



**XVI Olimpiáda Iberoamericana de Física**  
**ECUADOR 2011**  
**Prueba Teórica 1**  
**26 septiembre 2011 – 01 de Octubre 2011**



## Energía de las Olas

1

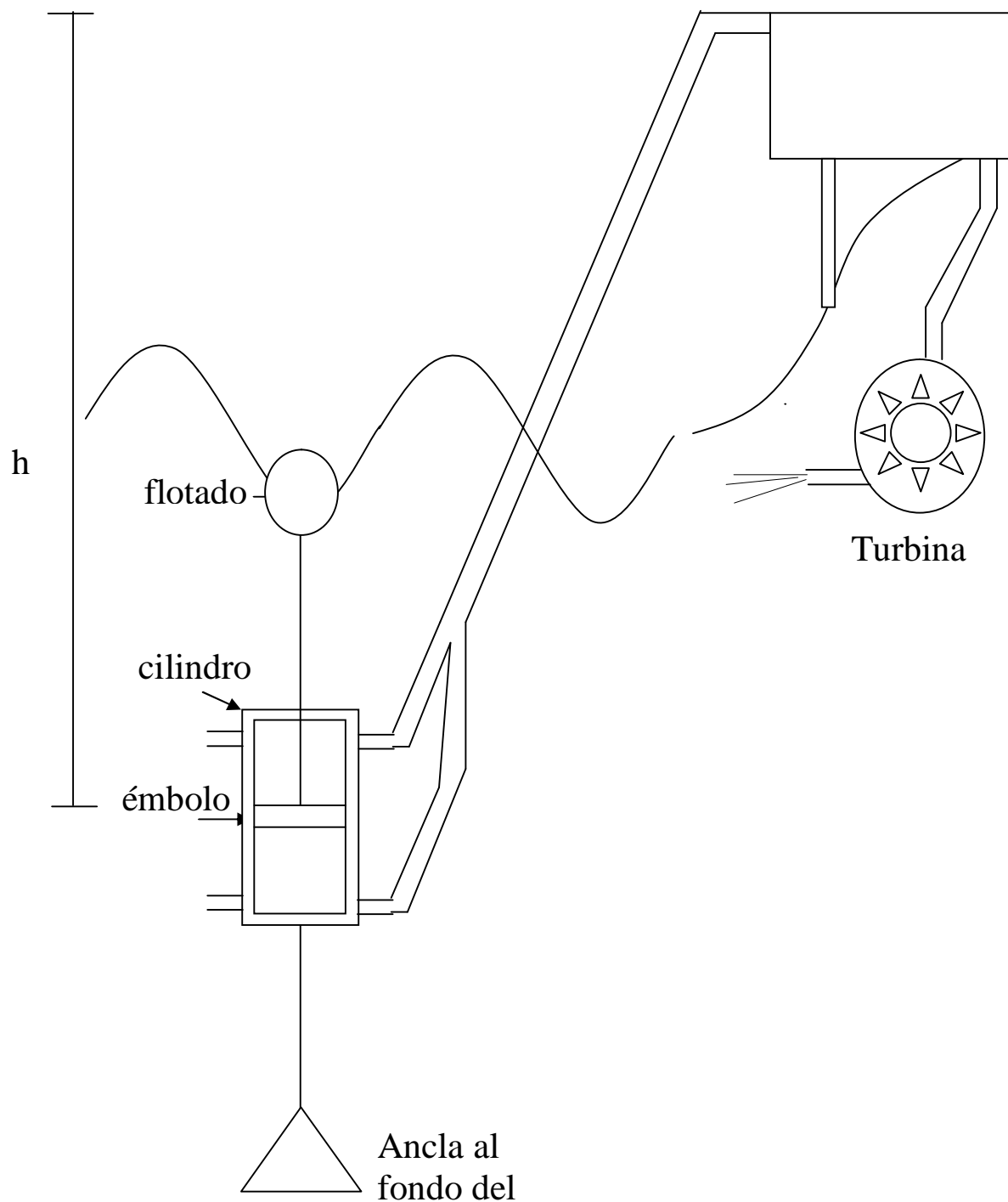
Durante muchos años investigadores han intentado desarrollar un aparato para extraer la energía de las olas del mar. De los métodos usados el más simple consiste en un flotador conectado al émbolo de un cilindro de doble acción anclado al fondo del mar, como se muestra en la figura.

Cuando llega la ola, el flotador actúa tirando del émbolo hacia arriba, y luego de pasar ésta, su propio peso lo hace bajar. Debido a este movimiento y a un sistema de válvulas acoplado al cilindro, el sistema transporta agua a un tanque ubicado a una altura  $h = 50$  m sobre el punto medio del cilindro.

El agua acumulada se utiliza para hacer funcionar una turbina ubicada a nivel de mar, transformando la energía potencial del agua en energía eléctrica para el consumo doméstico.

Considerando que las olas tienen una amplitud de 30 cm, que provocan un movimiento sinusoidal en el flotador y que pasan tres olas (crestas) por segundo, realice las siguientes tareas:

1. Si el movimiento del flotador está desfasado en  $\pi/2$  con respecto a la ola y su amplitud es del 90% de la amplitud de la misma, encuentre la expresión que describe la posición del flotador en función del tiempo. Especifique las condiciones iniciales asumidas. **[3 p]**
2. Represente en una misma gráfica la posición, velocidad y aceleración del flotador en función del tiempo. **[2 p]**
3. Considerando que el cilindro tiene 800 mm de diámetro y que el espesor del émbolo es insignificante con respecto a la altura del cilindro, determine el trabajo realizado en un ciclo sobre el agua que se eleva al tanque desde el cilindro. **[3 p]**
4. Determine la potencia media que suministra el sistema. **[2 p]**





## Efecto de la distribución de la posición inicial de los iones en un espectrómetro de masas lineal de tiempo de vuelo.

1

### Introducción

Un Espectrómetro de masas de tiempo de vuelo es un instrumento que permite medir la masa molecular de iones con alta precisión y buena resolución. Estos instrumentos constan de tres partes principales: 1) una fuente de iones, donde los iones que se analizan son producidos y acelerados, 2) un tubo de vuelo ubicado a continuación, en el cual los iones previamente acelerados en la fuente pueden volar sin campos eléctricos o magnéticos que los afecten, llamado también región de vuelo libre, y 3) un detector en el cual se registra el tiempo de llegada de los iones.

En la fuente todos los iones con la misma carga  $q$  se aceleran hasta alcanzar nominalmente la misma energía cinética. Por eso, en su vuelo los iones se separan por su masa (o mejor, su relación  $m/q$ ) y llegan al detector en un tiempo que depende de su  $m/q$ . Es decir, que midiendo el tiempo de vuelo de un ion particular podemos determinar su relación  $m/q$  y, conociendo  $q$ , por lo tanto se puede determinar  $m$ .

### Espectrómetro Wiley y McLaren de dos etapas

En la Figura 1 se muestra un esquema de un espectrómetro lineal simple del tipo Wiley y McLaren con dos etapas de aceleración, donde se incluyen sus dimensiones y potenciales aplicados.

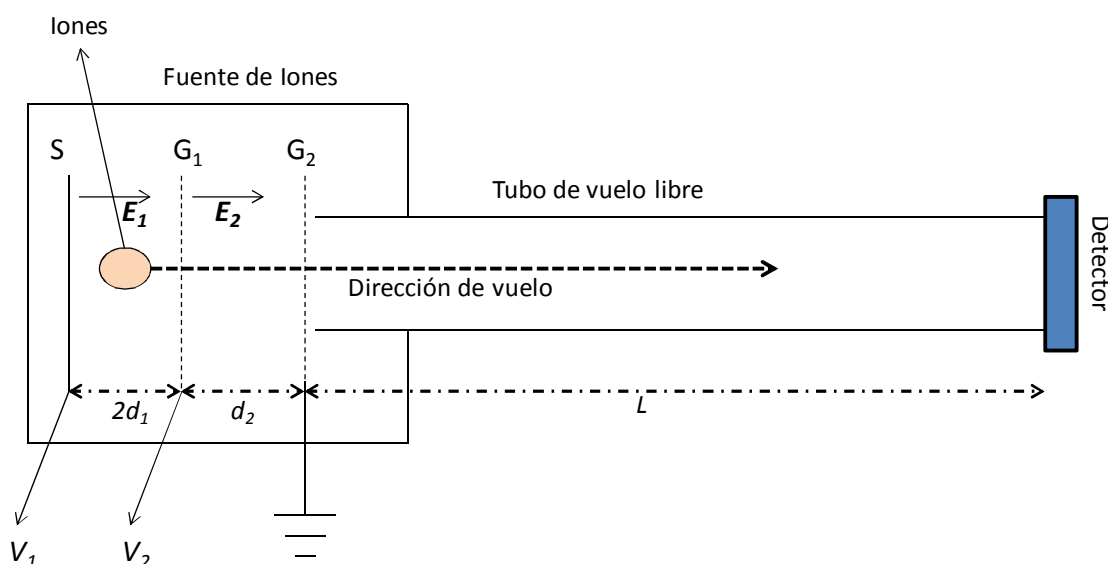


Fig. 1. Un esquema de un espectrómetro de masas de tiempo de vuelo. Se muestran la fuente de iones con dos etapas de aceleración, limitadas por el electrodo S y las rejillas metálicas G<sub>1</sub> y G<sub>2</sub>, el espacio de vuelo libre y el detector al final. Los iones deben hacer una carrera para mostrar quien es el menos masivo. Típicamente, las distancias d<sub>1</sub> y d<sub>2</sub> son muy pequeñas en relación al tamaño de las rejillas.

**XVI Olimpiada Iberoamericana de Física**  
**ECUADOR 2011**  
**Prueba Teórica 2**  
**26 septiembre 2011 – 01 de Octubre 2011**



2

Supondremos que en el centro de la región delimitada por S y  $G_1$  se crea un número muy grande de iones de diferentes especies químicas (con diferentes masas moleculares). El electrodo S se encuentra a un potencial  $V_1$ . Frente a este electrodo hay dos electrodos adicionales formados por rejillas metálicas  $G_1$  y  $G_2$ , a través de las cuales podrán pasar los iones en su camino hacia el tubo de vuelo libre.

*1) Principio de funcionamiento*

En la llamada configuración estática, los iones de carga positiva  $q$  y masa  $m$  se aceleran a través de las diferencias de potencial introducidas por los potenciales positivos  $V_1$  y  $V_2$  (con  $V_1 > V_2$ ), que generan campos eléctricos homogéneos  $E_1$  y  $E_2$  entre S y  $G_1$  y entre las rejillas metálicas  $G_1$  y  $G_2$ .

Supongamos que los iones se crean instantáneamente en la región entre S y  $G_1$ , exactamente en el centro, a una distancia  $d_1$  de S. Luego de su creación los iones serán extraídos en la dirección del campo eléctrico como se indica, recibiendo contribuciones sucesivas en su aceleración de los dos campos eléctricos homogéneos  $E_1$  y  $E_2$ , respectivamente. Entre  $G_2$  y el plano del detector, no hay campo eléctrico alguno y los iones pueden volar con libertad, esto es, en un movimiento rectilíneo uniforme. En este sistema los efectos gravitatorios y relativistas son despreciables.

La energía de un ión al salir de la fuente de iones puede escribirse como

$$U = U_0 + q d_1 E_1 + q d_2 E_2 \quad (1)$$

Donde  $U_0$  es la energía cinética inicial del ion en el momento de su creación. Consideremos por ahora que los iones se forman todos en la mitad de la primera región de aceleración y al mismo tiempo, esto es, con posición inicial  $x_0 = d_1$ .

- a. Encuentre expresiones para:
  - i. Los campos eléctricos entre los electrodos en función de los potenciales y distancias indicadas en la figura 1. **[1 p]**
  - ii. Las aceleraciones que experimentan los iones en las dos etapas de aceleración de la fuente de iones en función de los potenciales y distancias indicadas en la figura 1. **[1 p]**
  - iii. La energía cinética que adquieren los iones al final de cada etapa, y muestre que si consideramos que los iones se crean con velocidad inicial nula, la energía cinética final será la misma para todo ion. **[2 p]**
  - iv. La velocidad al atravesar  $G_1$  y  $G_2$  en función de las energías cinéticas. Note que si hay especies químicas con diferentes masas pero con la misma carga en la fuente, los iones adquieren una velocidad final que depende de su  $m/q$ . **[2 p]**



**XVI Olimpiada Iberoamericana de Física  
ECUADOR 2011  
Prueba Teórica 2  
26 septiembre 2011 – 01 de Octubre 2011**

3

- b. Encuentre una expresión para el tiempo de vuelo de los iones en cada una de las tres etapas en función de las energías cinéticas, la masa, la carga, las intensidades de los campos eléctricos y las distancias. **[3 p]**
- c. Considere dos iones con masas  $m_1$  y  $m_2 = m_1 + 1$  (en unidades de masa atómica, u) y con la misma carga  $q$ . ¿Cuál es la diferencia entre los tiempos de vuelo totales para los dos iones? **[3 p]**
- d. Calcule la diferencia entre los tiempos de vuelo para iones de masas 1 000 u y 1 001 u,  $q = e$ , en un instrumento en el que  $V_1 = 10$  kV,  $V_2 = 8$  kV,  $d_1 = 3$  mm,  $d_2 = 11$  mm y  $L = 1$  m. **[2 p]**

*2) Caso realista: Resolución afectada por dispersión espacial*

En un caso realista, los iones se generan instantáneamente cerca del centro entre S y  $G_1$ , pero con una distribución aleatoria de distancias alrededor de este punto que se extiende hasta unos 50  $\mu\text{m}$ .

Vamos a trabajar el caso en que  $U_0 = 0$  pero  $x_0 = d_1 + \Delta$ , siendo  $|\Delta| \ll d_1$ .

- a. Escriba la expresión para el tiempo de vuelo total en estas condiciones. **[2p]**
- b. Para un ión de 1 000 u que parte del centro entre S y  $G_1$  y otro idéntico que parte a una distancia  $|\Delta| = 50$   $\mu\text{m}$  del primero, determine la diferencia en sus tiempos de vuelo hasta el detector, usando los datos y geometría de 1.d. **[2p]**
- c. Compare el resultado anterior con la diferencia de tiempo de vuelo de los dos iones en 1.d. ¿Se puede discernir en estas condiciones la diferencia entre sus masas? Explique **[2 p]**

$$1 \text{ u (unidad de masas atómica)} = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$1 \text{ e (carga eléctrica elemental)} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$