

Spain

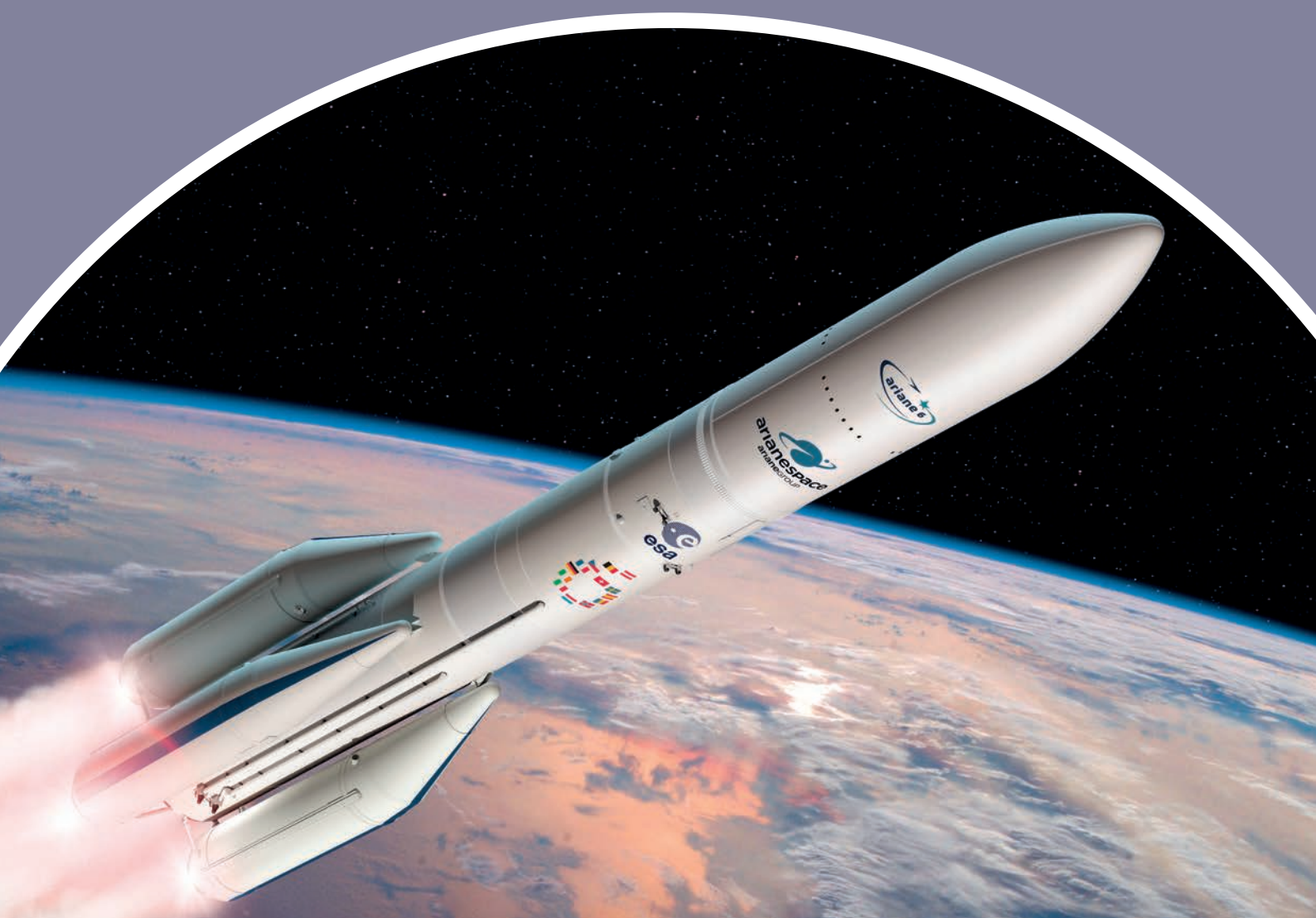


ENXEÑERÍA DE ASTRONAVES
Naves espaciais en órbita

IA-SB-02-G

3, 2, 1, lanzamiento!

Constrúe o teu propio foguete de papel



Con esta serie de 3 actividades o alumnado deseñará e construírá os seus propios foguetes co obxectivo final de lanzalos. Aprenderá que necesita un foguete para ter estabilidade e calculará a traxectoria e a velocidade do mesmo. Descubrirá que velocidade se necesita para saír da Terra en foguete e por que a Lúa ten o potencial de converterse en trampolín intermedio para proseguir coa exploración espacial. Por último, cada grupo de traballo calculará a aceleración do foguete durante o lanzamento e situará ese dato dentro do contexto da forza g que soportan os e as astronautas durante o lanzamento.

SUMARIO

3	Datos básicos
4	Introdución
6	Actividade 1. Constrúe un foguete de papel
9	Actividade 2. Lanza o foguete
14	Actividade 3. Voo espacial tripulado
15	Fichas de traballo do alumnado
26	Anexos
31	Ligazóns útiles

IA-SB-02-G

3, 2, 1, lanzamento!

Constrúe o teu propio foguete de papel

1ª Edición. Decembro 2020

Guía para o profesorado

Ciclo
Secundaria e bacharelato

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

Tradución
ESERO Spain

Dirección
Parque de las Ciencias, Granada.

Créditos da imaxe da cuberta:
Vista artística da configuración de Ariane 6 usando catro reforzos (A64).
ESA - D. Ducros

Créditos de imaxe da colección:
NASA/ESA/ATG Medialab

Baseado na idea orixinal:
3...2...1 LIFT-OFF!
Building your own paper rocket
Colección "Teach with space". ESA Education

Concepto desenvolvido por:
ESERO Nordic e ESERO Poland



Obxectivos didácticos



- Saber que é o centro de masas e o centro de presión.
- Investigar sobre o movemento dun proxectil e as parábolas.
- Calcular a velocidade e a aceleración.
- Entender as forzas.
- Potenciar o pensamento científico e a capacidade para o traballo en equipo.



2 horas

Materia

Física

Intervalo de idades

De 14 a 16 anos

Tipo de actividade

Para o alumnado

Dificultade

Media

Custo

Baixo (de 5 a 10 €)

Lugar para realizar a actividade

Interior e exterior

Términos clave

Física, foguetes, movemento parabólico, aerodinámica, centro de masas, centro de presión, velocidade de escape, velocidade orbital, velocidade, aceleración

Inclúe o emprego de

Sistema de lanzamiento de creación propia

3, 2, 1, lanzamento!

Introdución

- As axencias espaciais utilizan foguetes con regularidade: para enviar tripulacións á Estación Espacial Internacional (ISS), para lanzar ao espazo sondas que exploran o Sistema Solar e para colocar satélites en órbita ao redor da Terra. Os foguetes empregados son diversos en canto a tamaño, deseño e tipo de combustible que empregan, e todo iso depende da finalidade de cada un deles.

A familia de vehículos lanzadores desa inclúe os foguetes Vega, Vega-C e Ariane 5. Na actualidade está a desenvolverse un novo foguete máis eficiente para o lanzamento de satélites e sondas: Ariane 6 (coas variantes Ariane 62 e Ariane 64). Estes vehículos de lanzamento están capacitados para enviar ao espazo gran diversidade de misións: desde satélites de comunicacións ata misións para explorar o Sistema Solar. Os seus potentes motores proporcionan a enerxía necesaria para escapar da gravidade terrestre.

ESA lanza os seus foguetes desde o porto espacial que ten na Güiana Francesa, en América do Sur, situado tan só 500 km ao norte do ecuador. O ecuador terrestre é o lugar do planeta onde a rotación da Terra é máis veloz, e os foguetes poden aproveitar este efecto de «fonda gravitatoria». Isto incrementa en 460 m/s a velocidade do foguete, o que aforra combustible e diñeiro. Este emprazamento tamén é perfecto para enviar obxectos a órbitas de transferencia xeoestacionaria, xa que obriga a imprimir poucos cambios á traxectoria do satélite. A seguridade é outro dos aspectos que se teñen en conta ao elixir un lugar de lanzamento. A Güiana Francesa é un lugar pouco poboado onde o 90 % do territorio está cuberto por selvas tropicais. Ademais, neste país non hai risco de ciclóns nin terremotos. Todos estes factores convierten o porto espacial da ESA nun punto de lanzamento óptimo.

Para chegar á Lúa cunha misión tripulada hai que lanzar un foguete potente! Un dos foguetes máis potentes que se lanzou xamais é o Saturn V, o cal levou ao ser humano á Lúa durante o pro-



grama Apollo das décadas de 1960 e 1970. Desde entón, ningunha persoa volveu a pisar a Lúa.

Unha nova xeración de foguetes chegará co lanzamento da nave espacial Orion da NASA combinada co módulo de servizo europeo que está a desenvolver a ESA. Ambos permitirán enviar persoas a lugares máis afastados no espazo que a Lúa, ata o cinto de asteroides ou mesmo Marte.

Con esta serie de actividades os alumnos e as alumnas transformaranse en enxeñeiros e enxeñeiras aeroespaciais e lanzarán un foguete de fabricación propia para volver ir á Lúa! ●



Arriba: Orion acoplado ao módulo de servizo europeo.

...

Dereita: «Familia» de vehículos de lanzamento de la ESA.



ACTIVIDADES

01

CONSTRÚE UN FOGUETE DE PAPEL

Descrición

Deseña e constrúe un foguete de papel.

Resultado

Aprender sobre foguetes, aerodinámica, centro de masas e centro de presión e mais que é o que confire estabilidade a un foguete.

Requisitos

Ningún

Tempo

30 minutos



ACTIVIDADES

02

LANZA O FOGUETE

Descrición

Lanzar o foguete, calcular a velocidade inicial no momento en que sae da plataforma de lanzamento. Relacionar isto coa velocidade de escape da Terra e da Lúa.

Resultado

Aprender sobre forzas, movemento de proxectís, velocidade e velocidade de escape.

Requisitos

Realizar a actividade 1. Contar cun sistema de lanzamento (anexos 1 e 2). O lanzamento deberá realizarse nun espazo aberto, preferiblemente ao aire libre.

Tempo

45 minutos



ACTIVIDADES

03

VOO ESPACIAL TRIPULADO

Descrición

Calcular a aceleración do foguete de papel a medida que sobe. Relacionala coa forza g que experimentan os e as astronautas.

Resultado

Aprender sobre aceleración e forza g.

Requisitos

Realizar a actividade 2.

Tempo

45 minutos



ACTIVIDADE 1



30 min.

Exercicios

1

Constrúe un foguete de papel

Nesta actividade o alumnado construírá un foguete de papel. Localizará o centro de masas e o centro de presión e procurará que o foguete sexa o máis aerodinámico posible. Comprobará a estabilidade do foguete e exporase que variables do deseño do foguete influirán no funcionamento do mesmo.

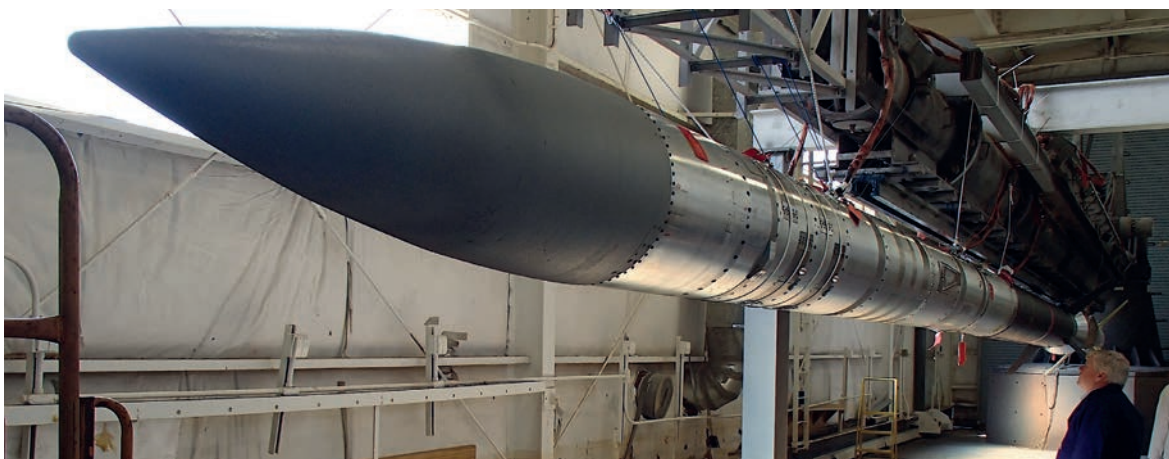
MATERIAL NECESARIO

- Unha copia da ficha de traballo desta actividade
- 2 follas de papel de tamaño A4
- Tesoiras
- Cinta adhesiva

- Plastilina
- Unha cartolina
- Modelo para as aletas e o cono do morro (opcional) (Anexo 3)

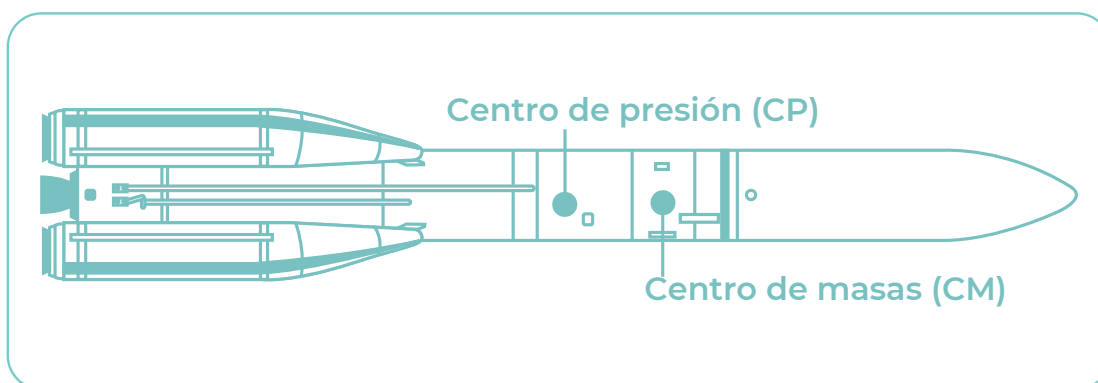
e1

- 1 Divide a clase en grupos cun máximo de tres estudantes e dilles que constrúan un foguete cos materiais proporcionados. É importante facer fincapé en que o corpo do foguete debe axustarse ben co sistema de lanzamento que se preparou. O alumnado deberá ser creativo co deseño do foguete e decidir por si só o tamaño e o número de aletas que portará o vehículo. Aínda así, o anexo 3 contén modelos para elaborar as aletas e o cono do morro a modo de orientación.
- 2 Pide ao alumnado que localice o centro de masas (CM) do foguete confeccionado. O CM correspóndese coa posición promediada de toda a masa que conforma un sistema, de modo que poderán achar ese punto se usan unha corda para equilibrar o foguete. Nota: nalgúns textos o centro de masas pode aparecer mencionado como «centro de gravidade».



NASA

- 3 Pide ao alumnado que localice o centro de presión (CP) do foguete confeccionado. O centro de presión é o centro xeométrico do foguete onde actúan todas as forzas aerodinámicas. Se o foguete fose homoxéneo por dentro, o CM e o CP coincidirían. Podemos achar o CP sumando cada unha das forzas que actúan sobre as ás, as superficies da cola, a resistencia aerodinámica, etc., pero talvez sexa difícil de calcular. Unha forma sinxela de localizar un centro de presión aproximado consiste en extraer en cartolina a silueta do foguete e equilibralo sobre un saínte. Isto permite localizar o punto de equilibrio da área proxectada.
- 4 O alumnado deberá sinalar no seu foguete tanto o CM como o CP e reflexionar sobre a relación que manteñen estes puntos cruciais. Pide aos grupos que realicen unha proba de oscilación e que valoren como afecta á estabilidade do foguete a posición e a relación entre o CM e o CP.
- 5 Dá en clase un exemplo sobre onde habería que situar o CM e o CP para conseguir un foguete de papel estable.



6

DIRECCIÓN DA OSCILACIÓN

Voo estable, o morro apunta cara adiante. O CM atópase diante do CP. O exemplo mostrado estaría nesta situación, que é a configuración ideal.

Volteo lateral. O CM está demasiado preto do CP.

O foguete voa cara atrás. O CP atópase diante do CM.

A1

e1

- 7 Na seguinte táboa figuran algunhas variables que se poden cambiar no deseño e no lanzamento do foguete.

VARIABLE	COMO INFLÚE O CAMBIO DESTA VARIABLE NO FUNCIONAMENTO DO FOGUETE?
Número de aletas	Repercutirá no centro de masas, debido a que se engade máis peso á parte traseira do foguete. Tamén pode alterar a posición do centro de presión se cambia a área proxectada. Se o número de aletas é asimétrico, tamén pode afectar a estabilidade e a resistencia aerodinámica.
Tamaño e forma das aletas	Unhas aletas máis grandes desprazarán o centro de presión cara atrás.
Condições atmosféricas	Distintas condicións atmosféricas favorecerán ou complicarán de forma diversa os lanzamentos dependendo do deseño do foguete. Por exemplo, un foguete con aletas moi alongadas será máis susceptible a ventos intensos. En xeral, os foguetes de papel funcionan mal con vento e especialmente con choiva.
Lonxitude do foguete	A lonxitude do foguete repercutirá no centro de presión. Así mesmo, se o foguete é demasiado curto pode perder propiedades aerodinámicas. Ou tamén pode ser tan longo que a estrutura non se sosteña (debido a que está feito de papel).
Peso do foguete	A distribución do peso do foguete determinará o centro de masas. Un cono de morro pesado desprazará cara adiante o CM. Isto pódese conseguir colocando plastilina no morro.

Nota: Se a clase dispón de computadores, pódese descargar a ferramenta gratuíta de simulación de foguetes: <https://openrocket.info/>. ENesta simulación o alumnado poderá facer probas coas dimensións e o deseño dos seus foguetes e indagar na relación entre o centro de masas e o centro de presión.

ACTIVIDADE 2

Lanza o foguete

Nesta actividade o alumnado descubrirá que as matemáticas son unha parte integral da ciencia aeroespacial. Aprenderá sobre forzas e terá que debuxar diagramas de corpo libre. Tanto antes como despois do lanzamento considerará a traxectoria do foguete e realizará cálculos relacionados coa velocidade.



45 min.

Exercicios

1

MATERIAL NECESARIO

- Unha copia da ficha de traballo desta actividade por grupo
- Sistema de lanzamento (véxanse anexos 1 e 2)
- Foguete de papel feito polo grupo
- Cinta métrica moi longa
- Transportador de ángulos (opcional)

SEGURIDADE

Asegúrate de que non hai ningunha persoa na zona de lanzamento. Non apuntes a ninguén co foguete. Convén protexer os ollos con lentes especiais.

EXERCICIO

Para lanzar os foguetes procura dispoñer dunha chea de espazo e unha superficie plana (un campo de fútbol sería óptimo). Se usas a plataforma de lanzamento do **anexo 2** os foguetes poden chegar a subir 100 m ou máis! Avisa ao alumnado de que a presión máxima non debe ser superior a 7 bares.

Deixa que o alumnado debata cal é o mellor ángulo para o lanzamento. Máis adiante, no apartado de posta en común, podes falar sobre o ángulo óptimo para alcanzar a máxima distancia. Unha posibilidade é que todos os grupos realicen o lanzamento co mesmo ángulo para poder comparar os foguetes e determinar cal é mellor, ou tamén podes deixar que cada grupo probe a lanzar o foguete con ángulos distintos para atopar a opción óptima.

O lanzamento pode converterse nun concurso que premie os equipos cos foguetes que cheguen máis lonxe.

No **anexo 3** hai unha táboa para anotar a distancia percorrida por cada foguete (esta información necesitarase máis adiante).

e1

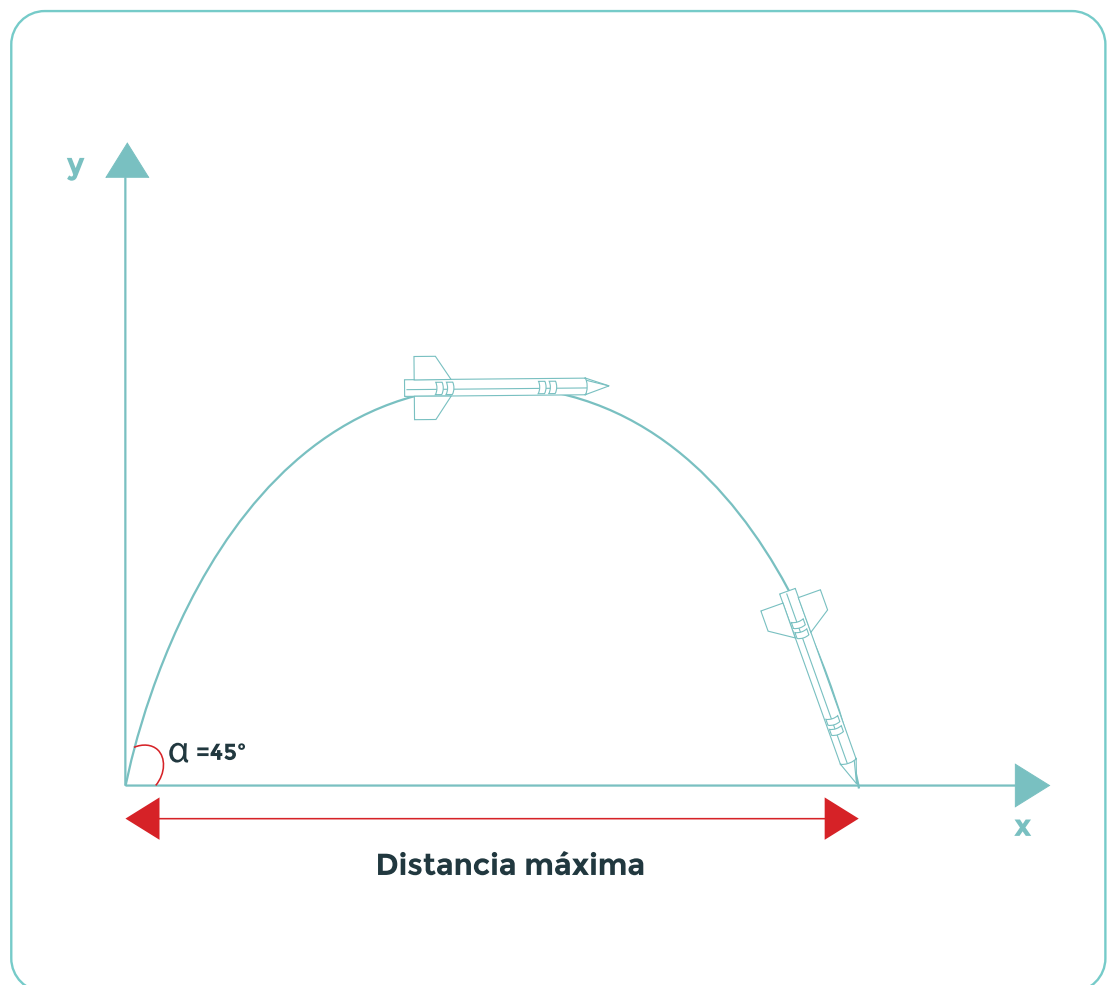
A2

Despois dos lanzamentos comenta en clase como se aceleran os foguetes cara arriba e por que seguen unha traxectoria parabólica. Fai unha introdución ás tres leis da dinámica de Newton e á forza da gravidade. Aproveita para introducir os conceptos de velocidade de escape e de velocidade orbital e compara o lanzamento dos foguetes de papel co lanzamento dun foguete real con destino á Lúa.

r

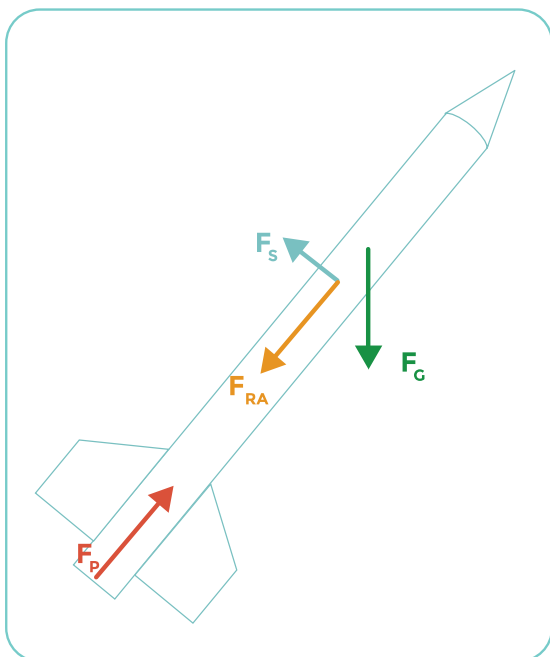
RESULTADOS

- 1 Esquema da traxectoria que seguirá o foguete.



- 2 Para maximizar a distancia percorrida o lanzamento debería facerse cun ángulo de 45° .
- 3 Condicións iniciais que poden influír na traxectoria do foguete.
 - Vento
 - Velocidade inicial imprimida ao foguete
 - Ángulo de lanzamento

- 4 Diagrama de forzas que ilustra as forzas que actúan sobre o foguete da ilustración superior na fase de propulsión.



$F_P = \text{Propulsión}$

A forza de propulsión do foguete só actuará ao longo dun espazo de tempo moi breve durante o lanzamento, mentres imprime empuxada ao foguete. Esta forza é a que fai que o foguete saia voando.

$F_G = \text{Forza da gravidade}$

A forza da gravidade será aproximadamente constante durante todo o voo.

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

A resistencia aerodinámica depende da densidade, a viscosidade e a compresibilidade do aire, así como da velocidade, a forma e a inclinación do foguete.

$F_S = \text{Sustentación}$

A sustentación depende da densidade, a viscosidade e a compresibilidade do aire, así como da velocidade, a forma e a inclinación do foguete. Para esta actividade consideraremos despreziable esta forza.

- 5
A Cun foguete real da ESA (como un Ariane 5) esta fase durará uns cantos minutos, mentres que co foguete de papel durará apenas un segundo.

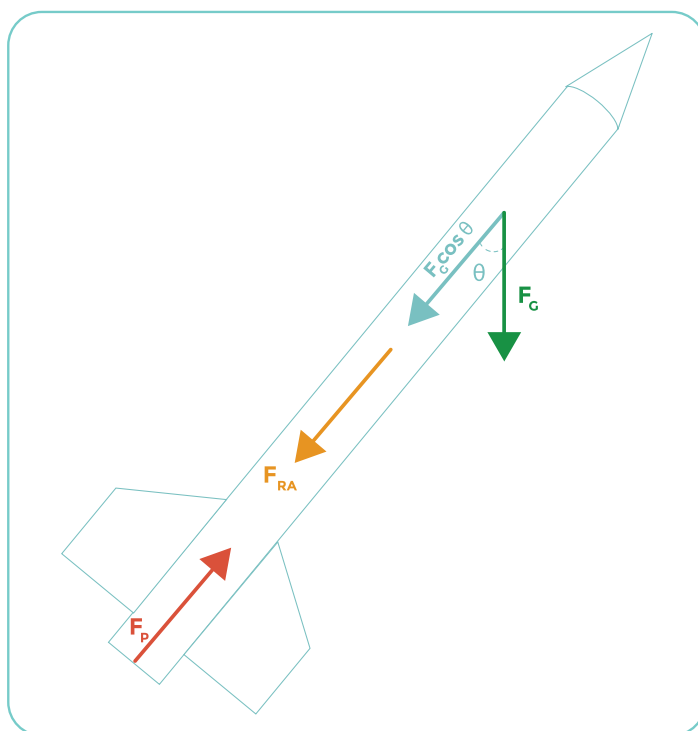
$$F = F_{RA} + F_P - F_G \cos \theta$$

- B Na dirección do movemento, a forza resultante, F , vén dada por:

Onde F é: $F = ma$, sendo m a masa, e a a aceleración.

Onde F_P é: $F_P = -u_e \frac{dm}{dt}$, sendo u_e a velocidade de escape dos gases con respecto ao foguete, e $\frac{dm}{dt}$ é o ritmo ao que cambia a masa do foguete.

Onde $F_G \cos \theta$ é a forza debida á gravida-



A2

r

de na dirección do movemento do foguete. $F_G = mg$, sendo m a masa e g a aceleración gravitatoria, mentres que θ é o ángulo que manteñen a dirección do movemento do foguete e a dirección de F_G .

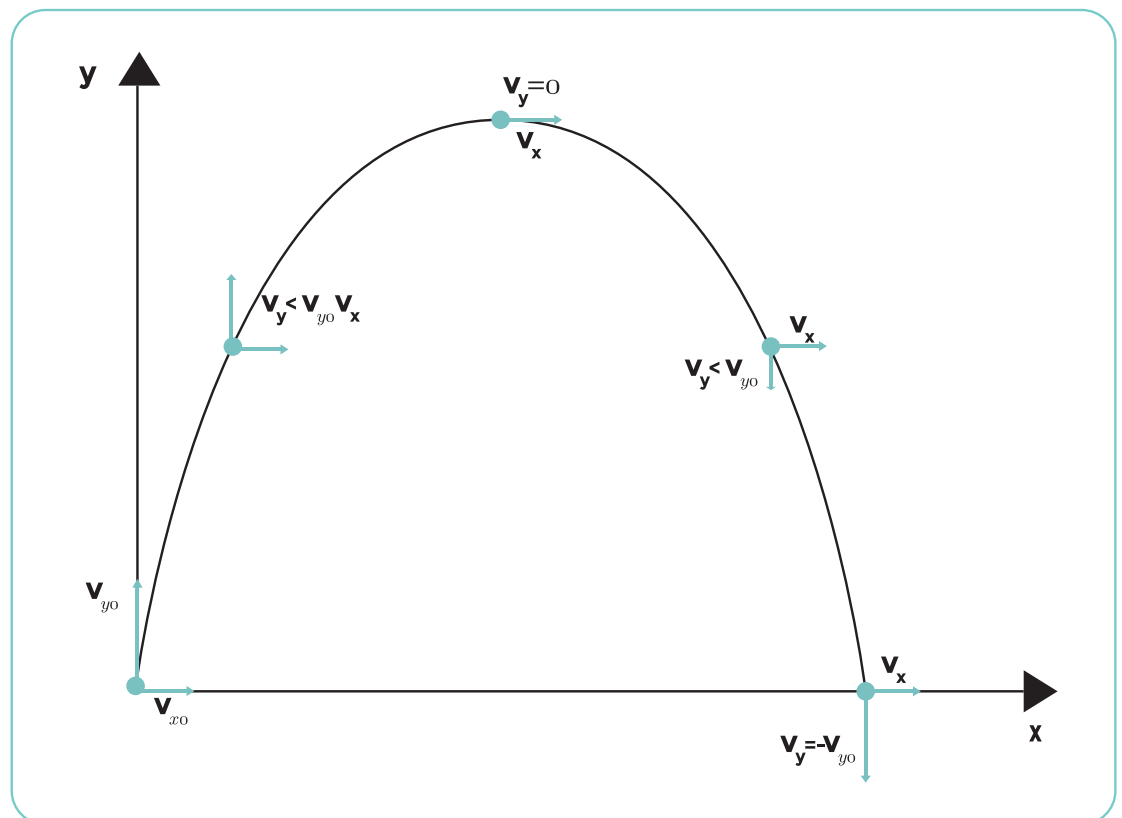
Onde F_{RA} é a forza de resistencia aerodinámica.

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

C Ao substituír estes termos e dividir entre m obtense a aceleración:

6

A Gráfica coas compoñentes horizontal e vertical da velocidade. Anima ao alumnado para reflexionar acerca das forzas que actúan sobre o foguete en cada punto e a que se deben os resultados no movemento parabólico observado.



B O foguete acelérase con rapidez durante a fase de propulsión mentres está na plataforma de lanzamento. Unha vez que o foguete sae da plataforma deixa de haber propulsión. Se se ignora a resistencia, isto significa que non actúa ningunha forza sobre o eixo x do foguete, de modo que, segundo a primeira lei de Newton, a compoñente x da velocidade (v_x) é constante. No eixo y , a forza da gravidade actúa sobre o foguete en dirección ao centro da Terra (perpendicular á superficie), así que a compoñente y da velocidade (v_y) cambiará.

- 7 Agora despxaremos a velocidade dentro da ecuación:

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

- 8 Se introducimos unha distancia $d = 40$ m, e un ángulo $\alpha = 45^\circ$:

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

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

- 9

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

- 10 A velocidade de escape da Terra pódese calcular do seguinte 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 A velocidade requirida para poñer unha nave en órbita ao redor da Terra a 300 km de altitude sobre a superficie do planeta é:

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

Onde r é o raio da órbita (desde o centro da Terra), que equivale a $6.371 \text{ km} + 300 \text{ km}$.

- 12 Comparado co exemplo do punto 8, isto é $2,78 \times 10^4 / 71,3 = 390$ veces maior que a velocidade do foguete construído en papel.
- 13 A velocidade de escape da Lúa é moito máis baixa, posto que a Lúa ten unha cantidade de masa considerablemente menor que a Terra en relación co seu raio.
- 14 A velocidade de escape da Lúa pódese calcular do seguinte 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 a velocidade de escape é máis baixa na Lúa, necesítase unha enerxía moi inferior (e, polo tanto, moito menos combustible) para lanzar unha nave ao espazo desde a Lúa, o que facilita o lanzamento de cargas útiles desde a superficie lunar.

A2

pc

POSTA EN COMÚN

Extraede un resumo dos resultados en clase. Que decisións tomou cada grupo para que o seu foguete chegase máis lonxe? Funcionaron? Por que si ou por que non?

Pregunta en clase por que podería ser útil lanzar foguetes desde a Lúa para chegar a lugares máis afastados do espazo, como Marte. Explica que, dado que a velocidade orbital e a velocidade de escape son moito menores na Lúa que na Terra, necesitaríase menos combustible, o que implica lanzamentos moito menos custosos. Tamén se pode expor por que os foguetes se lanzan desde emprazamentos próximos ao ecuador terrestre tendo en conta a información da introdución.

Comenta os detalles que se simplificaron e que se deron por supostos para realizar os cálculos. Por exemplo, non tivemos en conta ningunha desaceleración debida á resistencia aerodinámica. Esta aumentará a medida que creza a velocidade. Expón en clase en que momento e lugar cre o alumnado que afectará máis a resistencia aerodinámica ao foguete. As velocidades de escape e orbital na Terra resultan, por tanto, maiores do que se calculou. Comenta que esta é outra das vantaxes que ofrece a Lúa, debido a que ao non haber atmosfera non hai resistencia do aire e, en consecuencia, é máis fácil saír ao espazo.

ACTIVIDADE 3

Voo espacial tripulado

Nesta actividade o alumnado aprenderá sobre a aceleración, forzas e a forza g . Analizará por que deben tomarse precaucións adicionais para lanzar foguetes tripulados.



45 min.

Exercicios

1

EXERCICIO

Inicia a actividade preguntando en clase como se aceleran os foguetes cara arriba. Esta é unha ocasión excelente para falar sobre as tres leis da dinámica de Newton e a forza debida á gravidade terrestre.

RESULTADOS

- 1 Se despexamos o tempo (t) nas ecuacións (1) y (2), obtemos:

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

- Se de aí despexamos a , obtense:

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

- 2 A velocidade inicial do foguete é $u = 0$ m/s. Se usamos a velocidade do lanzamento que calculamos no punto 8 da actividade 2, entón obtense:

- 3 Pide ao alumnado que calcule a forza g do foguete durante o lanzamento. A forza g non é unha forza, senón máis ben o cociente entre a aceleración total que experimenta un obxecto e a aceleración debida á gravidade terrestre. Usando a resposta anterior, obtense:

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

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

← Isto equivale a 67 veces a forza debida á gravidade terrestre.

POSTA EN COMÚN

Expón en clase por que cren que os e as astronautas non adoitan experimentar un valor da forza g por encima de entre 3 e 6, mentres que o seu valor é moi elevado para o foguete usado en clase. O ser humano non resiste unha aceleración tan elevada como 67 g na vida real. A forza g que soporta unha persoa depende tamén do tempo que estea exposta á mesma: desde varios segundos a minutos. Lembra ao alumnado que isto depende da aceleración, non da velocidade. A aceleración é o cambio da velocidade por unidade de tempo. Nas misións tripuladas aplícase unha aceleración menor, e a nave tarda moito máis en alcanzar a velocidade necesaria. Para completar as tres actividades podes pedir ao alumnado que escriba un informe individual sobre o seu experimento. Deberían usar os coñecementos adquiridos durante a execución destas actividades e valorar como resultou e que melloras poderían introducirse en caso de volver realizalas.

ACTIVIDADE 1

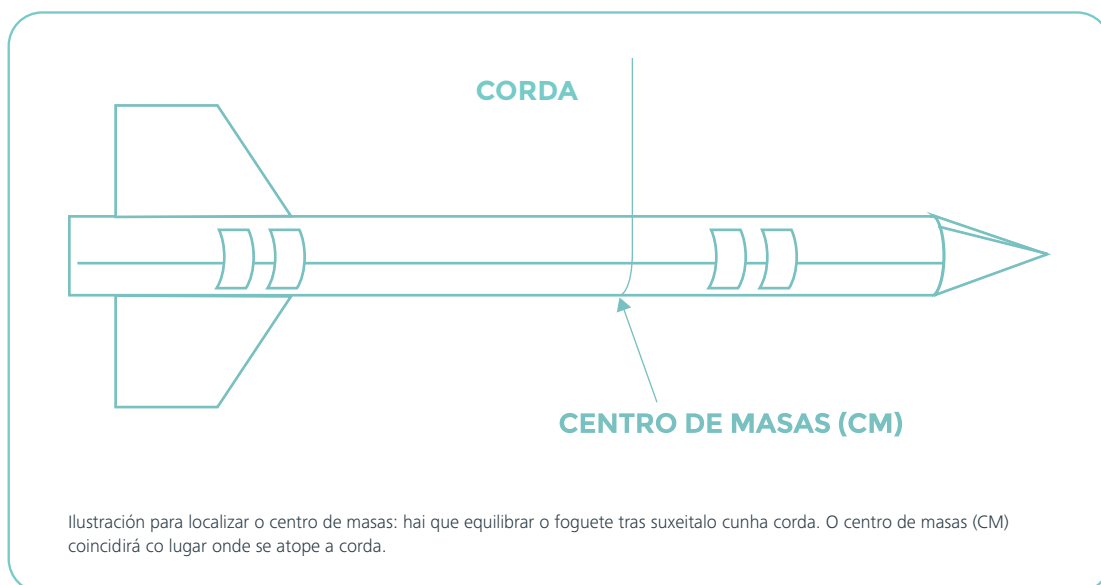
Constrúe un foguete de papel

Os principios básicos que subxacen á construción dun simple foguete de papel e á dun foguete espacial de verdade son os mesmos. Durante esta actividade deseñarás e construírás o teu propio foguete de papel, e empregaralo para indagar nalgunhas das variables de deseño que poden influír na estabilidade e no funcionamento do foguete.

e1

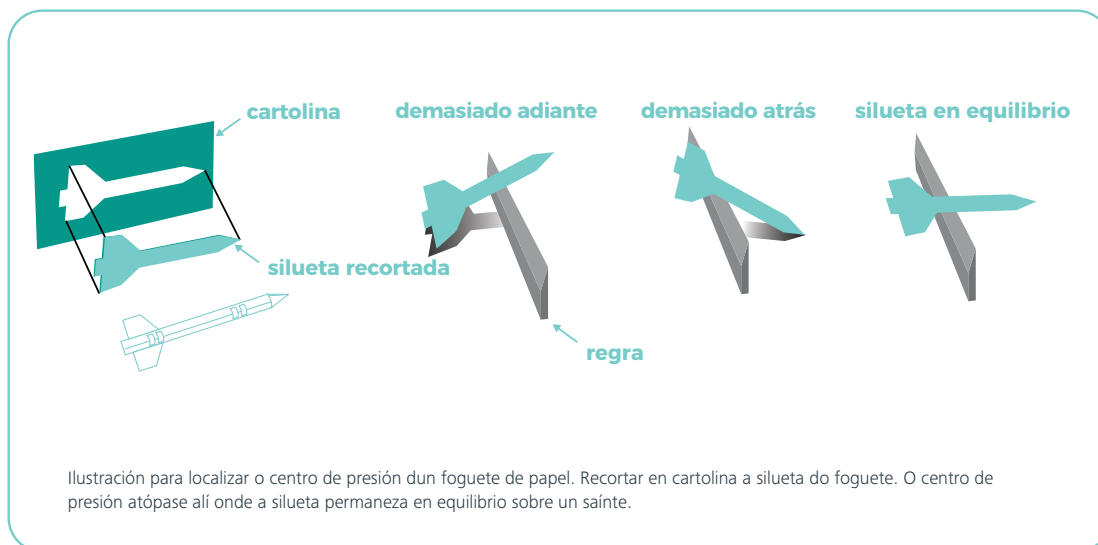
EXERCICIO

- 1 Constrúe un foguete de papel utilizando o material que che proporcione o profesor. Podes construír o teu foguete como queiras, pero asegúrate de que encaixa correctamente na plataforma de lanzamento que usarás despois.
- 2 Localiza o centro de masas (CM) do foguete. Este coincide co punto que representa a posición media de toda a masa dun corpo ou sistema. Podes facelo atando un anaco de corda ao redor do foguete para equilibralo tal como se mostra no diagrama inferior. Sinala cun lapis o lugar onde crees que se atopa o CM.



- 3 Localiza o centro de presión (CP) do foguete. Este coincide coa posición media da presión que actúa sobre o foguete e, neste caso, pódese atopar localizando o equilibrio da área

proxectada do foguete. Podes situar o CP recortando a silueta do foguete en cartolina e equilibrándoa sobre un saínte. Sinala o punto CP no foguete.



4 Cal é a distancia entre o centro de masas e o centro de presión?

cm

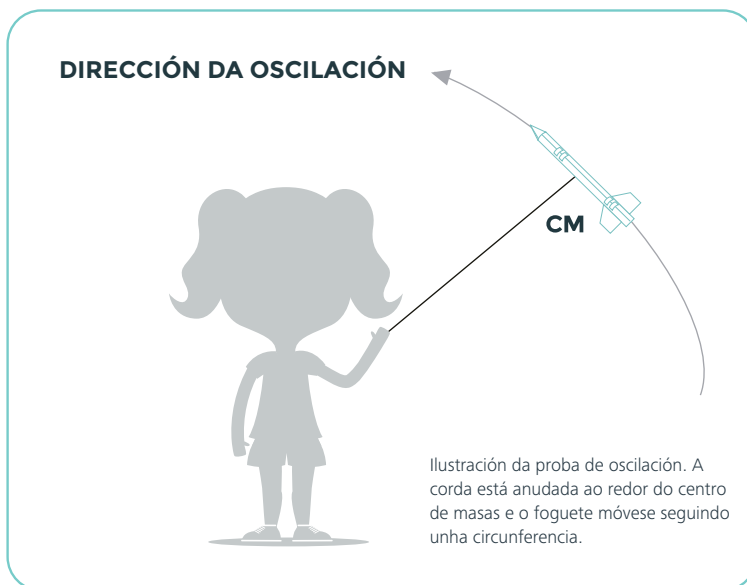
5 Atópase o centro de presión diante do centro de masas?

SÍ

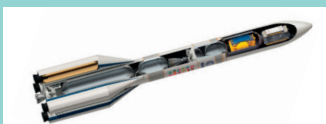
NON

6 Simula unha proba de túnel de vento realizando unha proba de oscilación: fai un nó cun anaco de corda ao redor do centro de masas e move o foguete en círculo tal como se ve na ilustración:

Comproba a estabilidade do foguete do teu grupo e do resto de compañeiros e tenta xogar co centro de masas colocando algo de peso no cono do morro ou na parte traseira do foguete. Cal crees que é a posición relativa do centro de masas (CM) en relación co centro de presión (CP) nos tres exemplos que se mostran a continuación?



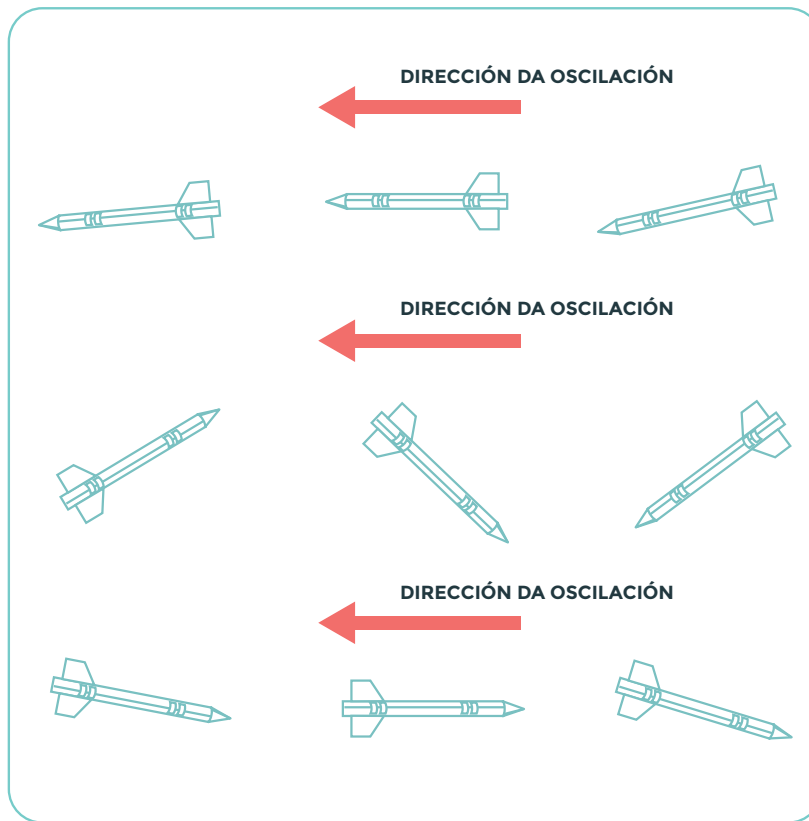
SABÍAS QUE...



Os foguetes divídense en múltiples foguetes menores (chamados etapas). Cada foguete menor ten un motor propio e a súa propia reserva de combustible. O morro do foguete, chamado cofia, alberga a carga útil, polo común satélites ou astronautas.

A1

e1



Posición relativa do CM respecto do CP:

Posición relativa do CM respecto do CP:

Posición relativa do CM respecto do CP:

- 7** Estaba o foguete aliñado coa dirección de voo durante a proba de oscilación? Se non fóra así, que crees que habería que cambiar?

.....

.....

.....

- 8** Engade máis variables á táboa e pensa como poderías cambiar a variable para que o foguete gañase estabilidade.

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
Número de aletas	
Tamaño e forma das aletas	

Variables no deseño do foguete e a súa incidencia na estabilidade.

- 9** Ponlle un nome chulo ao teu foguete:

.....

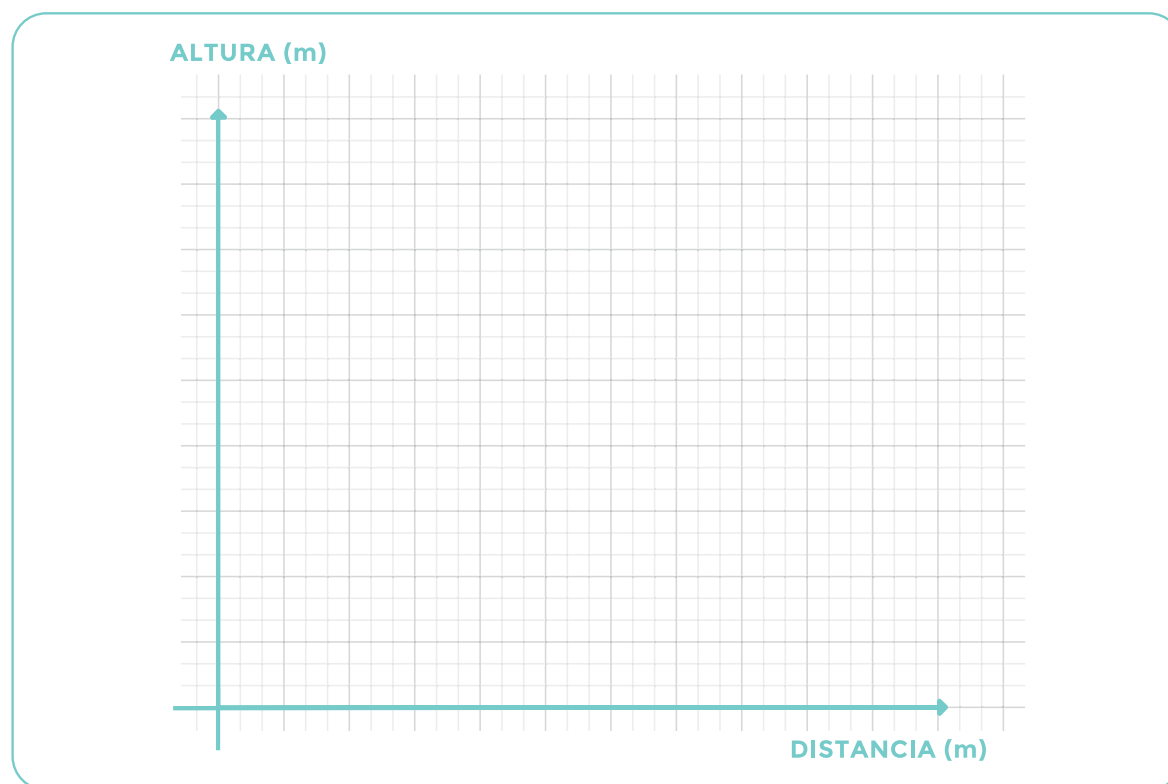
ACTIVIDADE 2

Lanza o foguete

Xa está todo listo para lanzar o teu foguete! Un foguete de papel ben construído pode alcanzar distancias de voo de 30 m ou máis! Nesta actividade usarás os resultados que obteñas tras o lanzamento do foguete para calcular a súa velocidade e cal tería que alcanzar para ir á Lúa.

EXERCICIO

- 1 Antes do lanzamento debuxa a traxectoria que prevés que seguirá o foguete cando o lances desde o chan.



- 2 Con que ángulo deberías lanzar o foguete respecto do chan para maximizar a distancia percorrida?

.....

.....

.....

e1

A2

e1

- 3 A que distancia da plataforma de lanzamento caeu o foguete, en metros?

.....

.....

.....

- 4 Seguiu o foguete a traxectoria que esperabas?

SÍ **NON**

A partir dos seus resultados, identifica tres posibles condicións iniciais que afectarían a ruta de lanzamento do teu foguete.

A

B

C

- 5 Debuxa un diagrama de forzas que ilustre as forzas que cres que actuarían sobre un foguete durante a fase de ascenso propulsado (cando a propulsión é efectiva).

6

- A** Canto tempo cres que dura a fase de ascenso propulsado nun foguete de verdade? E no foguete de papel que constrúches ti?

.....

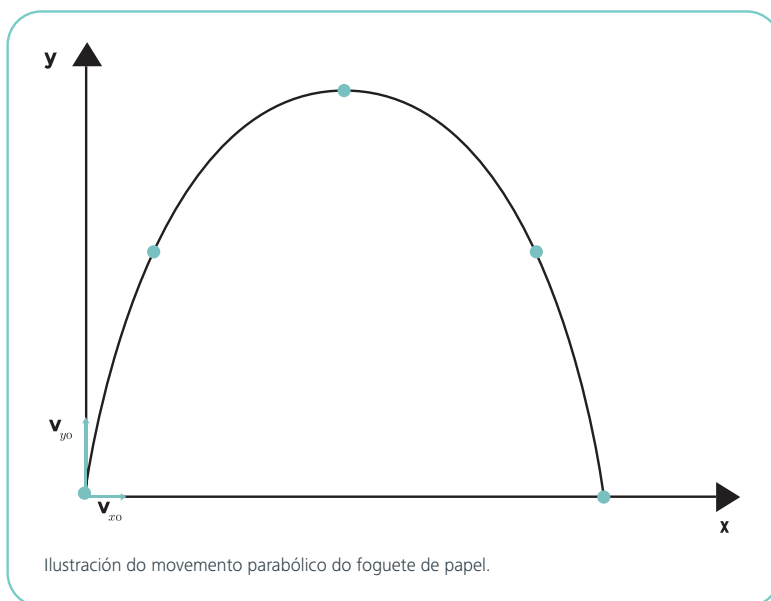
.....

- B** Escribe a ecuación da forza resultante que actúa sobre o foguete (tendo en conta unicamente as forzas que actúan na dirección na que se move o foguete).

- C** Atopa unha fórmula para expresar a aceleración do foguete.

7

- A** Completa a gráfica coa compoñente horizontal da velocidade (v_x) e coa compoñente vertical da velocidade (v_y) do foguete nos puntos sinalados na seguinte parábola. Axudámosche un pouco debuxando nela os vectores da velocidade inicial v_{x0} e v_{y0} . Deberías ter en conta tamén as forzas que actúan sobre o foguete durante o voo e preguntarte por que segue a traxectoria que segue. Neste caso consideramos despreziable o efecto da resistencia do aire (**resistencia aerodinámica**).



- B** Describe a variación da velocidade na gráfica.

- 8** Cun obxecto que segue unha traxectoria parabólica preto da superficie terrestre (onde podemos dar por suposto que o campo gravitatorio é uniforme) pódese demostrar que se dá unha interdependencia entre a distancia, a velocidade e o ángulo de lanzamento do seguinte modo:

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

onde:

d = distancia [m]

v = velocidade [m/s]

α = ángulo de lanzamiento

g = aceleración da gravidade [m/s²]

A2

e1

Despexa agora a velocidade na fórmula anterior:

- 9 Usa a distancia de voo (en metros) do teu foguete que mediches no exercicio anterior. Usa a ecuación do punto 8 para calcular a velocidade no momento en que o foguete sae da plataforma de lanzamento. Usa o valor $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

- 10 Converte o resultado en km/h:

.....

- 11 Agora que xa calculaches a velocidade do foguete, pescuda como chegar á Lúa! Para iso tes que alcanzar a velocidade de escape, que vén definida por:

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

Onde G corresponde á constante da gravitación, $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2} = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$,
 M é a masa da Terra, $M = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$,
 r é o raio da Terra, $r = 6.371 \text{ km}$.

Calcula a velocidade de escape da Terra. →

Ilustración do lanzamento cunha gran velocidade tanxencial (velocidade paralela á superficie terrestre). Cando se efectúa un lanzamento cunha velocidade o bastante alta, o foguete é capaz de situarse en órbita ao redor da Terra.



Como a velocidade de escape da Terra é elevada, o habitual é lanzar os foguetes para situálos en órbita antes de realizar manobras para viaxar a lugares máis afastados do espazo. Se lanzásemos os foguetes directamente cara arriba, non tardarían en volver caer á superficie terrestre. En lugar diso, hai que lanzar o foguete cunha velocidade tanxencial grande (velocidade paralela á superficie terrestre).

- 12** Canto máis alta é a velocidade do foguete, máis lonxe chega antes de caer ao chan. Chega un momento en que o lanzamos con tanta velocidade que xa non volve caer! A velocidade necesaria para que pase isto denomínase velocidade orbital.

G = constante de la gravitación

r = raio da órbita

M = masa da Terra

Calcula a velocidade necesaria para situar unha nave espacial en órbita ao redor da Terra a 300 km de altitude sobre a superficie terrestre. →

- 13** Cantas veces maior é esa velocidade que a do teu foguete?

bital. A velocidade orbital pódese calcular con esta ecuación:

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

- 14** Tras aterrar na Lúa gustaríanos volver á Terra ou usar a Lúa para afastarnos máis polo espazo. Isto implica facer un lanzamento desde a da Lúa. A velocidade de escape é directamente proporcional á masa do obxecto e inversamente proporcional ao raio do obxecto.

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

$$r_{Lúa} = 1.737 \text{ km}$$

A velocidade de escape da Lúa, é maior ou menor que a da Terra?

- 15** Calcula a velocidade de escape da Lúa: →

- 16** Discute co teu grupo por que convén usar a Lúa como trampolín para viaxar a lugares máis afastados do espazo.

SABÍAS QUE...



O porto espacial europeo atópase na Güiana Francesa, en América do Sur, preto do ecuador terrestre. A rotación da Terra é máis veloz no ecuador e os foguetes poden aproveitar este efecto de «fonda gravitatoria». Isto incrementa en 460 m/s a velocidade do foguete, o que aforra combustible e diñeiro. Este emprazamento tamén é perfecto para enviar obxectos a unha órbita de transferencia xeoestacionaria, xa que obriga a imprimir poucos cambios á traxectoria do satélite.

ACTIVIDADE 3

Voo espacial tripulado

e1

Nesta actividade indagarás na relevancia da aceleración e nas forzas implicadas para o voo espacial tripulado.

EXERCICIO

Analicemos agora con máis profundidade o lanzamento do foguete de papel. No punto 9 da actividade 2 calculaches a velocidade, v , do foguete no momento en que sae da plataforma de lanzamento. Xusto antes do lanzamento, o foguete aínda se atopa inmóbil na rampla de lanzamento, o que significa que a súa velocidade inicial, u , vale **0 m/s**. Agora calcularemos a aceleración do foguete ao longo deste brevísimo intervalo temporal.

(1)

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

onde:

 u = velocidade inicial **v = velocidade de lanzamento** **a = aceleración** **t = tempo**

Con todo, é difícil medir o tempo que tarda o foguete en saír da plataforma. Así que talvez queiramos escribir a ecuación sen incluír t . Podemos usar a aproximación de que a distancia percorrida (s , que neste caso se corresponde coa lonxitude da rampla de lanzamento) equivale á velocidade media multiplicada polo tempo:

(2)

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

- 1 Usa as ecuacións (1) e (2) para achar unha expresión da aceleración, a .

- 2 Supón que a aceleración é constante, e usa a ecuación para calcular a aceleración do foguete xusto antes de saír da plataforma de lanzamento. Ten en conta que a lonxitude da rampla de lanzamento (s) ascende a 30 cm e usa a velocidade que calculaches na actividade 2 (se non chegaches a calcular a velocidade, utiliza o valor 19,81 m/s).

- 3 Calcula a forza g que experimentaría un/unha astronauta no teu foguete de papel durante o lanzamento. Podes facelo dividindo a aceleración que calculaches no punto 2 entre $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

SABÍAS QUE...



A forza g non é unha forza, senón máis ben o cociente entre a aceleración total experimentada por un obxecto e a aceleración debida á gravidade terrestre. A exposición a forzas g elevadas afecta o ser humano de diversas maneiras. Por exemplo, unha labazada na cara pode imprimir brevemente centos de g moi localizados, pero a exposición constante a 16 g durante un minuto pode ser mortal. Polo común, durante o lanzamento, os e as astronautas chegan a soportar de 3 a 6 g ! E conseguen soportar forzas g tan altas grazas ao seu adestramento en centrifugadoras como a que aparece nesta imaxe.

Anexo 1

3, 2, 1, LANZAMENTO!

ACTIVIDADE 1. PREPARACIÓN DUN SISTEMA DE LANZAMENTO SINXELO

Utiliza unha botella de plástico e un cóbado de lanzamento obtido cunha impresora 3D para confeccionar unha plataforma de lanzamento que o alumnado poida usar para lanzar o foguete de papel. Necesitarás unha impresora 3D para obter o cóbado que axustará a botella ao foguete. Para imprimir isto (<https://esamultimedia.esa.int/docs/edu/1PBL.zip>) podes recorrer ou ben á túa propia impresora 3D ou á impresora 3D dun Maker Space (ou un servizo equivalente); ou tamén a un servizo online que permita imprimir un obxecto a partir dun arquivo informático. Este cóbado pódese substituír por algunha versión caseira do mesmo usando, por exemplo, cartón ou un cóbado de tubaxe de plástico.

MATERIAL NECESARIO

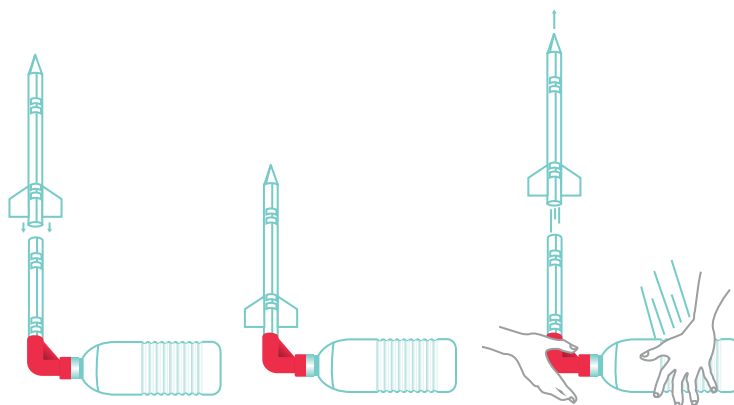
- 1 folla de papel tamaño A4
- 1 cóbado de lanzamento feito con impresora 3D
- 1 botella de plástico de auga de 500 ml de capacidade

MONTAXE DA PLATAFORMA DE LANZAMENTO SINXELA

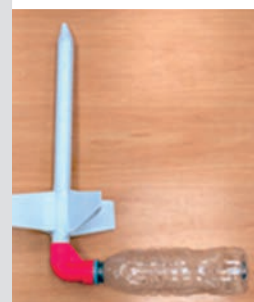
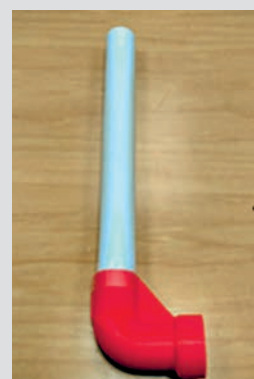
- 1 Enrola a folla de papel para formar con ela un cilindro ben apertado.
- 2 Introduce o cilindro de papel no cóbado de lanzamento e sóltalo para que se desenrole ata quedar do mesmo tamaño que o orificio do cóbado de lanzamento.
- 3 Enrosca o colo da botella de auga no outro extremo do cóbado de lanzamento.
- 4 Xa tes un sistema de lanzamento de foguetes.

EMPREGO DO SISTEMA DE LANZAMENTO

- 1 Sitúa o foguete dentro do tubo de papel conectado ao cóbado de lanzamento.
- 2 Coloca o sistema de lanzamento e o foguete no chan.
- 3 Pisa ou comprime con forza a botella para lanzar o foguete.



Sistema para o lanzamento dos foguetes.



Anexo 2

3, 2, 1, LANZAMENTO!

PREPARACIÓN DUNHA PLATAFORMA DE LANZAMENTO PRESURIZADA

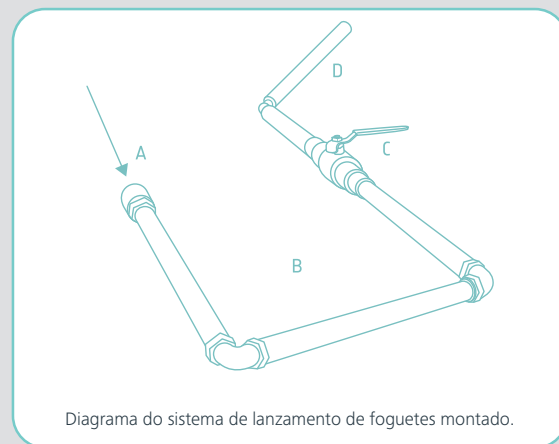
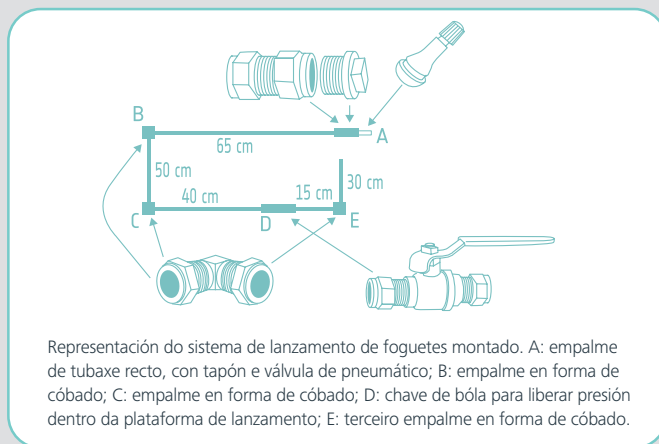
Instrucións para construír unha plataforma de lanzamento de foguetes con aire comprimido.

MATERIAL NECESARIO

- Tubos de cobre (de diámetro: 22 cm, e lonxitudes: 65 cm, 50 cm, 40 cm, 30 cm, 15 cm)
- 3 empalmes en forma de cóbado
- 1 tapón de tubaxe
- 1 chave de bóla
- 1 válvula de aire de pneumático
- Bomba de aire ou compresor de aire
- 1 empalme de tubaxe recto (cunha conexión normal nun extremo e unha rosca interna no outro)

MONTAXE DA PLATAFORMA DE LANZAMENTO PRESURIZADA

- 1 Practica un orificio no tapón de tubaxe e insere nel a válvula.
- 2 Conecta o tapón coa válvula ao empalme de tubaxe recto.
- 3 Non apertes demasiado o terceiro empalme en forma de cóbado, para poder cambiar o ángulo da plataforma de lanzamento do foguete.
- 4 Ensambla o resto de tubaxes e de conectores tal como se mostra a continuación:



USO DO SISTEMA DE LANZAMENTO

- 1 Axusta o ángulo da plataforma de lanzamento.
- 2 Pecha a chave de bóla para que non se perda nada de aire.
- 3 Bombea o sistema ata un máximo de 7 bares usando unha bomba de bicicleta.
- 4 Abre a chave e deixa que o aire comprimido entre no sistema (isto lanzará o foguete).

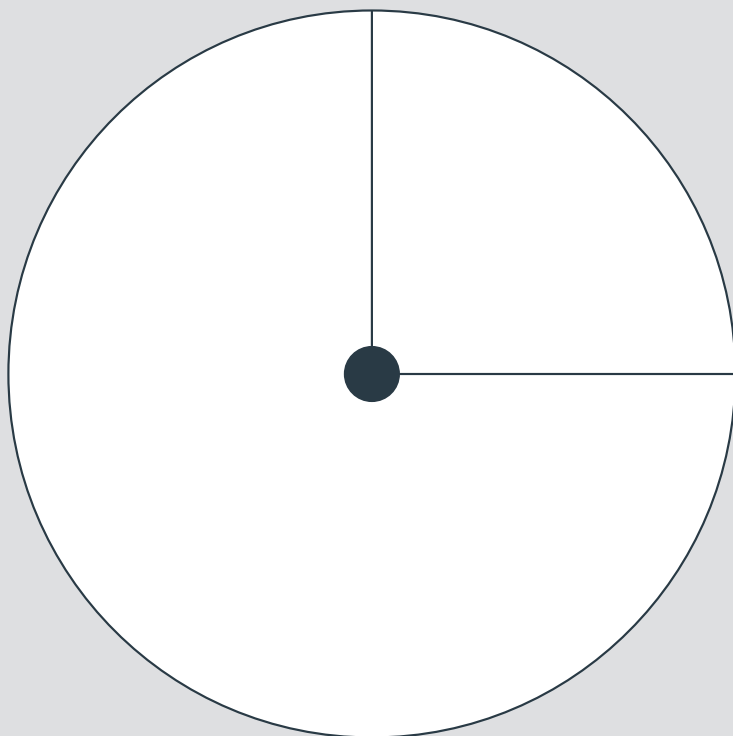
SEGURIDADE

Comproba e aperta os empalmes de tubaxe con regularidade, xa que poderían afrouxarse co uso. Suxeita cun pé a plataforma de lanzamento para evitar que se mova. Asegúrate de que non haxa ninguén diante da plataforma de lanzamento ao meterlle presión. A presión máxima para o lanzamento é de 7 bares ou 101 psi.

Anexo 3

3, 2, 1, LANZAMENTO!

ACTIVIDADE 1. ALETAS E CONO DE MORRO



Anexo 4

3, 2, 1, LANZAMENTO!

TÁBOA PARA REXISTRAR A DISTANCIA PERCORRIDA EN CADA VOO

Notas

3, 2, 1, LANZAMENTO!



LIGAZÓNS ÚTILES

RECURSOS DA ESA

Modelo de cóbado simple para plataforma de lanzamento para imprimir en 3D

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

Desafío base lunar

esa.int/Education/Moon_Camp

Animacións sobre como ir á Lúa

esa.int/Education/Teach_with_the_Moon/Travelling_to_the_Moon

Recursos de clase da ESA

esa.int/Education/Classroom_resources

Como funcionan os foguetes

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

MISIONES DA ESA

Orion

esa.int/Our_Activities/Human_and_Robotic_Exploration/Orion

Vehículos de lanzamento da ESA

esa.int/Our_Activities/Space_Transportation/Launch_vehicles/Europe_s_launchers

Transporte espacial da ESA

esa.int/Our_Activities/Space_Transportation

Ariane 6

ariane6.esa.int

Porto espacial europeo

blogs.esa.int/spaceport

INFORMACIÓN ADICIONAL

«Open rocket», ferramenta gratuíta de simulación sobre foguetes

<http://openrocket.info>

«To space! But on which rocket?» («Ao espazo! Pero en que foguete?»)

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



Spain



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



A **Oficina Europea de Recursos para la Educación Espacial en España (ESERO Spain)**, co lema «Do espazo á aula», e aproveitando a fascinación que o alumnado sente polo espazo, ten como obxectivo principal proporcionar recursos a docentes de primaria e secundaria para mellorar a súa alfabetización e competencias en materias STEM (Ciencias, Tecnoloxía, Enxeñería e Matemáticas).

Este proxecto educativo da **Axencia Espacial Europea** está liderado en España polo **Parque de las Ciencias de Granada** e conta coa colaboración de institucións educativas tanto nacionais como de ámbito rexional nas distintas comunidades autónomas.

Enxeñería de astronaves

COLECCIÓN
NAVES ESPACIAIS EN ÓRBITA

Inclúe entre outros:

Kit de materiais para naves espaciais
Lanzamento de foguetes
A aliaxe perfecta
3, 2, 1, lanzamento!
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

