

FLUJO DE ENERGIA EN LANCHAS DE VAPOR

Emilio García V.

Colegio de Ciencias y Humanidades, UNAM

Enrique Cabrera B. y Raúl Espejel

Instituto de Física, UNAM

Héctor Riveros R.

CINVESTAV, Unidad Mérida del IPN

(recibido abril 19, 1982; aceptado agosto 5, 1982)

RESUMEN

En el presente trabajo se dan dos ejemplos de prácticas para los laboratorios de física a nivel medio, basados en modelos de sencillas lanchitas de vapor. La importancia de estos ejemplos radica en la oportunidad que se le brinda al estudiante para que él mismo diseñe el experimento, tome las medidas y realice la interpretación, sin que se requiera de grandes erogaciones ni de conceptos de física muy elevados, como puede verse en el mismo trabajo. Al final de éste se dan los valores de los diferentes parámetros obtenidos así como del método experimental utilizado.

ABSTRACT

In this paper two experiments are given, to be used in high school physics laboratories, based in very simple little vapour boats. The importance of these experiments lies in the opportunity, given to the student, to design the experiment, make the measurements and give an interpretation, all by himself; without disbursing the budget nor needing very complicated physical concepts, as may be seen in the context. At the end the experimental values obtained and the procedure used are presented.

1. INTRODUCCION

El objetivo principal para la realización de las prácticas escolares de laboratorio, es el de que los estudiantes tengan la oportunidad de diseñar sus experimentos a la vez que los lleven a cabo y los interpreten. Partiendo de esta premisa se considera que todo aquel instructivo que convierta a la práctica en la simple aplicación de una "receta de cocina" debe ser eliminado de los laboratorios.

Para evitar caer en la falla mencionada se debe buscar el modo de presentar las prácticas en tal forma que no limiten la capacidad del estudiante para diseñar él mismo los experimentos respectivos. El modo más natural de alcanzar este objetivo es el de presentarle problemas, para la solución de los cuales se requiera de la realización de algún experimento, induciendo de esta manera al estudiante al planteamiento del mismo⁽¹⁾.

Aunque esto es relativamente fácil de lograr en los laboratorios avanzados, presenta grandes dificultades en los laboratorios de los cursos introductorios. Ello se debe principalmente a que son contados los experimentos que se pueden explicar razonablemente, haciendo uso solamente de las leyes físicas y matemáticas elementales de que el estudiante tiene conocimiento.

Entre los ejemplos que cumplen con tales requisitos se encuentran los dos problemas que se considerarán a continuación, relacionados con los botes de juguete de vapor. Se espera que estos ejemplos sean de gran valor para los estudiantes, ya que utilizando únicamente las ecuaciones de Newton, así como la ley de la conservación de la energía, es posible medir la eficiencia de los motores de las lanchas. Paralelamente pueden ser utilizados como ejemplos de máquinas de vapor⁽²⁾, así como para determinar experimentalmente la fricción de las lanchas con el agua⁽³⁾.

El funcionamiento del bote "put put", llamado así por el sonido peculiar que emite al funcionar, ha sido tratado desde diferentes enfoques: desde explicaciones cualitativas sobre el principio de su funcionamiento^(4,5), hasta la justificación teórica de la razón del efecto ne-

to de impulso⁽⁶⁾. Sin embargo, en ninguna de las referencias se han hecho medidas que caracterizen el motor y su funcionamiento. En el presente trabajo se hace énfasis en la eficiencia experimental del motor, aspecto que hasta el momento no había sido tratado. Para tales fines, una descripción cualitativa del funcionamiento es más que suficiente.

El motor de este tipo de lanchas está formado por una pequeña caldera plana con dos tubos de salida hacia la parte inferior y posterior de la lancha, todos ellos llenos de agua (ver Fig. 1). El vapor generado en la caldera al calor de una vela, expulsa el agua contenida en los tubos, pero al pasar por éstos, que están fríos, se condensa produciendo un vacío que absorbe nuevamente agua hacia los tubos y la caldera. Al hacer ebullición nuevamente el agua de la caldera se inicia un nuevo ciclo. La repetición periódica de estos ciclos da lugar a una frecuencia de oscilación del agua contenida en los tubos. La geometría de la caldera es tal que las paredes resuenan a esta frecuencia, incrementando así el efecto de empuje del sistema. Este efecto neto de empuje se logra debido a que el agua es expulsada linealmente hacia atrás al vaciarse; no así al llenarse cuando el agua es atraída radialmente hacia los tubos⁽⁶⁾.

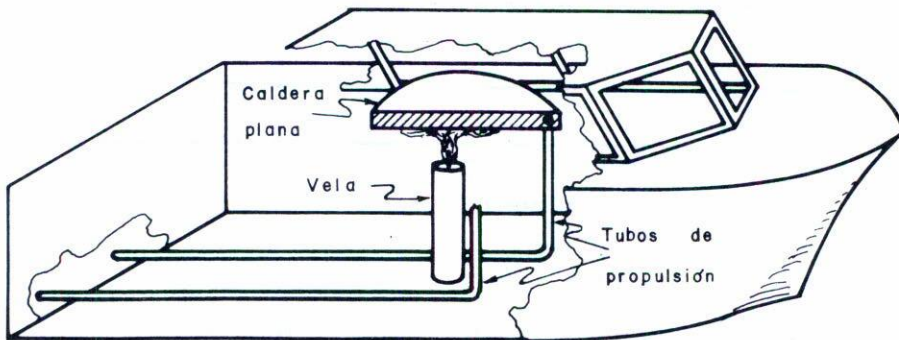


Fig. 1 Diagrama del bote "put put".

Otro motor, aún más simple que el primero, puede construirse si se deja salir hacia atrás el vapor generado en la caldera, formando así

un motor a reacción (ver Fig. 2). En este caso es preferible contar con una caldera de mayores dimensiones para que dure más tiempo en funcionamiento. Dicha caldera se puede improvisar con un tubo metálico cerrado por uno de sus extremos, en el otro extremo se coloca un tapón de hule con un tubo delgado insertado en él para permitir el escape del vapor producido al calentar la caldera con una vela.

Observando su funcionamiento y lo sencillo de su construcción uno se pregunta: ¿por qué no se utiliza este tipo de motores en botes más grandes? Una posible explicación sería la baja eficiencia que presentan estos motores, lo que motivaría al estudiante a medirla en el laboratorio.

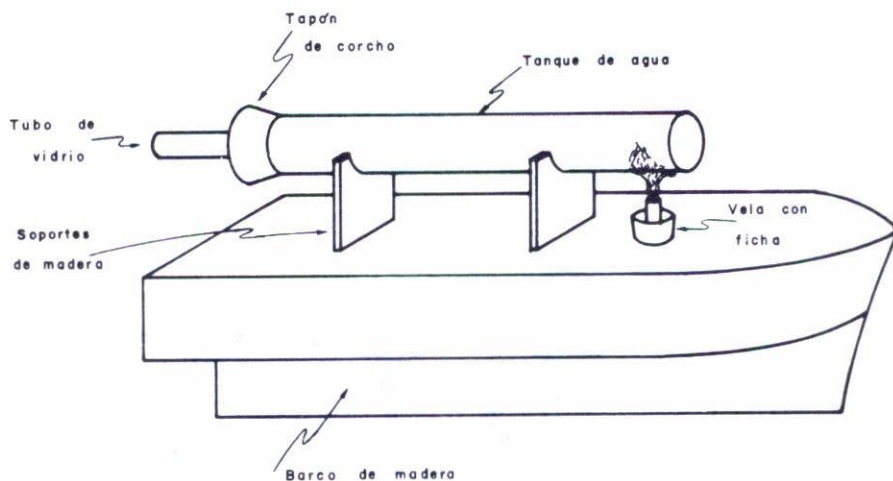


Fig. 2 El vapor que escapa hacia atrás impulsa el bote hacia adelante.

2. TEORIA

Los conceptos teóricos necesarios para realizar la práctica de laboratorio con los motores descritos en la introducción, como se mencio-

nó en ella, son muy sencillos.

En primer lugar, la eficiencia de un motor se define como el cociente entre la potencia mecánica P que de él se obtiene y la rapidez de consumo \dot{Q} de la energía contenida en su combustible:

$$\eta = P/\dot{Q} \quad . \quad (1)$$

En segundo lugar, el trabajo realizado por una fuerza F sobre el objeto que se desplaza una distancia Δx en la dirección de la fuerza, viene dado por

$$W = F \cdot \Delta x \quad . \quad (2)$$

Finalmente, si el desplazamiento Δx se efectuó en un intervalo Δt , la potencia P desarrollada por el causante de la fuerza es

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} = F \frac{\Delta x}{\Delta t} = FV \quad , \quad (3)$$

donde V es la velocidad del objeto en movimiento.

En el caso de que el objeto en cuestión sea una de las lanchas a que nos referimos en este trabajo, la fuerza de empuje proporcionada por el motor inicialmente la acelerará, pero conforme aumente su velocidad crecerá la fuerza de fricción, hasta llegar a un estado estacionario en el cual el bote se mueve con una velocidad constante y en el que la fuerza de fricción se equilibra exactamente con el empuje del motor.

Para determinar la potencia del motor en estado estacionario, es necesario medir su empuje y la velocidad final alcanzada en dicho estado. Realizar la medición de la fuerza de empuje es una tarea difícil debido a la magnitud tan pequeña que ésta tiene. Ello motivó que se prefiera medir, en lugar de la fuerza de empuje, la fuerza de fricción de la lancha con el agua. Una forma de lograrlo es la de medir la desaceleración del bote (con el motor apagado) y una vez conocido su valor, calcular la fuerza de fricción mediante la segunda ley de Newton ($F = ma$).

Para medir la potencia térmica \dot{Q} entregada por el combustible (en este caso una vela), es suficiente determinar la rapidez de su consumo y multiplicarla por el calor de combustión correspondiente.

3. EXPERIMENTOS

Para la realización de los experimentos se adquirió un bote "put put" y se requirió de un equipo fotográfico. La velocidad del bote se determinó tomando fotografías a intervalos iguales y conocidos, y midiendo el desplazamiento del bote en dichos intervalos a partir de las fotografías. La fuerza de fricción se determinó lanzando el bote con el motor apagado, con una velocidad inicial superior a la del estado estacionario, mediante el mismo método fotográfico. Con los resultados obtenidos se construyó una gráfica de velocidad contra tiempo, a partir de la cual se determinó la desaceleración cuando la velocidad es igual a la del estado estacionario. Al multiplicar esta velocidad por la masa del bote, se obtuvo la fuerza de fricción.

El calor de combustión de la parafina se tomó igual a $C_c = 10.340 \cdot 10^6$ cal/kg. Las medidas experimentales se repitieron un mínimo de 10 veces y los errores encontrados correspondieron a una desviación normal. En la Tabla I se muestran dichos resultados.

En el caso del bote impulsado por la propulsión debida al escape de vapor, fue necesario construir el bote a partir de un pedazo macizo de madera, de tamaño suficiente para soportar el peso del tubo metálico que hacía las veces de caldera. En este tipo de bote es necesario cuidar de que el escape esté abierto, de lo contrario la alta presión generada en la caldera puede botar el tapón liberando vapor y agua caliente, los cuales producirían quemaduras a las personas ubicadas a su alrededor.

La velocidad en estado estacionario se determinó con un cronómetro manual y una regla, como otra variante del método fotográfico. La fuerza de fricción se determinó, como en el caso anterior, por medios fotográficos. Los resultados así obtenidos se muestran, en forma comparativa, en la Tabla I.

En el caso del bote de vapor, la rapidez de pérdida de la masa del agua de la caldera resultó ser:

$$dm/dt = 5.28 \pm 0.36 \cdot 10^{-2} \text{ kg/seg} ,$$

la cual multiplicada por el calor latente de evaporación⁽⁷⁾ y el equivalente mecánico del calor, dio la cantidad de calor que se utilizó para evaporar el agua (37 ± 1 watts). Esto implica que se tienen pérdidas térmicas en la flama de la vela del orden de 51 watts.

De la comparación de la eficiencia medida en ambos ejemplos (del orden de 10^{-8} y 10^{-5}) con los valores para la eficiencia de las calderas comerciales (entre 0.1 y 0.3), se desprende el que este tipo de motores no sea utilizado en embarcaciones de mayor envergadura.

TABLA I

	Bote "put put"	Bote de Madera
Masa (gramos)	$47.38 \pm .01$	$450.6 \pm .1$
Velocidad (m/seg)	$(23 \pm 2) \times 10^{-2}$	$(.81 \pm .02) \times 10^{-2}$
$\frac{\Delta m}{\Delta t}$ (g/min) Combustible	$0.032 \pm .002$	$.112 \pm .008$
Empuje (newton)	$(4.4 \pm .7) \times 10^{-3}$	$(1.2 \pm .1) \times 10^{-4}$
Pot. mecánica (watts)	$(1.0 \pm .2) \times 10^{-3}$	$(1.0 \pm .1) \times 10^{-6}$
Pot. combustible (watts)	23 ± 3	88 ± 13
Eficiencia	$(4.4 \pm 1.2) \times 10^{-5}$	$(1.1 \pm .3) \times 10^{-8}$

4. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se han incluido dos ejemplos de prácticas de laboratorio que permiten al estudiante diseñar sus experimentos, los cuales por su sencillez pueden ser fácilmente incluidos en los laboratorios de enseñanza media sin grandes erogaciones.

Ambos experimentos dejan, sin embargo, muchas preguntas sin

contestar, por lo que se prestan para ser utilizados incluso en cursos más avanzados. Como ejemplo de esto puede mencionarse la posibilidad de realizar un análisis de los procesos de transferencia de calor en el sistema, así como un estudio del flujo del agua en las toberas.

En todo caso, la facilidad de los cálculos y de los experimentos en sí, hacen que los problemas de las lanchas de vapor sean instructivos a la vez que atractivos para el estudiante.

REFERENCIAS

1. R. Gómez, S. Reyes y H. Riveros, *Sup. E. Rev. Mex. Fis.*, 21 (1972) 43.
2. E.H. Marston and M.A. Jensen, *Am. J. Phys.* 41 (1973) 726.
3. G.T. Fox, *Am. J. Phys.*, 39 (1971) 947.
4. J.S. Miller, *Am. J. Phys.*, 26 (1958) 199.
5. R.S. MacKay, *Am. J. Phys.*, 26 (1958) 583.
6. I. Finnie and R.L. Curl, *Am. J. Phys.*, 30 (1962) 289.
7. C.D. Hodgman (ed), "Handbook of Chemistry and Physics", The Chem. Rubb. C. Cleveland (1948).