

## Com fer un salt de bungee-jumping\* segur

### Objectiu

- Determinar des de quina altura s'ha de deixar caure un saltador de bungee-jumping que disposa d'una corda determinada perquè el seu salt sigui emocionant però sense risc.

### Introducció

La figura 1 mostra les etapes del moviment de caiguda d'un saltador de bungee-jumping. El saltador es deixa anar, a partir del repòs, penjat pels peus d'una corda elàstica fixada al punt de llançament i cau lliurement una distància igual a la longitud de la corda ( $l$ ). Quan la corda comença a estirar-se l'acceleració cap avall disminueix, és fa nul·la i canvia de sentit frenant el saltador que, momentàniament, s'atura en el punt més baix.

Analitzem aquest moviment des del punt de vista energètic. Considerant negligible el fregament amb l'aire, durant la caiguda s'ha de conservar l'energia mecànica del saltador, és a dir, l'energia cinètica més la suma de totes les energies potencials implicades ha de ser constant.

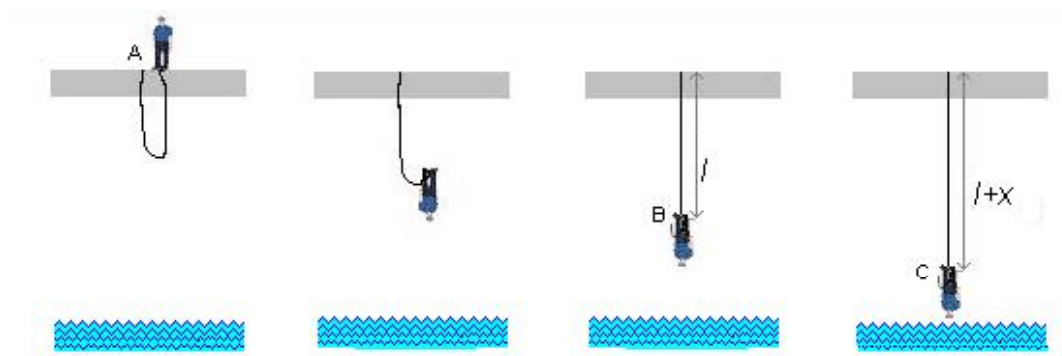


Figura 1

Si fem  $E_m$ = energia mecànica,  $E_g$ = energia potencial gravitatòria,  $E_e$ = energia potencial elàstica,  $E_c$  = energia cinètica i prenem com a nivell zero, per a l'energia potencial gravitatòria, el punt de llançament A, en A es compleix:

$$E_m = 0; \quad E_g = 0; \quad E_c = 0; \quad E_e = 0$$

Quan el saltador ha baixat, en caiguda lliure, una altura igual a la longitud de la corda (punt B) les energies són:

$$E_m = 0; \quad E_g = -mgl; \quad E_c = mv^2/2 = mgl; \quad E_e = 0$$

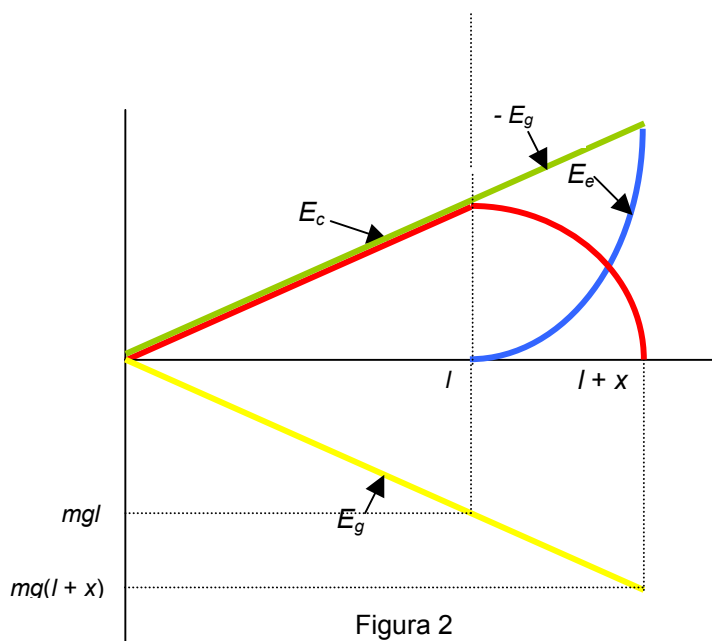
\*esport que consisteix en llançar-se des d'un pont lligat amb una corda

A partir del punt B la corda comença a estirar-se, l'energia potencial elàstica creix mentre que l'energia potencial gravitatòria i l'energia cinètica disminueixen. El saltador s'atura, momentàniament, en C, quan:

$$E_m = 0; \quad E_g = -mg(l+x); \quad E_c = 0; \quad E_e = mg(l+x)$$

Sent  $x$  el màxim allargament de la corda.

Les anteriors transferències d'energia s'han representat a la figura 2.



En aquest experiment fareu servir, com a model de saltador de bungee-jumping, un ninot penjat d'un tros de goma adient per contrastar les vostres prediccions. Els resultats obtinguts es podran traslladar, després, a un salt real.

## Equipament

<p><b>Material de laboratori</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Portapesos (10 g)</li> <li>- Pesos de 10 g i 50 g</li> <li>- Goma elàstica (1,20 m)</li> <li>- Mordassa de taula</li> <li>- Mordassa amb barreta</li> <li>- Barreta llarga</li> <li>- Barreta curta</li> <li>- Peu</li> <li>- 2 dobles nous</li> <li>- Cinta mètrica</li> <li>- Ninot o objecte per fer de model del saltador</li> </ul>	<p><b>Elements de l'equip Multilog</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Interfície amb cable USB i adaptador AC-DC (el sensor de distància no funciona amb la pila de la interfície i es recomana el seu ús amb el sensor de força)</li> <li>- Sensor de distància (rang: 0,4 a 2 m; resolució: 4,9 mm; exactitud: 3 % del rang; angle de recepció: <math>\pm 15^\circ</math> a <math>\pm 20^\circ</math>)</li> <li>- Sensor de força (rang: <math>\pm 10</math> N; resolució: 0,024 N)</li> </ul> <p><b>Ordinador</b></p>
--	--

## Procediment

### Muntatge de l'experiència

En primer lloc, per determinar experimentalment el gràfic força-allargament per a la goma donada, procedireu de la manera següent:

1. Amb l'ajut de la mordassa de taula, la nou i les barretes munteu el sensor de força com mostra la figura 3. El ganxet del sensor ha de quedar a uns 150 cm de terra.
2. Situeu el sensor de distància, muntat en un suport, a terra, enfocat directament cap a la base del portapesos i tan avall com sigui possible.

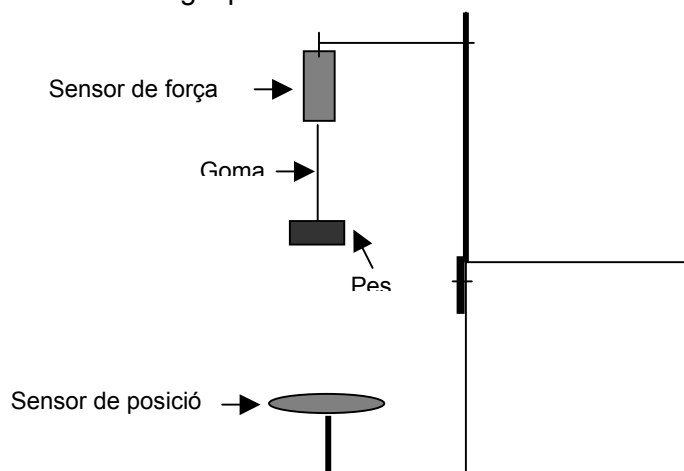

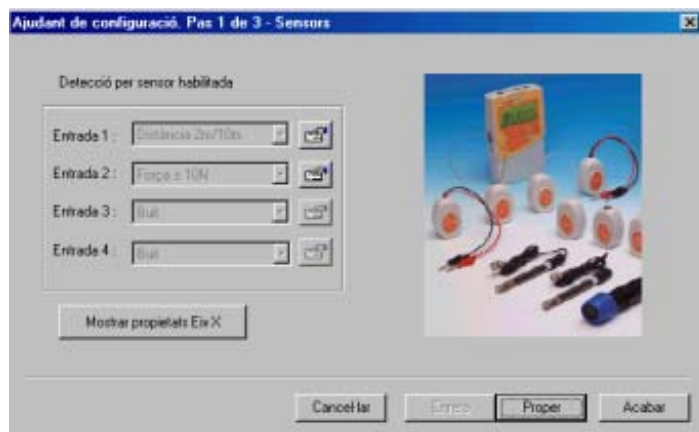



Figura 3

3. Connecteu els sensors de distància i de força a les entrades 1 i 2 del **Multilog**.
4. Enguegueu el **Multilog** i l'ordinador.
5. Connecteu el **Multilog** a l'ordinador.
6. Obriu el programa **Multilab** clicant la icona  de l'arxiu **Batxillerat Científic**.

### Configuració del sistema



Configureu el programa **Multilab** seguint les instruccions següents:

1. Cliqueu el botó  **Ajudant de configuració**. S'obrirà una finestra en la qual apareixeran els sensors connectats i l'escala:

**Distància 2m/10 m**  
**Força  $\pm 10$  N**

2. Cliqueu el botó situat a la dreta del sensor de força i seleccioneu:

Força: **Tirar-positiu (N)**. D'aquesta manera la força mesurada pel sensor serà positiva.



3. Cliqueu **Proper** per obrir la finestra següent

4. Seleccioneu:

Freqüència: **Manual**  
 Mode d'escalat: **Escala completa**  
 Mode de gravació: **Substituir**

5. Cliqueu **Proper** per passar a la finestra següent.



6. Seleccioneu:


**Per mostres: 50**



7. Finalment, cliqueu **Acabar**.


## Predicció

A la pantalla de l'ordinador apareixerà el gràfic de la força exercida sobre la goma en funció de l'allargament que experimenta. Abans d'obtenir-lo, intenteu dibuixar, de manera aproximada, la forma que al vostre parer tindrà aquest gràfic.

## Execució de l'experiència

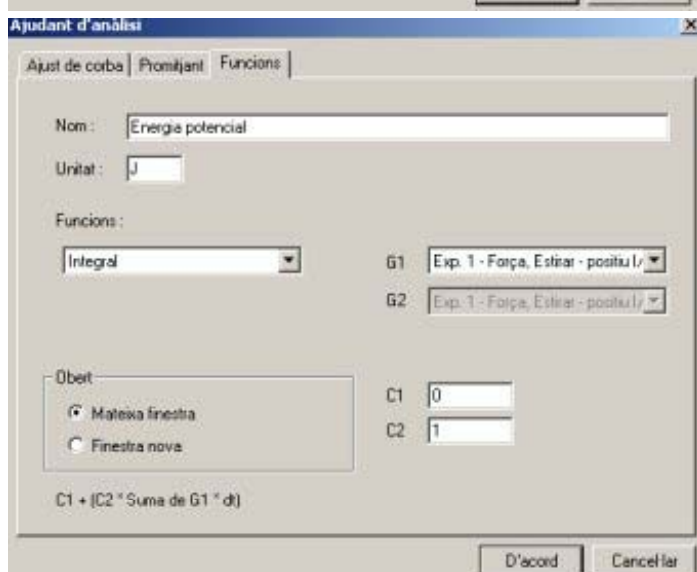
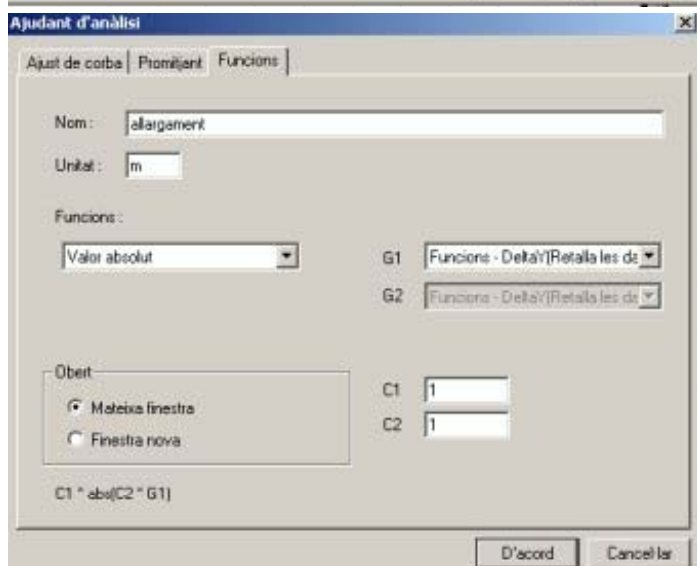
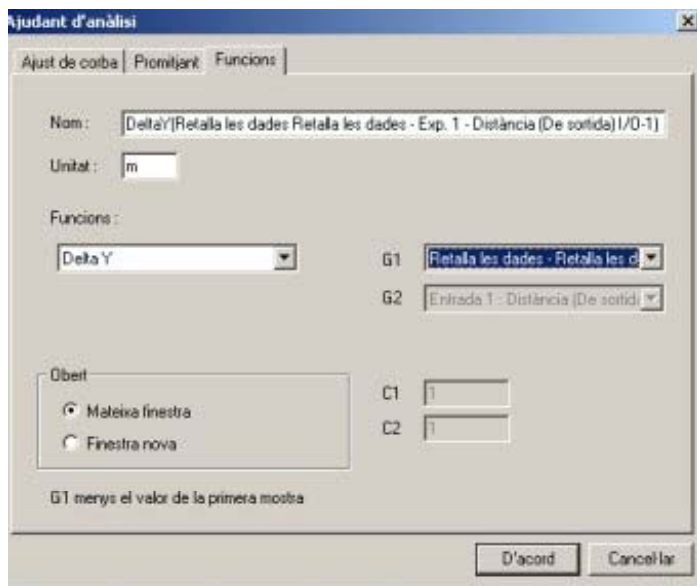
1. Abans de penjar la goma amb el portapesos del sensor de força caldrà calibrar-lo en posició vertical. A aquest efecte, feu una primera mesura clicant el botó **Executar** . La força enregistrada ha de ser zero o el valor de la resolució (0,024 N).



2. Enganxeu un extrem d'un tros de goma al portapesos i pengeu l'altre extrem del sensor de força. Entre el ganxet del sensor i el  portapesos la longitud de la goma ha de ser de 50 cm. Cliqueu el botó **Executar**  per captar la primera dada. El pes del portapesos ( $9,8 \text{ N kg}^{-1} \times 0,010 \text{ kg} = 0,098 \text{ N}$ ) serveix per tensar la goma i no serà detectat pel sensor que mesurarà zero.

3. Aneu augmentant la massa del portapesos de 10 g en 10 g fins enregistrar uns 20 valors. Cada cop haureu de clicar el botó  **Enter** de la interfície.

## 4. Emmagatzemeu les dades en un disquet.



## Anàlisi i tractament de les dades




1. Les dades obtingudes permeten obtenir el gràfic de la força exercida sobre el portapesos en funció de la distància d'aquest al sensor de distància. Per trobar el gràfic força-allargament (l'àrea sota aquesta corba donarà l'energia elàstica) haureu de seleccionar amb el botó  **Commutar primer cursor** el gràfic distància-mostres i clicar el  botó **Ajudant d'anàlisi**.

En la finestra que s'obri cliqueu la pestanya **Funcions** i en la llista de funcions seleccioneu **Delta Y**.

2. En el gràfic que s'obté, els allargaments surten negatius perquè en allargar-se la goma la distància al corresponent sensor disminueix. Per obtenir allargaments positius torneu a clicar el botó **Funcions** i seleccioneu **Valor absolut**. A la casella de **Nom** escriviu **Allargament** i cliqueu **D'acord**.

3. Cliqueu el botó  **Editar gràfic** i seleccioneu a  l'Eix X **Allargament**, i a l'eix Y, **Força**.

4. Com que l'increment d'energia potencial elàstica ve donada per l'àrea limitada per la corba  $F-x$  i l'eix d'abscisses, és a dir per la funció Integral, per determinar-la procediu de la manera indicada a continuació:

Cliqueu el botó  **Ajudant d'anàlisi**. A la finestra que s'obre cliqueu la pestanya **Funcions**. A la llista de **Funcions** seleccioneu **Integral**. A la casella de **Nom** escriviu **Energia potencial elàstica** i a **Unitat** escriviu **J**. Finalment, cliqueu **D'acord**.

5. Aneu a **Editar gràfic** poseu títol al gràfic i imprimeu-lo.

6. Incorporeu al projecte el gràfic energia potencial elàstica-allargament i emmagatzemeu-lo en un disquet.

7. A continuació, escriviu l'equació de la recta que dona l'energia potencial gravitatòria del saltador en funció de la massa i de la posició respecte del nivell de referència (el de llançament).
8. Determineu amb una balança la massa del saltador i calculeu la seva energia potencial gravitatòria quan l'allargament de cordill és nul i quan és igual a un dels valors representats en el gràfic.
9. A sobre del gràfic anterior representeu els punts determinats i traceu la recta que passa per aquests dos punts. L'abscissa per a la qual és compleix  $E_e = - E_g$  correspon al màxim allargament de la corda. Pot ser més senzill dibuixar la recta que dona  $- E_g$  i determinar el punt de tall amb la corba de la  $E_e$ .
10. Utilitzeu el resultat anterior per calcular l'altura des de la qual caldrà deixar anar el saltador perquè el salt sigui emocionant però segur.
11. Deixeu anar el saltador lligat a un tros de cordill idèntic a l'utilitzat per obtenir el gràfic per comprovar si el vostre càlcul ha estat correcte.

## Qüestionari

---

1. Compareu els vostres gràfics amb els obtinguts experimentalment i comenteu les similituds i les diferències.
2. Compleix la goma la llei de Hooke?
3. Quins són els valors màxims d'energia potencial elàstica i d'allargament que dona el gràfic energia elàstica-allargament?
4. Quina equació dona l'energia gravitatòria del saltador en funció de la massa i de la posició respecte del nivell de referència?
5. Quin increment d'energia potencial gravitatòria ha experimentat el vostre model de saltador quan ha baixat la longitud de la goma?
6. Quina és la massa del vostre model de saltador?
7. Quins valors heu obtingut per dibuixar la recta que representa l'energia potencial gravitatòria en funció de la posició respecte del nivell de referència?
8. Utilitzeu els gràfics obtinguts per determinar l'augment d'energia potencial elàstica de la goma quan el saltador arriba al punt més baix de la seva trajectòria.
9. Utilitzeu els gràfics obtinguts per determinar el màxim allargament experimentat per la goma durant el salt.
10. Quina altura heu considerat adient per deixar anar el saltador?
11. Heu encertat en la vostra predicció?
12. Quina massa podria tenir com a màxim per utilitzar el gràfic obtingut?

13. Tant la goma emprada con les cordes de veritable salt de bungee-jumping no es poden usar moltes vegades. Per què?
14. Raoneu que succeiria si s'emprés una goma més rígida? I si fos més llarga? Comproveu la vostra resposta experimentalment.
15. Informeu-vos sobre el fenomen anomenat histèrisi de la goma i expliqueu quins efectes provoca en els salts de bungee-jumping.

### **Informe**

---

Redacteu un informe de l'experiment. En aquest informe s'han de distingir clarament tres parts: *introducció*, *realització* i *conclusió*. A més, l'informe ha d'incloure les respostes al qüestionari anterior.