrado, así que también esta es muy fuerte y hace que pase de 35 a 45, vale decir, la disminución del diámetro no fue suficiente para compensar esa parte.

Y en la potencia:

$$N_2 = N_1 \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^5 = 13,3 \left(\frac{3550}{2950}\right)^3 \left(\frac{170}{180}\right)^5 = 17,41 [hp]$$

Que el diámetro está a la quinta, es muy influyente, pero este está al cubo así que también es un cambio bastante grande, a pesar de que esto es más influyente porque está la quinta, sin embargo la potencia consumida no aumentó y esos valores prácticamente se dan, casi exactamente. Uno con estas formulitas puede confiar mucho, porque lo hacen bastante bien. Sobre todo si no son cambios demasiado, demasiado grandes porque ¿dónde está su debilidad?

Suponen que el rendimiento de la máquina es constante y eso no es cierto, entonces, cuando en las variables cambia mucho el diámetro, mucho la velocidad, hay un cambio en el rendimiento y entonces, puede que estos valores no sean tan exactos, pero son un muy buen índice.

¿La potencia al cambiarle la frecuencia, va a tener mayor caballaje, pero el consumo eléctrico, debiera variar? ¿Va a consumir más kilowatts?

Consume más electricidad porque hay más exigencia.

La bomba le está exigiendo al motor 17Hp, el motor los va a tener que dar ¿por qué hay que tener cuidado con la potencia que está a la quinta?

Porque uno dice: tenemos problemas con el agua... cambiémosle la velocidad ¿cómo podemos hacerlo?

Uno sería, si está con la transmisión por correa, cambiarle las boleas; Otro sería con un variador de frecuencia, pero hay que tener cuidado, porque la potencia, claro, aumenta el caudal, pero la potencia se me puede ir por las nubes y quemar el motor. Tiene sus riesgos porque varía mucho la potencia. Esa es una aplicación directa de los parámetros adimensionales.

Veamos otro ejercicio.

Aquí vamos a suponer que tenemos una longitud de la ola es de L_0 de 19,118[m].
 No vamos a ver de dónde sacamos estas relaciones, pero las vamos a poner ahí.
 Las relaciones que rigen a las olas son:

$$\frac{d}{L_0} = \frac{2\pi d}{gT^2} \qquad Fr = \frac{V^2}{gL_0}$$

- d es la profundidad
- L_0 longitud de la ola
- T período de la ola
- V velocidad de la ola

La de la derecha esa es una que da la relación entre la profundidad de la zona(d) y la longitud de la onda ahí(L_0), y acá este viene a ser el período de la ola(T), cuántos segundos vienen a ser entre ola y ola.

A la izquierda tenemos el número de Froude y que este se puede escribir de varias maneras:

$$Fr = \frac{V^2}{gL_0} \Rightarrow \frac{V}{\sqrt{gL_0}} \Rightarrow \frac{\sqrt{gL_0}}{V}$$

Entonces:

- d es la profundidad
- L_0 longitud de la ola
- T período de la ola
- V velocidad de la ola

De la expresión anterior yo voy a despejar el período, como tengo L_0 , 2π y g. Voy a sacar el tiempo entre ola y ola = 3,5 seg.

$$T = \sqrt{\frac{2\pi L_0}{g}} = \sqrt{\frac{2\pi 19,118}{9,80665}} = 3,5[s]$$

Y de Ahí puedo determinar la velocidad de la ola que es L_0/T y me da esa relación.

$$V = \frac{L_0}{T} = \frac{19,118}{3,5} = 5,462 \left| \frac{m}{s} \right|$$

Estas son las reales, las del prototipo.

Entonces yo quiero hacer el modelo, y el modelo lo vamos a hacer a escala.... Ha, y calculo el número de Froude, reemplazando a la velocidad, la aceleración de gravedad y la longitud de la ola, me da ese valor:

$$Fr = \frac{V^2}{gL_0} = \frac{5,462^2}{9,80665 \times 19,118} = 0,1592[-]$$

Pero voy a hacer modelo a escala y la escala va a ser de 1 a 40.

Eso significa que λ es la longitud de la ola del prototipo con respecto a la longitud de la ola del modelo.

$$\lambda = \frac{L_{op}}{L_{um}} = \frac{40}{1}$$

Sé que es 40/1 porque esa es la relación que tengo ahí y en λ es el inverso de éste.

¿Qué me dice primero?

$$L_{um} = \frac{L_{op}}{\lambda} = \frac{19,118}{40} = 0,478[m]$$

Primero que es la longitud de la ola del modelo va a ser la del prototipo partido por λ :
 $19,118 / 40 = 0,478\text{m}$ de longitud de la ola del modelo en escala 1 a 40 ó 40 a 1.

Y para que se mantenga la similitud el número de Froude del modelo tiene que ser igual a la del prototipo.

$$Fr_p = Fr_m = 0,1592 = \frac{V^2}{9,80665 \times 0,478} \quad V = 0,863 \left| \frac{m}{s} \right|$$

Como la del prototipo me dio el valor de 0,1592, busco qué velocidad tiene que tener la ola en el modelo para que esto funcione similarmente. Entonces reemplazo en el número de Froude que ya conozco todo, ya conozco la longitud, la nueva de longitud en el modelo, la aceleración de gravedad es la misma y determino cuál es la velocidad que debe tener la ola, podría ser en el generador de ola 0,863mxseg.

El periodo del modelo:

$$T_m = \sqrt{\frac{2\pi L_{op}}{g}} = \sqrt{\frac{2\pi 0,478}{9,80665}} = 0,553[s]$$

De esa manera haciéndolo bien se opera (tiene error el ejercicio anterior)

Y se puede llegar a determinar también la velocidad de la ola a partir de la longitud de la ola partido por el período.

Esos son algunos ejemplos de cómo se pueden ir fijando estos parámetros dimensionales.

ANÁLISIS DIMENSIONAL Y SEMEJANZA DINÁMICA EN EMBARCACIONES

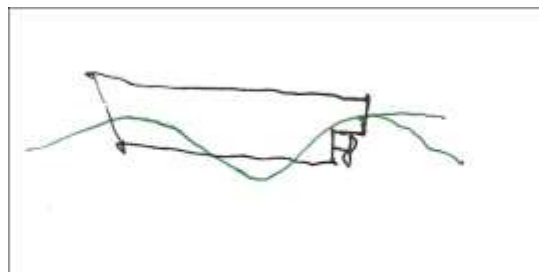
Ahora vamos a pasar a ver el análisis dimensional de semejanza dinámica directamente para el caso de las embarcaciones.

En una embarcación hay que conocer la resistencia que ésta tiene en todo lo que se ponga en movimiento, porque eso nos va a determinar cuál es la potencia necesaria para hacerlo navegar.

Esta resistencia total la vamos a llamar R_T o R_T (Resistencia Total). El ideal o lo que se pretende cuando se trabaja con modelos de los buques es poder estimar con anterioridad cuál va a ser esa potencia a consumir. Para ello se realizan los ensayos en un modelo y después hay que esos datos extrapolarlos al prototipo. Estos ensayos no solamente nos permiten determinar cuál es la resistencia total, sino que nos permite también hacer modificaciones al casco de la embarcación, para darle mejores características marítimas, y que logremos conseguir los objetivos que se pretenden.

Por ejemplo, un objetivo que siempre está presente en una embarcación es cómo se desarrolla la ola que forma la misma embarcación.

Entonces si la embarcación la suponemos así... forma una ola acá y el ideal es que la ola esté, cuando va a su velocidad de crucero, la ola esté en su máximo a la altura de la hélice, porque eso le da más profundidad a la hélice y evita un problema que se llama cavitación en la hélice.



Esa cavitación por un lado va destruyendo la hélice y por otro lado le quita el empuje que genera la hélice contra el barco. Si yo hago en ensayo del modelo veré que la formación de la ola sea el adecuado, sino se modificará el casco hasta conseguir ese efecto a la velocidad de diseño, a la velocidad de crucero de la embarcación. Si me queda justo en la parte más baja aquí va a ser desastroso porque no voy a tener un empuje necesario y voy a tener que estar cambiando hélice a medio camino. Entonces los ensayos de modelo me permiten por un lado, mejorar las características del casco y por el otro determinar cuál es la resistencia total y con esa poder estimar posteriormente, cuál es la potencia que necesito en el motor y hacer la selección de las máquinas necesarias para el buque.

¿Qué variables intervienen?

Variables geométricas:

Definen el tamaño del buque

L	Eslora (largo)
B	Manga (ancho)
T	Calado

Yo aquí hice la misma división que hicimos antes. Primero las variables geométricas del buque, la eslora (su largo), su manga (el ancho), generalmente la manga se mide en la cuaderna maestra, el calado (la profundidad normal o de diseño). Esas son las tres variables geométricas o longitudes en este caso.

Variables cinemáticas

Después tenemos las variables cinemáticas que definen las condiciones de operación del buque.

V	Velocidad del buque respecto del agua
g	Aceleración de gravedad

Uno es la velocidad del buque respecto al agua, eso es bien importante. Al igual que los aviones, en que la velocidad del avión es respecto al aire. La velocidad del buque es respecto al agua, si hay una corriente en contra o a favor y el buque va con respecto a tierra a una velocidad muy distinta que la que tiene con respecto al agua, aquí es clave la velocidad respecto al agua.

La aceleración de gravedad, es otra variable que es importante en este caso. La aceleración de gravedad tiene que ver con la formación de las olas, entonces ahí es donde está metido.

Variables Dinámicas

Características del fluido:

ρ	Densidad del agua
μ	Viscosidad del agua

Características de comportamiento:

R_T	Resistencia total
P	Presión

Las variables dinámicas: ahí tenemos nuestros dos grupos: uno las características del líquido, o del fluido, la densidad y viscosidad del agua en este caso. Ya sea agua de mar o agua dulce, esos son valores diferentes.

¿Dónde se mide la eslora?

La eslora se mide en la línea de flotación. Esa es la que se toma. Ahora uno podría tomar otro valor, pero si se toma siempre el mismo, el sistema debería funcionar.

Ahí tenemos dos características de comportamiento: la resistencia total y la presión o la diferencial de presión que se genera.

Esas son las variables geométricas, cinemáticas y dinámicas, además de esas variables anteriores están todos los coeficientes:

- C_p Coeficiente prismático
- C_M Coeficiente de la cuaderna maestra
- C_B Coeficiente de bloque
- LCB Posición longitudinal del centro de boyantez

También estas cosas tienen que ver con el buque, pero su incidencia es reducida, entonces generalmente no se incorporan al análisis dimensional, mas si estos son ya parámetros adimensionales, son todos parámetros dimensionales que tienen que ver con la forma del casco. Todos estos coeficientes que son ya adimensionales en sí. Entonces en el análisis dimensional no lo vamos a emplear, ya están dados por sí solos.

Entonces tenemos que la resistencia total

$$R_T = f(L, B, T, V, g, \rho, \mu, P)$$

Podríamos decir que es una función de la eslora, de la manga, del calado, de la velocidad, de la aceleración de gravedad, de la densidad, de la viscosidad, de la presión.

Utilizando el teorema π de Buckingham y la mecánica que vimos el otro día se pueden determinar estos 7 parámetros adimensionales.

$$\frac{R_T}{L^2 V^2 \rho} \quad \frac{Lg}{V^2} \quad \frac{VL\rho}{\mu} \quad \frac{P}{V^2 \rho} \quad \frac{L}{T} \quad \frac{L}{B} \quad \frac{B}{T}$$

En el primero está incluida nuestra variable principal que es la resistencia total.

El segundo apareció el que nombramos antes, el número de Froude Lg/V^2 .

El tercero está claro que es el número de Reynolds, L , las otras veces poníamos D , pero es una longitud característica del número de Reynolds.

Después tenemos el número de Euler.

Y tres relaciones lineales: la eslora al calado; la eslora a la manga y la manga al calado.

Esas son las relaciones a escala que tendrían que ser entre parejas. La eslora del modelo, la eslora del prototipo, etc.

Aquí hay un L^2 :

$$\frac{R_T}{\frac{L^2 V^2 \rho}{2}}$$

Ese L^2 lo vamos a llamar S , viene a ser una superficie. Se asume que es la superficie mojada de la embarcación, o sea es toda la parte del casco que está en contacto con el agua (esa es la superficie mojada de la embarcación)

Y el L/T el L/B y el B/T que son estas relaciones entre la eslora, manga, calado o viceversa. Todos estos son factores deformes que los vamos a denominar K .

Entonces reagrupando lo que nos va quedando, nos queda que:

$$R_T = V^2 S \rho f\left(\frac{VL\rho}{\mu}, \frac{Lg}{V^2}, \frac{P}{V^2\rho}\right)$$

La resistencia total es $S^2 \times S$ (superficie mojada) \times la densidad del agua y eso está multiplicando a una función en que está en número de Reynolds y en número de Froude y este que yo dije era el número de Euler

Como la viscosidad partida por la densidad es la viscosidad cinemática

$$\mu/\rho = \nu$$

También lo puedo escribir de esa manera en vez de empleando la viscosidad absoluta, empleando la viscosidad cinemática y me queda VL/ν :

$$R_T = \frac{V^2 S \rho}{2} f\left(\frac{VL}{\nu}, \frac{Lg}{V^2}, \frac{P}{V^2\rho}\right)$$

Pero sigue siendo el número de Reynolds, reemplacé solamente $\mu/\rho = \nu$

Los parámetros al interior de paréntesis se conocen como:

$$N^\circ \text{ de Reynolds} = R_L = \frac{VL\rho}{\mu} = \frac{VL}{\nu}$$

Bueno esto es lo que había estado nombrando yo el número de Reynolds en cualquiera de sus dos formas y el valor que da al final es exactamente el mismo porque es un reemplazo que se hizo.

$$N^\circ \text{ de Froude} = F_r = \frac{Lg}{V^2} = \frac{\sqrt{Lg}}{V} \quad \text{o} \quad F_r = \frac{V}{\sqrt{Lg}}$$

El número de Froude, que es eso o se puede expresar como eso también y ahí hay una igualdad numérica, pero a veces se usa invertir. Pero cuando están esas tres variables

las esloras, la aceleración de gravedad y la velocidad, en cualquiera de estas tres formas sabemos que hay un número de Froude.

$$N^{\circ} \text{ de Euler} = E_u = \frac{P}{V^2 \rho} = \frac{\Delta P}{V^2 \rho}$$

Y como decíamos el número de Euler. A veces es mejor llamarlo ΔP , la diferencial de presiones que se forma entre la parte delantera de la embarcación y la parte trasera, o del objeto en general.

La resistencia ya que depende de estos tres números se desprende lo siguiente:

Al rozamiento viscoso superficial, representada por el n° de Reynolds.

A la resistencia de la olas, representada por el n° de Froude.

Y del arrastre por presión, representado por el n° de Euler.

El número de Reynolds, ya lo sabíamos nosotros, cuando vimos la fricción de las tuberías estaba ahí presente, así que el rozamiento viscoso. Es el roce que se produce contra el casco o entre el casco y el agua por la rugosidad superficial principalmente, entonces rozamiento viscoso superficial.

Después el número de Froude, tiene que ver con la resistencia por la formación de olas. El buque al generar esa ola o la estela que nosotros vemos, gasta energía, eso no se da solo y es una componente súper importante.

En tercer lugar el número de Euler, nos representa el arrastre, la diferencial de presión que se produce en la embarcación que se produce entre la parte delantera y la parte trasera. Incluso muchas veces nosotros vemos que en la popa de la embarcación se produce hasta una pequeña depresión ¿qué significa que tenga una baja de presión? Esa baja de presión está tirando o reteniendo el avance de la embarcación. Nosotros también lo vemos en los autos, en la parte del vidrio trasero, el porta maletas, se forma un vacío (una baja de presión) y esa indudablemente está reteniendo el vehículo, por la diferencia de presión que hay en la parte delantera y trasera.

N° de Reynolds	fuerzas de inercia a fuerzas viscosas
N° de Froude	fuerzas de gravedad y las de inercia
N° de Euler	fuerzas debido a la presión y las de inercia

El número de Reynolds es una relación entre la fuerza de inercia y las fuerzas viscosas. El de Froude entre la fuerza de gravedad y la de inercia, y el numero de Euler dividido a la presión y a la inercia.

¿Qué tiene que ver la inercia aquí? (voy a retroceder un poquito)

$$N^{\circ} \text{ de Reynolds} = R_L = \frac{VL\rho}{\mu} = \frac{VL}{\nu}$$

Siempre se habla de inercia porque está metida la velocidad, cuando está incluida la velocidad entonces me dice: mire son las fuerzas de inercia partidos por las fuerzas viscosas.

$$N^{\circ} \text{ de Froude} = F_r = \frac{Lg}{V^2} = \frac{\sqrt{Lg}}{V} \quad \text{o} \quad F_r = \frac{V}{\sqrt{Lg}}$$

Son la acción de la gravedad con respecto a las fuerzas de inercia.

$$N^{\circ} \text{ de Euler} = E_v = \frac{P}{V^2 \rho} = \frac{\Delta P}{V^2 \rho}$$

Y acá la diferencia a presión respecto a la fuerzas de inercia. Fuerzas generadas por la presión con respecto a las fuerzas de inercia. Por eso cada vez que sale el V y sobretodo el V^2 podemos decir que es relación entre fuerza: la fuerza de inercia y otra fuerza... pero aquí yo creo que lo más importante es esto de aquí: Reynolds tiene que ver con el roce viscoso, Froude que la formación de olas y *Euler* con el arrastre, esa diferencia de presión que se produce debido al movimiento de este vehículo marítimo.

SEMEJANZA DINÁMICA

La semejanza dinámica ya la hemos mencionado y aquí lo repito, entre un modelo y su prototipo los parámetros tienen que tener el mismo valor, vale decir, si queremos una semejanza total del número de Reynolds del modelo y del prototipo tiene que ser el mismo; el número de Froude, el modelo y del prototipo tiene que ser el mismo y el número de *Euler* tiene que ser el mismo en los dos casos, pero vamos a ver que esta condición no siempre es posible.

Aquí vamos a llamar:

L_p a la eslora del prototipo

L_m a la eslora del modelo.

Entonces λ que es nuestra escala: la definimos como la eslora del prototipo a la eslora del modelo.

$$\lambda = \frac{L_p}{L_m}$$

Entonces si igualamos el número de Reynolds del modelo con el del prototipo nos queda que la velocidad del modelo por la eslora del modelo partido por la viscosidad cinemática del modelo es igual a la velocidad del prototipo por la eslora del prototipo partido por la viscosidad cinemática del prototipo.

$$R_{Lm} = \frac{V_m L_m}{\nu_m} = R_{Lp} = \frac{V_p L_p}{\nu_p}$$

Pero ¿Qué sucede? ¿Dónde se ensayan los modelos? –En un canal de prueba- ¿Y qué líquidos se usan? Agua ¿Qué tienen en común el modelo y el prototipo trabajan sobre el mismo líquido? Por lo tanto ¿Qué sucede?

Este es igual a ese y por lo tanto se me cancelan:

$$R_{Lm} = \frac{V_m L_m}{\nu_m} = R_{Lp} = \frac{V_p L_p}{\nu_p}$$

y me queda que la velocidad del modelo por el esloa del modelo es igual a la velocidad del prototipo por la esloa del prototipo.

$$V_m L_m = V_p L_p$$

Si yo despejo aquí la velocidad del modelo:

$$V_m = V_p \frac{L_p}{L_m} = V_p \lambda$$

me dice que es la velocidad del prototipo por la esloa del prototipo partido por la esloa del modelo, vale decir por la escala.

Veamos ¿Qué sucede ahora con el número de Froude?

El número de Froude del modelo tiene que ser igual al número de Froude del prototipo:

$$F_{m1} = \frac{V_m}{\sqrt{g_{m1} L_{m1}}} = F_{p1} = \frac{V_p}{\sqrt{g_{p1} L_{p1}}}$$

Reemplaza, ahí despejo la velocidad del modelo, va a ser igual a la velocidad del prototipo y acá me queda por la raíz cuadrada de L_m partido por la raíz cuadrada L_p .

$$V_m = V_p \sqrt{\frac{L_m}{L_p}} = \frac{V_p}{\sqrt{\lambda}}$$

Vale decir, me queda esto:

$$\frac{V_p}{\sqrt{\lambda}}$$

y antes ¿Qué tenía?

$$V_p \lambda$$

Que era multiplicado y al hacerlo acá me queda eso que es totalmente diferente. Hay una incompatibilidad y brutal entre estas dos relaciones. Incompatibilidad de Reynolds/Froude

Supongamos que λ es 30, entonces:

$$\text{Según Reynolds: } V_m = 30V_p$$

$$\text{Y según froude: } V_m = 0,182V_p$$

Según Reynolds la velocidad del modelo debería ser 30 veces, por ejemplo para una escala un λ de 30, 30 veces V_p y en el otro caso, la velocidad del modelo debería ser 0,182 la V_p . Hay una incongruencia entre esos dos números adimensionales

¿Qué es lo que pasa? La viscosidad es la misma

¿Cómo podríamos solucionarlo?

Una forma es buscar un líquido distinto para el ensayo del modelo, que no sea agua sino que sea otro ¿Pero qué sucede? La viscosidad cinemática del modelo tendría que tener esta relación con la viscosidad cinemática del agua

$$v_{m1} = \frac{1}{\lambda^{3/2}} v_p$$

¿Dónde vamos a encontrar un líquido que tenga esa viscosidad y en la cantidad adecuada para ponerla en un canal de agua? Es prácticamente, por el lado de la viscosidad, insalvable

¿Cuál es la otra condición podría llegar a que tanto el números de Reynolds como el número de Froude llegaran al mismo resultado? (voy a retroceder)

$$\frac{V_p}{\sqrt{\lambda}}$$

$$V_p \lambda$$

¿Qué pasa si el λ es 1? Llegaría a lo mismo, porque me queda que la velocidad del modelo es la misma que la velocidad del prototipo.

Lo que se hace es trabajar con el número de Froude y se desprecia el número de Reynolds, pero después en buenas cuentas hay que hacer la corrección por no haberlo considerado previamente. Entonces eso trae que estas reglas de similitud no funcionan tan bien

¿Qué es lo que se hace o se ha hecho en la práctica? Se ha ido juntando información de todos los canales de prueba de las empresas que tienen canales de pruebas, juntan información y se consiguen toda la que puedan. Ensayan un casco, obtienen resultados, con eso predicen cómo se comporta el prototipo, después se construye el prototipo y ensayan el prototipo y ven las diferencias y encuentran valores de corrección. Entonces han ido clasificando distintos tipos de cascos y los factores de corrección dependiendo según los distintos tipos de casco, para lograr determinar con mayor exactitud el comportamiento del prototipo a través de los ensayos del modelo, que tienen esa falla de que el número de Reynolds no funciona. Si funcionara sería regio, pero ya vimos que no podemos funcionar porque están fallando por el lado de la viscosidad.

Cuando se iniciaron todos estos estudios a través del modelo y prototipo, el trabajo fue al revés, había un barco se ensayaba el barco y después se construía el modelo y se ensayaba el modelo y se buscaba la correlación entre ellos. Después se fue acumulando la información propia de los ensayos, ese debe ser un tesoro bien guardado que tiene cada canal de prueba, porque eso ha sido mucho trabajo.

RESISTENCIA TOTAL

La resistencia Total = R_T depende de todos estos factores.

R_f	Resistencia friccional
R_w	Resistencia por la generación de olas
R_{ap}	Resistencia por la existencia de apéndices
R_{tim}	Resistencia causada por el timoneo
R_{pv}	Resistencia por presión viscosa
R_v	Resistencia debido al viento sobre la superestructura

Primero de una resistencia R_f , resistencia friccional, que tiene que ver con la viscosidad del fluido y por consiguiente el número de Reynolds, pero esta la tenemos entredicho por el momento.

R_f Resistencia por generador de olas que tiene que ver con el número de Froude.

R_{ap} Resistencia que se debe a la existencia de apéndices, por ejemplo: el timón, sonar, quillas laterales que provocan una resistencia adicional, ya no es el casco liso, sino que tiene apéndices, elementos que provocan resistencia. Cualquier cosa que sobresalga del casco.

Resistencia causada por el timoneo R_{tim} , por la acción de hacer trabajar al timón para que lleve curso correcto.

Resistencia por presión viscosa R_{pv} separación de la capa límite, vórtices de Von Kármán. Esto tiene que ver con la estela que se genera, la separación de la capa límite. La capa límite se separa siempre ¿Qué podemos hacer nosotros? Tratar de que se separe lo más tarde posible, si queremos tener poca resistencia o que se separe lo antes posible si queremos tener un freno aerodinámico. Pero es un fenómeno que no podemos evitar y muchas veces lo podemos ver aquí en la bahía, cuando viene uno de los buques de la armada o un mercante que va cargado a su nivel normal, genera mantener una estela pequeña, pero pasa una barcaza que tiene fondo plano y es recta adelante y genera una estela muchas veces mayor, siendo de menor envergadura, en ese sentido, la barcaza, su forma es pésima, se golpea y se mueve, no es agradable.

Y resistencia debido al viento R_v sobre la estructura. Esta no la habíamos conversado; una cosa es la resistencia que opone el agua y otra es la que opone el viento. Nosotros podemos acá al frente, cuando se estaciona un buque, de repente están mirando en una posición y a veces en otra, tiran el ancla delantera y el buque se desplaza ¿Por qué se desplaza? Porque el viento cambia, entonces el buque siempre se va a posicionar en la condición en que ofrece la menor resistencia al viento. Es lo que hace una veleta, es una resistencia importante, tanto que por sí fue la fuente propulsora de las embarcaciones, hay que saberlo coger para aprovecharlo. Todos estos veleros que tenemos aquí abajo tratan de hacerlo lo mejor posible, pero la súper estructura genera una resistencia al avance que puede ser muy importante. Entonces tenemos que en la resistencia total están estos siete factores.

$$R_T = R_V + R_W + R_{up} + R_{aire} + R_{lim} + R_{PV} + R_D$$

Este Sr. Froude que estudió todo esto, separó estas resistencias en dos: una es la resistencia friccional R_f y otra es la residual R_R , en buenas cuentas en la residual están todas las demás, de la 7 tomó una, aquí la friccional debido a la viscosidad y las otras 6 están en la resistencia residual.

$$R_T = R_f + R_R$$

Como aquí dice, es una aproximación a la realidad, pero que entrega buenos resultados útiles, satisfactorios, no son absolutamente exactos. Como estamos viendo, la cantidad de variables que intervienen es enorme, de tal manera de que es muy difícil considerarlas todas, por eso siempre cuando uno hace un estudio del modelo y prototipo y escoge las variables principales, las que se cree que son las más importantes ¿Hay otras? Sí claro, nosotros consideramos en la tubería la rugosidad ¿Y cómo influye la distribución de esa rugosidad en la tubería, influye? Si influye, pero en menor medida que la rugosidad misma y considerarla, ¿cómo podría yo matemáticamente en una fórmula colocar la distribución de la rugosidad dentro de la tubería?, es sumamente difícil, a lo mejor lo logramos con una ecuación, pero resulta poco práctico y lo que aporta en definitiva es muy poco, entonces hay que dejar cosas afuera, eso es una aproximación.

Resistencia friccional

La resistencia friccional, factor de corrección, tiene que ver con la rugosidad del casco. Los cascos son muy rugosos, ya no se construyen con remaches, que eran rugosidades más o menos notables. Ahora en una plancha, como una plancha de acero, normalmente soldada, las costuras es lo más imperfecto que tiene, pero el resto de la superficie es perfectamente lisa, así que debe tener una rugosidad esa plancha del orden de 0,046mm y si yo comparo esta rugosidad con la manga del buque que son varios mt. o muchos mt, dependiendo del tamaño, la rugosidad relativa es pequeña. A

pesar de ser pequeña y después de estar muy bien pintada, que hace que la rugosidad disminuya más todavía, influye en la resistencia total.

Entonces rugosidad estructural como remaches, soldaduras, protecciones de zinc, etc., etc., rugosidad de las planchas, pintura, rugosidad equivalente debido a la curvatura del casco

¿Qué otra rugosidad se presenta? Que periódicamente hay que sacar...las conchitas. La flora y fauna que se va pegando al casco, periódicamente hay que CARENAR para eliminarlas. ¿Cómo podríamos hacerlo en forma más fácil? Pintura especial Anti-fauna y ultrasonido. ¿Qué pasa si una embarcación trabaja normalmente en agua salada y se mete a algo dulce? Se mueren, hay algunas que fallecen, pero es un trabajo que hay que hacer periódicamente en las embarcaciones a pesar de las buenas pinturas pinturas, las preocupaciones y cuidados que se toman, pero estos bichos se adhieren al casco. Cuando están detenidas es cuando más hay problemas.

Resistencia residual

La residual es el re-componente más importante en la R_w (R_{wave}) que decíamos que esa R_w era la resistencia por generación de olas que tienen que ver con el número de Froude precisamente. Ahora los ensayos se realizan en condiciones bastantes ideales, aguas tranquilas, sin viento, casco limpio, sin súper estructura. Generalmente la súper estructura hay que ensayarla aparte, para ver qué fuerzas se generan.

El error en este valor, debido a sus deficiencias es de un 4% como máximo, o sea a pesar de ser deficiente un 4% no es tanto, es bastante pequeño a pesar de que no considera otra cosa. Esto se explica debido a que por ejemplo:

es un error unir R_r (Resistencia Residual) a R_w y a R_{pv} (Resistencia por presión Viscosa) ya que son función de distintos parámetros adimensionales.

Esto se acepta porque R_w es la principal es el 99% de la resistencia residual y por lo tanto las otras llegan a ser un 1%, eso hace que los errores de un 4% como máximo de diferencia con lo real y se puede hacer esta simplificación que es bastante drástica, pero absolutamente necesario para tener algo que sea precisamente manejable, una relación que sea manejable.

Hay que pensar que todas estas expresiones, además se idearon, se inventaron, se dedujeron o como queramos llamarle cuando todo se hacía con block fiscal y lápiz, sin computador, entonces naturalmente la cosa ha cambiado, a lo más uno tenía una regla cálculo que daba bastante utilidad, pero no tenía la capacidad que tienen los aparatos ahora que uno puede simular muchas cosas y puede repetir muchos cálculos, pero millones de veces y así uno llegaba al resultado.

Yo en la Santa María hice una memoria de título quería ahorrarme hacer ensayos a las bombas centrifugas, entonces hice un programa y el programa era medio complicado, entonces ese programa, porque generalmente se usaban computadores grandotes, pasaban varios programas simultáneamente en tarjetas perforadas, pero este programa tenían que pasarlo solo, asique había que hacerlo en la noche, si yo dejaba

mi paquete en la caja con tarjetas y al otro día yo iba a buscar los resultados y me pasó que varias veces trabajaba el computador toda la noche y no llegaba a ningún resultado. A pesar de que hacía millones de interacciones, claro que había un problema por ahí. Ahora descubrir el problema era también una cosa bastante complicada, le entregaban a uno una hojas anchas, casi en chino era en sistema extra decimal, uno tenía primero intuir por dónde podía estar el problema y ahí traducir en qué línea, en qué tarjeta estaba el error, sin embargo, a pesar de lo engorroso, en ese momento era extraordinario, uno podía hacer muchos cálculos que de otra manera era imposible.

Entonces tenemos que pensar que todas estas relaciones se idearon, se inventaron, se dedujeron, cuando no había ni siquiera ese computador el IBM 370, que en un momento fue una maravilla y ya no necesitamos tarjeta, esas son a veces las cosas que no se creen. Primero esas tarjetas, cada tarjeta era una instrucción, pobre que a uno se le cayeran las tarjetas al suelo, la secuencia era clave, si están cambiadas las tarjetas el asunto no funcionaba.

COEFICIENTES DE RESISTENCIA TOTAL

La resistencia total se estableció como esto, como esa función:

$$R_T = \frac{V^2 S \rho}{2} f\left(\frac{VL}{v}, \frac{Lg}{V^2}, \frac{P}{V^2 \rho}\right)$$

El coeficiente vamos a tomar esto

$$R_T = \frac{V^2 S \rho}{2} C_T$$

y si Uds. se fijan aquí un coeficiente de resistencia total, este coeficiente de resistencia total es el que agrupa todo esto:

$$f\left(\frac{VL}{v}, \frac{Lg}{V^2}, \frac{P}{V^2 \rho}\right)$$

Entonces podemos decir en base a lo que hemos estado viendo que ese coeficiente de resistencia total tiene que tener un componente debido a la fricción y una componente debido al coeficiente residual.

$$C_T = C_f + C_R$$

$$C_T = \frac{R_T}{\frac{1}{2}SV^2\rho}$$

Entonces, podemos definir que C_T , Coeficiente de Resistencia Total, es igual a la Resistencia Total dividido por la expresión que teníamos aquí. Esto dividido por esto y es el Coeficiente de Resistencia Total.

$$C_R = \frac{R_R}{\frac{1}{2}SV^2\rho}$$

Y a su vez el residual es la fuerza residual dividido por el mismo factor.

$$C_F = \frac{R_F}{\frac{1}{2}SV^2\rho}$$

Y el coeficiente friccional es la resistencia friccional dividido por el mismo factor. Tiene que ser así para que funcionen en concordancia y todos en el mismo tono.

Ahora si nosotros tomamos planchas planas de igual superficie que el casco de la embarcación real, este coeficiente friccional es igual a:

$$C_F = \frac{0,075}{(\log R_L - 2)^2} \quad (\text{ITTC Line})$$

Este R_L , esta expresión la dedujeron de esta empresa la ITTC Line y esta otra tienda a buscar lo mismo este es el coeficiente friccional la designó esta otra empresa.

$$\frac{0,242}{\sqrt{C_F}} = \log(R_L C_F) \quad (\text{ATTC Line})$$

De esa manera se pueden determinar el friccional.

$$C_F = \frac{R_F}{\frac{1}{2}SV^2\rho}$$

Y el residual ¿Cómo lo voy a sacar? Por diferencia. Porque nosotros podemos ensayar el casco y determinar esto:

$$C_T = \frac{R_T}{\frac{1}{2}SV^2\rho}$$

y determinando esto y conocer este otro:

$$C_F = \frac{R_F}{\frac{1}{2}SV^2\rho}$$

me permite saber cuánto vale ese, porque ese tiene que dar esa suma.

$$C_R = \frac{R_R}{\frac{1}{2}SV^2\rho}$$

$$C_T = C_V + C_R$$

Este es R_L número de Reynolds

$$C_f = \frac{0,075}{(\log R_L - 2)^2} \quad (\text{ITTC Line})$$

Porque ese tiene que ver con la resistencia friccional, aquí estamos nosotros introduciendo el número de Reynolds que lo habíamos dejado afuera por esta incompatibilidad con el número de Froude. Entonces estas dos empresas han determinado el coeficiente friccional, la de arriba es más práctica que la de abajo porque la de abajo la tenemos en dos partes y entonces a nosotros nos suele dificultar la solución (no es una ecuación simple, es más compleja).

Vamos a conocer el coeficiente friccional a través de esta

$$C_f = \frac{0,075}{(\log R_L - 2)^2} \quad (\text{ITTC Line})$$

... pero eso, R_L es el número de Reynolds.

Considerando las correcciones por rugosidad y curvatura:

$$R_F = R_{F_{\text{plano}}} + \Delta R_F$$

La resistencia friccional, es un coeficiente de la resistencia debido a la plancha equivalente $R_{F_{\text{plano}}}$, que vimos antes y este ΔR_F es las correcciones a la rugosidad, pero ese ΔR_F lo vamos a sacar a partir de este coeficiente ΔC_f que tiene ese valor:

$$\Delta C_f = 0,4 \cdot 10^{-3}$$

Hasta ahí podríamos decir, tenemos por un lado la resistencia total, que esa la dividimos en dos, la resistencia friccional y la resistencia residual.

$$R_T = \begin{cases} R_F = \text{resistencia friccional} \mid \text{se determina por cálculo} \\ R_R = \text{resistencia residual} \mid \text{se calcula a partir de la diferencia} \end{cases}$$

La resistencia friccional la podemos entrar a calcular por las relaciones que vimos en la anteriormente y la podemos corregir a través de este coeficiente:

$$\Delta C_f = 0,4 \cdot 10^{-3}$$

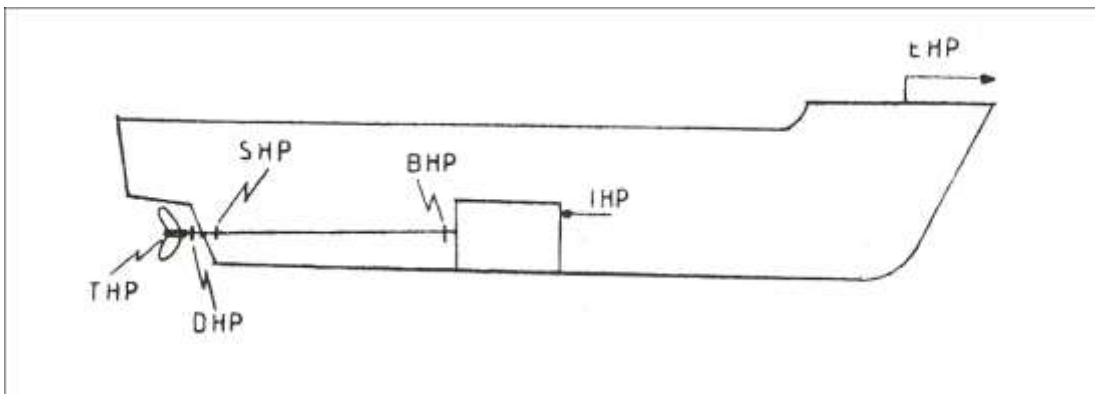
La resistencia residual, se va a determinar a través de los ensayos ¿Cómo a través de los ensayos? Si, porque a través de los ensayos nosotros determinamos la resistencia total (R_T), R_t por ensayo, R_f por cálculo y R_R por la diferencia entre la total menos la friccional. Nosotros podemos sacar la resistencia residual si me interesa obtenerla. Nuestro principal objetivo: obtener la resistencia total, teniendo la resistencia total vamos a poder calcular la potencia que necesita nuestra nave, buque o artefacto marítimo.

(BREAK)

POTENCIAS Y RENDIMIENTOS

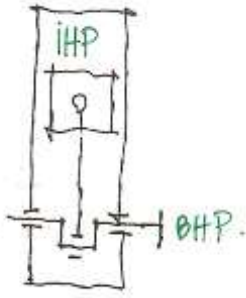
Vamos a comenzar algo relativamente breve.

Vamos a ver la nomenclatura de qué significa cada cosa de esta. La próxima clase nos vamos a dedicar más en detalle a los canales de pruebas.



Lo que nosotros andamos buscando es la **potencia efectiva (EHP)**. La potencia efectiva, que es esta EHP, es la que necesitamos para mover el barco, pero esa potencia tiene su origen aquí en la máquina y de ahí tenemos una potencia más alta en la máquina, pero se va dilatando poco a poco hasta llegar a la potencia efectiva que es el valor más pequeño digamos.

La primera de ellas es la **potencia indicada (IHP)**, este nombre tan extraño. La potencia indicada se llama así por la manera de medirla y que todavía se hace de esa forma a través de un diagrama indicado ¿De qué se trata?



Si nosotros tenemos aquí un motor de combustión interna, se mide cuál es la potencia que el combustible desarrolla en el interior del cilindro (IHP), la potencia indicada es la potencia generada por los gases sobre el pistón directamente.

Cuando eran máquinas a vapor era la potencia que desarrollaba el vapor sobre los pistones de la máquina a vapor, potencia indicada. Entonces podríamos decir que esta es la potencia de mayor valor, pero es la que se desarrolla en el interior de la máquina que estamos viendo en la embarcación, pero esta potencia, si pensamos nosotros en un motor, su pistón ahí tiene que pasar al eje cigüeñal, que tiene un pasador, descanso, y aquí sale hacia el lugar de uso. Entonces la potencia indicada los IHP están acá adentro y HD ahí adentro se desarrollan y los BHP significan break potencia al freno, la potencia efectiva del motor BHP ¿Por qué hay diferencias entre estas dos?

$$BHP < IHP$$

No valen lo mismo, porque tenemos roce del pistón con el cilindro, tenemos los descansos que nos consumen energía, tenemos aquí en el pie de la biela en el pasador y todas las otras cosas que mueve el motor, por ejemplo, hay que abrir y cerrar las válvulas, la válvula de aceite, la bomba de aceite, son consumos que tiene el motor para poder funcionar, sea petróleo el accional del inyector, la bomba de combustible tiene una serie de gastos, por lo tanto la potencia al freno es menor que la potencia indicada.

Después de esta potencia al freno del motor tenemos la **SHP, potencia en el eje** que es la potencia, pero ya no es el eje de salida sino que es el eje antes de salir hacia el exterior y aquí hay un descanso y tiene que haber un descanso muy importante porque la hélice empuja, hay un descanso de empuje acción que recibe toda la fuerza que genera la hélice para mover todo el monstruo.

Tenemos la potencia ahí y después la **potencia DHP antes de la hélice**, entonces entre estas dos, ahí debe estar el descanso del empuje...además aquí hay todo un sistema para impedir que entre el agua, que también consume energía y casi finalmente tenemos la potencia acá, la **THP que es Thrust, potencia de empuje**.

¿Qué potencia vamos a medir nosotros en un canal de prueba? La **EHP**, pero después por otro lado se tiene que ver qué pasa acá y evaluar la hélice, vale su consumo, qué es lo que produce e ir evaluando hasta decir: yo necesito un motor que me genere tanta potencia. Generalmente uno va a llegar hasta aquí porque la potencia indicada,

si bien es lo que se desarrolla en el interior, ya el fabricante a uno le entrega este valor, las curvas del motor y el valor de la potencia.

Esos son cada una de estas potencias y la **EHP** que era la **potencia efectiva** del caso y corresponde a la potencia neta para mover el casco del buque a una determinada velocidad, viene a ser la resistencia total por la velocidad de embarcación.

Después la **potencia de empuje** de los **THP** sus valores tienen un ensayo aislado del propulsor, vale decir de la hélice.

La **potencia antes de la hélice DHP**, su valor se obtiene de un ensayo aislado de un propulsor también. La potencia en el eje se mide mediante instrumentos instalados en el eje.

Potencia al freno BHP, generalmente ésta potencia al freno, los motores se ensayan fuera de la embarcación y ahí se tiene un freno hidráulico que permite determinar todas las características del motor, su potencia, su velocidad, etc.

Valores característicos de una embarcación

- Rendimiento del casco EHP/THP, esta es la potencia efectiva partida por la potencia de empuje, el rendimiento fluctúa entre el 98% al 105%. Eso es bien curioso tiene que haber alguna situación porque el 98% es entendible, pero el 105%... no es muy entendible porque si esta es la menor de todas es curioso que en algún momento esta sea mayor que esa, tiene que haber otro factor, muchas veces es la forma en que se miden las potencias que originan esa inconsistencia que es absurda.
- Después la potencia del rendimiento de la hélice THP/DHP. Tiene que ver con la potencia de empuje a la potencia antes de la hélice de 60% para las mejores. Las máquinas aciales no suelen ser las más eficientes ahí está indicando un 60%.
- Rendimiento mecánico y de transmisión DHP/BHP. Hasta los BHP antes de la hélice y hasta el motor todos esos mecanismos, los descansos que hayan, los sistemas de sellos alcanzan una pérdida del 3% o sea queda un 97%. Todos estos valores sirven para tener una idea si te dicen que hay una hélice que rinde un 90% no hay que creer. Este de acá habría que ver cómo mide para poder determinar que sea el 105% indudablemente que la EHP tiene que ser menos que la de empuje y eso es todo lo de hoy día.