Joaquín Monge Mira

Ríos Flotables

Estudio del calado de las balsas

HAY interés en establecer una relación sencilla entre la *capacidad* de una balsa (número de pulgadas de madera que la componen, otras cargas que transporta), y su *calado*. o sea la profundidad a que se sumerge.

Conocida esta relación será fácil proporcionar la capacidad de una balsa a las condiciones de profundidad de que se dispone en un río en una época determinada; se podrá también preparar una balsa para sostener un peso determinado, como para montar maquinaria, etc.

CONDICIONES DE EQUILIBRIO

DEFINICIONES

Sea Ω la superficie de la balsa, la que se puede expresar, sea en m², o sea en número de tablas yuxtapuestas. Esta superficie varía para cada río: en el Renaico $\Omega=30{,}09$ m² $=32$ tablas. Designaremos por n este número de tablas.

h la altura de la balsa en m., múltiple del espesor de las tablas. Como este es generalmente de.... $1''=0{,}^{m}0254$ se tendrá para el tipo de balsa del Renaico, siendo C la capacidad en pulgadas,

$$h=e\frac{C}{n}$$

$$h=0{,}0254\,x\,\frac{C}{32}=0{,}000781\ C$$

Se entiende por «pulgada» la unidad maderera usual de 1″ de espesor por 10″ de ancho y 4,5 varas de largo.

P la suma de las cargas que lleva la balsa, en toneladas, sea en tripulación, maquinaria o productos ajenos a los materiales que componen la balsa.

Sea δ_1 densidad de la madera que compone la balsa, variable según la esencia vegetal y su mayor o menor grado de sequedad. (No se refiere esto a la humedad que contiene, sino a la savia, época y tiempo transcurrido desde su corta. La tabla 1 indica estos valores para las maderas más usadas.

δ_2 densidad del agua, que varía con su salinidad en su curso inferior. En los ríos del Sur, de aguas dulces y claras, se puede adoptar $\delta_2=1$. Para el agua de mar $\delta_2=1{,}021$.

ECUACIÓN DE EQUILIBRIO

Tiende a hacer flotar la balsa la diferencia entre el peso del volumen de agua que desaloja y el peso muerto de la balsa y sus sobrecargas.

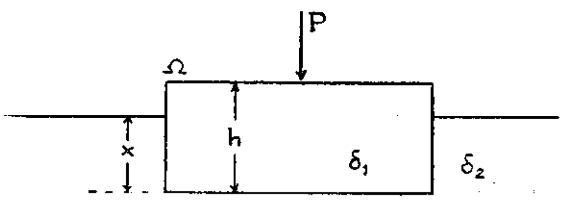

Fig. 1

Se realizará la condición de equilibrio para una posición tal como la de la Fig. 1, encontrándose la línea de flotación a una distancia x del fondo.

Fuerzas de flotación:

Desplazamiento $=\Omega \cdot x$
Peso del agua desplazada $=\Omega \cdot x \cdot \delta_2$

Fuerzas de submersión:

Peso propio $=\Omega \cdot h \cdot \delta_1$
Otras cargas $= P$

$$= \Omega \cdot h \cdot \delta_1 + P$$

La ecuación de equilibrio es, pues:

$$\Omega \cdot x \cdot \delta_2 = \Omega h \cdot \delta_1 + P \qquad (1)$$

y el calado:

$$x = \frac{\Omega h \cdot \delta_1 + P}{\Omega\, \delta_1} \qquad (2)$$

La proporción de la altura total que queda sumergida es:

$$\frac{x}{h} = \frac{\delta_1}{\delta_2} + \frac{P}{\Omega\, h\, \delta_2} \qquad (3)$$

Para el caso de una balsa sin carga:

$$\frac{x}{h} = \frac{\delta_1}{\delta_2} \tag{4}$$

y para agua dulce y clara:

$$\frac{x}{h} = \delta_1 \tag{5}$$

CALADO EN FUNCIÓN DE CAPACIDAD

Se tiene:

C = capacidad de la balsa en pulgadas
h = altura de la balsa en m.
e = espesor de la tabla en m.
n = núm. de tablas en 1 plano horizontal que componen la balsa.

se tiene: $$h = e\,\frac{C}{n}$$

Valor que introducido en (2) da:

$$x = \frac{\Omega\, e\, C\, \delta_1}{n\, \Omega\, \delta_2} + \frac{P}{\Omega\, \delta_2}$$

$$x = \frac{e\,C}{n}\,\frac{\delta_1}{\delta_2} + \frac{P}{\Omega\, \delta_2}$$

Generalmente $e = 1'' = 0,^{m}0254.$

CAPACIDAD DE SOBRECARGA

Conocida la capacidad de una balsa, en pulgadas, es fácil determinar su capacidad portante o vice versa. El volumen de una pulgada es $(0,0254 \times 0,254 \times 4,5 \times 0,8359) = 0,024267$ m³.

A un volumen de 24,3 decímetros cúbicos corresponde un peso de $24,3 \cdot \delta_1$ y un empuje flotante de $24,3 \cdot \delta_2$. Cada pulgada suministra, pues, una fuerza de flotación elemental de $24,3\ (\delta_2 - \delta_1)$.

Así para agua dulce $(\delta_2 = 1)$ y laurel (medio seco) $\delta_1 = 0,700$ cada tabla suministra una fuerza portante de

$$(1 - 0,7)\ 24,3 = 7,29 \text{ Kgs.}$$

de sobrecarga al encontrarse enteramente sumergida.

Una tabla sin sobrecarga se hundirá sólo en una fracción x de su espesor h determinado por la expresión (4).

$$\frac{x}{h} = \frac{\delta_1}{\delta_2}$$

Así, para una tabla de laurel (de $1'' \times 10'' \times 4{,}5$ varas) $\delta_1 = 0{,}7$ (a medio secar) flotando en agua de mar ($\delta_2 = 1{,}021$), se tiene $\frac{x}{h} = \frac{0{,}7}{1{,}021} = 0{,}685$, sumergiéndose sólo $0{,}685 \times 0{,}0254 = 0$ m. 0174.

quedando $\frac{0{,}0254}{0{,}0174} = 0$ m. 008

8 mm. sobre la línea de flotación.

APLICACIONES

APLICACIÓN 1

Determinación del calado de una balsa.—Sea una balsa compuesta por 700 pulgadas, de carga formada por tablas de roble, raulí, lingue y laurel, en iguales proporciones, a medio secar. Se ha adoptado el dispositivo del Renaico, superficie formada por 32 tablas.

Como sobre carga se prevé sólo dos hombres con su equipo, o sea, alrededor de kgs. 160. Se requiere calcular la profundidad de sumersión del conjunto, navegando la balsa en agua dulce y clara.

$$h = e \frac{C}{n}$$

Determinación de h : 700 pulgadas : 32 = 21,8 $\backsim$ 22 tablas superpuestas. $h = 22.0{,}0254 = 0{,}0254 = 0{,}5588$ m. $\Omega = 30{,}09$ $\delta_1 = 0{,}812$ $\delta_2 = 1$.—$P =$ ton. 0,160.

La balsa se sumergirá en una profundidad

$$x = \frac{30{,}09 \cdot 0{,}5588 \cdot 0{,}812 + 0{,}160}{30{,}09} = 0{,}4589$$

Por quedar siempre algún espacio entre las tablas debido a irregularidades o a defectos en las amarras, conviene aumentar en la práctica en un 4% este valor de h.

Sería $x = \frac{30{,}09 \cdot 0{,}5588 \cdot 1{,}04 \cdot 0{,}812 + 0{,}160}{30{,}09} = 0\text{m}, 4772$

APLICACIÓN 2 (Problema inverso)

Determinar la capacidad de una balsa en función de la profundidad del río disponible.—Se supone que se conserva el dispositivo de composición de la balsa (tipo Renaico).

En otros términos:

Qué espesor podrá darse a una balsa de superficie determinada, para una profundidad de agua disponible.

De la relación 1 se deduce:

$$h=\frac{\Omega x\,.\,\delta_2-P}{\Omega\,\delta_1}$$

Se conoce la profundidad del río p.

Precauciones. Se limitará el calado de la balsa al 80 % de p.

Se reducirá la altura libre h a la altura eficaz (descontando espacio) dividiendo $h=1{,}04$.

Sea $\Omega=30{,}09$ como antes. $\delta_2=1\times 0{,}80\,p$. $P=0{,}160$ ton.

$\delta_1=$balsa compuesta igual proporción como antes.

$\delta_1=0{,}812$.

$$h=\frac{30.09\,.\,0{,}80\,.\,p\;1-0{,}160}{30{,}09\,.\,0{,}812\,.\,1{,}04}$$

Sea $p=0\,\text{m}.35$ la profundidad libre del río.

$$h=\frac{30{,}09\,.\,0{,}80\,.\,0{,}35\,.\,1-0{,}160}{30{,}09\,.\,0{,}812\,.\,1{,}04}=0\,\text{m}.\,3253$$

Capacidad, contándose en la superficie 32 tablas, se tiene:

$$C=32\,.\,\frac{h}{0{,}025}=\frac{0{,}3253\,.\,32}{0{,}0254}=12{,}8\,.\,32$$

Se puede sin peligro tomar 13 tablas en vez de 12,8.

$$C=13\times 32=416 \text{ pulgadas}$$

APLICACIÓN 3

Se necesita construir una balsa para montar una compresora de peso 9,000 lb. atendida por 2 operarios. Se tiene, pues, una carga

$P=9000\times 0{,}460=4.140$ ton.
$2\times 75 \;=\; 150$ »

4.290 ton.

Como precaución será prudente prever una fuerza portante que exceda en un 50 % la necesaria: $4{,}290\times 1{,}50=6{,}440$ ton.

Cada pulgada suministra un empuje elemental de $24{,}3\ (\delta_2-\delta_1)$

E este caso, $\delta_2=1$ δ_1 varía con la madera.

Para resolver este ejemplo, supondremos 2 casos:

Se dispone de laurel a medio secar	Id., id. raulí seco
$\delta_1=0{,}700$	$\delta_1=0{,}508$
Empuje elemental por pulgada:	
$24{,}3\ (1-9{,}7)=$Kgs. 7.29	$24{,}3\ (1-0{,}508)=$Kgs. 11.95
Se requieren $\frac{6440}{7.29}=883$ pulgadas	$\frac{6440}{11.95}=538$ pulgadas

La aplicación 1) nos permite determinar el calado de este equipo;

Número de tablas superpuestas:

$$\frac{883}{32} = 27{,}6 \text{ pulgadas} \qquad \frac{538}{32} = 16{,}8 \text{ pulgadas}$$

o sea en metros

$$h = 28 \cdot 0{,}0254 = 0\text{m}.711 \qquad 17 \cdot 0{,}0254 = 0\text{m}.432$$

De la ecuación 2) se deduce para el calado:

$$x = \frac{30{,}09 \cdot 0{,}711 \cdot 0{,}700 + 4{,}29}{30{,}09} \qquad x = \frac{30{,}09 \cdot 0{,}432 \cdot 0{,}508 + 4{,}29}{30{,}09}.$$

$x = 0{,}640$ $\qquad$ $x = 0{,}362$

Aflorando sobre el agua

m. 0,07 $\qquad$ m. 0,07

DENSIDADES DE MADERAS CHILENAS

VALORES DE δ_1 PARA LAS MADERAS MÁS USUALES

Especie	Recién aserrada	Encastillada durante 6 meses	Encastillada durante 1 año	Secada al horno
Alamo	0,72	0,59	0,47	0,36
Alerce	0,68	0,51	0,42	0,42
Coigüe	1,23	1,10	0,76	0,70
Laurel	1,14	0,76	0,51	0,51
Lingue	1,19	0,93	0,59	....
Luma	1,70	1,53	1,27	....
Mañio	1,19	0,93	0,59	0,52
Olivillo	1,14	0,81	0,55	....
Pino araucaria	1,19	1,02	0,72	0,72
Pino Insigne	0,93	0,64	0,51	0,51
Raulí	1,19	0,85	0,57	0,57
Roble	1,48	1,36	1,19	0,61
Temu	1,16	1,48	1,27	....
Tepa	1,10	0,76	0,51	....
Ulmo	1,36	1,23	0,93	0,47

Estas densidades han sido determinadas por el Laboratorio del Departamento de Caminos y difieren ligeramente de las cifras utilizadas en el presente estudio.