

Spain

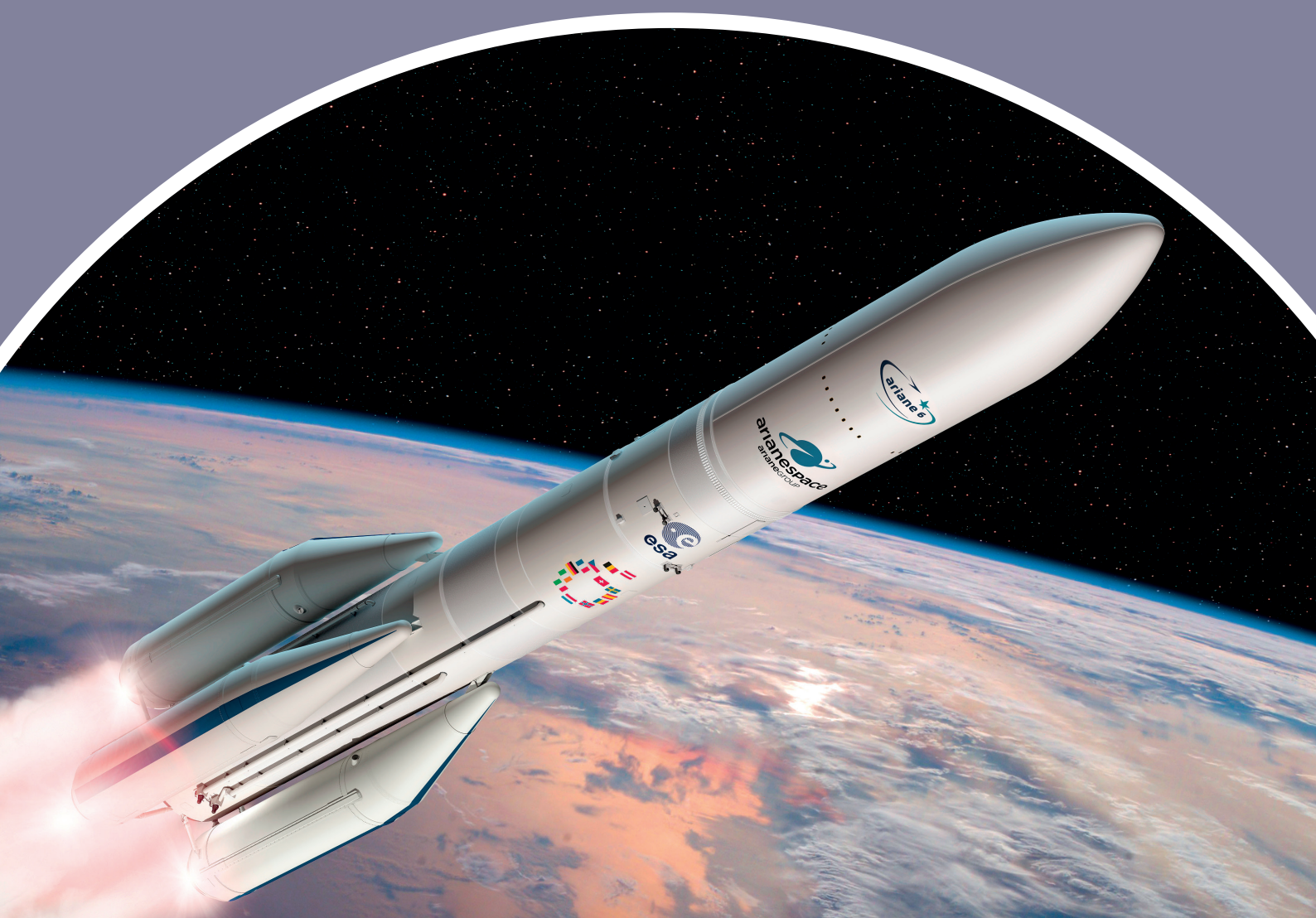


INGENIERÍA DE ASTRONAVES
Naves espaciales en órbita

IA-SB-02

3, 2, 1, ¡despegamos!

Construye tu propio cohete de papel



Con esta serie de 3 actividades el alumnado diseñará y construirá sus propios cohetes con el objetivo final de lanzarlos. Aprenderá qué necesita un cohete para tener estabilidad y calculará la trayectoria y la velocidad del mismo. Descubrirá qué velocidad se necesita para salir de la Tierra en cohete y por qué la Luna tiene el potencial de convertirse en trampolín intermedio para proseguir con la exploración espacial. Por último, cada grupo de trabajo calculará la aceleración del cohete durante el lanzamiento y situará ese dato dentro del contexto de la fuerza g que soportan los astronautas durante el lanzamiento.

SUMARIO

3	Datos básicos
4	Introducción
6	Actividad 1. Construye un cohete de papel
9	Actividad 2. Lanza el cohete
14	Actividad 3. Vuelo espacial tripulado
15	Fichas de trabajo para el alumnado
26	Anexos
31	Enlaces de interés

IA-SB-02

3, 2, 1, idespegamos!

Construye tu propio cohete de papel

1ª Edición. Junio 2020

Guía para el profesorado

Ciclo
Secundaria y bachillerato

Edita
ESERO Spain, 2020 ©
Parque de las Ciencias. Granada

Traducción
Dulcinea Otero Piñeiro

Dirección
Parque de las Ciencias, Granada.

Créditos de la imagen de portada:
Vista artística de la configuración de Ariane 6 usando cuatro refuerzos (A64).
ESA - D. Ducros

Créditos de la imagen de la colección:
NASA/ESA/ATG Medialab

Basado en la idea original:
3...2...1 LIFT-OFF!
Building your own paper rocket
Colección "Teach with space". ESA Education

Concepto desarrollado por
ESERO Nordic y ESERO Poland



Objetivos didácticos



- Saber qué es el centro de masas y el centro de presión.
- Investigar sobre el movimiento de un proyectil y las parábolas.
- Calcular la velocidad y la aceleración.
- Entender las fuerzas.
- Potenciar el pensamiento científico y la capacidad para el trabajo en equipo.



2 horas

Materia

Física

Intervalo de edades

De 14 a 16 años

Tipo de actividad

Para el alumnado

Dificultad

Media

Coste por actividad

Bajo (de 5 a 10 €)

Lugar para realizar la actividad

Interior y exterior

Términos clave

Física, cohetes, movimiento parabólico, aerodinámica, centro de masas, centro de presión, velocidad de escape, velocidad orbital, velocidad, aceleración

Incluye el empleo de

Sistema de lanzamiento de creación propia

3, 2, 1, ¡despegamos!

Introducción

- Las agencias espaciales utilizan cohetes con regularidad: para enviar tripulaciones a la Estación Espacial Internacional (ISS), para lanzar al espacio sondas que exploran el Sistema Solar y para colocar satélites en órbita alrededor de la Tierra. Los cohetes empleados son diversos en cuanto a tamaño, diseño y tipo de combustible que emplean, y todo ello depende de la finalidad de cada uno de ellos.

La familia de vehículos lanzadores de ESA incluye los cohetes Vega, Vega-C y Ariane 5. En la actualidad se está desarrollando un nuevo cohete más eficiente para el lanzamiento de satélites y sondas: Ariane 6 (con las variantes Ariane 62 y Ariane 64). Estos vehículos de lanzamiento están capacitados para enviar al espacio gran diversidad de misiones: desde satélites de comunicaciones hasta misiones para explorar el Sistema Solar. Sus potentes motores proporcionan la energía necesaria para escapar de la gravedad terrestre.

ESA lanza sus cohetes desde el puerto espacial que tiene en la Guayana Francesa, en América del Sur, situado tan solo 500 km al norte del ecuador. El ecuador terrestre es el lugar del planeta donde la rotación de la Tierra es más veloz, y los cohetes pueden aprovechar este efecto de «honda gravitatoria». Esto incrementa en 460 m/s la velocidad del cohete, lo que ahorra combustible y dinero. Este emplazamiento también es perfecto para enviar objetos a órbitas de transferencia geoestacionaria, ya que obliga a imprimir pocos cambios a la trayectoria del satélite. La seguridad es otro de los aspectos que se tienen en cuenta al elegir un lugar de lanzamiento. La Guayana Francesa es un lugar poco poblado donde el 90% del territorio está cubierto por selvas tropicales. Además, en este país no hay riesgo de ciclones ni terremotos. Todos estos factores convierten el puerto espacial de la ESA en un punto de lanzamiento óptimo.

Para llegar a la Luna con una misión tripulada hay que lanzar ¡un cohete potente! Uno de los cohetes más potentes que se ha lanzado jamás es el Saturn V, el cual llevó al ser humano a la Luna du-

rante el programa Apollo de las décadas de 1960 y 1970. Desde entonces, ninguna persona ha vuelto a pisar la Luna.

Una nueva generación de cohetes llegará con el lanzamiento de la nave espacial Orion de la NASA combinada con el módulo de servicio europeo que está desarrollando la ESA. Ambos permitirán enviar personas a lugares más alejados en el espacio que la Luna, hasta el cinturón de asteroides o incluso Marte.

Con esta serie de actividades los alumnos se transformarán en ingenieros aeroespaciales y lanzarán un cohete de fabricación propia ¡para volver a ir a la Luna!



Arriba: Orion acoplado al módulo de servicio europeo.

...

Derecha: «Familia» de vehículos de lanzamiento de la ESA.



ACTIVIDADES

01

CONSTRUYE UN COHETE DE PAPEL

Descripción

Diseña y construye un cohete de papel.

Resultado

Aprender sobre cohetes, aerodinámica, centro de masas y centro de presión y qué confiere estabilidad a un cohete.

Requisitos

Ninguno

Tiempo

30 minutos



ACTIVIDADES

02

LANZA EL COHETE

Descripción

Lanzar el cohete, calcular la velocidad inicial en el momento en que sale de la plataforma de lanzamiento. Relacionar esto con la velocidad de escape de la Tierra y de la Luna.

Resultado

Aprender sobre fuerzas, movimiento de proyectiles, velocidad y velocidad de escape.

Requisitos

Haber realizado la actividad 1. Contar con un sistema de lanzamiento (anexos 1 y 2). El lanzamiento deberá realizarse en un espacio abierto, preferiblemente al aire libre.

Tiempo

45 minutos



ACTIVIDADES

03

VUELO ESPACIAL TRIPULADO

Descripción

Calcular la aceleración del cohete de papel a medida que sube. Relacionarla con la fuerza g que experimentan los astronautas.

Resultado

Aprender sobre aceleración y fuerza g .

Requisitos

Haber realizado la actividad 2.

Tiempo

45 minutos



ACTIVIDAD 1

Construye un cohete de papel



30 min.

Ejercicios

1

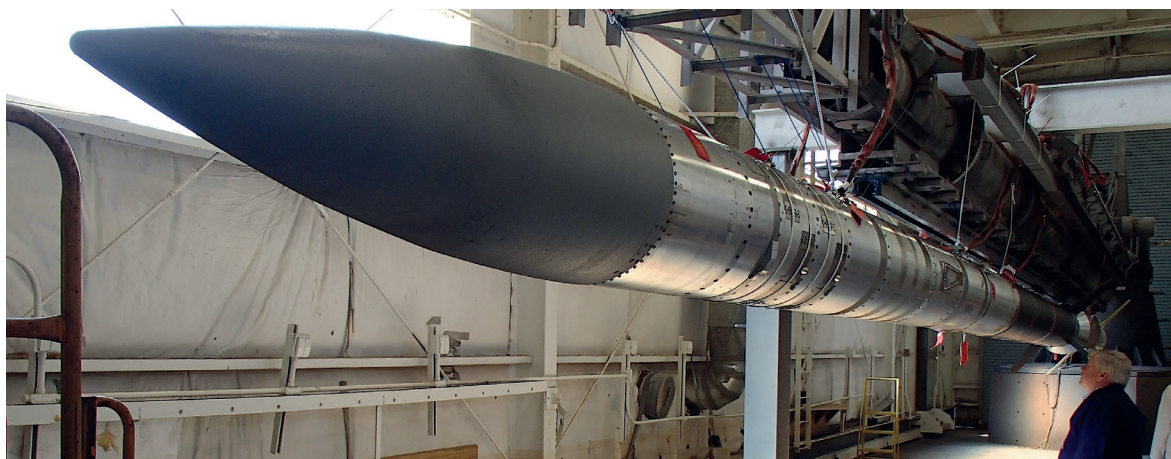
En esta actividad el alumnado construirá un cohete de papel. Localizará el centro de masas y el centro de presión y procurará que el cohete sea lo más aerodinámico posible. Comprobará la estabilidad del cohete y se planteará qué variables del diseño del cohete influirán en el funcionamiento del mismo.

MATERIAL NECESARIO

- Una copia de la ficha de trabajo de esta actividad
- 2 hojas de papel de tamaño A4
- Tijeras
- Cinta adhesiva
- Plastilina
- Una cartulina
- Plantilla para las aletas y el cono del morro (opcional) (Anexo 3)

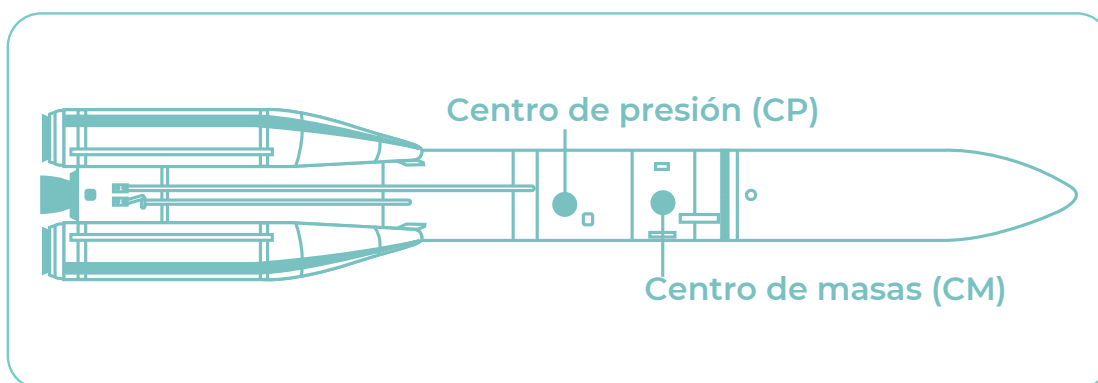
e1

- 1 Divide la clase en grupos con un máximo de tres estudiantes y diles que construyan un cohete con los materiales proporcionados. Es importante hacer hincapié en que el cuerpo del cohete debe acoplarse bien con el sistema de lanzamiento que se haya preparado. El alumnado deberá ser creativo con el diseño del cohete y decidir por sí solo el tamaño y el número de aletas que portará el vehículo. Aun así, el anexo 3 contiene plantillas para elaborar las aletas y el cono del morro a modo de orientación.
- 2 Pide al alumnado que localice el centro de masas (CM) del cohete confeccionado. El CM se corresponde con la posición promediada de toda la masa que conforma un sistema, de modo que podrán hallar ese punto si usan una cuerda para equilibrar el cohete. Nota: en algunos textos el centro de masas puede aparecer mencionado como «centro de gravedad».



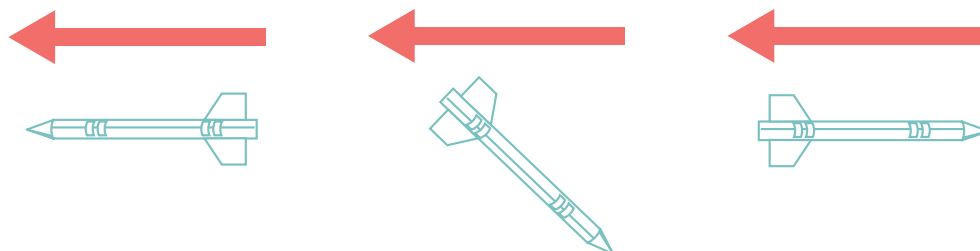
NASA

- 3 Pide al alumnado que localice el centro de presión (CP) del cohete confeccionado. El centro de presión es el centro geométrico del cohete donde actúan todas las fuerzas aerodinámicas. Si el cohete fuera homogéneo por dentro, el CM y el CP coincidirían. Podemos hallar el CP sumando cada una de las fuerzas que actúan sobre las alas, las superficies de la cola, la resistencia aerodinámica, etc., pero tal vez sea difícil de calcular. Una forma sencilla de localizar un centro de presión aproximado consiste en extraer en cartulina la silueta del cohete y equilibrarlo sobre un saliente. Esto permite localizar el punto de equilibrio del área proyectada.
- 4 El alumnado deberá señalar en su cohete tanto el CM como el CP y reflexionar sobre la relación que mantienen estos puntos cruciales. Pide a los estudiantes que realicen una prueba de oscilación y que valoren cómo afecta a la estabilidad del cohete la posición y la relación entre el CM y el CP.
- 5 Da en clase un ejemplo sobre dónde habría que ubicar el CM y el CP para conseguir un cohete de papel estable.



6

DIRECCIÓN DE LA OSCILACIÓN



Vuelo estable, el morro apunta hacia delante. El CM se encuentra delante del CP. El ejemplo mostrado estaría en esta situación, que es la configuración ideal.

Volteo lateral. El CM está demasiado cerca del CP.

El cohete vuela hacia atrás. El CP se encuentra delante del CM.

- 7 En la siguiente tabla figuran algunas variables que se pueden cambiar en el diseño y el lanzamiento del cohete.

VARIABLE	¿CÓMO INFLUYE EL CAMBIO DE ESTA VARIABLE EN EL FUNCIONAMIENTO DEL COHETE?
Número de aletas	Repercutirá en el centro de masas, puesto que se añade más peso a la parte trasera del cohete. También puede alterar la posición del centro de presión si cambia el área proyectada. Si el número de aletas es asimétrico, también puede afectar a la estabilidad y la resistencia aerodinámica.
Tamaño y forma de las aletas	Unas aletas más grandes desplazarán el centro de presión hacia atrás.
Condiciones atmosféricas	Distintas condiciones atmosféricas favorecerán o complicarán de forma diversa los lanzamientos dependiendo del diseño del cohete. Por ejemplo, un cohete con aletas muy alargadas será más susceptible a vientos intensos. En general, los cohetes de papel funcionan mal con viento y especialmente con lluvia.
Longitud del cohete	La longitud del cohete repercutirá en el centro de presión. Asimismo si el cohete es demasiado corto puede perder propiedades aerodinámicas. O también puede ser tan largo que la estructura no se sostenga (puesto que está hecho de papel).
Peso del cohete	La distribución del peso del cohete determinará el centro de masas. Un cono de morro pesado desplazará hacia delante el CM. Esto se puede conseguir colocando plastilina en el morro.

Nota: Si la clase dispone de ordenadores, se puede descargar la herramienta gratuita de simulación del cohetes: <http://openrocket.info/>. En esta simulación el alumnado podrá hacer pruebas con las dimensiones y el diseño de sus cohetes e indagar en la relación entre el centro de masas y el centro de presión.

ACTIVIDAD 2

Lanza el cohete

En esta actividad el alumnado descubrirá que las matemáticas son una parte integral de la ciencia aeroespacial. Aprenderá sobre fuerzas y tendrá que dibujar diagramas de cuerpo libre. Tanto antes como después del lanzamiento considerará la trayectoria del cohete y realizará cálculos relacionados con la velocidad.



45 min.

Ejercicios

1

MATERIAL NECESARIO

- Una copia de la ficha de trabajo de esta actividad por grupo
- Sistema de lanzamiento (véanse anexos 1 y 2)
- Cohete de papel hecho por el grupo
- Cinta métrica muy larga
- Transportador de ángulos (opcional)

SEGURIDAD

Asegúrate de que no hay ninguna persona en la zona de lanzamiento. No apuntes a nadie con el cohete. Conviene protegerse los ojos con gafas especiales.

EJERCICIO

Para lanzar los cohetes procura disponer de un montón de espacio y una superficie plana (un campo de fútbol sería óptimo). Si usas la plataforma de lanzamiento del **anexo 2** ¡los cohetes pueden llegar a subir 100 m o más! Avisa al alumnado de que la presión máxima no debe ser superior a 7 bares.

Deja que el alumnado debata cuál es el mejor ángulo para el lanzamiento. Más adelante, en el apartado de puesta en común, puedes hablar sobre el ángulo óptimo para alcanzar la máxima distancia. Una posibilidad es que todos los grupos realicen el lanzamiento con el mismo ángulo para poder comparar los cohetes y determinar cuál es mejor, o también puedes dejar que cada grupo pruebe a lanzar el cohete con ángulos distintos para encontrar la opción óptima.

El lanzamiento puede convertirse en un concurso que premie a los equipos con los cohetes que lleguen más lejos.

En el **anexo 3** hay una tabla para anotar la distancia recorrida por cada cohete (esta información se necesitará más adelante).

e1

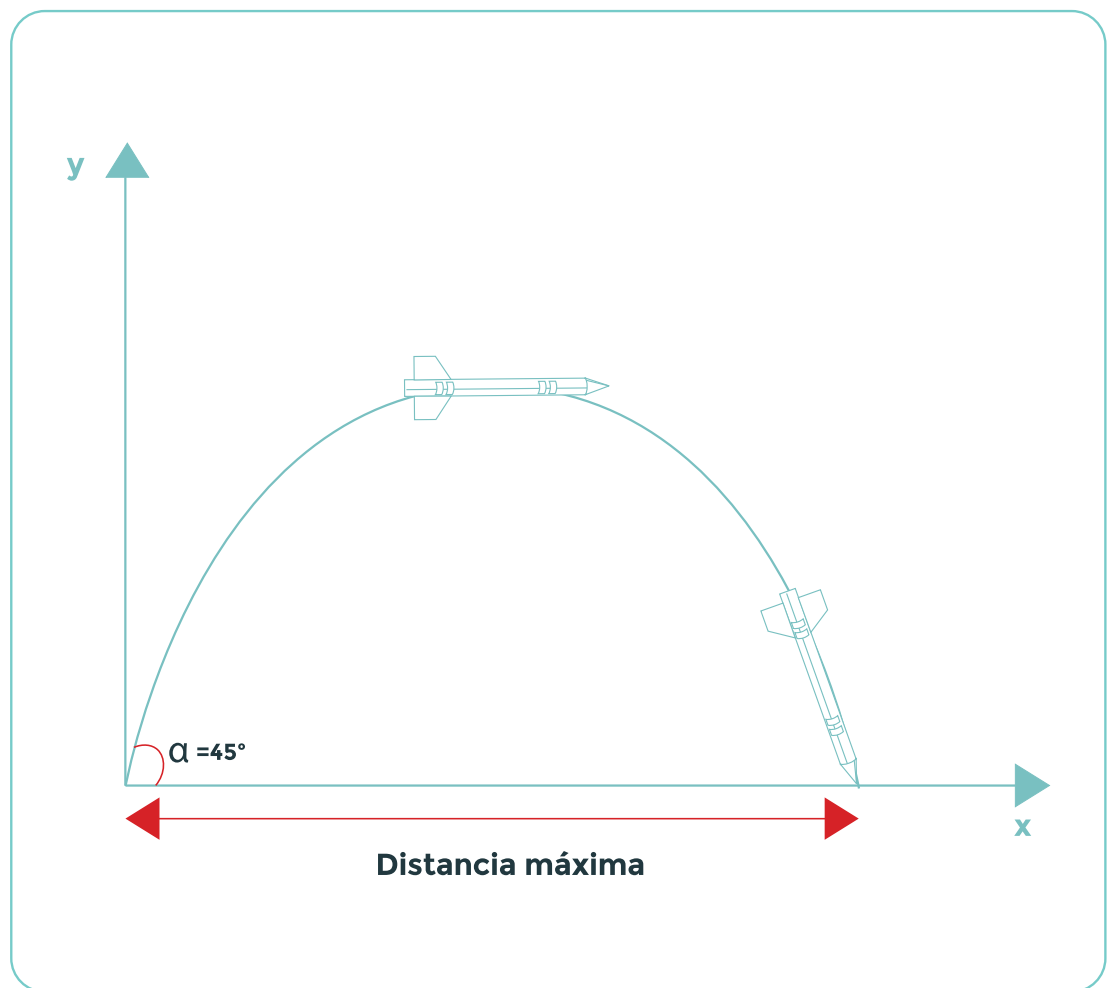
A2

Después de los lanzamientos comenta en clase cómo se aceleran los cohetes hacia arriba y por qué siguen una trayectoria parabólica. Haz una introducción a las tres leyes de la dinámica de Newton y a la fuerza de la gravedad. Aprovecha para introducir los conceptos de velocidad de escape y de velocidad orbital y compara el lanzamiento de los cohetes de papel con el lanzamiento de un cohete real con destino a la Luna.

r

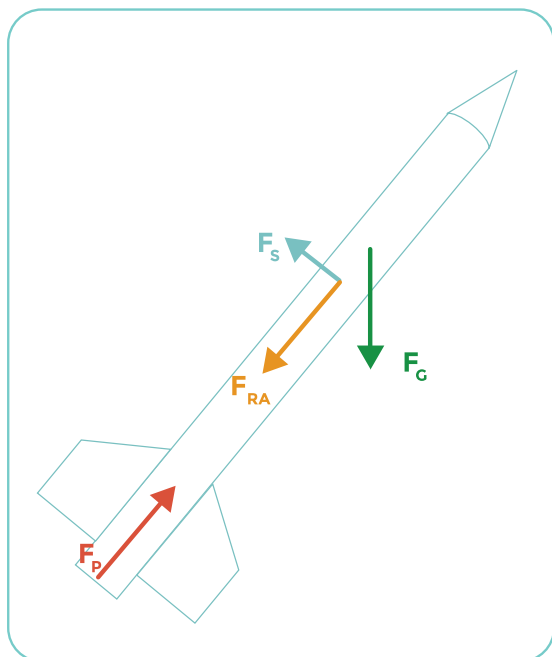
RESULTADOS

- 1 Esquema de la trayectoria que seguirá el cohete.



- 2 Para maximizar la distancia recorrida el lanzamiento debería hacerse con un ángulo de 45°
- 3 Condiciones iniciales que pueden influir en la trayectoria del cohete.
 - Viento
 - Velocidad inicial imprimida al cohete
 - Ángulo de lanzamiento

- 4 Diagrama de fuerzas que ilustra las fuerzas que actúan sobre el cohete de la ilustración superior en la fase de propulsión.



$F_P = \text{Propulsión}$

La fuerza de propulsión del cohete solo actuará a lo largo de un espacio de tiempo muy breve durante el lanzamiento, mientras imprime empuje al cohete. Esta fuerza es la que hace que el cohete salga volando.

$F_G = \text{Fuerza de la gravedad}$

La fuerza de la gravedad será aproximadamente constante durante todo el vuelo.

$F_{RA} = \text{Resistencia aerodinámica}$

La resistencia aerodinámica depende de la densidad, la viscosidad y la compresibilidad del aire, así como de la velocidad, la forma y la inclinación del cohete.

$F_S = \text{Sustentación}$

La sustentación depende de la densidad, la viscosidad y la compresibilidad del aire, así como de la velocidad, la forma y la inclinación del cohete. Para esta actividad consideraremos despreciable esta fuerza.

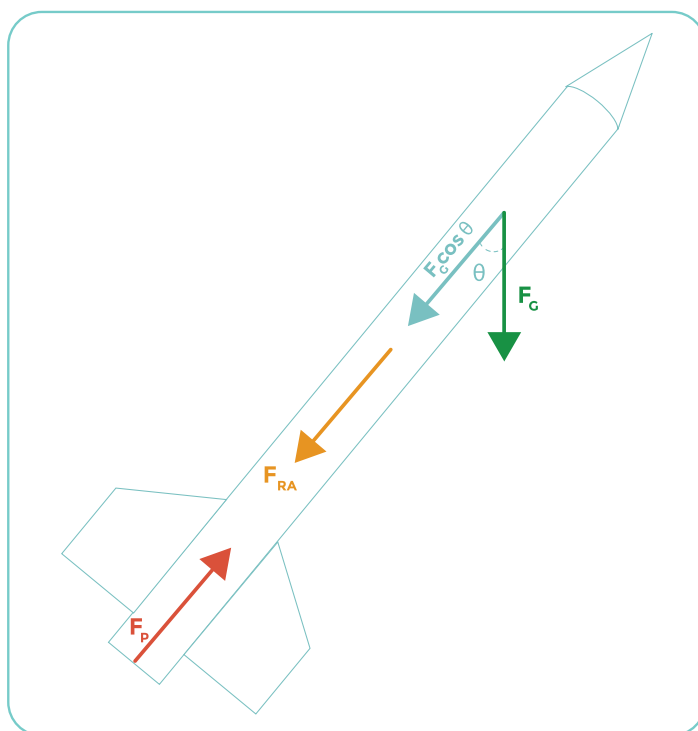
- 5
A Con un cohete real de la ESA (como un Ariane 5) esta fase durará unos cuantos minutos, mientras que con el cohete de papel durará apenas un segundo.
B En la dirección del movimiento, la fuerza resultante, F , viene dada por:

$$F = F_{RA} + F_P - F_G \cos \theta$$

Donde F es: $F = ma$, siendo m la masa, y a la aceleración.

Donde F_P es: $F_P = -u_e \frac{dm}{dt}$, siendo u_e la velocidad de escape de los gases con respecto al cohete, y $\frac{dm}{dt}$ es el ritmo al que cambia la masa del cohete.

Donde $F_G \cos \theta$ es la fuerza debida a la gravedad en la dirección del movimiento del cohete. $F_G = mg$, siendo m la masa y



A2

r

g la aceleración gravitatoria, mientras que θ es el ángulo que mantienen la dirección del movimiento del cohete y la dirección de F_g .

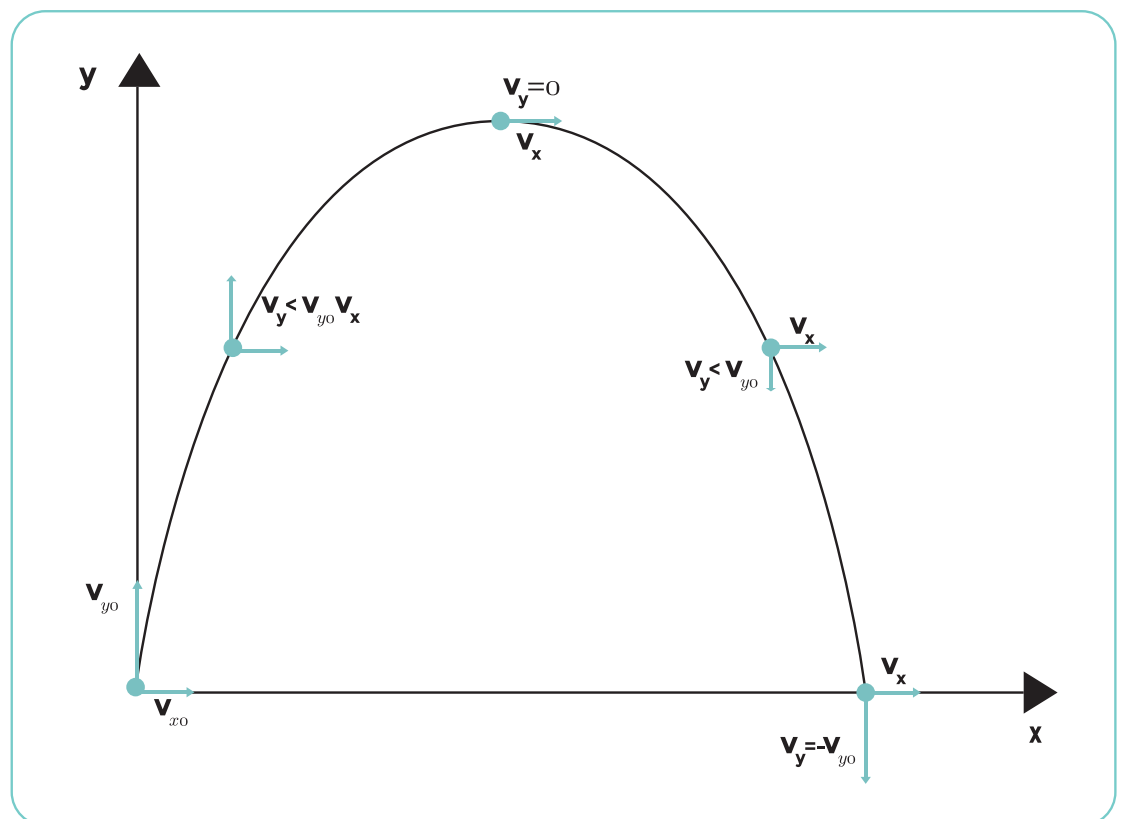
Donde F_{RA} es la fuerza de resistencia aerodinámica.

- C Al sustituir estos términos y dividir entre m se obtiene la aceleración:

$$a = -\frac{F_{RA}}{m} - \frac{u_e}{m} \frac{dm}{dt} - g \cos(\theta)$$

6

- A Gráfica con las componentes horizontal y vertical de la velocidad. Anima al alumnado a reflexionar acerca de las fuerzas que actúan sobre el cohete en cada punto y a qué se deben los resultados en el movimiento parabólico observado.



- B El cohete se acelera con rapidez durante la fase de propulsión mientras está en la plataforma de lanzamiento. Una vez que el cohete sale de la plataforma deja de haber propulsión. Si se ignora la resistencia, esto significa que no actúa ninguna fuerza sobre el **eje x** del cohete, de modo que, según la primera ley de Newton, la componente x de la velocidad (v_x) es constante. En el **eje y** , la fuerza de la gravedad actúa sobre el cohete en dirección al centro de la Tierra (perpendicular a la superficie), así que la componente y de la velocidad (v_y) cambiará.

- 7 Ahora despejaremos la velocidad dentro de la ecuación:

$$v = \sqrt{\frac{d g}{\sin(2\alpha)}}$$

- 8 Si introducimos una distancia $d = 40$ m, y un ángulo $\alpha = 45^\circ$:

$$v = \sqrt{\frac{40 \times 9,81}{\sin(2 \times 45^\circ)}}$$

$$v = \sqrt{\frac{392,40}{1}} = 19,81 \text{ m/s}$$

- 9

$$v = \left(\frac{19,81}{1000}\right) \times 60 \times 60 = 71,3 \text{ km/h}$$

- 10 La velocidad de escape de la Tierra se puede calcular del siguiente modo:

$$v_e = \sqrt{\frac{2 \times 6,67 \times 10^{-11} \times 5,97 \times 10^{24}}{6,371 \times 10^6}} = 1,12 \times 10^4 \text{ m/s} = 4,03 \times 10^4 \text{ km/h}$$

- 11 La velocidad requerida para poner una nave en órbita alrededor de la Tierra a 300 km de altitud sobre la superficie del planeta es:

$$v_{\text{orbital}} = \sqrt{\frac{6,67 \times 10^{-11} \times 5,97 \times 10^{24}}{6,371 \times 10^6 + 3,00 \times 10^5}} = 7,73 \times 10^3 \text{ m/s} = 2,78 \times 10^4 \text{ km/h}$$

Donde r es el radio de la órbita (desde el centro de la Tierra), que equivale a $6.371 \text{ km} + 300 \text{ km}$.

- 12 Comparado con el ejemplo del punto 8, esto es $2,78 \times 10^4 / 71,3 = 390$ veces mayor que la velocidad del cohete construido en papel.
- 13 La velocidad de escape de la Luna es mucho más baja, puesto que la Luna tiene una cantidad de masa considerablemente menor que la Tierra en relación con su radio.
- 14 La velocidad de escape de la Luna se puede calcular del siguiente modo:

$$v_e = \sqrt{\frac{2 \times 6,67 \times 10^{-11} \times 7,35 \times 10^{22}}{1,737 \times 10^6}} = 2,38 \times 10^3 \text{ m/s} = 8,57 \times 10^3 \text{ km/h}$$

- 15 Como la velocidad de escape es más baja en la Luna, se necesita una energía muy inferior (y, por tanto, mucho menos combustible) para lanzar una nave al espacio desde la Luna, lo que facilita el lanzamiento de cargas útiles desde la superficie lunar.

A2

pc

PUESTA EN COMÚN

Extraed un resumen de los resultados en clase. ¿Qué decisiones tomó cada grupo para que su cohete llegara más lejos? ¿Funcionaron? ¿Por qué sí o por qué no?

Pregunta en clase por qué podría ser útil lanzar cohetes desde la Luna para llegar a lugares más lejanos del espacio, como Marte. Explica que, dado que la velocidad orbital y la velocidad de escape son mucho menores en la Luna que en la Tierra, se necesitaría menos combustible, lo que implica lanzamientos mucho menos costosos. También se puede plantear por qué los cohetes se lanzan desde emplazamientos próximos al ecuador terrestre teniendo en cuenta la información de la introducción.

Comenta los detalles que se han simplificado y que se han dado por supuestos para realizar los cálculos. Por ejemplo, no hemos tenido en cuenta ninguna desaceleración debida a la resistencia aerodinámica. Esta aumentará a medida que crezca la velocidad. Plantea en clase en qué momento y lugar cree el alumnado que afectará más la resistencia aerodinámica al cohete. Las velocidades de escape y orbital en la Tierra resultan, por tanto, mayores de lo que se ha calculado. Comenta que esta es otra de las ventajas que ofrece la Luna, puesto que al no haber atmósfera no hay resistencia del aire y, en consecuencia, es más fácil salir al espacio.

ACTIVIDAD 3

Vuelo espacial tripulado

En esta actividad el alumnado aprenderá sobre la aceleración, fuerzas y la fuerza g . Analizará por qué deben tomarse precauciones adicionales para lanzar cohetes tripulados.



45 min.

Ejercicios

1

EJERCICIO

Inicia la actividad preguntando en clase cómo se aceleran los cohetes hacia arriba. Esta es una ocasión excelente para hablar sobre las tres leyes de la dinámica de Newton y la fuerza debida a la gravedad terrestre.

RESULTADOS

- 1 Si despejamos el tiempo (t) en las ecuaciones (1) y (2), obtenemos:

$$\frac{2s}{u+v} = \frac{v-u}{a}$$

- Si de ahí despejamos a , se obtiene:

$$a = \frac{v^2 - u^2}{2s}$$

La velocidad inicial del cohete es $u = 0$ m/s. Si usamos la velocidad del lanzamiento que calculamos en el punto 8 de la actividad 2, entonces se obtiene:

- 3 Pide al alumnado que calcule la fuerza g del cohete durante el lanzamiento. La fuerza g no es una fuerza, sino más bien el cociente entre la aceleración total que experimenta un objeto y la aceleración debida a la gravedad terrestre. Usando la respuesta anterior, se obtiene:

$$G_{\text{fuerza}} = \frac{654}{9,81} = 67$$

$$a = \frac{19,81^2 - 0^2}{2 \times 0,3} = \frac{392,4}{0,6} = 654 \text{ m/s}^2$$

← Esto equivale a 67 veces la fuerza debida a la gravedad terrestre.

PUESTA EN COMÚN

Plantea en clase por qué creen que los astronautas no suelen experimentar un valor de la fuerza g por encima de entre 3 y 6, mientras que su valor es muy elevado para el cohete usado en clase.

El ser humano no resiste una aceleración tan elevada como 67 g en la vida real. La fuerza g que soporta una persona depende también del tiempo que esté expuesta a la misma: desde varios segundos a minutos. Recuerda al alumnado que esto depende de la aceleración, no de la velocidad. La aceleración es el cambio de la velocidad por unidad de tiempo. En las misiones tripuladas se aplica una aceleración menor, y la nave tarda mucho más en alcanzar la velocidad necesaria. Para completar las tres actividades puedes pedir al alumnado que escriba un informe individual sobre su experimento. Deberían usar los conocimientos adquiridos durante la ejecución de estas actividades y valorar cómo resultó y qué mejoras podrían introducirse en caso de volver a realizarlas.

ACTIVIDAD 1

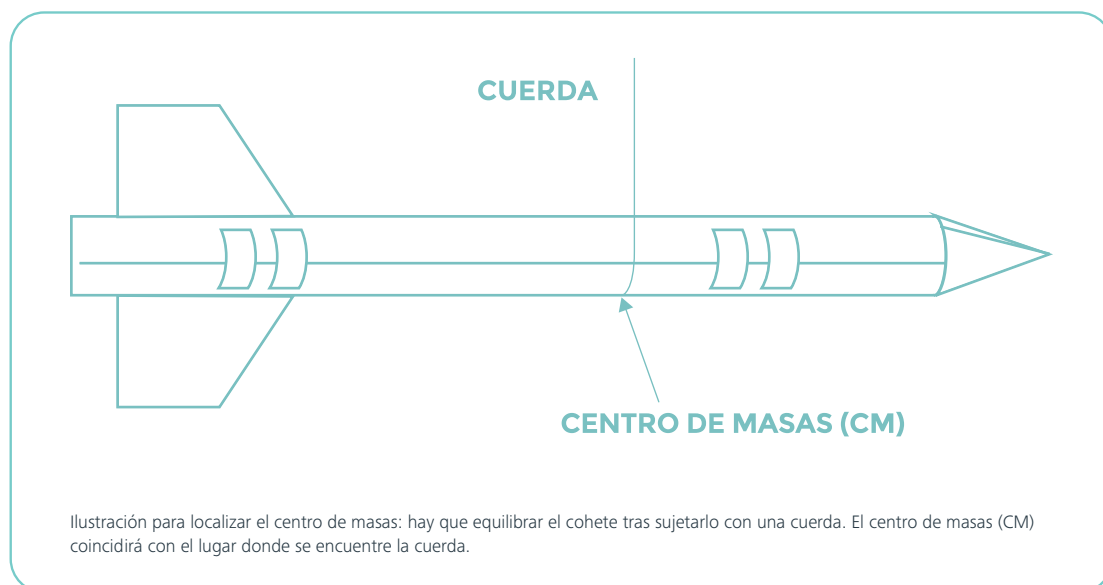
Construye un cohete de papel

Los principios básicos que subyacen a la construcción de un simple cohete de papel y a la de un cohete espacial de verdad son los mismos. Durante esta actividad diseñarás y construirás tu propio cohete de papel, y lo emplearás para indagar en algunas de las variables de diseño que pueden influir en la estabilidad y el funcionamiento del cohete.

e1

EJERCICIO

- 1 Construye un cohete de papel utilizando el material que te proporcione el profesor. Puedes construir tu cohete como quieras, pero asegúrate de que encaja correctamente en la plataforma de lanzamiento que usarás después.
- 2 Localiza el centro de masas (CM) del cohete. Este coincide con el punto que representa la posición media de toda la masa de un cuerpo o sistema. Puedes hacerlo atando un trozo de cuerda alrededor del cohete para equilibrarlo tal como se muestra en el diagrama inferior. Señala con un lápiz el lugar donde crees que se encuentra el CM.



- 3 Localiza el centro de presión (CP) del cohete. Este coincide con la posición promedio de la presión que actúa sobre el cohete y, en este caso, se puede encontrar localizando el

equilibrio del área proyectada del cohete. Puedes ubicar el CP recortando la silueta del cohete en cartulina y equilibrándola sobre un saliente. Señala el punto CP en el cohete.

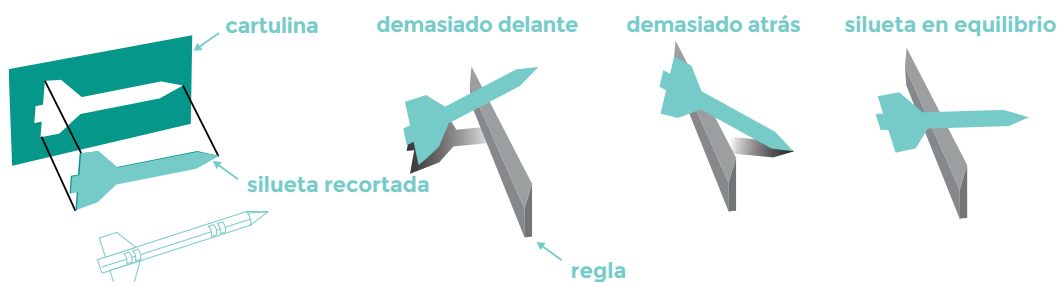


Ilustración para localizar el centro de presión de un cohete de papel. Recortar en cartulina la silueta del cohete. El centro de presión se encuentra allí donde la silueta permanezca en equilibrio sobre un saliente.

- 4 ¿Cuál es la distancia entre el centro de masas y el centro de presión?

cm

- 5 ¿Se encuentra el centro de presión delante del centro de masas?

SÍ

NO

- 6 Simula una prueba de túnel de viento realizando una prueba de oscilación: anuda un trozo de cuerda alrededor del centro de masas y mueve el cohete en círculo tal como se ve en la ilustración:

Comprueba la estabilidad del cohete de tu grupo y del resto de compañeros e intenta jugar con el centro de masas colocando algo de peso en el cono del morro o en la parte trasera del cohete. ¿Cuál crees que es la posición relativa del centro de masas (CM) en relación con el centro de presión (CP) en los tres ejemplos que se muestran a continuación?

DIRECCIÓN DE LA OSCILACIÓN

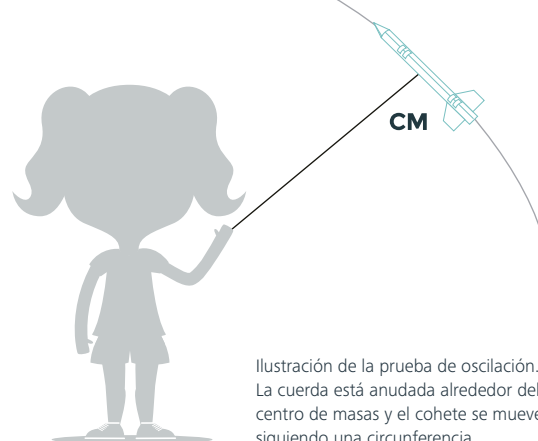
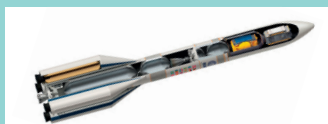


Ilustración de la prueba de oscilación. La cuerda está anudada alrededor del centro de masas y el cohete se mueve siguiendo una circunferencia.

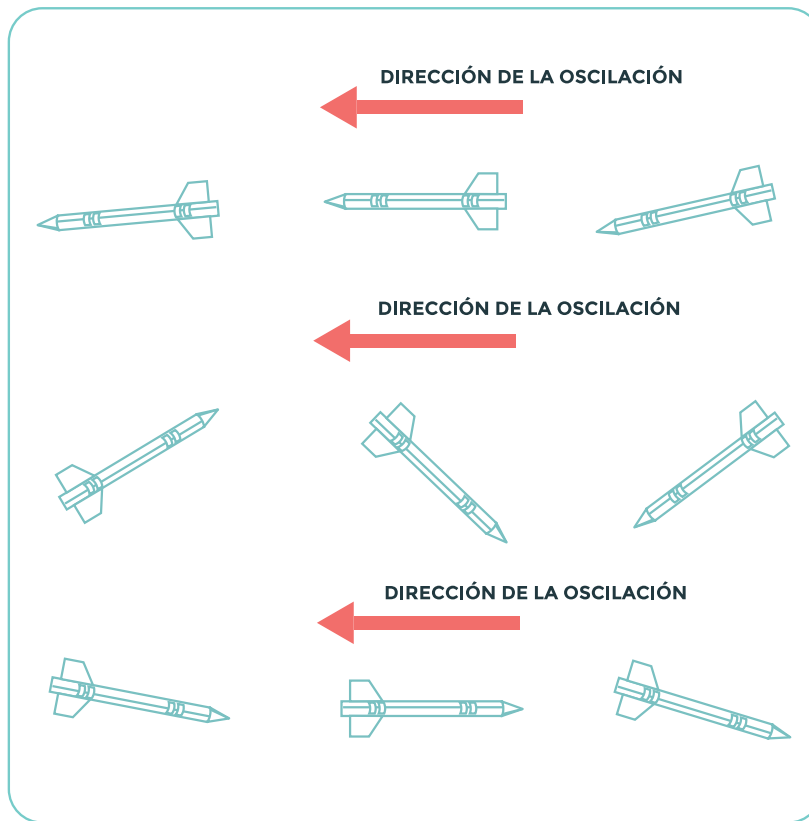
SABÍAS QUE...



Los cohetes se dividen en múltiples cohetes menores (llamados etapas). Cada cohete menor tiene un motor propio y su propia reserva de combustible. El morro del cohete, llamado cofia, alberga la carga útil, por lo común satélites o astronautas.

A1

e1



Posición relativa del CM respecto del CP:

Posición relativa del CM respecto del CP:

Posición relativa del CM respecto del CP:

- 7 ¿Estaba el cohete alineado con la dirección de vuelo durante la prueba de oscilación? Si no fuera así, ¿qué crees que habría que cambiar?

.....

.....

.....

- 8 Añade más variables a la tabla y piensa cómo podrías cambiar la variable para que el cohete gane estabilidad.

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
Número de aletas	
Tamaño y forma de las aletas	

Variables en el diseño del cohete y su incidencia en la estabilidad.

- 9 Pon un nombre chulo a tu cohete:

.....

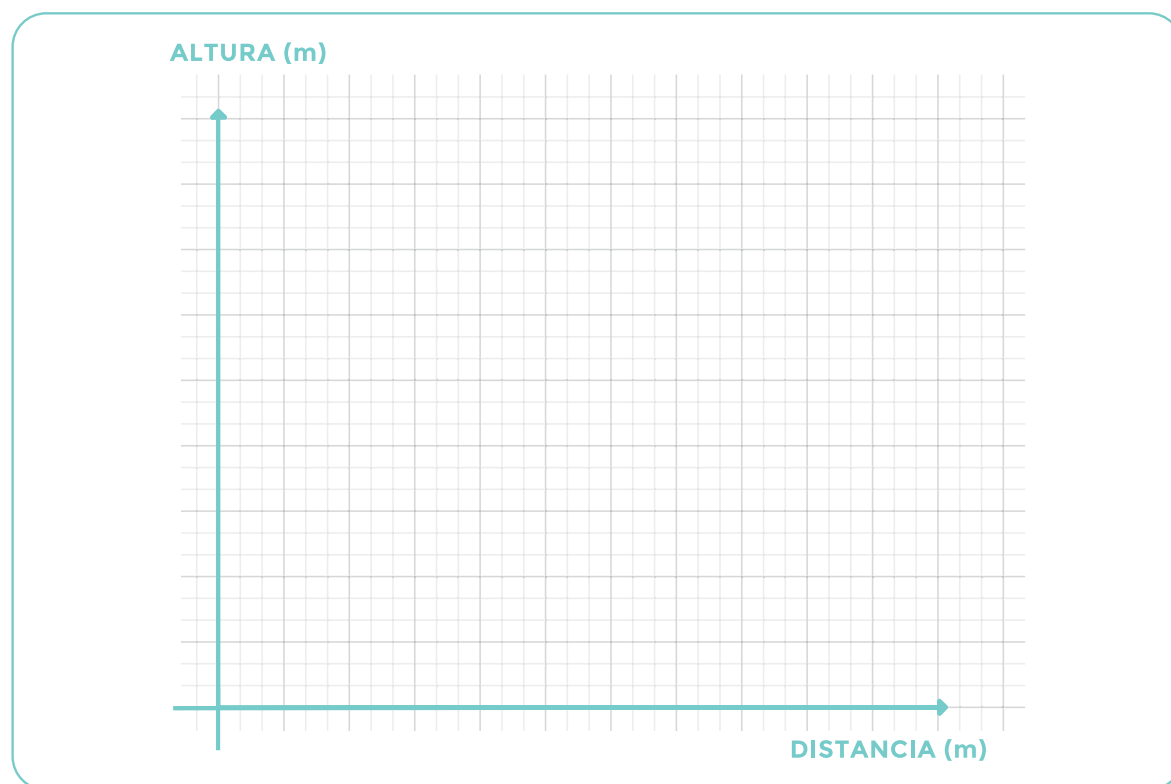
ACTIVIDAD 2

Lanza el cohete

¡Ya está todo listo para lanzar tu cohete! Un cohete de papel bien construido puede alcanzar distancias de vuelo de 30 m o más! En esta actividad usarás los resultados que obtengas tras el lanzamiento del cohete para calcular su velocidad y cuál tendría que alcanzar para ir a la Luna.

EJERCICIO

- 1 Antes del lanzamiento dibuja la trayectoria que prevés que seguirá el cohete cuando lo lances desde el suelo.



- 2 ¿Con qué ángulo deberías lanzar el cohete respecto del suelo para maximizar la distancia recorrida?

.....

.....

.....

e1

A2**e1**

- 3** ¿A qué distancia de la plataforma de lanzamiento cayó el cohete, en metros?

.....

.....

.....

- 4** ¿Siguió el cohete la trayectoria que esperabas?

SÍ**NO**

De tus resultados, identifica tres posibles condiciones iniciales que afectarían a la trayectoria de lanzamiento de tu cohete.

A

B

C

- 5** Dibuja un diagrama de fuerzas que ilustre las fuerzas que crees que actuarían sobre un cohete durante la fase de ascenso propulsado (cuando la propulsión es efectiva)

.....

- 6**
- A** ¿Cuánto tiempo crees que dura la fase de ascenso propulsado en un cohete de verdad?
¿Y en el cohete de papel que has construido tú?

.....

.....

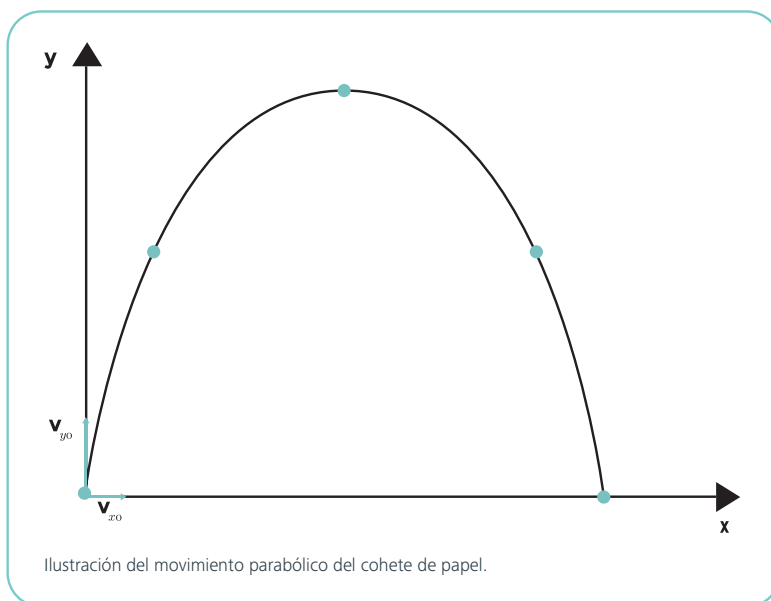
- B** Escribe la ecuación de la fuerza resultante que actúa sobre el cohete (teniendo en cuenta únicamente las fuerzas que actúan en la dirección en la que se mueve el cohete).

.....

- C** Encuentra una fórmula para expresar la aceleración del cohete.

7

- A** Completa la gráfica con la componente horizontal de la velocidad (v_x) y con la componente vertical de la velocidad (v_y) del cohete en los puntos señalados en la siguiente parábola. Te hemos ayudado un poco dibujando en ella los vectores de la velocidad inicial v_{x0} y v_{y0} . Deberías tener en cuenta también las fuerzas que actúan sobre el cohete durante el vuelo y plantearte por qué sigue la trayectoria que sigue. En este caso consideramos despreciable el efecto de la resistencia del aire (**resistencia aerodinámica**).



- B** Describe la variación de la velocidad en la gráfica.

- 8** Con un objeto que sigue una trayectoria parabólica cerca de la superficie terrestre (donde podemos dar por supuesto que el campo gravitatorio es uniforme) se puede demostrar que se da una interdependencia entre la distancia, la velocidad y el ángulo de lanzamiento del siguiente modo:

$$d = \frac{v^2 \operatorname{sen}(2\alpha)}{g}$$

donde:

d = distancia [m]

v = velocidad [m/s]

α = ángulo de lanzamiento

g = aceleración de la gravedad [m/s²]

A2

e1

Despeja ahora la velocidad en la fórmula anterior:

- 9 Usa la distancia de vuelo (en metros) de tu cohete que mediste en el ejercicio anterior. Usa la ecuación del punto 8 para calcular la velocidad en el momento en que el cohete sale de la plataforma de lanzamiento. Usa el valor $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

- 10 Convierte el resultado en km/h:

.....

- 11 Ahora que ya has calculado la velocidad del cohete, ¡averigua cómo llegar a la Luna! Para ello tienes que alcanzar la velocidad de escape, que viene definida por:

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

Donde G corresponde a la constante de la gravitación, $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$,

M es la masa de la Tierra, $M = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$,

r es el radio de la Tierra, $r = 6.371 \text{ km}$.

Calcula la velocidad de escape de la Tierra. →

Ilustración del lanzamiento con una gran velocidad tangencial (velocidad paralela a la superficie terrestre). Cuando se efectúa un lanzamiento con una velocidad lo bastante alta, el cohete es capaz de situarse en órbita alrededor de la Tierra.



Como la velocidad de escape de la Tierra es elevada, lo habitual es lanzar los cohetes para situarlos en órbita antes de realizar maniobras para viajar a lugares más alejados del espacio. Si lanzáramos los cohetes directamente hacia arriba, no tardarían en volver a caer a la superficie terrestre. En lugar de eso, hay que lanzar el cohete con una velocidad tangencial grande (velocidad paralela a la superficie terrestre).

- 12** Cuanto más alta es la velocidad del cohete, más lejos llega antes de caer al suelo. Llega un momento en que lo lanzamos con tanta velocidad que ¡ya no vuelve a caer! La velocidad necesaria para que pase esto se denomina velocidad orbital.

G = constante de la gravitación

r = radio de la órbita

M = masa de la Tierra

Calcula la velocidad necesaria para situar una nave espacial en órbita alrededor de la Tierra a 300 km de altitud sobre la superficie terrestre. →

- 13** ¿Cuántas veces mayor es esa velocidad que la de tu cohete?

La velocidad orbital se puede calcular con esta ecuación:

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

- 14** Tras aterrizar en la Luna nos gustaría volver a la Tierra o usar la Luna para alejarnos más por el espacio. Esto implica despegar de la Luna. La velocidad de escape es directamente proporcional a la masa del objeto e inversamente proporcional al radio del objeto.

$$M_{Luna} = 7,35 \times 10^{22} \text{ kg}$$

$$r_{Luna} = 1.737 \text{ km}$$

La velocidad de escape de la Luna, ¿es mayor o menor que la de la Tierra?

- 15** Calcula la velocidad de escape de la Luna: →

- 16** Discute con tu grupo por qué conviene usar la Luna como trampolín para viajar a lugares más alejados del espacio.

SABÍAS QUE...



El puerto espacial europeo se encuentra en la Guayana Francesa, en América del Sur, cerca del ecuador terrestre. La rotación de la Tierra es más veloz en el ecuador y los cohetes pueden aprovechar este efecto de «honda gravitatoria». Esto incrementa en 460 m/s la velocidad del cohete, lo que ahorra combustible y dinero. Este emplazamiento también es perfecto para enviar objetos a una órbita de transferencia geoestacionaria, ya que obliga a imprimir pocos cambios a la trayectoria del satélite.

ACTIVIDAD 3

Vuelo espacial tripulado

e1

En esta actividad indagarás en la relevancia de la aceleración y las fuerzas implicadas para el vuelo espacial tripulado.

EJERCICIO

Analicemos ahora con más profundidad el lanzamiento del cohete de papel. En el punto 9 de la actividad 2 calculaste la velocidad, v , del cohete en el momento en que sale de la plataforma de lanzamiento. Justo antes del lanzamiento, el cohete aún se encuentra inmóvil en la rampa de lanzamiento, lo que significa que su velocidad inicial, u , vale **0 m/s**. Ahora calcularemos la aceleración del cohete a lo largo de este brevísimo intervalo temporal.

(1)

$$a = \frac{v-u}{t}$$

donde:

 u = velocidad inicial **v = velocidad de lanzamiento** **a = aceleración** **t = tiempo**

Sin embargo, es difícil medir el tiempo que tarda el cohete en salir de la plataforma. Así que tal vez queramos escribir la ecuación sin incluir t . Podemos usar la aproximación de que la distancia recorrida (s , que en este caso se corresponde con la longitud de la rampa de lanzamiento) equivale a la velocidad media multiplicada por el tiempo:

(2)

$$s = \frac{(u+v)}{2} t$$

- 1 Usa las ecuaciones (1) y (2) para hallar una expresión de la aceleración, a .

- 2 Supón que la aceleración es constante, y usa la ecuación para calcular la aceleración del cohete justo antes de salir de la plataforma de lanzamiento. Ten en cuenta que la longitud de la rampa de lanzamiento (s) asciende a 30 cm y usa la velocidad que calculaste en la actividad 2 (si no llegaste a calcular la velocidad, utiliza el valor 19,81 m/s).

- 3 Calcula la fuerza g que experimentaría un astronauta en tu cohete de papel durante el lanzamiento. Puedes hacerlo dividiendo la aceleración que calculaste en el punto 2 entre $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

SABÍAS QUE...



La fuerza g no es una fuerza, sino más bien el cociente entre la aceleración total experimentada por un objeto y la aceleración debida a la gravedad terrestre. La exposición a fuerzas g elevadas afecta de diversas maneras al ser humano. Por ejemplo, un bofetón en la cara puede imprimir brevemente cientos de g muy localizados, pero la exposición constante a 16 g durante un minuto puede ser mortal. Por lo común, durante el lanzamiento, los astronautas llegan a soportar ¡de 3 a 6 g ! Y consiguen soportar fuerzas g tan altas gracias a su entrenamiento en centrifugadoras como la que aparece en esta imagen.

Anexo 1

3, 2, 1, ¡DESPEGAMOS!

ACTIVIDAD 1. PREPARACIÓN DE UN SISTEMA DE LANZAMIENTO SENCILLO

Utiliza una botella de plástico y un codo de lanzamiento obtenido con una impresora 3D para confeccionar una plataforma de lanzamiento que el alumnado pueda usar para lanzar el cohete de papel. Necesitarás una impresora 3D para obtener el codo que acoplará la botella al cohete. Para imprimir esto (<https://esamultimedia.esa.int/docs/edu/1PBL.zip>) puedes recurrir o bien a tu propia impresora 3D o a la impresora 3D de un MakerSpace (o un servicio equivalente); o también a un servicio online que permita imprimir un objeto a partir de un archivo informático. Este codo se puede sustituir por alguna versión casera del mismo usando, por ejemplo, cartón o un codo de tubería de plástico.

MATERIAL NECESARIO

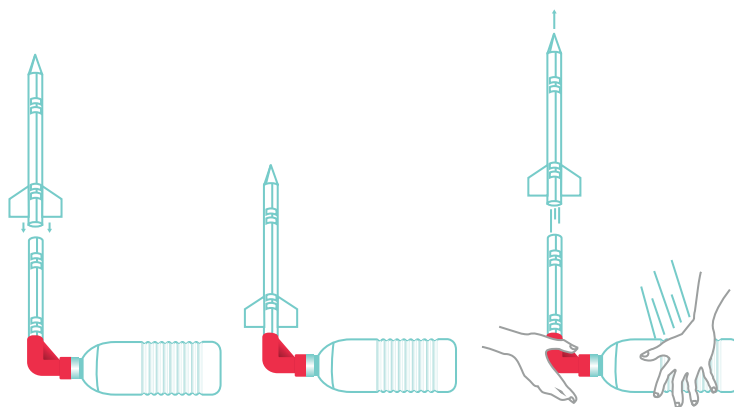
- 1 hoja de papel tamaño A4
- 1 codo de lanzamiento hecho con impresora 3D
- 1 botella de plástico de agua de 500 ml de capacidad

MONTAJE DE LA PLATAFORMA DE LANZAMIENTO SENCILLA

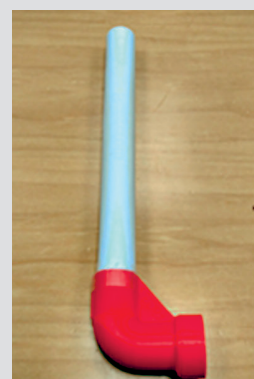
- 1 Enrolla la hoja de papel para formar con ella un cilindro bien apretado.
- 2 Introduce el cilindro de papel en el codo de lanzamiento y suéltalo para que se desenrolle hasta quedar del mismo tamaño que el orificio del codo de lanzamiento.
- 3 Enrosca el cuello de la botella de agua en el otro extremo del codo de lanzamiento.
- 4 Ya tienes un sistema de lanzamiento de cohetes.

EMPLEO DEL SISTEMA DE LANZAMIENTO

- 1 Desliza el cohete dentro del tubo de papel conectado al codo de lanzamiento.
- 2 Coloca el sistema de lanzamiento y el cohete en el suelo.
- 3 Pisa o comprime con fuerza la botella para lanzar el cohete.



Sistema para el lanzamiento de los cohetes.



Anexo 2

3, 2, 1, ¡DESPEGAMOS!

PREPARACIÓN DE UNA PLATAFORMA DE LANZAMIENTO PRESURIZADA

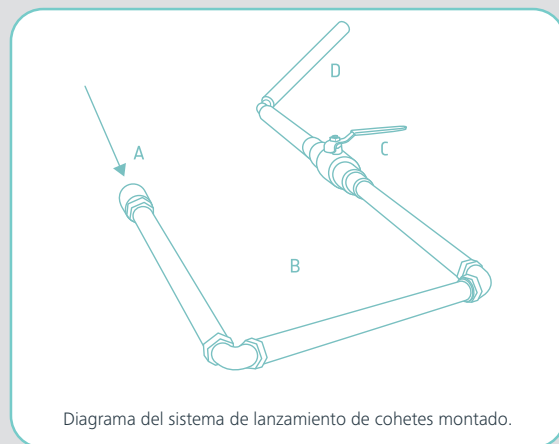
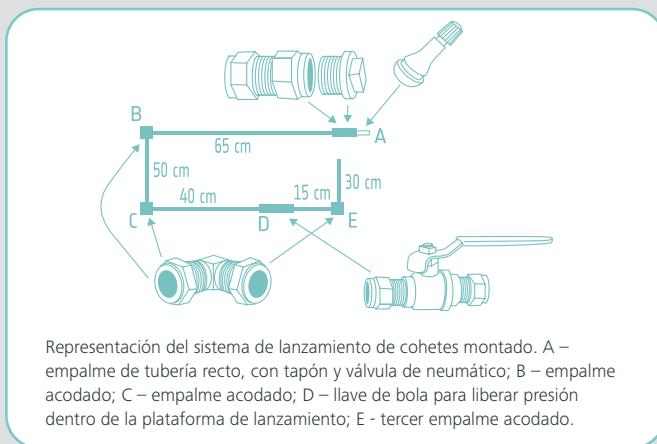
Instrucciones para construir una plataforma de lanzamiento de cohetes con aire comprimido.

MATERIAL NECESARIO

- Tubos de cobre (de diámetro: 22 cm, y longitudes: 65 cm, 50 cm, 40 cm, 30 cm, 15 cm)
- 3 empalmes acodados
- 1 tapón de tubería
- 1 llave de bola
- 1 válvula de aire de neumático
- bomba de aire o compresor de aire
- 1 empalme de tubería recto (con una conexión normal en un extremo y una rosca interna en el otro)

MONTAJE DE LA PLATAFORMA DE LANZAMIENTO PRESURIZADA

- 1 Practica un orificio en el tapón de tubería e inserta en él la válvula.
- 2 Conecta el tapón con la válvula al empalme de tubería recto.
- 3 No aprietes demasiado el tercer empalme acodado, para poder cambiar el ángulo de la plataforma de lanzamiento del cohete.
- 4 Ensambla el resto de tuberías y de conectores tal como se muestra a continuación:



USO DEL SISTEMA DE LANZAMIENTO

- 1 Ajusta el ángulo de la plataforma de lanzamiento.
- 2 Cierra la llave de bola para que no se pierda nada de aire.
- 3 Bombea el sistema hasta un máximo de 7 bares usando una bomba de bicicleta.
- 4 Abre la llave y deja que el aire comprimido entre en el sistema (esto lanzará el cohete).

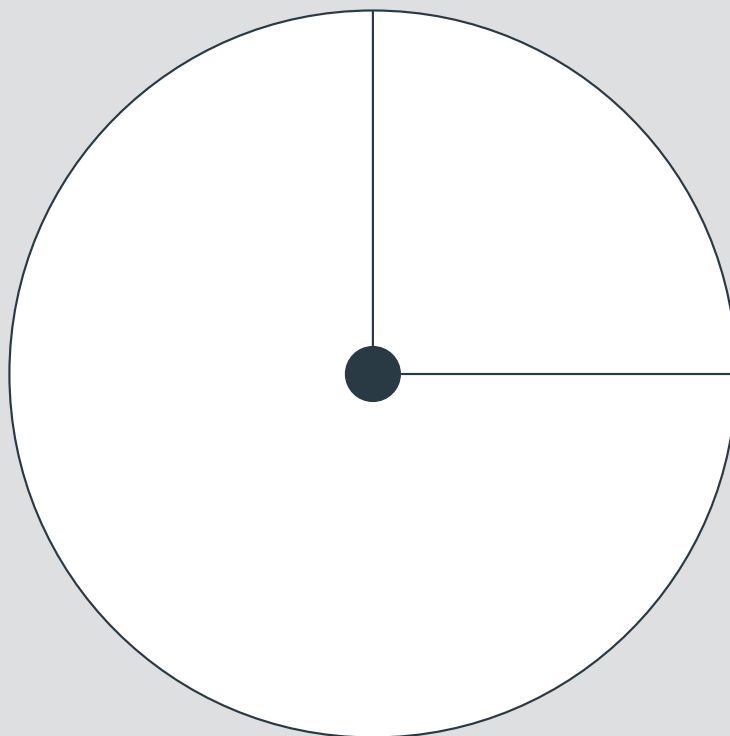
SEGURIDAD

Comprueba y aprieta los empalmes de tubería con regularidad, ya que podrían aflojarse con el uso. Sujeta con un pie la plataforma de lanzamiento para evitar que se mueva. Asegúrate de que no haya nadie delante de la plataforma de lanzamiento al meterle presión. La presión máxima para el lanzamiento es de 7 bares o 101 psi.

Anexo 3

3, 2, 1, ¡DESPEGAMOS!

ACTIVIDAD 1. ALETAS Y CONO DE MORRO



Anexo 4

3, 2, 1, ¡DESPEGAMOS!

TABLA PARA REGISTRAR
LA DISTANCIA RECORRIDA EN CADA VUELO

[illegible]

Notas

3, 2, 1, ¡DESPEGAMOS!



Enlaces de interés

RECURSOS DE LA ESA

Modelo de codo simple para plataforma de lanzamiento para imprimir en 3D

<https://esamultimedia.esa.int/docs/edu/1PBL.zip>

Desafío base lunar

esa.int/Education/Moon_Camp

Animaciones sobre cómo ir a la Luna

esa.int/Education/Teach_with_the_Moon/Travelling_to_the_Moon

Recursos de clase de la ESA

esa.int/Education/Classroom_resources

Cómo funcionan los cohetes

esa.int/kids/en/learn/Technology/Rockets/How_does_a_rocket_work

MISIONES DE LA ESA

Orion

esa.int/Our_Activities/Human_and_Robotic_Exploration/Orion

Vehículos de lanzamiento de la ESA

esa.int/Our_Activities/Space_Transportation/Launch_vehicles/Europe_s_launchers

Transporte espacial de la ESA

esa.int/Our_Activities/Space_Transportation

Ariane 6

ariane6.esa.int

Puerto espacial europeo

blogs.esa.int/spaceport

INFORMACIÓN ADICIONAL

«Open rocket», herramienta gratuita de simulación sobre cohetes

<http://openrocket.info>

«To space! But on which rocket?» («¡Al espacio! Pero ¿en qué cohete?»)

esa.int/spaceimages/Images/2019/06/To_space!_But_on_which_rocket



Spain



EUROPEAN SPACE EDUCATION RESOURCE OFFICE
A collaboration between ESA & national partners



La **Oficina Europea de Recursos para la Educación Espacial en España (ESERO Spain)**, con el lema «Del espacio al aula» y aprovechando la fascinación que el alumnado siente por el espacio, tiene como objetivo principal proporcionar recursos a docentes de primaria y secundaria para mejorar su alfabetización y competencias en materias CTIM (Ciencias, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas).

Este proyecto educativo de la **Agencia Espacial Europea** está liderado en España por el **Parque de las Ciencias de Granada** y cuenta con la colaboración de instituciones educativas tanto nacionales como de ámbito regional en las distintas Comunidades Autónomas.

Ingeniería de Astronaves

COLECCIÓN
NAVES ESPACIALES EN ÓRBITA

Incluye, entre otros:

Materiales para naves espaciales
Lanzamiento de cohetes
La aleación perfecta
3, 2, 1, ¡despegamos!
Minibotella a reacción
Botella a reacción

ESERO SPAIN

Parque de las Ciencias
Avda. de la Ciencia s/n.
18006 Granada (España)
T: 958 131 900

info@esero.es
www.esero.es

