

TALLER HIDRODINÀMICA MUSEU MARÍTIM PALMA

Dissabte •••• 15/04/2023 •••• 10h - 13h



ORGANITZA

MAKESPACE MALLORCA

PATROCINEN

okmobility

OmniAccess

COL·LABOREN



G CONSELLERIA
DE TRANSICIÓ ENERGÉTICA,
SECTORS PRODUTS
I MEMÒRIA DEMOCRÀTICA
B DIRECCIO GENERAL
INNOVACIÓ

Consorci Museu Marítim de Mallorca



Departament de Cultura, Patrimoni
i Política Lingüística
Consell de Mallorca

PalmaActiva

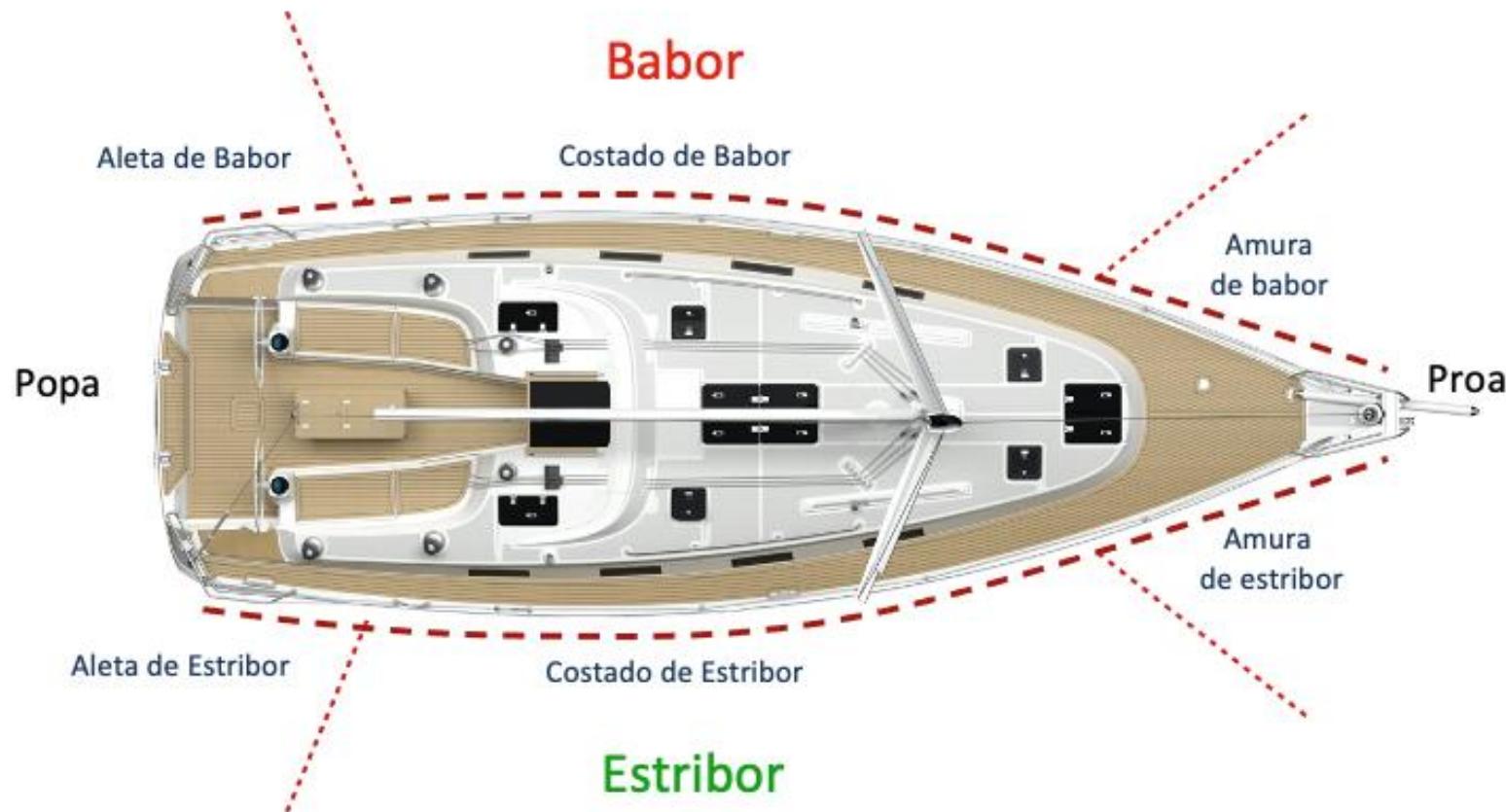
G CONSELLERIA
O FONS EUROPEUS,
UNIVERSITAT I CULTURA
I B

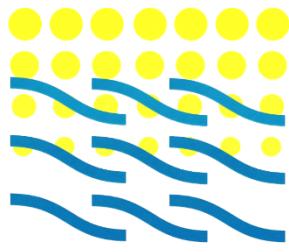
Ajuntament de Palma

Ernesto Gutiérrez Rodríguez – Inf@mous Team
[@erguro1973](https://twitter.com/erguro1973)



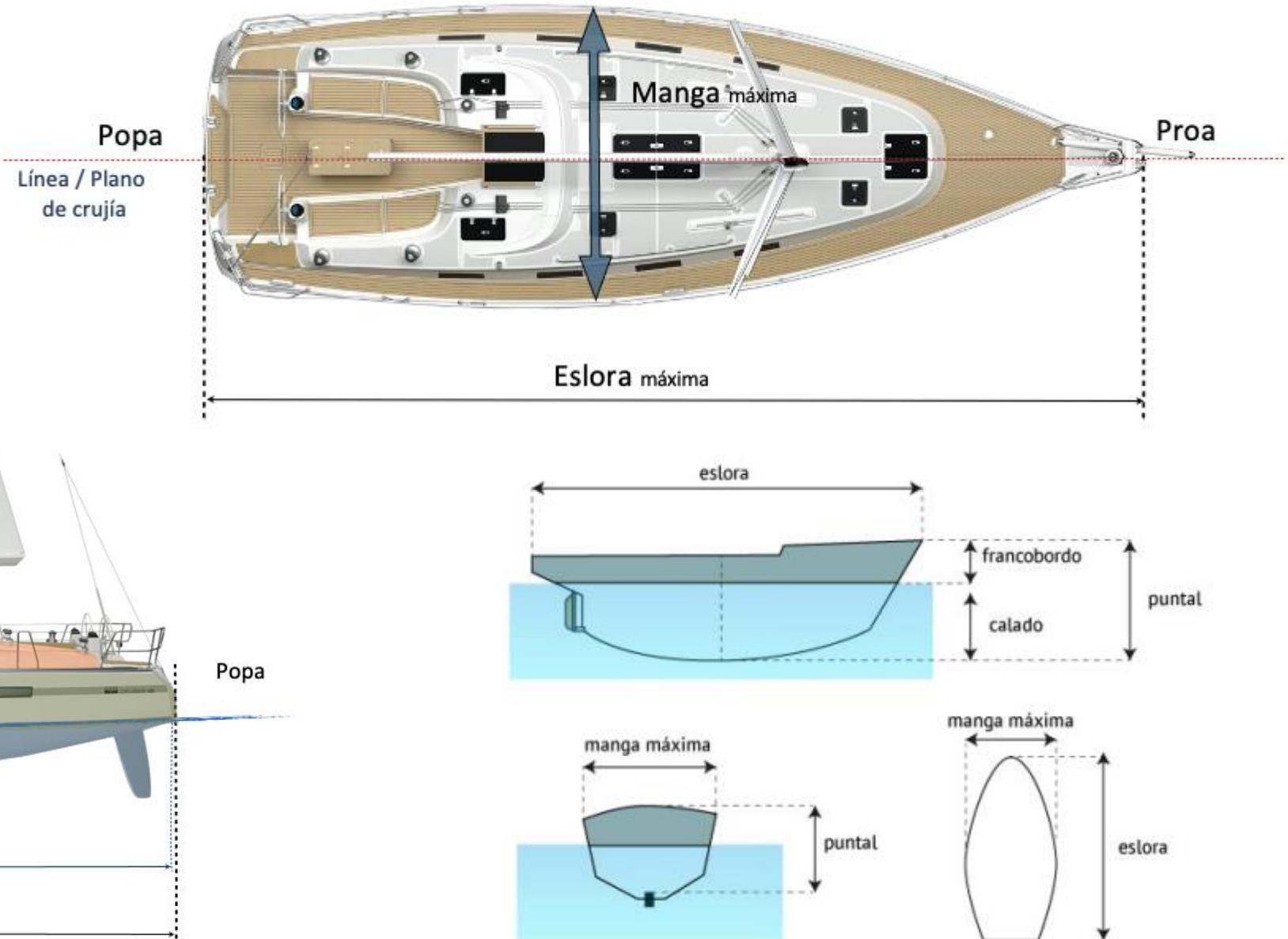
- PARTES BÁSICAS DEL BARCO





I REGATA SOLAR

Illes Balears

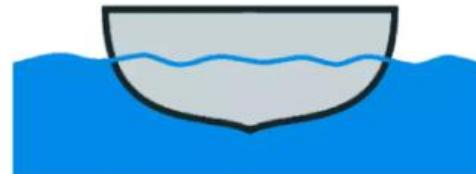
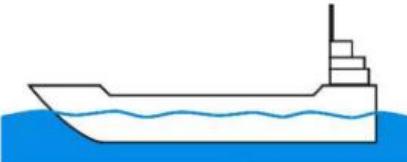


TIPOS DE CASCOS.

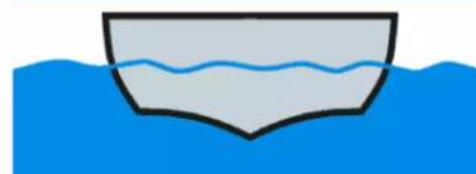
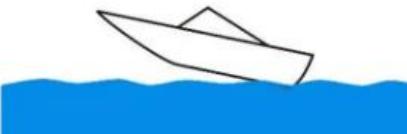
Existen básicamente 3 tipos de mono codos según su forma que básicamente pueden hacer 2 cosas, **desplazar el agua o planear sobre ella**

Clasificación por la forma del casco

Casco de Desplazamiento



Casco de Planeo



Casco de Semi-Desplazamiento





CASCO DE DESPLAZAMIENTO.

Es un casco que desplaza agua, el barco navegando, desplaza prácticamente el mismo volumen de obra viva sumergida, que parado. Es el tipo de casco más habitual en buques medio - grandes, y permite navegar bien con mala mar, aunque el inconveniente es **que la velocidad está limitada por la eslora**.



(Principio de Arquímedes). Un cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido en reposo experimenta un empuje vertical hacia arriba igual al peso del fluido desalojado.

Esta fuerza recibe el nombre de **empuje hidrostático** o de Arquímedes, y se mide en newtons (N).



CASCO DE SEMI-DESPLAZAMIENTO.

En si es un casco similar al de desplazamiento ya que a velocidad baja-media navega como uno de desplazamiento, navega de una manera correcta con mala mar, pero si seguimos acelerando, navegan con la mitad de la carena sumergida y la parte de proa fuera del agua.

Estos barcos en la posición de máximo planeo, siguen navegando con casi la mitad trasera de la embarcación dentro del agua, esto hace que no tenga su velocidad limitada por la eslora, pero requiere una elevada potencia instalada, aunque no tan alta como en el caso de los codos de planeo y no alcanza velocidades tan elevadas como los codos de planeo.

CASCO DE PLANEO

- Este tipo de casco se caracteriza porque permite mayor velocidad, navega muy mal con mala mar, **requiere elevada potencia**, se usa en embarcaciones pequeñas, que, por sus características al alcanzar una determinada velocidad, su casco sale parcialmente del agua, por lo que ya no limita su velocidad. Son embarcaciones que necesitan una mar tranquila, para planear y alcanzar su máxima velocidad.



MULTI CASCOS

- Además de los monocascos, hay más tipos de barcos, con 2 o 3 casclos, como por ejemplo, los wave piercing, SWATH (small waterplane área twin hull),foils etc.



WAVE PIERCING



SWAT



TRIMARÁN



AC 75

VELOCIDAD CRITICA DEL CASCO DE DESPLAZAMIENTO

- Cualquier barco que se desplaza en el agua, crea una ola de proa y de popa. Alrededor del 60% de la energía necesaria para desplazar el barco a velocidad máxima se usa en crear y empujar estas olas, y **mientras más distantes estén, más fácil es el impulso**. La velocidad a que la ola alcanza a la popa, será la velocidad límite del casco.
- También hay otro efecto en sus costados (babor y estribor), donde, por el rozamiento del agua con el casco, se levanta una ola pegada al mismo,
- En un casco corto, (por ejemplo, un remolcador) con una eslora de flotación dinámica pequeña, la ola llegará pronto a la popa y no se necesitará una gran velocidad. En este caso, la velocidad límite del casco será baja.
- Como dato curioso el portaviones Nimitz con 317m de eslora, tiene una velocidad de casco de 43 nudos y un desplazamiento de 105.000 toneladas luego explicaremos con fórmulas porque es así.



Detalle de la ola de proa y popa, prácticamente juntas

VELOCIDAD CRITICA DEL CASCO DE DESPLAZAMIENTO

- Si **el casco es más largo**, tendrá una eslora dinámica de flotación grande, la velocidad necesaria para que la ola de proa llegue a la popa será elevada, y por lo tanto, **a mayor eslora mayor será la velocidad límite ó máxima del casco.** (Nimitz 317m de eslora)
- Un factor a tener en cuenta, es **que a mayor eslora** (en flotación) **mejor estabilidad de rumbo, y peor maniobrabilidad.**
- Para finalizar con el concepto de velocidad en codos de desplazamiento, se deberá tener en cuenta que, navegando por debajo de la velocidad del casco teórica, **el 85% de la resistencia es viscosa (por fricción)** y ese valor es proporcional a la superficie del casco que se encuentra por debajo de la línea de flotación, **a mayor eslora la superficie mojada aumenta.**

VELOCIDAD CRITICA DEL CASCO DE DESPLAZAMIENTO

- La forma del casco de desplazamiento, es otro factor determinante, para no complicarnos la vida omitiremos hablar del **número de Froude**, que relaciona la eslora con la velocidad del casco. El mejor ejemplo para comprenderlo es el casco de la piragua, es un casco de desplazamiento pero gracias a su forma, puede superar hasta en más del 100% la velocidad límite del casco.

$$V = \sqrt{\frac{g \cdot L}{2 \cdot \pi}}$$

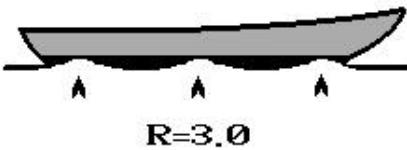
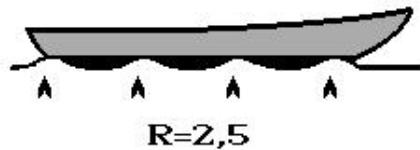
Fórmula básica de la velocidad máxima de un casco en la que **V** es la velocidad máxima del barco en m/s, **g** es la aceleración de la gravedad (9,8 m/s²), **L** es la eslora en la flotación del barco en m, y **π** es el número **3,1415**.

Es posible más velocidad, si pasamos de desplazar agua a planear sobre ella.

VELOCIDAD CRITICA DEL CASCO DE DESPLAZAMIENTO

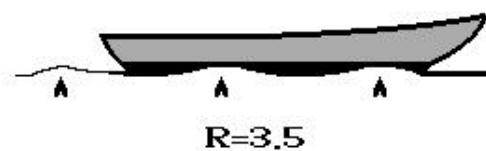
DISPLACEMENT HULL NARROW STERN

$$\text{RELATIVE SPEED } R = \frac{V}{\sqrt{L}} \quad V=\text{KM/H} \quad L=\text{WL/Met.}$$



R=2.5

R=3.0



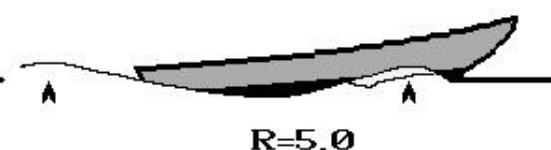
R=3.5



R=4.0



R=4.5

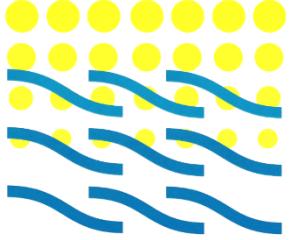


R=5.0

Cuando el barco comienza a navegar, las olas están repartidas, a medida que el barco acelera las olas se van separando hasta alcanzar la velocidad del casco, En esa condición está atrapado entre la ola de proa y la de popa.

Si acelerase más lo único que haría sería aumentar la ola de proa.

El ratio o relación entre la velocidad y la eslora en flotación es igual a la velocidad del barco dividida por la raíz cuadrada de la eslora en flotación



I REGATA SOLAR

Illes Balears

- Diseño de cascos para esloras pequeñas < 2m
- 1. Poca potencia disponible (Max 100W)
- 2. Ausencia de olas (Parc de la Mar)
- 3. Maniobrabilidad necesaria (paso de boyas)



OBJETIVO y CONDICIONANTES



¿RELACIÓN PESO POTENCIA?

- Partimos de 100w pero hay pérdidas eléctricas y propulsivas, además de la resistencia de ola, viscosa y aerodinámica, es evidente que cuanto menos pese el barco y por tanto menos desplazamiento = menos superficie mojada = menos resistencia viscosa, por tanto la báscula será una de vuestras mejores amigas.



ELECCIÓN DEL CASCO

- Es normal por tanto, preguntarse que casco tengo que elegir, si repasamos los condicionantes, necesitamos un barco con **buena maniobrabilidad**, para aguas abrigadas por tanto en **ausencia de olas** y **no disponemos de mucha potencia**.
- Dado que la **velocidad** de un barco **es igual a la Potencia Efectiva** (quitando las pérdidas eléctricas y propulsivas) **dividida entre la resistencia** (formación de olas del casco, viscosa = rozamiento del agua con el casco, aerodinámica)

ELECCIÓN DEL CASCO

- El barco **no es habitable** y **navegará sin olas** por lo que **podemos hacer un diseño con una manga muy estrecha**, cuanto **más eslora y menos manga el barco será más rápido a igual potencia**.
- Si el barco tiene **poca manga es menos estable** y nos obliga a mejorar su estabilidad aumentando el número de cascos
- Un buen ejemplo es los catamaranes y trimaranes al ser sus cascos mas estrechos, su resistencia por formación de olas es menor.

ELECCIÓN DEL CASCO

- Puede haber **2 cascos con la misma eslora en flotación y que uno tenga una velocidad de casco superior**, un ejemplo sería **un bote o una piragua** que tienen la misma eslora en flotación, pero sus formas son diferentes, o el coeficiente prismático o reparto de volúmenes a lo largo de la eslora.
- Por tanto buscaríamos un coeficiente prismático alto con el fin de separar al máximo las olas de popa y proa.

ELECCIÓN DEL CASCO

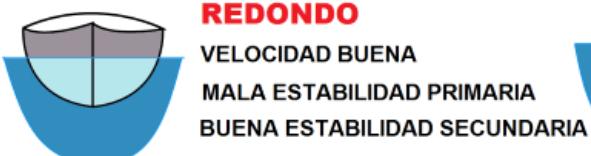
- Resumiendo, dentro de un casco de desplazamiento buscaremos:
 - Relación L/B (eslora/manga) elevada
 - Formas afinadas y estrechas
 - Bajos coeficientes de bloque
 - Relación desplazamiento/eslora baja
 - Ángulos de entrada de las líneas de agua muy finos

TIPOS DE CASCOS DE INTERÉS

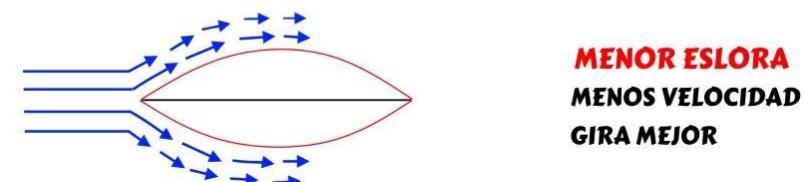
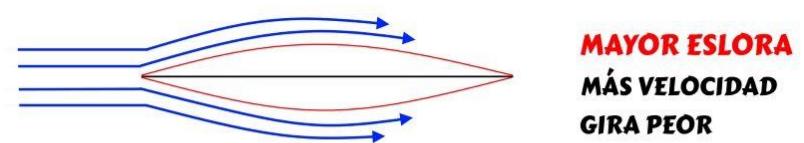
TIPOS DE CASCOS DE PIRAGUA, PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS SEGÚN SU FORMA



OVALADO
BUENA VELOCIDAD Y DIRECCIÓN
BUENA ESTABILIDAD PRIMARIA
BUENA ESTABILIDAD SECUNDARIA

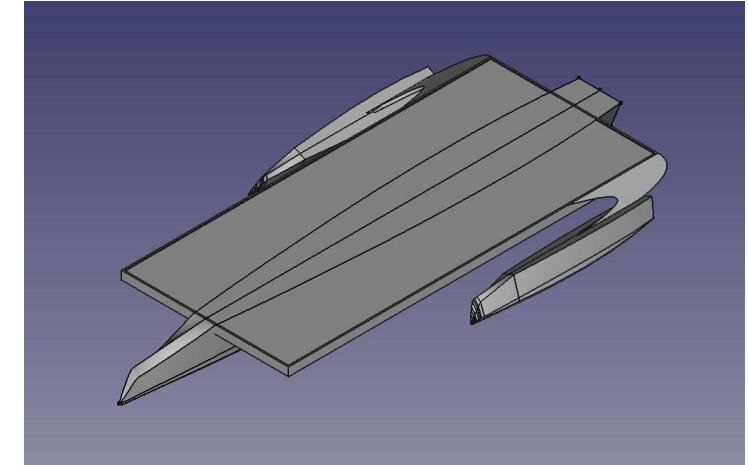
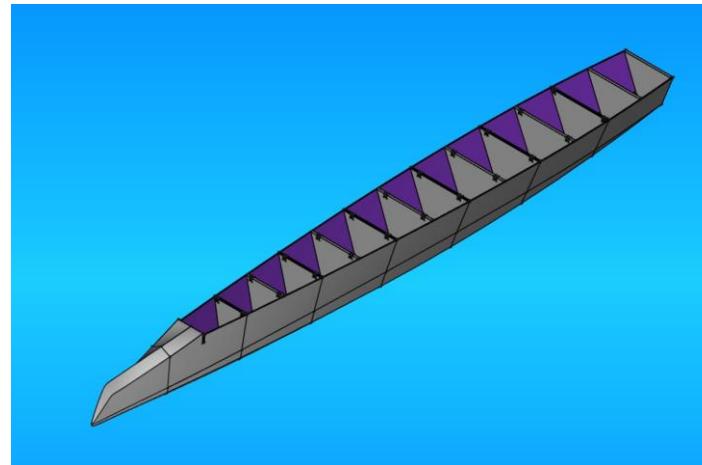


PLANO
POCA VELOCIDAD
LA MEJOR ESTABILIDAD PRIMARIA
MALA ESTABILIDAD SECUNDARIA



HERRAMIENTAS DE DISEÑO

En el equipo inf@mous, **tras establecer los requerimientos básicos que buscaríamos en el diseño** Toni Lupiañez se encargó mediante la herramienta Open Source **Freecad** de generar los archivos STL para la impresión 3D de las partes del **Inf@mous One**.



Proceso del diseño en FreeCAD Inf@mous One



HERRAMIENTAS DE DISEÑO



Sin embargo no es necesario hacer un diseño en CAD e imprimir en 3D, hay otras técnicas constructivas más artesanales e igualmente válidas, usando paneles aislantes de XPS (Poliestireno Extruido)

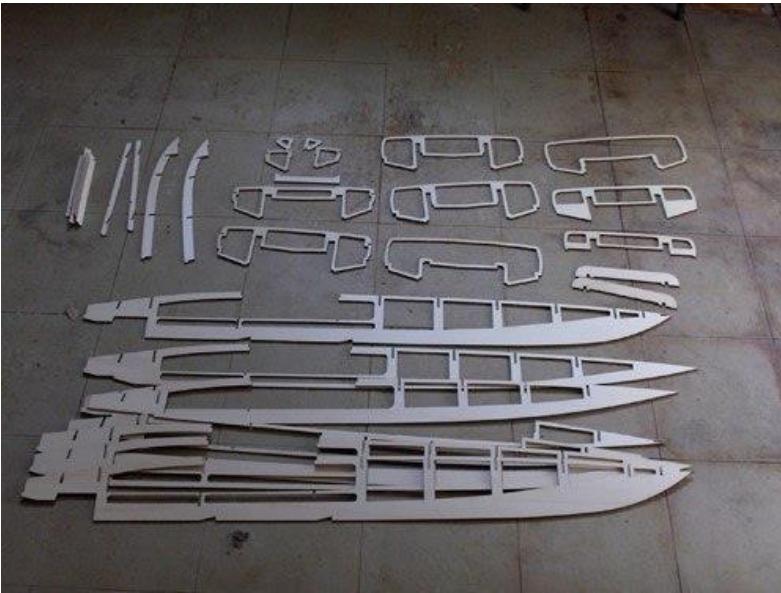


FABRICACIÓN



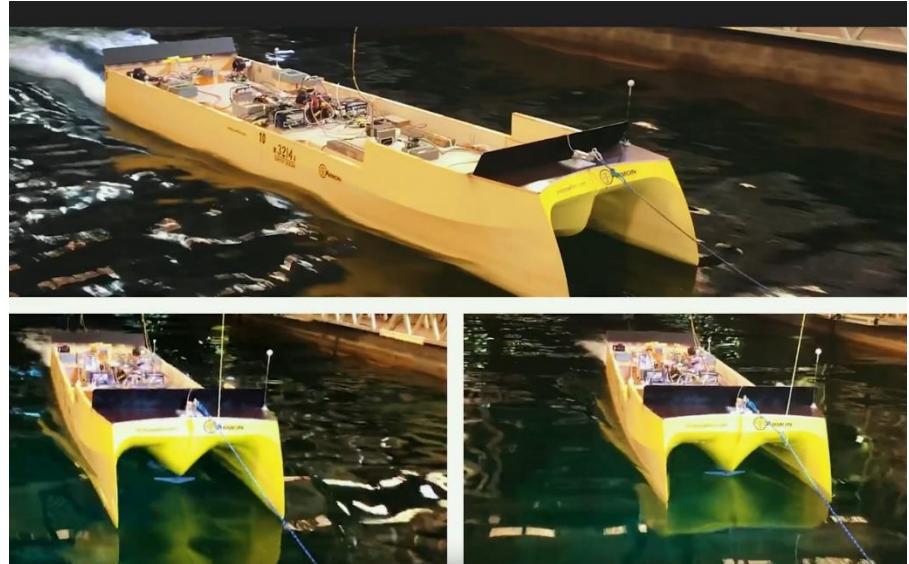
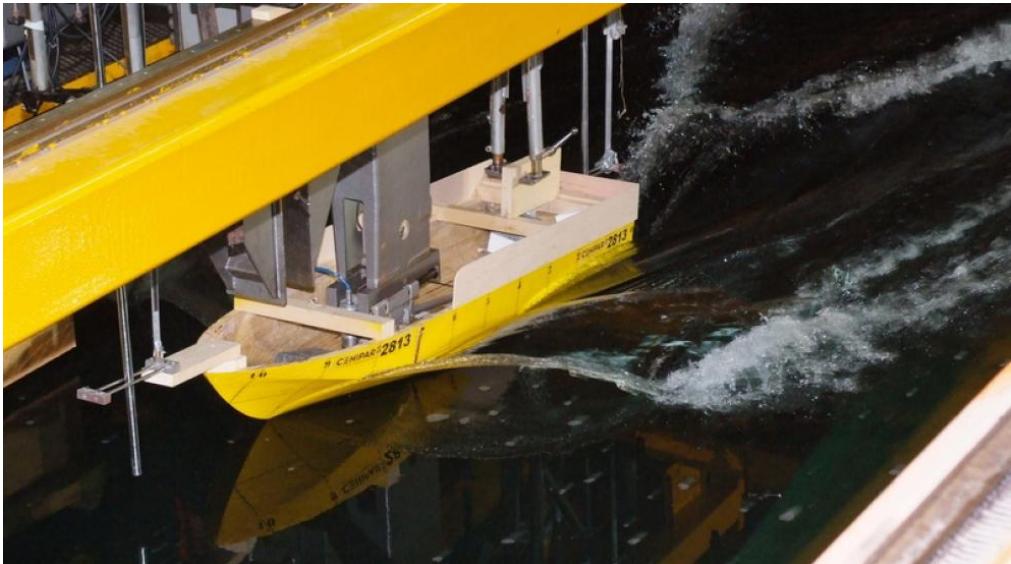
FABRICACIÓN

También es recomendable usar técnicas de construcción tradicionales, por el menor peso del conjunto resultante.



PARTE PRÁCTICA

Ahora que hemos visto la parte teórica del cálculo de velocidad de un barco con casco de desplazamiento y que ya hemos elegido y fabricado un barco vamos a explicar un método para comprobar sus prestaciones de una forma práctica o **empírica**.



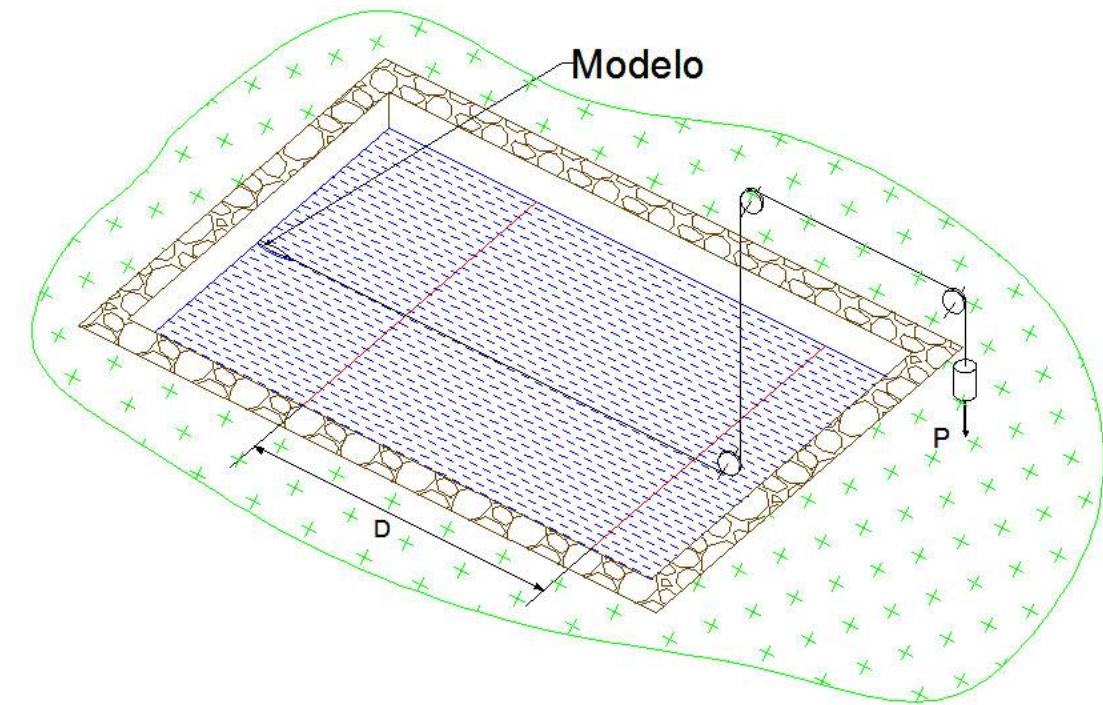
Canales de experiencia hidrodinámica

COMPROBACIÓN EMPÍRICA DE LA VELOCIDAD DEL CASCO

Para que un barco alcance una determinada velocidad tiene que ser empujado por una **fuerza F** que depende del valor de tal velocidad, de la forma de su casco y de la rugosidad del mismo,

$$V = \frac{D}{t}$$

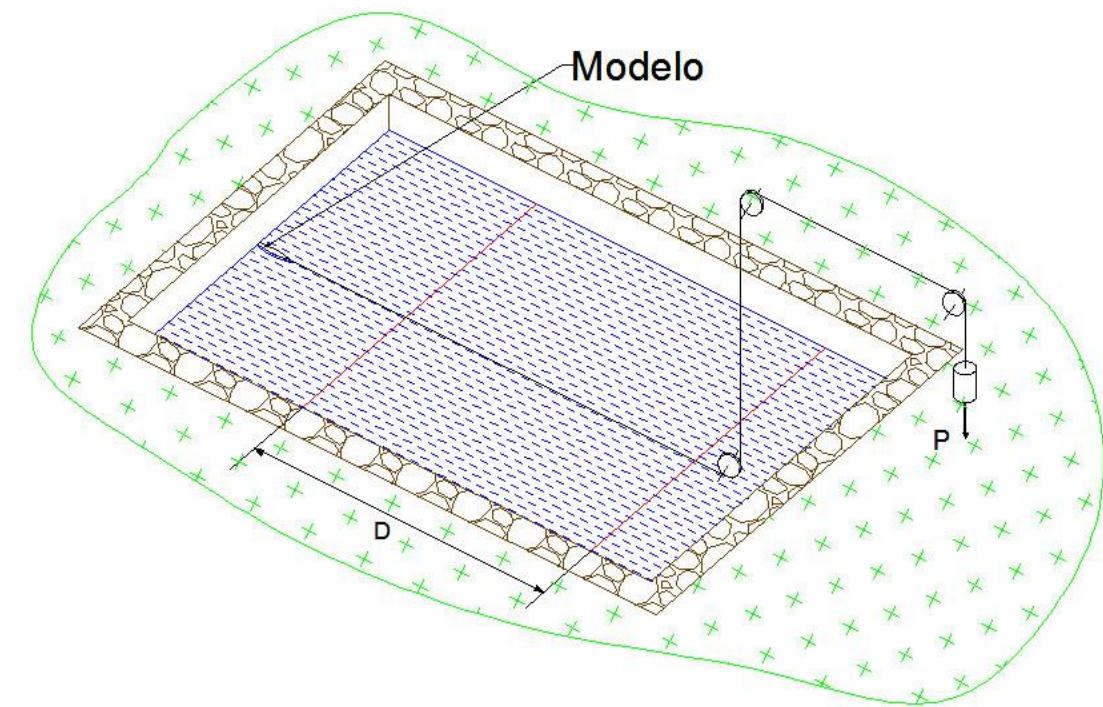
Tira de él **una fuerza P**, idéntica al peso que cuelga de la polea de la derecha, que lo hace a través de un hilo y tres poleas. Esta fuerza imprime al barco un movimiento acelerado hasta que la resistencia del agua a su movimiento sea igual a P momento en el que atravesará la raya roja de la izquierda.



COMPROBACIÓN EMPÍRICA DE LA VELOCIDAD DEL CASCO

Para lograr una **determinada velocidad del modelo** será necesario **probar con distintos valores de P** hasta conseguirlo, y habrá que reubicar la línea roja en función del valor de P ya que al comenzar la medición de velocidad el movimiento del barco debe de ser uniforme.

La **potencia** necesaria para conseguir la **velocidad V** es $W= F \times V$ en la que W es la **potencia en watos**, F la fuerza de empuje en newtons (para pasar de Kg a newtons es necesario multiplicar los Kg por 9,8) y V la velocidad del modelo en m/s.



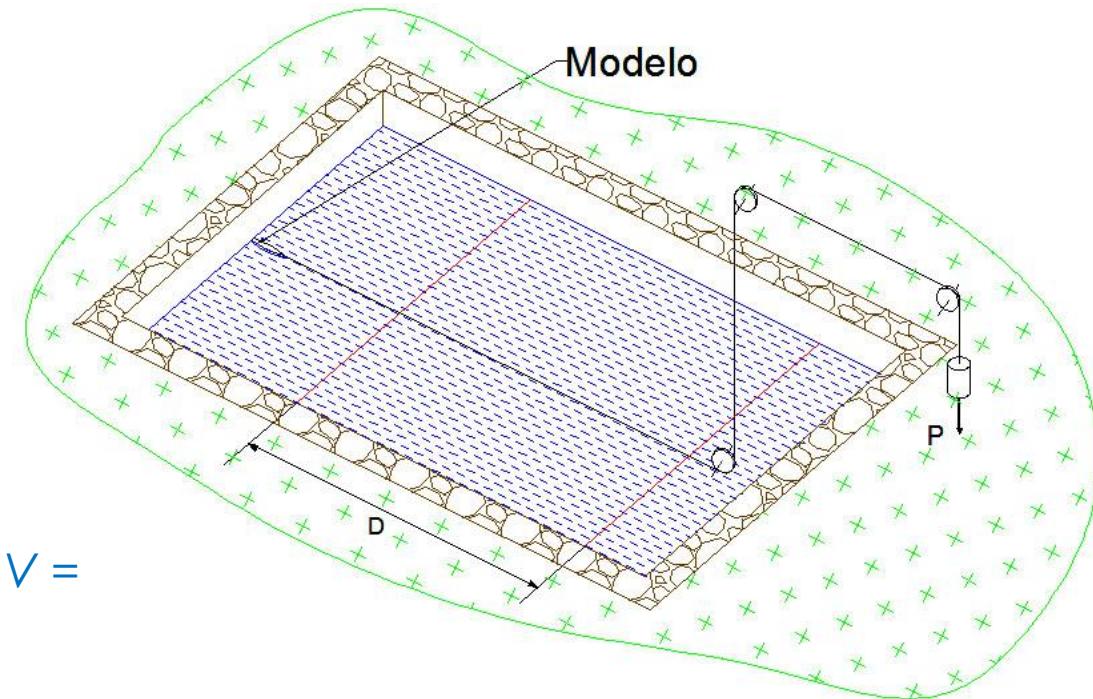
COMPROBACIÓN EMPÍRICA DE LA VELOCIDAD DEL CASCO

La **potencia** necesaria para conseguir la **velocidad V** es **$W = F \times V$** en la que W es la **potencia en watos**, F la fuerza de empuje en newtons (para pasar de Kg a newtons es necesario multiplicar los Kg por 9,8) y V la velocidad del modelo en m/s.

Ejemplo: El peso P es de 2 Kg, la distancia D 20 m, y el tiempo medido para recorrer esa distancia fuera de 20 segundos:

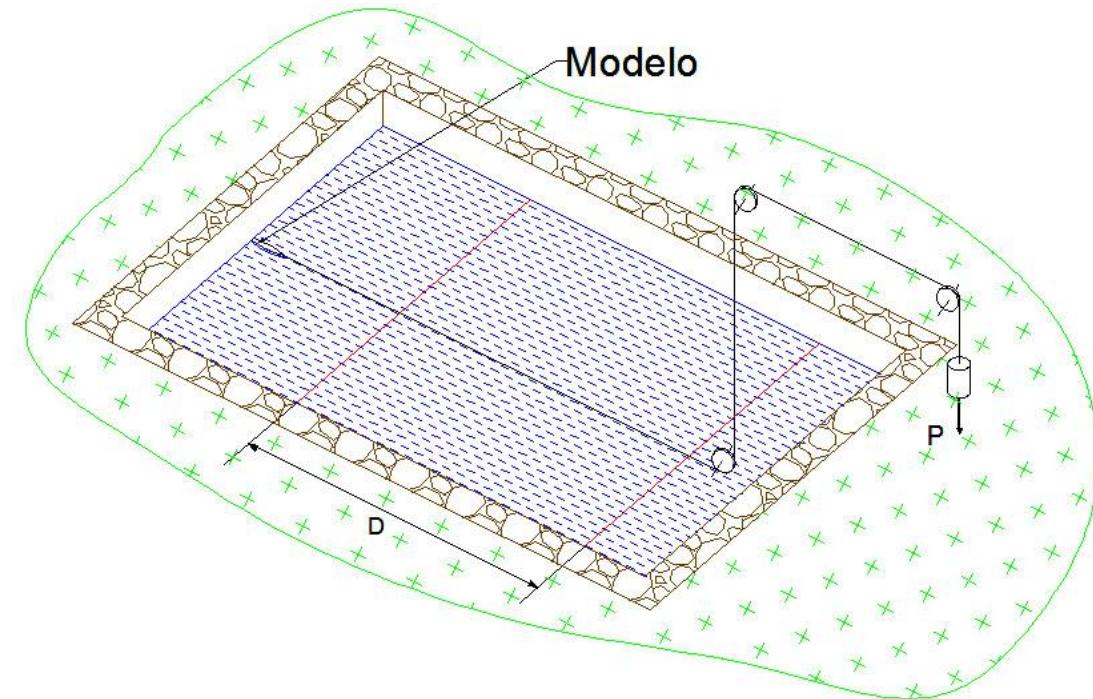
$W = F \times V$ // formula en la que $F = 2 \cdot 9,8 = 19,6$ newtons // $V = 20 / 20 = 1$ m/s, // $W = 19,6 \cdot 1 = 19,6$ watos.

A esa potencia se le suma un 20% más debido a las pérdidas en los cojinetes del eje de la hélice, a las del engranaje reductor (si existe) y las del cardán; de modo que la potencia antes calculada quedaría en $W = 19,6 + 20 \cdot 19,6 / 100 = 23,52$ w ~ 25 w, en números redondos.



COMPROBACIÓN EMPÍRICA DE LA VELOCIDAD DEL CASCO

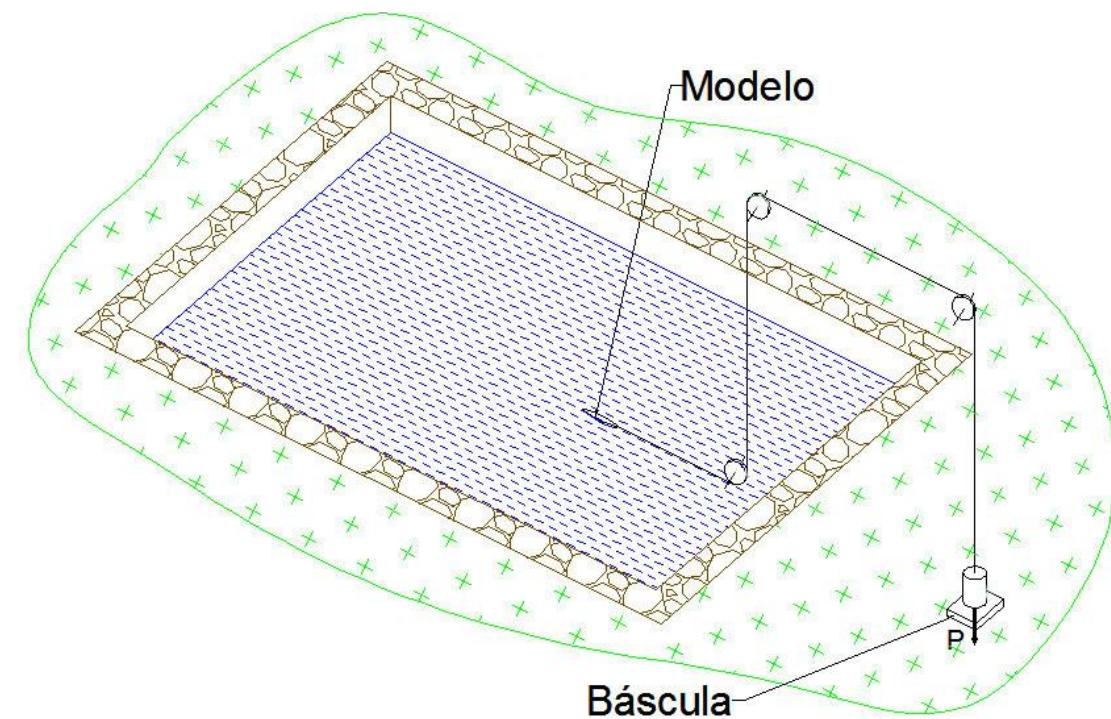
Esta determinación de la fuerza y la potencia de empuje es fiable, aunque no se tienen en cuenta las pérdidas por rozamientos que pueden originar las tres poleas de la imagen, por lo que deberán girar fácilmente (con cojinetes de bola, por ejemplo). Así mismo, debe cuidarse la determinación de la posición de la primera línea roja, la medida del tiempo que el modelo pasa de ella a la siguiente y la medida de la distancia D.



COMPROBACIÓN EMPÍRICA DE LA HÉLICE NECESARIA

Para determinar el conjunto motor – hélice para nuestro barco, usaremos el montaje de las 3 poleas modificado y añadiremos una báscula de tal forma que el peso P puede ser:

A- Igual a la fuerza de empuje F que, antes de iniciar la prueba, estará sobre el suelo. En esta condición se pondrá en funcionamiento el motor del barco, incrementando su régimen hasta que las revoluciones de la hélice a la que está conectado produzcan un empuje que provoque una incipiente ascensión del peso P sobre el suelo, lo que significa que el empuje F de la hélice, en ese momento, es igual a la del peso P .



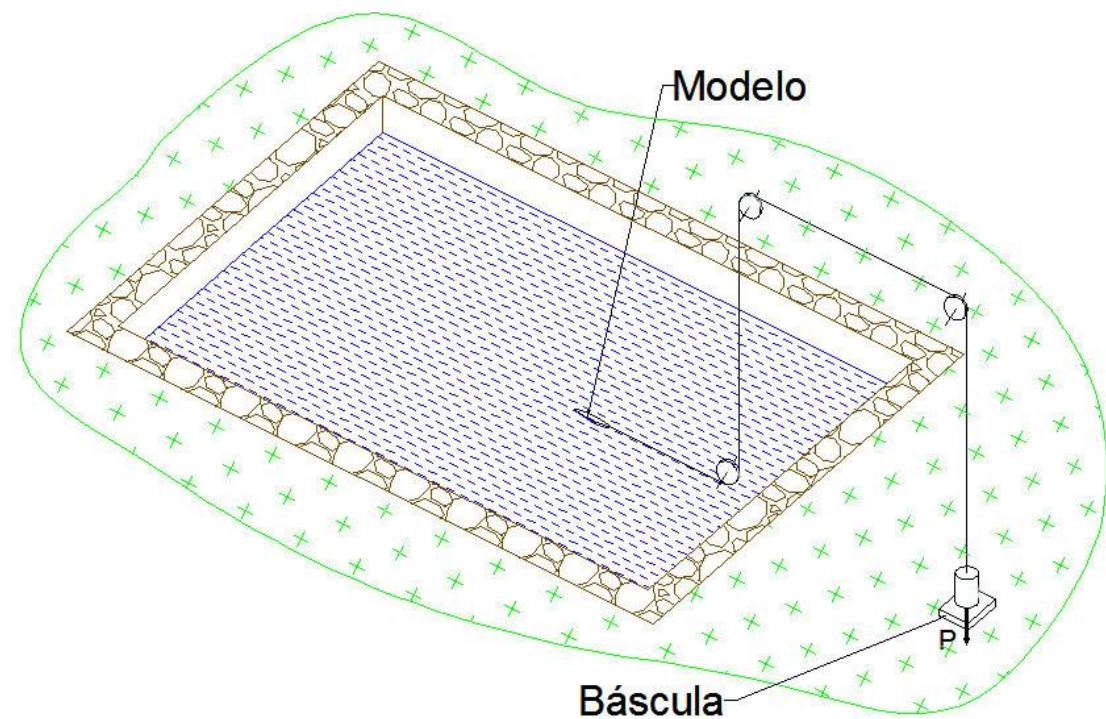
COMPROBACIÓN EMPÍRICA DE LA HÉLICE NECESARIA

Para determinar el conjunto motor – hélice para nuestro barco, usaremos el montaje de las 3 poleas modificado y añadiremos una báscula de tal forma que el peso P puede ser:

B- Superior a la fuerza de empuje F que, antes de iniciar la prueba, estará apoyado sobre una báscula.

En esta condición se pondrá en funcionamiento el motor del barco, incrementando su régimen hasta que las revoluciones de la hélice provoquen un empuje inferior a P .

El empuje provocado por la hélice en cada momento será igual al valor del peso P menos el valor que marque la báscula en ese régimen de giro de la hélice.





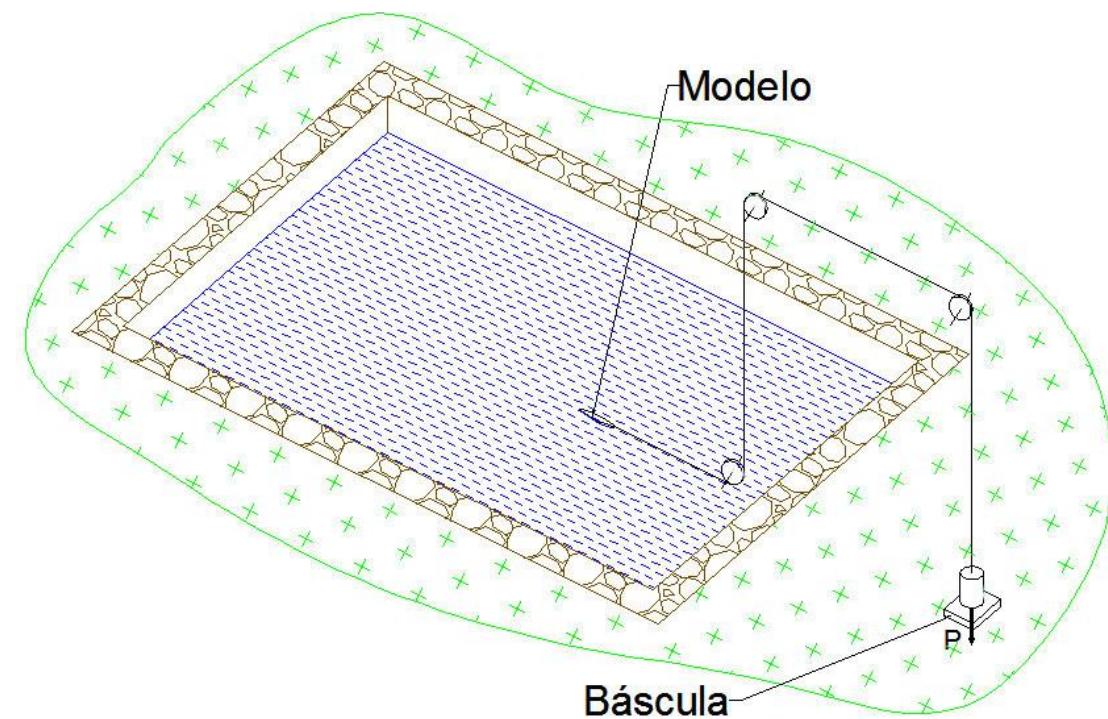
Durante las pruebas tendremos, aparte de la báscula, un amperímetro y un voltímetro para medir los valores de corriente del motor que se deseen registrar en cada posición del acelerador del motor;

En el caso A. solamente son útiles los registros de los valores de I (amperios) y V (voltios) que alimenten al motor cuando F (empuje de la hélice) sea **igual a P** .

En el caso B. pueden registrarse voltios y amperios para los distintos regímenes de giro de la hélice que se crea conveniente, lo que posibilita tabular y graficar las relaciones entre los parámetros de funcionamiento del motor y, por tanto, de la hélice.

Sería ideal disponer de un tacómetro para medir las revoluciones de la hélice, y así ahorrar calcular las revoluciones en función de la potencia consumida y el par motor en ese momento.

COMPROBACIÓN EMPÍRICA DE LA HÉLICE NECESARIA



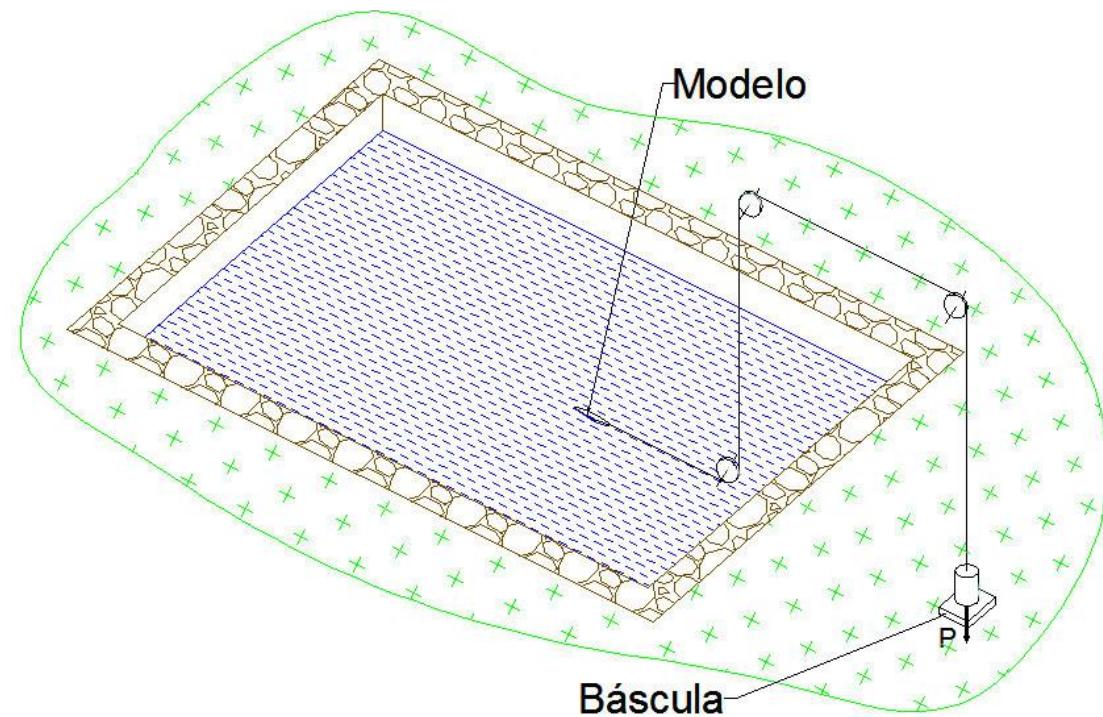
COMPROBACIÓN EMPÍRICA DE LA HÉLICE NECESARIA

Si no se dispone de tacómetro se pueden calcular las revoluciones en función de la potencia consumida y el par motor en ese momento, con la siguiente fórmula:

$$RPM = \frac{W \cdot 60}{P \cdot 2 \cdot \pi}$$

En la que RPM = velocidad de giro en revoluciones por minuto. W = potencia en Watios. P = par en Newtons metro, este valor lo sacaríamos de la curva de potencia del motor (datasheet)

Ahora bien, a cada posición del acelerador del motor le corresponde uno de los pares de valores de V (voltios) e I (amperios) que hemos registrado durante la prueba, a los que les corresponde la potencia $W = V \cdot I$.



CONSEJOS

- En el catamarán hay que tener en cuenta la Interferencia de la ola entre los 2 cascos, intentar alejarlos lo máximo
- Cuanto más grande la hélice y que gire a menos velocidad más eficiente será el conjunto.
- La hélice cavitará si está muy cerca de la superficie y/o si gira a muchas revoluciones, si bajamos la hélice mayor presión hidrostática y menos riesgo de cavitación.
- Con el amperímetro podremos calcular la potencia real consumida por el conjunto motor, transmisión, hélice.
- Las toberas en la hélice mejoran el rendimiento controlando el flujo
- Eslora larga, manga estrecha, multi casco, liviano, conjunto motor hélice optimizado para nunca exceder la potencia disponible.



MUCHAS GRACIAS !!





AGRADECIMIENTOS:

Esta documentación ha sido posible gracias a la información compartida por:

[Diario del Kayak](#)

ganadobarlovento.es

[Iñigo Echenique](#)

www.aindustriosa.org

