

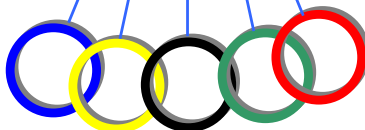
REAL SOCIEDAD ESPAÑOLA DE FÍSICA

REAL SOCIEDAD ESPAÑOLA DE FÍSICA

XIX Olimpiada

ESPAÑOLA DE
FÍSICA

FASE LOCAL DE LA RIOJA



29 de febrero de 2008

Esta prueba consiste en la resolución de dos problemas.

Razona siempre tus planteamientos

¡No olvides poner tus apellidos, nombre y datos del Centro en la primera hoja!



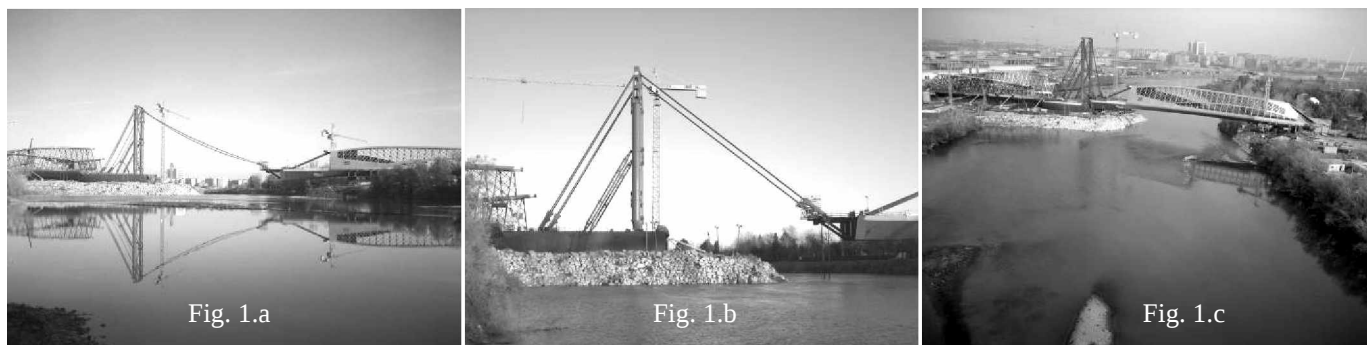
UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

**Consejería de Educación, Cultura y
Deporte de La Rioja**

P-1 El lanzamiento del Pabellón-Puente

El *Pabellón-Puente*, uno de los edificios emblemáticos de EXPO 2008, es un amplio espacio expositivo sobre el Ebro, diseñado por la prestigiosa arquitecta iraquí Zaha Hadid. Su construcción ha supuesto un enorme reto tecnológico, ya que su total falta de simetría ha obligado a diseñar por separado cada una de sus piezas metálicas. Una mitad del puente ha sido construida *in situ* aprovechando una pequeña isla natural en el cauce del río. La otra mitad se ha hecho en tierra firme, en la ribera derecha, de forma que una vez terminada ha sido preciso “lanzarla” para ensamblarla con la primera mitad.

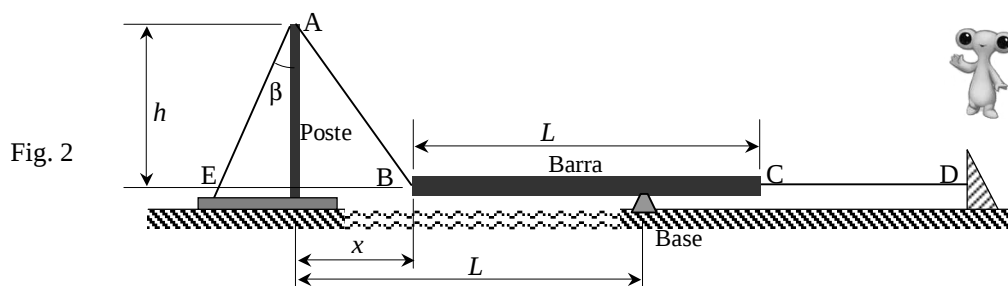
La fotografía de la figura 1.a muestra el inicio del lanzamiento. Puede apreciarse a la izquierda la gran estructura provisional levantada para realizar el lanzamiento. En la figura 1.b se ve la parte delantera del puente que está siendo lanzado. La figura 1.c corresponde al final del lanzamiento, con las dos mitades del puente preparadas para su unión. (Las fotografías son cortesía de EXPO 2008).



El complejo proceso del lanzamiento del puente, maniobra sin precedentes, se llevó a cabo muy lentamente, de forma que en todo momento se pudiese considerar en equilibrio estático. En Física este tipo de proceso se denomina *cuasiestático*.

Para realizar un estudio preliminar se recurre, como también es habitual en Física, a un *modelo* simplificado. Con este modelo se pueden hacer cálculos estimativos, que son el objeto de este problema.

En el modelo que se presenta (figura 2) se considera al puente como una barra homogénea de longitud L y masa M , que se apoya sin rozamiento sobre una base fija, que constituye el estribo derecho del puente. Así mismo, se considera que la estructura provisional es un poste vertical rígido de altura h , apoyado en lo que será el estribo central. De este poste se tienden dos cables, uno AE de longitud fija, hacia una sujeción provisional y el otro AB, hacia la barra. Acortando lentamente este último cable, la barra se desplaza hacia la izquierda. Para que en todo momento se conserve el equilibrio es necesario un tercer cable CD prácticamente horizontal, que une la parte derecha de la barra con otro soporte fijo.



Lógicamente, el desplazamiento de la barra exige que la longitud de este tercer cable aumente.

Utilizando este modelo, responde a las siguientes cuestiones:

- Determina las tensiones T_1 y T_2 en los cables AB y CD cuando la distancia del extremo B de la barra a la columna es x . Puede despreciarse el rozamiento entre la barra y la base.
- Dibuja de forma aproximada la grafica de T_2 en función de x , desde $x = 0$ hasta $x = L/2$, y determina la distancia x_m para la cual la tensión T_2 es máxima, así como la expresión del valor máximo T_{2max} de dicha tensión.
- Si $M = 2,2 \cdot 10^6$ kg, $L = 120,0$ m y $h = 40,0$ m, calcula el valor de T_{2max} .
- Si $\beta = 30^\circ$, determina y calcula el valor de la tensión del cable AE, T_{3max} , cuando T_2 es máxima. Supón que la fuerza de reacción del suelo sobre el poste es vertical.

P-2 Pimpón electrostático

Un generador de Van de Graff (figura 1) es una máquina electrostática que consigue cargar una esfera hasta muy altos potenciales, del orden de 100 kV. Mediante un generador de este tipo se establece una diferencia de potencial V entre dos placas conductoras planas y paralelas (condensador plano), separadas una distancia d .

Con este dispositivo y una pelota de pimpón, de radio R y masa M , pintada con pintura conductora, puede realizarse la experiencia conocida como “pimpón electrostático”, cuyo esquema se representa en la figura 2.



Figura 1.- Generador de Van de Graff

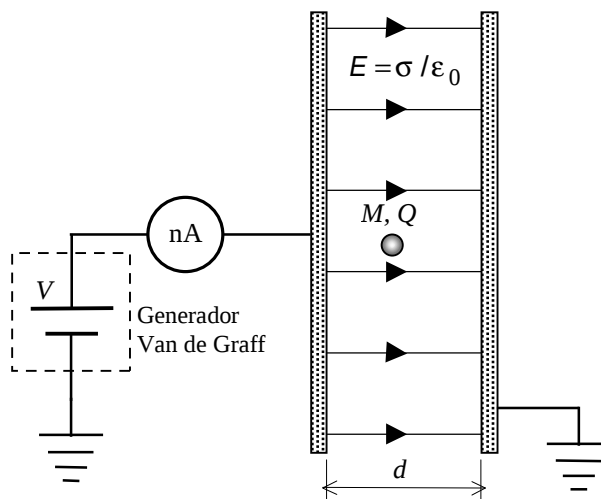


Figura 2.- Esquema del *pimpón electrostático*.

Cuando se pone en marcha el generador, una placa adquiere densidad de carga positiva $+\sigma$ y la otra densidad de carga negativa $-\sigma$. La pelota, inicialmente en contacto con la placa positiva, adquiere una carga $+Q$ y es atraída por la placa negativa. Cuando llega a esta placa, con la que choca inelásticamente, le transfiere su carga positiva y adquiere una carga $-Q$, de forma que es atraída por la placa positiva y se produce el retorno a la posición inicial, donde se repite el choque inelástico y la permuta de carga. Este movimiento de vaivén se repite mientras se mantenga la diferencia de potencial.

El análisis exacto de este proceso es complejo, pero haciendo algunas simplificaciones se pueden obtener resultados realistas. Considera que sobre la pelota sólo actúan fuerzas electrostáticas y que el campo eléctrico E entre las dos placas es uniforme, perpendicular a sus superficies y que no se modifica apreciablemente por la presencia de la pelota cargada. También puedes considerar que las dimensiones de la pelota son despreciables frente a la separación entre las placas, es decir que $R \ll d$.

- Si la pelota de pimpón parte del reposo desde una placa, determina el tiempo t que tarda en llegar a la otra. Expresa el resultado en función de Q , M , d y E .
- Supón que, tras chocar la pelota con una placa, la carga que adquiere es proporcional a la densidad de carga superficial que tiene esa placa, es decir $Q = k\sigma$. Determina el valor de la carga en función de la constante de proporcionalidad k y de los parámetros experimentales d y V .
- Cuando las placas del condensador están separadas una distancia $d = 0,2$ m y se ajusta el voltaje a $V = 36$ kV, la frecuencia de las oscilaciones de la pelota es de 0,5 Hz. Determina los valores de k y Q . ¿Qué unidades tiene k ?
La masa reglamentaria de una bola de pimpón es $m = 2,7$ g. La pintura conductora incrementa esta masa en 0,9 g.
Constante de Coulomb: $1/(4\pi\epsilon_0) = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2 \text{ C}^{-2}$
- Calcula la intensidad media que marca el nanoamperímetro (nA) de la figura 2.
- Relaciona la potencia eléctrica suministrada por el generador de Van de Graff con la energía mecánica entregada por la pelota a una placa en cada choque.

P-3 Un disparo real

Un cañón ajustado con un ángulo de tiro α , dispara un proyectil con una velocidad inicial v_0 . Si se considera despreciable la fricción con el aire,

- Determina la expresión del alcance horizontal R .
- Calcula el valor de este alcance si $v_0 = 470 \text{ m/s}$ y $\alpha = 40^\circ$. Toma como valor de la aceleración de la gravedad $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.
- Si la velocidad inicial v_0 se conoce con una imprecisión del $\pm 2\%$, determina la incertidumbre del alcance horizontal suponiendo que la medida del ángulo de disparo está exenta de errores.

El Regimiento de Artillería de Campaña ATP nº 20 utiliza una pieza obús ATP-109 autopropulsada, de calibre 155/32. El proyectil, de masa $m = 40 \text{ kg}$, lleva una velocidad $v_0 = 470 \text{ m/s}$ al salir de la pieza. Cuando el ángulo de tiro se ajusta a 40° , el alcance horizontal es de 9.400 m.

- Con las aproximaciones que estimes conveniente, haz una estimación de las pérdidas energéticas debidas a la fricción con el aire de este proyectil.

En la figura 1 se muestra un esquema, a escala, de las trayectorias del proyectil con y sin fricción con el aire.

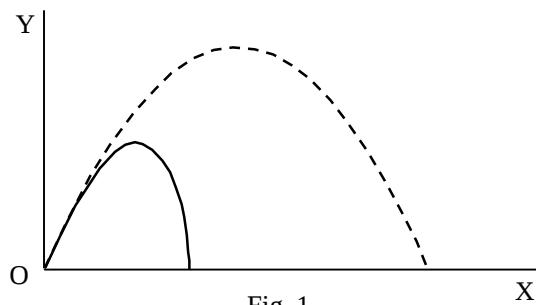


Fig. 1

P-4 Problema Experimental. *Pesando un electrón*

1) Fundamento teórico

La masa de un electrón es muy pequeña, $m_e \sim 10^{-30}$ kg, por lo que es imposible medirla con una balanza convencional. Para determinarla experimentalmente puede recurrirse a la vieja y conocida segunda ley de Newton: si se hace actuar una fuerza F conocida sobre una partícula y se mide la aceleración con que se mueve, a , la masa de la partícula puede deducirse como

$$m = \frac{F}{a}$$

En el caso del electrón, si se supone conocida su carga $q_e = -e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ C, un posible método para determinar su masa m_e es observar la trayectoria que describe cuando penetra con velocidad $\vec{v}$ en una región del espacio donde existe un campo magnético $\vec{B}$. Como bien sabrás, la fuerza que actúa sobre el electrón (fuerza de Lorentz) es

$$\vec{F} = -e\vec{v} \times \vec{B}$$

Esta fuerza es perpendicular a $\vec{v}$, de forma que la aceleración que produce es puramente centrípeta, es decir cambia la dirección de $\vec{v}$ pero no su módulo v . En particular, si $\vec{v}$ y $\vec{B}$ son perpendiculares y $\vec{B}$ es uniforme, la trayectoria del electrón es circular (figura 1) y se cumple

$$m_e = \frac{F}{a} = \frac{evB}{v^2/R} = \frac{eBR}{v} \quad (1)$$

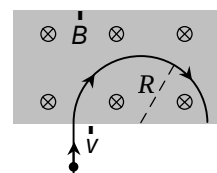


Fig. 1

donde R es el radio de la trayectoria.

Para acelerar el electrón hasta la velocidad v puede emplearse el campo eléctrico producido por dos electrodos entre los que se establece una diferencia de potencial V (cañón de electrones). Supuesto que los electrones parten del reposo, su velocidad final v puede determinarse planteando la conservación de la energía mecánica.

$$eV = \frac{1}{2}m_e v^2 \rightarrow v = \left(\frac{2eV}{m_e} \right)^{1/2} \quad (2)$$

Sustituyendo (2) en (1) y despejando m_e se obtiene

$$m_e = \frac{eB^2 R^2}{2V} \quad (3)$$

Para producir un campo magnético uniforme pueden emplearse un par de bobinas en montaje de Helmholtz¹, que crean un campo proporcional a la corriente I que circula por ellas. Llamando k a la constante de proporcionalidad

$$B = kI \quad (4)$$

En total, (3) puede escribirse

$$m_e = \frac{ek^2}{2} \frac{I^2}{V} R^2 \quad (5)$$

En resumen, para determinar m_e es necesario conocer la constante k de las bobinas y medir el radio R de la trayectoria de los electrones para valores conocidos de I y V .

En la fotografía de la figura 2 se muestra un montaje real para realizar este experimento. Se observan dos fuentes de alimentación, para el cañón de electrones y para las bobinas, que permiten regular y medir V e I respectivamente. El cañón de electrones se encuentra en el interior de un bulbo esférico de vidrio con gas Ar a baja presión en su interior. Los electrones excitan por colisiones los átomos de Ar que encuentran a su paso, y éstos se desexcitan emitiendo fotones de luz visible, de forma que se visualiza la trayectoria circular de los electrones y se puede medir su radio con una simple regla.

¹ Se demuestra que dos espiras circulares situadas en planos paralelos, por las que circula la misma corriente y separadas una distancia igual a su radio (montaje de Helmholtz), producen un campo magnético aproximadamente uniforme en un volumen relativamente amplio en torno al centro geométrico del sistema.

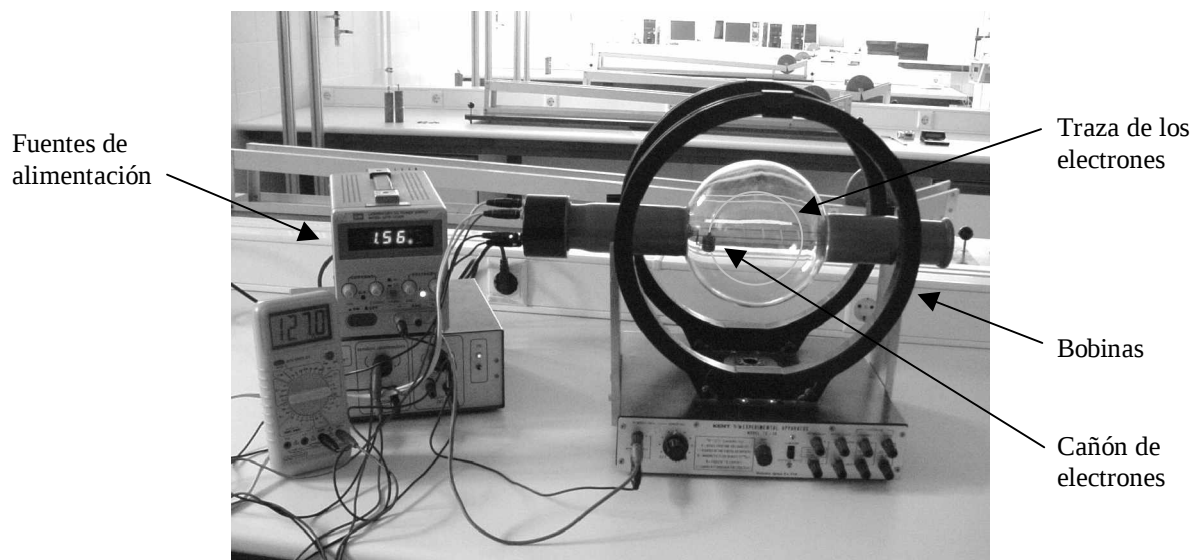


Fig. 2

2) Datos experimentales.

Para calibrar las bobinas, es decir para determinar su constante k , se mide con un teslámetro el campo magnético B que crean en su centro en función de la intensidad I con que se alimentan. En la tabla I se presentan estas medidas.

Tabla I. Calibrado de las bobinas.

I (A)	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00
B (mT)	0,14	0,34	0,47	0,58	0,76	0,95	1,12	1,19	1,43	1,49

El cañón de electrones opera con una tensión aceleradora constante $V = 150$ V. Para diversos valores de la corriente I que circula por las bobinas se mide el radio R de la trayectoria de los electrones. Los resultados se presentan en la tabla II.

Tabla II. Radios de curvatura en función de I .

I (A)	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10
R (cm)	9,1	7,5	6,6	6,0	5,3	4,8

3) Tareas y preguntas.

- Representa gráficamente en el papel milimetrado los puntos experimentales $(x, y) = (I, B)$ de la tabla I.
- Ajusta estos puntos experimentales a una línea recta.
- Determina el valor de la constante de calibración de las bobinas, k .
- Haz una estimación de la incertidumbre (margen de error) de k .
- Determina la masa de un electrón, m_e .
- En este experimento se realizan medidas directas y determinaciones indirectas de diversas variables. La incertidumbre de cada una de ellas influye en el margen de error de la masa del electrón. Suponiendo que la principal fuente de error es la determinación de la constante k de las bobinas, haz una estimación de la incertidumbre de m_e .