



Real
Sociedad
Española de
Física



XXXVII OLIMPIADA DE FÍSICA
FASE LOCAL – EXTREMADURA (27 de febrero de 2026)

APELLIDOS Y NOMBRE _____

CENTRO DE ESTUDIOS _____

ENUNCIADO

Una vivienda rural situada en una zona aislada ha decidido mejorar su autosuficiencia energética instalando un pequeño aerogenerador doméstico. El objetivo es reducir la dependencia de la red eléctrica y aprovechar la energía del viento para cubrir parte del consumo diario de la vivienda.



El aerogenerador utiliza un alternador que transforma la energía mecánica del viento en energía eléctrica mediante inducción electromagnética. El alternador contiene una bobina de 120 espiras, que gira dentro de un campo magnético uniforme de 0,35 T. El área efectiva de cada espira es de $0,015 \text{ m}^2$ y en un día de viento moderado la bobina gira a 25 revoluciones por segundo.

A partir de esta situación:

- Calcula el flujo magnético máximo total que atraviesa la bobina del alternador.
- Determina la fuerza electromotriz inducida máxima que genera el alternador.
- La familia dueña de la vivienda se propone mejorar el rendimiento del sistema sin modificar ni el campo magnético ni la velocidad de giro. ¿Cuántas espiras debería tener la bobina para incrementar la fuerza electromotriz máxima en un 30%?
- En un día de viento moderado, el aerogenerador instalado en la vivienda mantiene una potencia media de 98 W. ¿Cuánta energía eléctrica produce en 6 horas de funcionamiento continuo? Expresa el resultado en kWh.
- La vivienda rural tiene un consumo diario típico de 6 kWh. ¿Qué porcentaje de ese consumo diario queda cubierto por la energía generada por el aerogenerador?
- La familia desea saber si sería viable cubrir la mayor parte de su demanda energética mediante energía eólica. ¿Cuántos aerogeneradores iguales al instalado serían necesarios para cubrir el 80% del consumo diario de la vivienda?

XXXVII OLIMPIADA DE FÍSICA
FASE LOCAL – EXTREMADURA (27 de febrero de 2026)

SOLUCIÓN

- a) Flujo magnético máximo total que atraviesa la bobina, siendo N el número de espiras, B el campo magnético, A el área efectiva de cada espira y ω la velocidad angular:

$$\Phi_{\text{total}} = N \int_A \vec{B} \cdot d\vec{S} = N \cdot B \cdot A \cdot \cos \omega t$$

Flujo magnético total máximo implica $\cos \omega t = 1$:

$$\Phi_{\text{total, máx.}} = N \cdot B \cdot A = 120 \cdot 0,35 \cdot 0,015 \text{ Wb} = \mathbf{0,63 \text{ Wb}}$$

- b) Fuerza electromotriz inducida (fem) en una bobina que gira en un campo uniforme:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_{\text{total}}}{dt} = N \cdot B \cdot A \cdot \omega \cdot \sin \omega t$$

$\varepsilon_{\text{máx.}}$ tendrá lugar cuando $\sin \omega t = 1$:

$$\varepsilon_{\text{máx.}} = N \cdot B \cdot A \cdot \omega$$

$$\omega = 25 \frac{\text{rev}}{\text{s}} = 25 \cdot 2\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}} \approx 157,08 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Por tanto:

$$\varepsilon_{\text{máx.}} = 120 \cdot 0,35 \cdot 0,015 \cdot 157,08 \text{ V} \Rightarrow \varepsilon_{\text{máx.}} \approx \mathbf{99 \text{ V}}$$

- c) Número de espiras para aumentar la fem máxima un 30%

La fem máxima inicial, con 120 espiras, vale 99 V, es decir:

$$99 \text{ V} = 120 \cdot B \cdot A \cdot \omega \quad (1)$$

Queremos conocer el número de espiras necesario para aumentar un 30% la fem máxima, es decir, queremos una fem máxima: $\varepsilon'_{\text{máx.}} = 1,3 \cdot 99 \text{ V}$. Teniendo en cuenta que no queremos modificar ningún otro parámetro, resulta:

$$1,3 \cdot 99 \text{ V} = N' \cdot B \cdot A \cdot \omega \quad (2)$$

Dividiendo la ecuación (2) entre la (1) y despejando N' :

$$N' = 1,3 \cdot 120 \text{ espiras} \Rightarrow \mathbf{N' = 156 \text{ espiras}}$$

- d) Energía producida en 6 horas de funcionamiento

La potencia media es la energía producida en la unidad de tiempo. Por tanto, la energía es:

$$E = P \cdot t = 98 \text{ W} \cdot 6 \text{ h} = 588 \text{ Wh} \Rightarrow \mathbf{E = 0,588 \text{ kWh}}$$

- e) Porcentaje del consumo diario cubierto

Consumo diario de la vivienda: $E_{\text{vivienda}} = 6 \text{ kWh}$

Porcentaje cubierto:



XXXVII OLIMPIADA DE FÍSICA
FASE LOCAL – EXTREMADURA (27 de febrero de 2026)

$$\% \text{ cubierto} = \frac{0,588}{6} \cdot 100 \approx 9,8\%$$

El aerogenerador cubre aproximadamente un 10% del consumo total de la vivienda.

- f) Número de aerogeneradores para cubrir el 80% del consumo

$$E_{\text{objetivo}} = 0,8 \cdot 6 = 4,8 \text{ kWh}$$

Cada aerogenerador aporta:

$$E_{\text{aero}} = 0,588 \text{ kWh}$$

Número de aerogeneradores:

$$n = \frac{E_{\text{objetivo}}}{E_{\text{aero}}} = \frac{4,8}{0,588} \approx 8,16$$

Redondeamos al entero superior:

Necesitamos instalar 9 aerogeneradores para garantizar que se cubre el 80% del consumo total de la vivienda con energía eólica.

XXXVII OLIMPIADA DE FÍSICA
FASE LOCAL – EXTREMADURA (27 de febrero de 2026)

APELLIDOS Y NOMBRE _____

CENTRO DE ESTUDIOS _____

ENUNCIADO

Un grupo de montañeros se encuentra atrapado en la parte más baja del Glaciar de Aletsch, una ladera de nieve perpetua de 20 metros de altura vertical y una inclinación constante de 30° respecto a la horizontal. A pesar de las extremas condiciones del terreno, el helicóptero del equipo de rescate consigue aterrizar en la cima del glaciar. En ese lugar se organiza una operación de provisionamiento de urgencia a los montañeros que consiste en lanzar de forma parabólica un contenedor de medicinas y alimentos con una velocidad inicial de módulo v y un ángulo θ sobre la horizontal. El éxito de la operación depende de que el contenedor impacte en una zona específica de la ladera para que, tras detenerse momentáneamente debido a la nieve profunda del terreno, deslice suavemente por su propio peso hasta llegar al grupo de montañeros.



El sistema de telemetría adosado al contenedor ha registrado los siguientes datos durante la operación:

- Tras un tiempo de vuelo de exactamente 2 s, el contenedor impacta en la superficie de la ladera con una velocidad de módulo 19 m/s.
- El contenedor pierde su energía cinética de forma instantánea en el impacto, quedando en reposo por un momento antes de comenzar a deslizar ladera abajo.
- El contenedor llega a los montañeros con una velocidad de módulo 10 m/s.
- Las propiedades del material del contenedor y la nieve del glaciar definen un coeficiente de rozamiento cinético de 0,2.

Determinar el módulo de la velocidad inicial v y el ángulo θ respecto a la horizontal con los que fue lanzado el contenedor para que la operación de provisionamiento haya sido un rotundo éxito.



Real
Sociedad
Española de
Física



XXXVII OLIMPIADA DE FÍSICA
FASE LOCAL – EXTREMADURA (27 de febrero de 2026)

SOLUCIÓN

1. Movimiento del contenedor en el plano inclinado

- Aceleración del contenedor sobre el plano a partir de la segunda ley de Newton:
 $a = g (\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$
 $a = 9.8 (\sin 30^\circ - 0.2 \cdot \cos 30^\circ) = 3.203 \text{ m/s}^2$
- Distancia recorrida por el contenedor sobre la ladera a partir de una de las ecuaciones del movimiento rectilínea uniformemente acelerado:
 $v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot d$
 $10^2 = 0 + 2 \cdot (3.203) \cdot d$
 $d = 15.61 \text{ m}$
- Altura vertical descendida (altura final del movimiento parabólico):
 $h = d \cdot \sin \alpha$
 $h = 15.61 \cdot \sin 30^\circ = 7.81 \text{ m}$

2. Movimiento parabólico del contenedor:

- Componente vertical de la velocidad inicial:
 $y_f = y_0 + v_{0y} \cdot t - (1/2) \cdot g \cdot t^2$
 $7.81 = 20 + v_{0y} \cdot 2 - 0.5 \cdot 9.8 \cdot (2^2)$
 $v_{0y} = 3.703 \text{ m/s}$
- Componente vertical de la velocidad final:
 $v_{fy} = v_{0y} - g \cdot t$
 $v_{fy} = 3.703 - 9.8 \cdot 2 = -15.897 \text{ m/s}$
- Componente horizontal de la velocidad (el problema proporciona el dato del módulo de la velocidad final del movimiento parabólico 19 m/s):
 $v_0^2 = v_x^2 + v_{fy}^2$
 $19^2 = v_x^2 + (-15.897)^2$
 $v_x = 10.406 \text{ m/s}$

3. Resultados finales

- Velocidad inicial:
 $v_0^2 = v_x^2 + v_{0y}^2$
 $v_0^2 = 10.406^2 + 3.703^2$
 $v_0 = 11.05 \text{ m/s}$
- Ángulo de lanzamiento:
 $\theta = \arctan(v_{0y}/v_x)$
 $\theta = \arctan(3.703/10.406)$
 $\theta = 19.59^\circ$



Real
Sociedad
Española de
Física



XXXVII OLIMPIADA DE FÍSICA

FASE LOCAL – EXTREMADURA (27 de febrero de 2026)

APELLIDOS Y NOMBRE _____
CENTRO DE ESTUDIOS _____

ENUNCIADO

La asistencia gravitatoria o *flyby* es una maniobra espacial que utilizan las sondas para aumentar o disminuir su velocidad aprovechando la gravedad de un planeta sin gastar combustible. Cuando una nave entra en la esfera de influencia, que es la región del espacio que rodea a un planeta donde su fuerza gravitatoria es mayor que la del Sol y otros cuerpos cercanos, su movimiento pasa a estar dominado principalmente por ese planeta. En esta zona, la atracción gravitatoria modifica la trayectoria y velocidad de la sonda. Durante el paso cercano, la nave “toma” parte de la energía del movimiento del planeta alrededor del Sol, lo que le permite cambiar de dirección y ganar o perder velocidad (Figura 1). Gracias a esta técnica, misiones como las sondas Voyager, Cassini, Rosetta o New Horizons han utilizado planetas como Júpiter, Venus o la Tierra para viajar más rápido y llegar a destinos lejanos de forma más eficiente y económica.

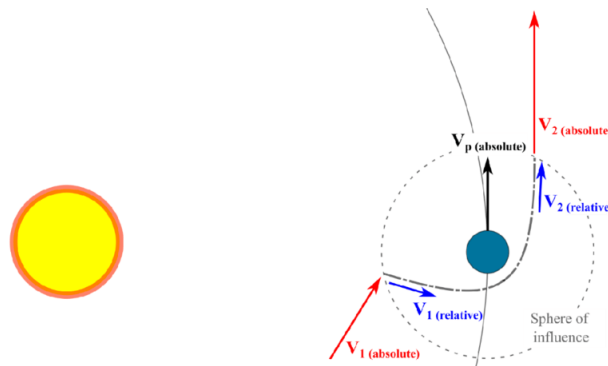


FIG. 1. Geometría del *flyby* de una sonda espacial alrededor de un planeta. Las velocidades dibujadas en rojo son respecto al sistema de referencia del Sol (marcadas como “absolute”), mientras que las dibujadas en azul, son respecto al sistema de referencia del planeta (marcadas como “relative”). L. Campbell, *Multi-Function Thermal Protection Systems for Aerogravity Assist Missions to the Outer Planets*. Tesis de Máster (Politecnico di Torino, 2021).

En este problema vamos a estudiar el *flyby* de la sonda Voyager 2 de la NASA alrededor del planeta Júpiter el 9 de Julio de 1979 (Figura 3).

Realizaremos las siguientes hipótesis simplificadoras:

- El proceso de *flyby* ocurre en un tiempo muy corto y que todos los vectores están en el mismo plano.
- El planeta Júpiter sigue una órbita circular.

Usaremos mayúsculas para denotar los vectores en el sistema de referencia del Sol y minúsculas para los vectores en el sistema de referencia de Júpiter.

Asume que las velocidades de entrada (v_e) y de salida (v_s) de la sonda Voyager 2 en la esfera de influencia del planeta Júpiter, referidas al sistema de referencia del planeta Júpiter, no cambian su módulo (Figura 1).

Considera que el módulo de la velocidad de entrada de la sonda Voyager en la esfera de influencia, en el sistema de referencia del Sol, V_e , es $V_e = 10$ km/s, que el ángulo de incidencia en la dirección del Sol de la Voyager 2 es $\alpha = 40^\circ$

(ángulo entre V_e y el eje y de la Figura 2) y que el ángulo entre las velocidades relativas de entrada y salida de la Voyager 2 referidas al sistema de referencia del planeta Júpiter es $\gamma = 70^\circ$. La geometría del *flyby* desde el sistema de referencia del planeta Júpiter la puedes consultar en la Figura 2.

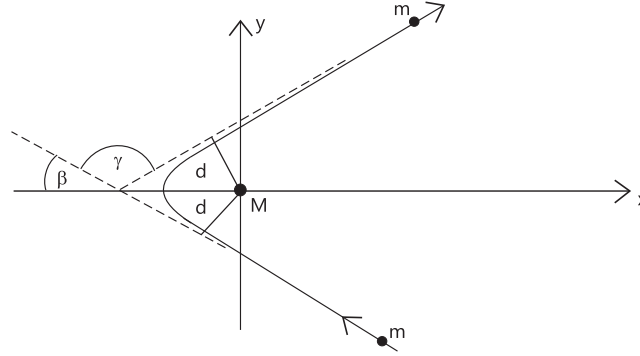


FIG. 2. Geometría del flyby desde el sistema de referencia del planeta Júpiter, planeta que se denota con el símbolo “M”. El eje x es paralelo al vector velocidad del planeta Júpiter y el eje y apunta al Sol. La sonda Voyager 2 se denota con el símbolo “m”. P. Berg, Eur. J. Phys. **44**, 025002 (2023).

Tienes que calcular:

1. El cambio del módulo de la velocidad de la sonda, antes de entrar (V_e) y después de salir (V_s) de la esfera de influencia, en el sistema de referencia del Sol: $\Delta V \equiv V_s - V_e$. Compara tu estimación con el valor proporcionado por la NASA en la Figura 4.
2. El cambio del ángulo de la trayectoria de la sonda, antes y después del *flyby*, en el sistema de referencia del Sol.

Datos: Distancia Júpiter-Sol: $d_{JS} = 778 \times 10^6$ km. Masa del Sol: $M_S = 2 \times 10^{30}$ kg. $G = 6,7 \times 10^{-11}$ m³ kg⁻¹ s⁻².

Material Adicional:

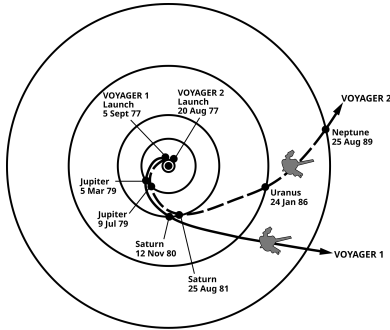


FIG. 3. Viajes de las dos sondas Voyager por el sistema solar con los diferentes *flybys* que sufrieron.

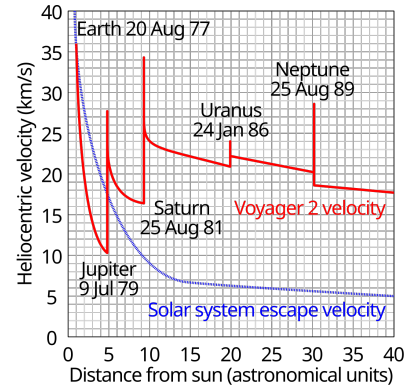


FIG. 4. Velocidad heliocéntrica de la sonda Voyager 2 como función de su distancia al Sol con los diferentes incrementos de velocidad producidos por los *flybys*. Antes del *flyby* con Júpiter la sonda Voyager 2 no tenía suficiente velocidad para salir del sistema solar (línea azul).

Más información en P. Berg, “The fundamental concepts of gravity-assist manoeuvre”, Eur. J. Phys. **44**, 025002 (2023).

Solución.

Notación. Vectores en mayúsculas se refieren al sistema de referencia del Sol. Vectores en minúsculas se refieren al sistema de referencia de Júpiter.

Tenemos los siguientes vectores:

$$\mathbf{V}_e = V_e \sin \alpha \hat{\mathbf{x}} + V_e \cos \alpha \hat{\mathbf{y}} , \quad (1)$$

$$\mathbf{V}_J = V_J \hat{\mathbf{x}} . \quad (2)$$

Y un examen de la Figura 2 nos permite escribir

$$\mathbf{v}_e = -v_e \cos \beta \hat{\mathbf{x}} + v_e \sin \beta \hat{\mathbf{y}} , \quad (3)$$

$$\mathbf{v}_s = -v_e \cos(\beta + \gamma) \hat{\mathbf{x}} + v_e \sin(\beta + \gamma) \hat{\mathbf{y}} . \quad (4)$$

Donde hemos usado que $v_s = v_e$.

Por lo tanto,

$$\mathbf{v}_e = \mathbf{V}_e - \mathbf{V}_J = (V_e \sin \alpha - V_J) \hat{\mathbf{x}} + V_e \cos \alpha \hat{\mathbf{y}} . \quad (5)$$

Comparando las ecuaciones (3) y (5) obtenemos

$$\tan \beta = \frac{V_e \cos \alpha}{V_J - V_e \sin \alpha} \quad (6)$$

y

$$v_e^2 = V_e^2 - 2V_J V_e \sin \alpha + V_J^2 . \quad (7)$$

Aplicando la segunda ley de Newton a la órbita circular de Júpiter (conocidos M_S y d_{JS}):

$$\frac{V_J^2}{d_{JS}} = \frac{GM_S}{d_{JS}^2} , \quad (8)$$

obtenemos que $V_J \simeq 13$ km/s.

Sustituyendo $V_e = 10$ km/s, $\alpha = 40^\circ$ y $\gamma = 70^\circ$ se obtiene:

$$\mathbf{V}_e = 6.427876 \hat{\mathbf{x}} + 7.66044 \hat{\mathbf{y}} \text{ (km/s)} .$$

$$\beta \simeq 49.373^\circ .$$

$$v_e = 10.0933 \text{ km/s} .$$

De manera vectorial

$$\mathbf{v}_e = -6.572107 \hat{\mathbf{x}} + 7.660425 \hat{\mathbf{y}} \text{ (km/s)} .$$

$$\mathbf{v}_s = 4.9506 \hat{\mathbf{x}} + 8.79578 \hat{\mathbf{y}} \text{ (km/s)} .$$

Usando que $\mathbf{V}_s = \mathbf{v}_s + \mathbf{V}_J$ se obtiene

$$\mathbf{V}_s = 17.9506 \hat{\mathbf{x}} + 8.79578 \hat{\mathbf{y}} \text{ (km/s)} ,$$

cuyo módulo es

$$V_s = 19.98 \text{ km/s} .$$

Por lo tanto, la ganancia en el módulo de la velocidad debido al *flyby* ha sido de

$$\Delta V = V_s - V_e = 9.98 \text{ km/s} .$$

El ángulo δ entre los vectores velocidad saliente y entrante en el sistema de referencia del Sol:

$$\delta \simeq 23.83^\circ .$$