

Charla III sobre construcción naval

Tema XI: La Hidrodinámica

1ª Parte

"Todos los hombres son sabios; unos antes, los otros, después". Proverbio chino.

Simbad: Hemos visto lo que pasa con el casco en "condiciones ideales" y que ello era necesario para



Figura XI.1.1: Las "Condiciones ideales" existen raramente...

el cálculo de un buque, pero ¿Qué pasa en condiciones reales?

Capitán Isidore Caubin: Para ello debemos estudiar lo que en física se llama "la Hidrodinámica". Esta ciencia trata sobre todo de la mecánica de los fluidos y de los "móviles" que se mueven en un fluido.

Simbad: ¿Porqué "fluidos" y porqué "mecánica"?

Capitán Isidore Caubin: "Fluidos", porque todo "medio en el que se desplaza el objeto a estudiar es considerado como un fluido", y el agua en nuestro caso lo es.

"Mecánica", porque en el fluido se pueden aplicar las leyes generales de la mecánica que existen para todo fluido lo mismo que existen para otros cuerpos, pero aquí, se han hallado fenómenos específicos a los fluidos. De esta manera y para empezar tendré que hablarte de "esa mecánica de fluidos"...

Simbad: ¡Adelante mi capitán, la cosa se pone interesante!

Capitán Isidore Caubin: Cuando un móvil se desplaza en un fluido, su velocidad está limitada por sus formas. El fluido se opone o "frena" este desplazamiento.

Simbad: Si corro por la playa, es verdad que el aire me frena...¿no?

Capitán Isidore Caubin: Sí, en efecto el "fluido aire", como tú dices tiende a frenarte ya que cada

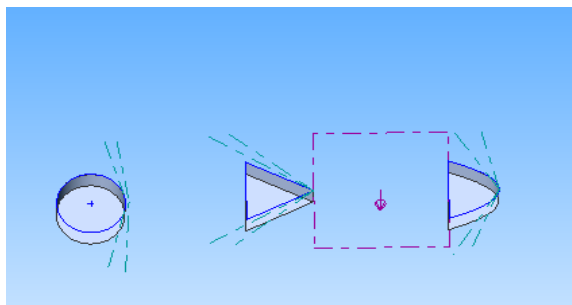


Figura XI.1.2: El "fluido" frena al móvil según sea "La eficacia de sus formas"...

móvil tiene un mayor o menor "eficacia en sus formas" para intentar oponerse a este freno.

La "presión hidrostática del fluido" sobre las paredes del móvil y sus diferentes formas de ejercerse son, entre otras causas las que producen este freno. Estos fenómenos se estudian en "mecánica de fluidos" como ya he dicho en física y fueron puestos de manifiesto, entre otros, por un sabio llamado Bernoulli.

Simbad: El problema "que veo venir", es que Ud., capitán me va a meter un rollo matemático; ¡lo estoy sintiendo!

Capitán Isidore Caubin: Hombre, es verdad que para estudiar ciencias es mejor tener nociones de matemáticas. Pero para que no te pongas nervioso voy a proponerte un acuerdo...

Cuando veas "una multiplicación", la consideraremos como "una mezcla".
 Cuando veas "una división", es que la formula te dice que se está intentando separar "esa mezcla de cosas"... Por ejemplo $p \times V$, sería la "mezcla de una presión con un volumen de líquido". (o de otro fluido como el aire por ejemplo). Aquí lo que tienes que ver es que " Toda la presión se mezcla, con todo el volumen considerado y no la podemos diferenciar (o separar), la una ni la otra", en el lugar físicamente estudiado. Otro ejemplo sería la explosión de un misil impactando con un avión.
 El misil que impacta con un avión hace que los trozos del avión y del misil estén mezclados totalmente

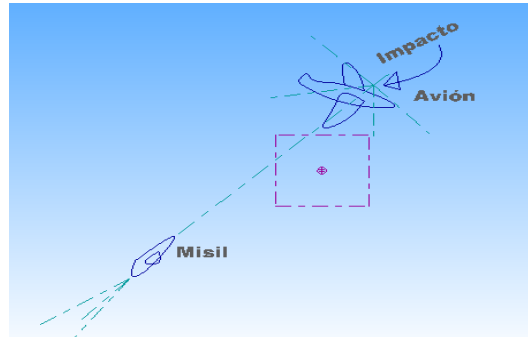


Figura XI.1.3: La "multiplicación" se realiza cuando el misil impacta al avión..

y sería para nosotros "una mezcla del avión y del misil", o una multiplicación entre el misil y el avión: "Mezcla del misil con el avión = $M \times a$ " (misil por avión). Figura III.1.2.

Simbad: ¡Capitán Ud., explica las matemáticas como si fueran un "juego video"!

Capitán Isidore Caubin: Es simplemente para que con estas imágenes tengas las cosas más claras. No podemos "diferenciar los trozos del misil y los del avión" a no ser que hagamos una operación "de separación" que sería la operación de división: $(m \times A) / A = m$ (misil), o $(m \times A) / m = A$ (avión)
 Generalizando a cualquier formula de física: "La manera de obtener un fenómeno tal cuál sin "parásitos", es el dividirlo "por lo que no nos deja verlo claro"

Así por ejemplo en la famosa formula de Coulomb que nos da la fuerza total ejercida entre dos partículas de carga electrostática, q y q' tenemos:

$$F = 1 / 4\pi\epsilon_n \cdot \frac{q \cdot q'}{r^2} \quad (XI.1.1)$$

Donde : $1 / 4\pi\epsilon_n$, es una constante de proporcionalidad "histórica", que depende del tipo de fluido en el espacio en que realizamos la medida y del tipo de fluido donde se considera el fenómeno que estudiamos como por ejemplo, el aire, una mezcla de gas butano, el vacío absoluto, etc.

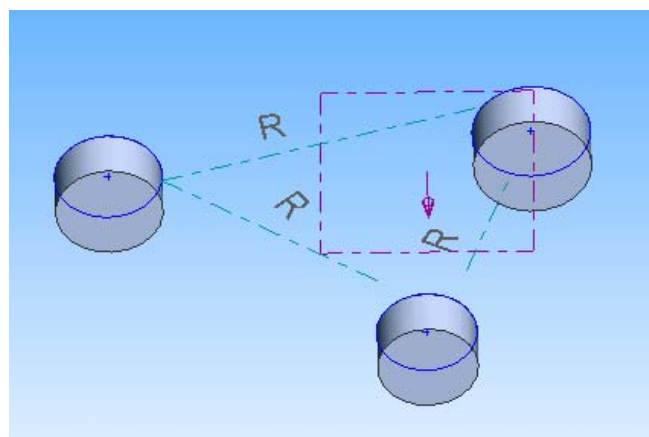


Figura XI.1.4: Cargas en el espacio separadas de "R"

Consideremos solamente el segundo factor: $\frac{q \cdot q'}{r^2}$ (aunque con el primero podríamos razonar de la misma manera).

Simbad: Entonces "lo que nos molesta" lo ponemos en el denominador?

Capitán Isidore Caubin: Sin querer simplificar ni mucho menos, las nociones difíciles de la física como el "Teorema de Superposición de la Ley de Coulomb", los problemas complejos de los "campos vectoriales y escalares", está claro que los potenciales electrostáticos de las dos partículas forman "una mezcla" que nos da el potencial que "tendrían las dos juntas" (y que es lo que buscamos). Pero como la partícula q se encuentra a una distancia r de la partícula q' y que la partícula q' se encuentra a una distancia también de r de la partícula q, "lo que nos molesta" para observar este fenómeno de manera "pura", es decir como si las partículas estuvieran "mezcladas y formarían una sola partícula", es precisamente esta distancia $r \cdot r = r^2$.

Para observar el fenómeno tal como es, "tenemos que quitar de en medio la distancia r^2 ", es por eso que la colocamos en el denominador, para poderla "eliminar".

Entonces y si todavía me sigues: "Todo lo que se encuentra en el denominador en una fórmula o expresión física debe ser considerado como una perturbación" que nos "impide ver el fenómeno tal como es". Si has cogido bien esta idea, a partir de ahora, te será mucho más fácil "memorizar las fórmulas", ya que las entenderás y no tendrás que aprenderlas de memoria...

Simbad: A veces me hago "un lío" con todas las abreviaciones que salen en los libros técnicos...las diferentes definiciones de las cosas, etc.

Capitán Isidore Caubin: Si, es verdad y por ejemplo, a muchos les cuesta entender la diferencia que hay entre "Peso y Masa".

Para entenderlo diremos: El peso "w" (de weigh en inglés), de una masa m, si la aceleración de la gravedad es g, es una fuerza igual a $w = m \cdot g$.

Como vamos a hablar de presiones y las vamos a anotar con la letra "p", para el peso usaremos la letra "w" si no nos vamos a "hacer un pequeño lío mental".

Durante mucho tiempo los sistemas de unidades eran o fueron "bordélicos". Unos hablaban en metros, otros en centímetros.... Hoy en día se tiende a su normalización y así por ejemplo, en el sistema MKS (Metro, kilo, segundo), m se medía en Kg, mientras que w como fuerza que es, se mide actualmente en Newtons, sin embargo, en el sistema técnico de unidades, las fuerzas se medían en "kiloponds" o simplemente en "kilogramos/ fuerza" o simplemente Kg, (si está claro de que se trata), de manera que 1 Kg / fuerza = 9,8 Newtons, actualmente. Cuando decimos entonces que "algo pesa 1 Kg", estamos diciendo "que vale 9,81 Newtons".

Simbad: ¿Se han puesto ya de acuerdo los científicos?

Capitán Isidore Caubin: Parece que la cosa va mejor, pero hay que poner atención "en las palabras de lo que decimos" y cuando digamos "Su masa volumínica es de tanto", estamos diciendo lo mismo, pero hemos agregado la palabra "volumínica", es decir que además "ese peso tiene algo que ver con un volumen". Lo mejor es un ejemplo: Cogemos 1 cm³ de un líquido (si podemos), lo colocamos en una balanza y vemos que pesa 1 gramo: "La masa volumínica de este líquido sería de 1g/cm³", (Un gramo

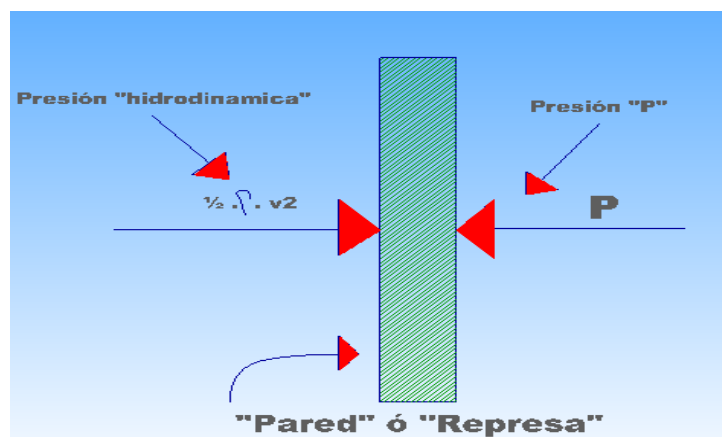


Figura XI.1.5: Equilibrio de presiones

por centímetro cúbico)...¿Está claro más o menos?

Simbad: Si, está claro como Ud., dice "más o menos"...

Capitán Isidore Caubin: Ahora vienen entonces algunas formulas que creo que "entenderás mejor que antes"...Estas formulas son fundamentales en mecánica de fluidos y como la persona que dedicó más tiempo a ellas se llama Bernoulli, empezaremos con él: La Ecuación general de la presión (Bernoulli) es:

$$p \cdot V + m \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} m \cdot v^2 = \text{Constante} \quad (\text{XI.1.2})$$

Expresada con la masa del fluido m

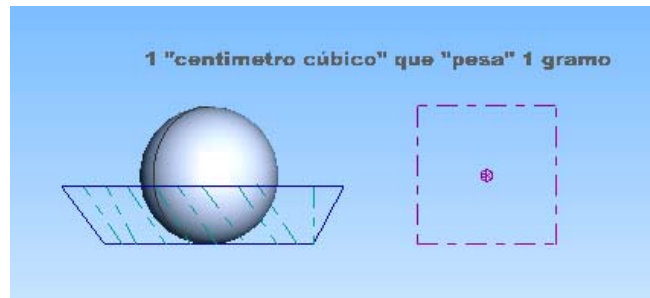


Figura XI.1.6: "Masa volumínica" de $1g/cm^3$...

O:

$$p + \rho \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 = \text{Constante} \quad (\text{XI.1.3})$$

Expresada con la "masa volumínica del fluido" ρ

Y donde: p es "la presión estática", V el "volumen ocupado", m la "masa de fluido", h el "desnivel" (o altura considerada en metros), v la "velocidad", g la "aceleración de la gravedad"... ρ es la "masa volumínica" del agua por ejemplo en nuestro caso, que es el peso por unidad de volumen (o del aire según sea el fluido considerado). El primer sumando "es el trabajo realizado por el liquido": $p \cdot V$, "la presión se mezcla con el volumen del fluido". El segundo es "la energía de posición": $m \cdot g \cdot h$, "la masa se mezcla con la gravedad y con el desnivel". El tercero "la energía cinética": $\frac{1}{2} m \cdot v^2$, "la mitad de la mezcla de la masa y de la velocidad del móvil al cuadrado". A la expresión: $\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$, se la llama "la presión de represa, presión de ataque o presión hidrodinámica". Si la posición en altura no cambia, se tiene con la expresión (XI.1.2 y XI.1.3):

$$p + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 = \text{Constante} \quad (\text{XI.1.4})$$

Y se dice que: "La suma de la presión estática y la hidrodinámica es constante"...

Simbad: ¡Dios mío, menos mal que me he tomado un buen café antes de enfrentarme con Ud., mi capitán!

Capitán Isidore Caubin: Lo que hemos visto se refiere a las fuerzas o presiones que se ejercen por los fluidos "sobre algo", pero tendremos también que ver, que en nuestro caso tenemos un casco que "quiere avanzar en el fluido", y para ello tendremos que hablar de las "fuerzas u oposiciones que se oponen o que se ejercen sobre el mismo" a este avance.

Las formas del móvil o en nuestro caso el casco, definen lo que se llama: "Resistencia al avance" o "retroderiva" ó "drag" en inglés.

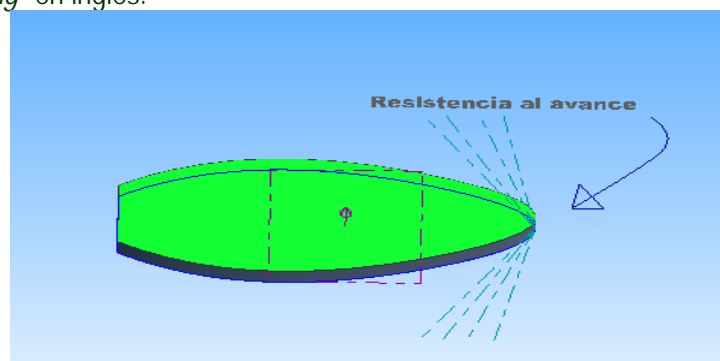


Figura XI.1.7: Resistencia al avance, retroderiva ó "Drag"...

Simbad: Si más vale, más vale...

Capitán Isidore Caubin: Para una velocidad dada, "estable y constante", que corresponde en física a la del "movimiento rectilíneo y uniforme", la fuerza que tiende a desplazar el móvil o casco, es igual y opuesta a la que tiende a frenarlo o como ya hemos dicho a su "retroderiva". La velocidad constante, por ejemplo de 8 nudos, no se obtiene que cuando la fuerza propulsora (la de máquinas), está primero, equilibrada con esta fuerza de "retroderiva"...



Figura XI.1.8: Las formas de un buque "penetran mal o bien" la mar...

Tema XII: La resistencia de frotamiento al avance.

"Prefiero que mi mente se abra movida por la curiosidad a que se cierre movida por la convicción".
Gerry Spence; abogado estadounidense.

Simbad: ¿Esto quiere decir que cuando avanzamos a 8 nudos, la oposición es igual?

Capitán Isidore Caubin: Si, lo que quiere decir es que "esa oposición de retroderiva, una vez vencida", nos permite el ir a 8 nudos.

Simbad: Si, eso me parece más lógico...

Capitán Isidore Caubin: Por ejemplo cuando un cuerpo cae en caída libre en el aire, su "retroderiva", se opone a las fuerzas de frotamiento y de gravedad que lo hace caer. En este caso el motor es simplemente "la fuerza de gravedad" ejercida sobre su masa y la velocidad límite (teórica) del cuerpo, será constante cuando estas dos fuerzas opuestas se equilibren, cayendo así con velocidad constante. Para un vehículo, su velocidad estará equilibrada (será constante), cuando su fuerza propulsora esté equilibrada con el conjunto de las fuerzas de resistencia que se oponen a su avance. La "resistencia al avance" o "retroderiva", se escribe:

$$F_r = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_x \cdot S \cdot v^2 \tag{XII.1.1}$$

Nota: Comparar esta formula con la de Bernoulli en (XI.1.2 y XI.1.3)

Donde: F_r , es la fuerza "resistiva", expresada en newtons (N); ρ , la masa volumínica del fluido, que es de 1.025 kg / m³ para el agua de mar; C_x , que es un coeficiente sin dimensión, llamado C_x si se trata de un coeficiente de "retroderiva". (Este coeficiente depende de la forma del sólido considerado);



Figura XII.1.1: La "Capa limite" cuando se aleja, ya no nos frena...

S , que es la superficie total de contacto entre el objeto y el fluido, dada en m², o en ciertos casos la superficie frontal del objeto ("cuaderna maestra"); v , que es la velocidad relativa del objeto con relación al fluido dada en m/s. Corrientemente la "retroderiva" ó "resistencia al avance", debida a las fuerzas de frotamiento se escribe:

$$R_x = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_x \cdot S \cdot v^2 \tag{XII.1.2}$$

Si observamos un flotador o casco en movimiento por ejemplo, veremos una pequeña "estela" o

espesor de agua llamada "*Capa limite*" y que es arrastrada por las "*fuerzas tangenciales de viscosidad*" y que tiene una velocidad sensiblemente igual a la de las partículas de agua que están directamente en contacto con las paredes.

Simbad: Entonces... ¿Esa estela es como "*si viéramos lo que nos frena*"?

Capitán Isidore Caubin: Si, esta capa limite disminuye a medida que se aleja, llegando a ser a poca distancia la del agua libre dejando de hacer remolinos, es decir "*ya no nos frena*". Si la carena de nuestro flotador o casco, está bien diseñada y perfilada, es decir, es "*aerodinámica*", la capa limite que suele ir desde algunos centímetros de espesor en la parte delantera hasta algunos decímetros en la parte posterior, "*la envuelve enteramente y se pega*" ("*Capa limite de Prandtl*")

Simbad: ????

Capitán Isidore Caubin: Este científico, llamado Prandtl, nos dice: "*En la inmediación de las paredes, una cierta cantidad de agua (o aire) relativamente pequeña es frenada muy intensamente y se adhiere a la pared misma*". Si estas capas terminales se despegan y se desplazan hacia la masa de agua (aire) libre, originan remolinos que "*absorben energía del propio móvil y por lo tanto lo frenan*". Por lo tanto, para disminuir la formación de remolinos en cuerpos destinados a una rápida translación por el agua (aire) se les hace terminar en una "*punta alargada*" (principio de "*la forma aerodinámica*"). En conclusión se puede decir que es el conjunto de fuerzas que se desarrollan aquí en esta capa limite, lo que constituye "*la resistencia de frotamiento al avance*".

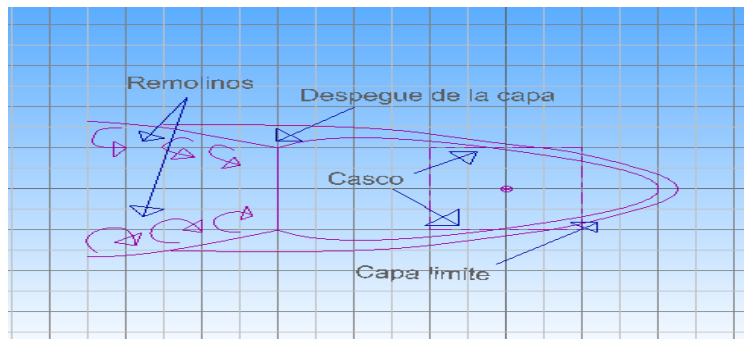


Figura XII.1.2: Resistencia al avance del navío

Si la carena presenta discontinuidades (timón, quillas de pantoque, hélices, etc.), esta capa limite puede llegar a "*despegarse*" constituyendo en ese punto una serie de remolinos o torbellinos ("*Vortex*"), más o menos importantes y que corresponden a lo que se llama "*Resistencia de remolino*".

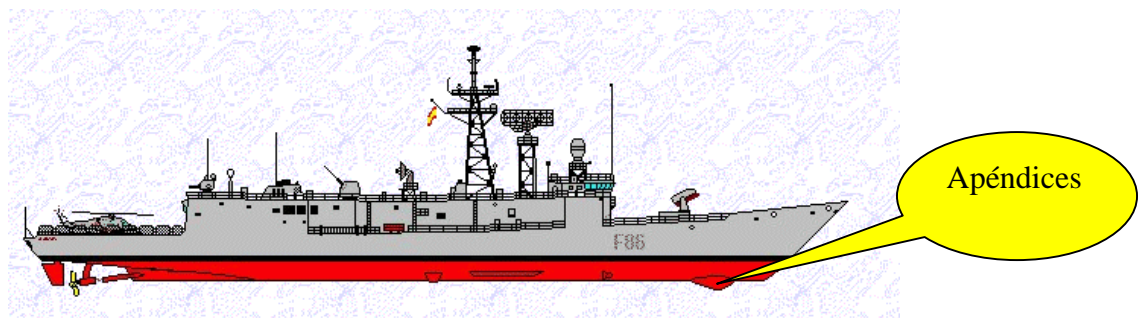


Figura XII.1.3: En el casco hay "Apéndices"

En conclusión, todo lo que tienda a "*evitar que esa capa se despegue y que se creen remolinos*", nos ayuda a avanzar... Todas estas fuerzas de "*Viscosidad*", constituyen la "*retroderiva*" y son variables en función de las formas y de la velocidad del navío.

Simbad: Deberíamos avanzar, tratando y viendo que esa capa limite no se despegue creando remolinos, ¿verdad?

Capitán Isidore Caubin: Así es en efecto, aunque hay otras resistencias también que influyen el avance del navío...

Fin de la 1ª parte de la 3ª charla de construcción naval.