

Anàlisi de l'aplicació d'una activitat contextualitzada sobre una força no constant: un salt de *bungee* segur

Luisa Herreras Blanco (*lherrer1@xtec.cat*) INS Guillem de Berguedà (Berga)

Josep Olivella Busoms (*jolivell@xtec.cat*) INS Llobregat (Sallent)

Aquest article descriu una activitat basada en un cicle d'ensenyament-aprenentatge per estudiar la força elàstica d'una corda utilitzant eines TIC. També analitza les dificultats trobades per l'alumnat i el professorat durant la seva aplicació. Es tracta d'una seqüència que fa servir el context d'un salt de bungee per introduir aquesta interacció no constant en secundària.

Paraules clau: llei de Hooke, elasticitat, aprenentatge amb TIC, ciència contextualitzada

This paper describes an activity based on a teaching-learning cycle to study the elastic force of a rope using ICT tools. Students and teachers difficulties identified during its application are also presented. The sequence uses the context of a bungee jump for introducing this no-constant interaction in high school.

Key words: Hooke's law, elasticity, learning with ICT, science in context

INTRODUCCIÓ

Contingut a tractar

L'estudi de les interaccions en física és un dels objectius que apareixen recollits de manera explícita en els currículums de l'ESO i del batxillerat. Entre les interaccions a estudiar tenim el cas de la força aplicada sobre un cos elàstic, força que es comporta segons la llei de Hooke que relaciona la força aplicada amb l'allargament produït.

Per què cal tractar aquest contingut?

Les interaccions que se solen estudiar en primer lloc són aquelles considerades constants (pes d'un cos, forces constants aplicades a un cos, força de fregament, etc). Aquest plantejament pot dur l'alumne a considerar de manera errònia que totes les forces són constants, fet que no és correcte. Hi ha moltes forces a la natura que no són constants com, per exemple, la força que fa una corda sobre una persona quan executa un salt de *bungee*.

On es pot tractar aquest contingut?

La majoria de llibres parlen de la llei de Hooke a 2n d'ESO, però és a 4t d'ESO on de manera explícita és diu que l'alumne ha de ser capaç de reconèixer la relació entre força i deformació en els cossos elàstics. És, no obstant, a 1r de batxillerat quan s'aprofundeix en l'estudi d'aquest tipus d'interacció tant des d'un punt de vista dinàmic com energètic.

PRESENTACIÓ DE LA SESSIÓ

L'activitat que us presentem va ser concebuda inicialment com a una activitat inclosa en els materials del projecte de física en context de batxillerat elaborat per un grup de professors de secundària en el si del CDEC.

La versió que aquí us presentem és fruit de múltiples revisions realitzades al llarg de sis cursos. En ella s'han anat incorporant modificacions conceptuals, metodològiques i procedimentals. Aquestes últimes són conseqüència dels nous models MBL que han anat sorgint en el mercat de les TIC per a

l'ensenyament. L'activitat incorpora també metodologies de treball investigades en el CRECIM i treballades en el projecte DIATIC (Disseny i aplicació d'activitats que utilitzen les TIC).

L'activitat s'estructura a partir d'un cicle d'indagació basat en un context que gira al voltant de la idea de l'emprenedoria proposant el reaprofitament d'una grua. L'objectiu és aconseguir un salt de *bungee* segur i emocionant. Segur, perquè sigui possible sense arribar a superar els límits de salut d'una persona (acceleració màxima suportable) i emocionant, perquè arribi quasi just a terra.

A partir d'aquest repte, l'activitat s'estructura en quatre grans blocs:

- Exploració de les variables de les que depèn l'elasticitat d'una corda
- Predicció i anàlisi i de la caiguda d'un cos (model de saltador) lligat a la corda estudiada tenint en compte les interaccions sobre el cos.
- Anàlisi de les transferències d'energia al llarg del moviment
- Transferència dels coneixements apresos al seu "problema real".

Aquesta activitat té una durada de quatre hores, però es pot realitzar en 4 sessions de classe independents. També és possible adaptar-la a 4t d'ESO, encara que llur aplicació ha estat fins ara només en 1r de batxillerat.

El material utilitzat per a la seva realització ha estat:

Diverses cordes elàstiques, dinamòmetres, un model de saltador com el de la figura 1, en el qual podem variar la seva massa, un sensor de distància. El que s'ha fet servir en la pràctica ha estat del model VERNIER. En els centres on no es disposi d'aquest tipus de consola, és possible fer servir un vídeo del salt realitzable amb una càmera ràpida, que fa més fotogrames per segon. Aquest vídeo es pot analitzar amb el programa MULTILAB.



Figura 1. Model de saltador

DESCRIPCIÓ DE L'ACTIVITAT I ANÀLISI DELS RESULTATS

1. De què depèn l'elasticitat d'una corda?

Amb diverses cordes i diferents masses es proposa als alumnes que dissenyin estratègies experimentals per a estudiar els factors dels que depèn l'elasticitat d'una corda.

Com prèviament s'ha hagut d'introduir la llei de Hooke, s'associarà la mesura de l'elasticitat amb el valor de la constant recuperadora o d'elasticitat.

La majoria dels alumnes tenen en consideració la naturalesa (material i/o gruix) de la corda, però pocs tenen en compte que l'elasticitat també depèn de la longitud inicial de la corda. Alguns altres també diuen que l'elasticitat depèn de la massa del cos que es penja.

Encara que el grup d'alumnes amb el que s'ha realitzat la pràctica era de batxillerat, alguns d'ells no tenien assolit el control de variables i es va haver d'ajudar-los amb un exercici de planificació dels

experimentos que calia fer per poder estudiar les variables de les que dependria l'elasticitat d'una corda. Aquest estudi es va realitzar trobant el valor de la constant recuperadora en cada cas i comparant-los.

Per a una millor comprensió del significat de la dependència de l'elasticitat d'una corda amb la seva longitud inicial es proposa la següent analogia: els alumnes han de penjar un cos d'una molla i, a continuació, aquest mateix cos de dues molles en sèrie (una penjada de l'altra). Amb aquest model de molles els alumnes comproven que, quan la longitud d'una molla és el doble (cas de les dues molles en sèrie), l'allargament serà també el doble; i tenint en compte que una corda es comporta com una molla, es dedueix que l'elasticitat d'una corda depèn també de la seva longitud inicial.

En el cas de la dependència de l'elasticitat amb el tipus de corda (naturalesa de la corda), experimentalment els alumnes disposaven de diferents tipus d'elles, però es podria canviar la naturalesa d'una corda doblant-la. En el model de molles comentat anteriorment es comprova que l'allargament es diferent quan es penja un cos d'una molla que quan es penja de dues molles en paral·lel.

Així, després de realitzar els diferents experiments, els alumnes arriben a la conclusió que, mesurada a partir de llur constant d'elasticitat, l'elasticitat d'una corda depèn de les seves longitud inicial i naturalesa, i en cap cas de la massa que es penja.

2. Una experiència amb forces no constants: Un salt de *bungee* segur. De què depèn l'elasticitat d'una corda?

En aquest bloc de l'activitat es proposa als alumnes que analitzin un salt de *bungee* tenint només en consideració les forces que actuen sobre el saltador.

En primer lloc, els alumnes han de representar les forces que actuen sobre el saltador en la seva caiguda per tenir un referent a l'hora de fer les prediccions dels gràfics del moviment posició-temps, velocitat-temps i acceleració-temps i que assenyalin els punts on canvia alguna de les magnituds dinàmiques que s'estudien en aquest apartat: velocitat, acceleració, etc.

Encara que ja coneixen l'existència de la força elàstica, alguns no són capaços d'interpretar que la força que fa la corda sobre el saltador no és constant. Uns altres, però, malgrat que sí que veuen la dependència de la força elàstica amb l'allargament

que sofreix la corda, no ho reflecteixen en el gràfic acceleració-temps. Així, representen una gràfica on l'acceleració té un valor constant en cadascun dels trams que suposen que hi ha en la caiguda (figura 2).

Gràfic acceleració-temps

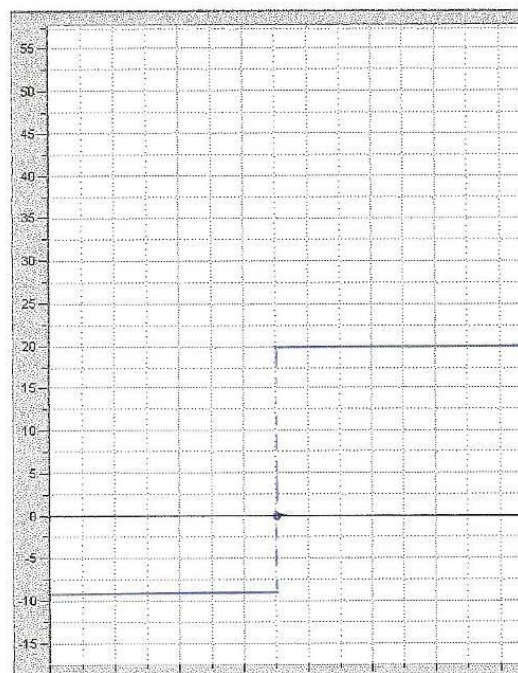


Figura 2. Predicció del gràfic acceleració-temps d'un salt de *bungee*

Els alumnes reconeixen dos trams en el salt de *bungee* com a significatius: El de sortida fins que la corda comença a allargar-se, i un segon tram mentre la corda s'allarga fins que arriba el saltador al punt més baix.

Aquesta activitat també ha estat proposada a alumnes de màster de professorat de secundària i professorat de batxillerat de física i en tots dos casos han trobat dificultats en interpretar el punt d'equilibri, com a aquell en el qual la velocitat és màxima i l'acceleració és zero, perquè els mòduls de les dues forces que actuen sobre el saltador (suposem que la força de fregament amb l'aire és negligible) són d'igual intensitat (pes i força recuperadora). La majoria del professorat i l'alumnat associen la velocitat màxima al punt on comença a estirar-se la corda; i, per tant, que la velocitat disminueix a partir d'aquest moment.

Una altra dificultat que troben els alumnes és considerar que, en el moment que el saltador reboti, la velocitat i l'acceleració han de ser nul·les,

perquè per a ells no és possible una situació de repòs i no equilibri ($v=0$ i $a\neq 0$).

Abans de fer les prediccions dels gràfics, es podria optar per comentar amb els alumnes els punts i trams més significatius del salt, o que ells mateixos intentin interpretar els gràfics que obtindran experimentalment del salt i tornin a analitzar els punts més rellevants i les forces implicades.

Un cop els alumnes han fet les seves prediccions, duen a terme l'experiment. Es pot fer de dues maneres, depenent del material del qual es disposi;

Opció 1: utilitzar un sensor de distància

En el cas de que hagi un sensor de distància adient (tipus Vernier) es deixa caure el pot amb una massa de 50g (que modelitza el nostre saltador) lli-

gat a una corda de 50cm des d'un altura d'uns 2 metres i s'enregistren les posicions amb una freqüència de 30 mesures per segon.

En la figura 3 es mostren el gràfic de la posició en funció del temps que es pot obtenir i els gràfics velocitat-temps i acceleració-temps resultants de l'anàlisi de l'anterior.

Opció 2: utilitzar un programa d'anàlisi de vídeo com el Multilab.

Si no es disposa d'aquest material es pot fer una gravació de vídeo i llur anàlisi posterior amb el programa, per exemple, Multilab. A la figura 4 es poden veure els gràfics obtinguts amb aquest procediment.

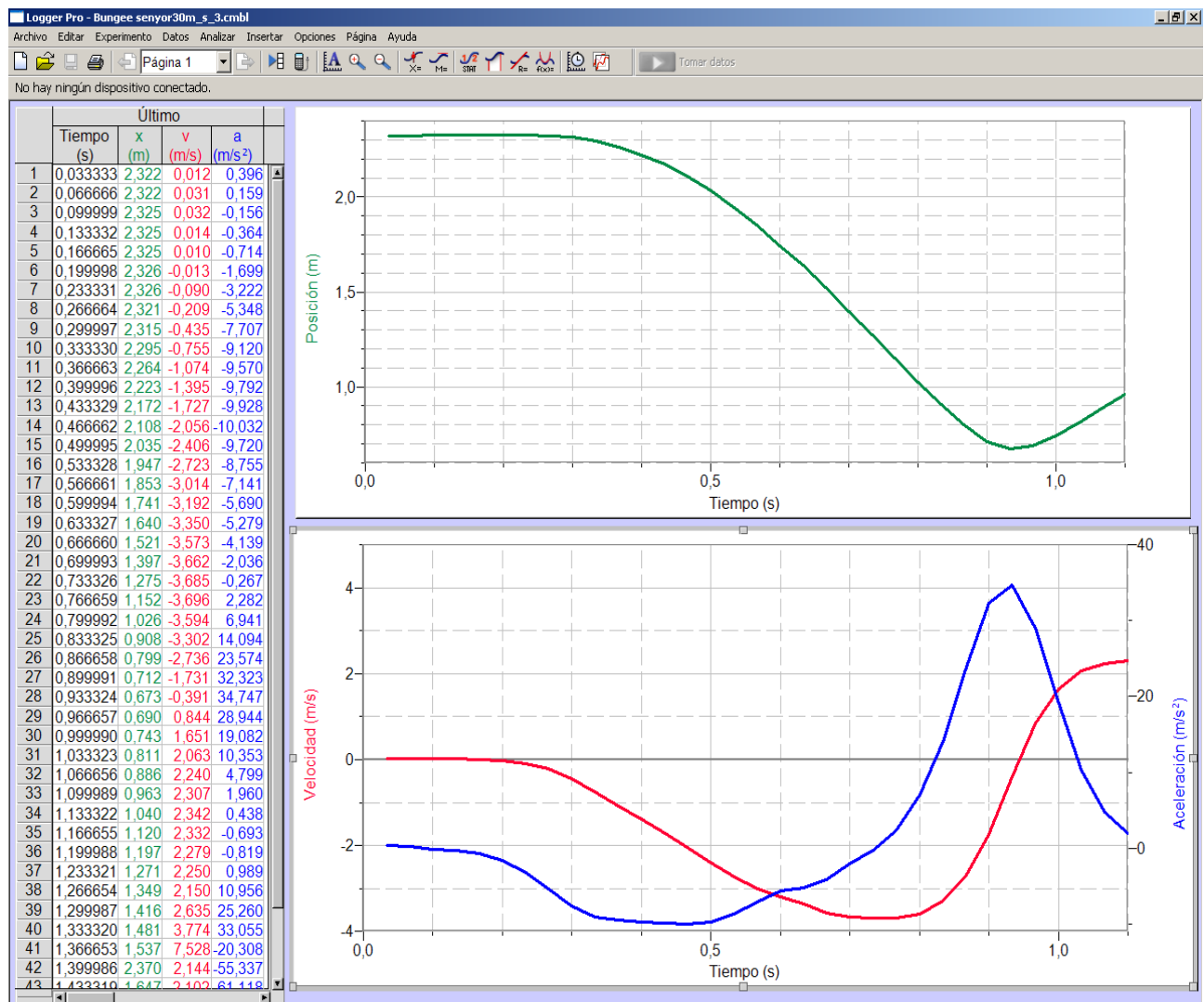


Figura 3. Gràfics posició-temps, velocitat-temps i acceleració-temps amb Vernier

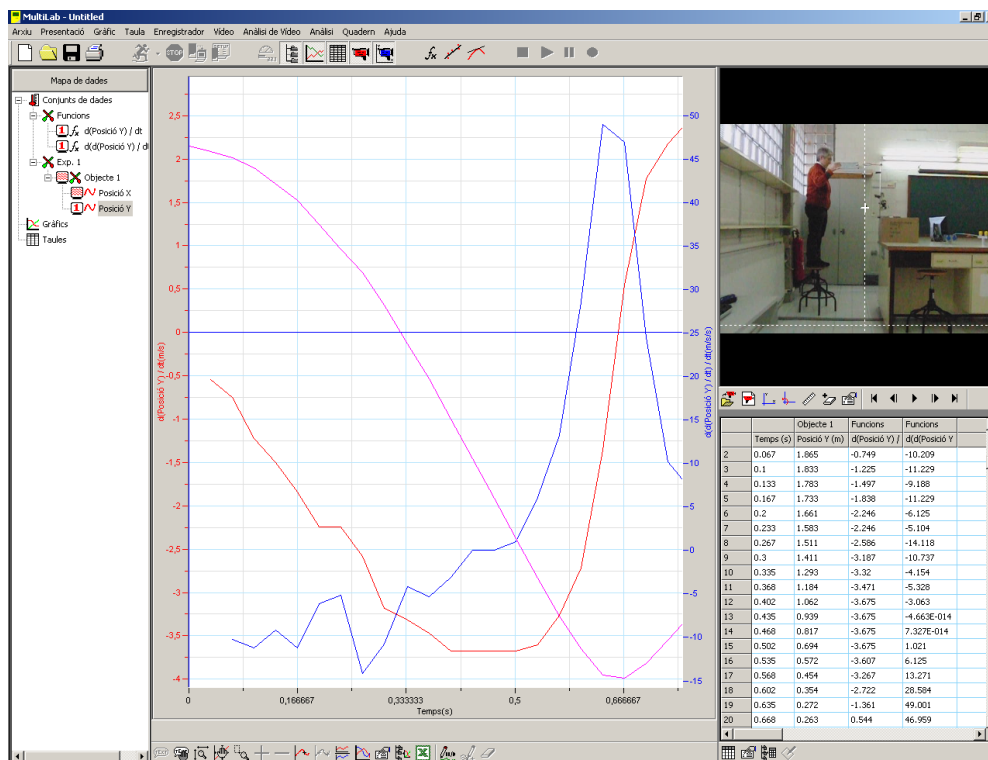


Figura 4. Gràfics posició-temps, velocitat-temps i acceleració-temps obtinguts amb l'anàlisi de vídeo del multilab.

3.- Anàlisi energètica del problema

Els gràfics obtinguts permeten als alumnes comparar els resultats obtinguts amb les seves prediccions. Els mateixos gràfics ofereixen també la possibilitat que els alumnes facin una anàlisi energètica del problema.

Per fer tot això es demana als alumnes que asenyalin els punts més significatius sobre els gràfics, dividint el salt en els trams que considerin més representatius i que comparin el que han obtingut amb les seves prediccions.

Es poden distingir 3 zones limitades pels punts A, B, C i D, com s'observa a la imatge 4.

L'anàlisi acurada del gràfic de la figura 5, es pot desglossar de la següent forma:

- El punt A és el de sortida. Els alumnes no tenen cap dificultat en associar-lo a una velocitat nul·la i, per tant, a una energia cinètica també zero.
- En el tram A-B la velocitat del saltador augmenta amb acceleració constant (la

gravetat) ja que només actua la força de la gravetat i augmenta l'energia cinètica.

- En el punt B la corda comença a estirar-se.
- En el tram B-C actuen dues forces. La força de la gravetat i la força elàstica que va augmentant a mesura que la corda s'allarga. L'acceleració és variable i de sentit cap a avall, com a resultat de les forces que actuen sobre el saltador, i va disminuint fins al punt C. La velocitat continua augmentant. A nivell energètic augmenta l'energia cinètica, disminueix l'energia potencial gravitatòria i augmenta l'energia potencial elàstica.
- En el punt C podem observar a partir del gràfic que la velocitat és màxima i l'acceleració és zero. És el punt d'equilibri, on la força recuperadora i el pes són iguals en magnitud.
- En el tram C-D el cos continua baixant, l'acceleració augmenta però amb sentit cap amunt, com la força resultant entre la força

recuperadora i el pes (la primera és major que la segona), la velocitat comença a disminuir en mòdul i, a nivell energètic, disminueix la cinètica, augmenta la potencial elàstica i disminueix la potencial gravitatòria.

equilibri). A nivell energètic la cinètica és nul·la, la potencial gravitatòria és mínima i la potencial elàstica màxima.

Per ordenar la informació obtinguda es proposa als alumnes que sintetitzin en una taula tota la informació que han anat trobant (taula 1).

- Per últim, el punt D és el més baix, on el saltador rebot. La velocitat és zero i l'acceleració màxima (situació de repòs i no

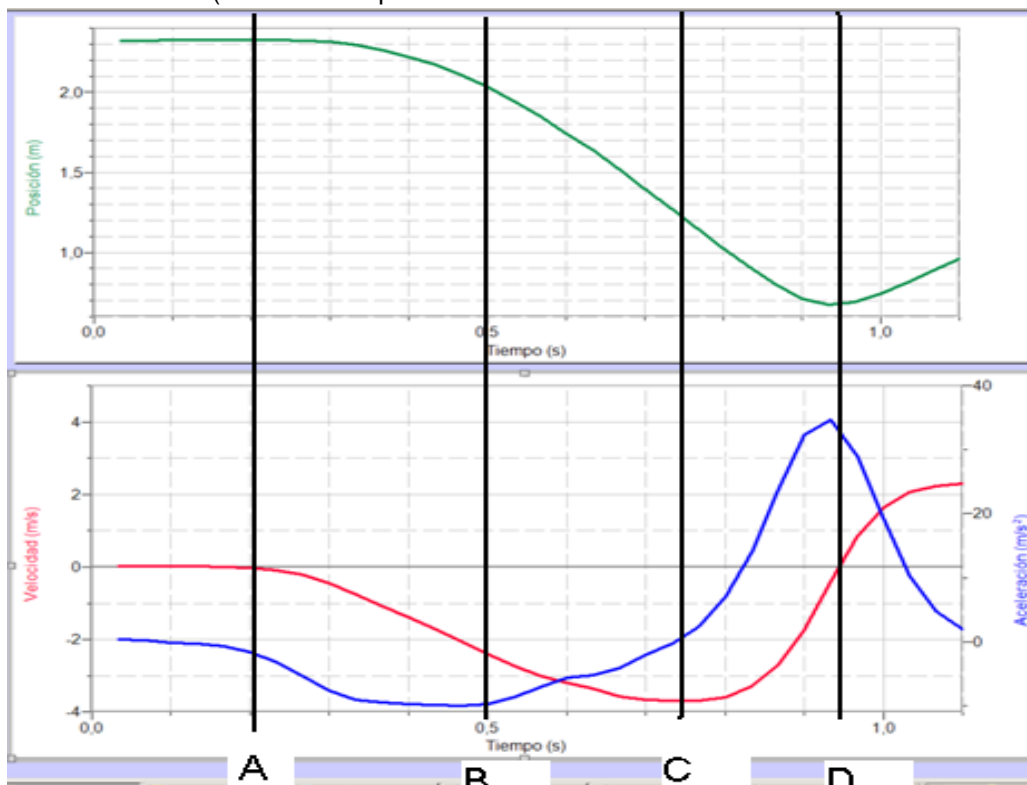


Figura 5. Demarcació de les zones més rellevants del salt de bungee.

Punt / tram	Velocitat*	Acceleració*	Forces**	Energia cinètica	Energia potencial gravitatòria	Energia potencial elàstica	Energia mecànica
A							
A-B							
B							
B-C							
C							
C-D							
D							

* Zero? Augmenta? Disminueix? Constant? Màx? Mín?

** Compareu les intensitats de les forces

Taula 1. Síntesi de l'anàlisi dels conceptes treballats en l'activitat.

4-Transferència dels coneixements apresos.

Com a part del cicle d'aprenentatge es proposa als alumnes que utilitzin el que han après per analitzar alguns aspectes.

a) Es compleixen les mesures de seguretat?

Una vegada identificat el punt de màxima acceleració a partir del gràfic, es demana als alumnes que trobin l'acceleració màxima i, tenint en compte uns límits de seguretat, que analitzin si és segur aquest moviment. El cos humà pot suportar sense cap entrenament fins a acceleracions de 3,5 vegades la gravetat. Algunes atraccions de parcs temàtics arriben a una acceleració de 3g. En aquest cas el model de saltador arriba al límit: 3,5g.

Aquest context permet qüestionar a l'alumne què cal fer per aconseguir un salt segur a una persona amb un pes elevat. Els alumnes responen amb certa facilitat que el que cal fer és afegir més cordes d'acord al que ja han vist a l'inici de l'activitat.

b) Des de quina alçada podem deixar caure el nostre saltador perquè el salt sigui emocionant, és a dir, arribi just per sobre del terra?

A partir de les dades que han obtingut es proposa als alumnes que esbrinin quina serà l'alçada més adient per tenir un salt emocionant, que s'arribi just a terra (es deixa una distància de seguretat) i se'ls demana que ho comprovin. Si han fet els càlculs correctes, el salt del seu model serà reeixit. En aquest cas els alumnes es veuen reforçats anímicament ja que, a partir "d'un joc" els alumnes veuen que la física els permet arribar al resultat desitjat.

c) Aplicació

Per acabar l'activitat es proposa un exercici en el qual es fan una sèrie de preguntes relacionades amb el context inicial perquè trobin diferents valors de magnituds tot aplicant la segona llei de Newton i el principi de conservació de l'energia.

CONCLUSIONS

Aquesta activitat ha estat experimentada en diversos centres de secundària amb alumnes de 1r de batxillerat i ha servit per introduir el concepte de la força elàstica que fa una corda com a primera força no constant estudiada a secundària a través d'un context proper als alumnes com és el d'un salt de *bungee*.

Primerament analitzant els factors dels que depèn l'elasticitat d'una corda i a continuació el propi salt, l'alumne dissenya, prediu, experimenta, analitza i treu conclusions, aplicant els continguts apresos.

S'han detectat dificultats dels alumnes a l'hora de transferir les seves idees sobre la manera com actua una força constant a la manera com actua una força variable com és el cas de la força elàstica. Amb aquesta experiència es dedueix que és millor començar per l'estudi de les forces aplicades sobre un cos per poder analitzar posteriorment el seu moviment; a partir d'aquesta anàlisi, predir el gràfic de la seva acceleració en funció del temps i, a continuació, els gràfics de les magnituds velocitat-temps i posició-temps.

També han tingut dificultats a l'hora de trobar de quins factors depèn l'elasticitat d'una corda, en particular la seva dependència de la longitud inicial perquè la constant d'elasticitat és constant per unitat de longitud. S'ha comprovat que ha estat molt satisfactori treballar amb un model de molles en sèrie per comprendre la dependència que l'elasticitat té de la variable longitud.

Per últim, una altra dificultat significativa i generalitzada també entre el grup de professors ha estat el considerar la velocitat màxima del salt en el moment en que la corda comença a allargar-se i no en el punt d'equilibri, moment en que la resultant de les forces és nul·la i a partir del qual la força recuperadora de la corda és major que el pes del saltador.

Amb aquesta seqüència els alumnes han pogut respondre la pregunta de si el salt que se'ls plantejava era segur, a partir del coneixement dels paràmetres que defineixen un salt segur, segons els límits d'acceleració que el cos humà pot suportar.

Els alumnes han valorat molt positivament la metodologia emprada a partir d'una activitat inicial com la descrita basada en un cicle d'indagació en la que es treballen els continguts més significatius de la unitat.

AGRAÏMENTS

El disseny final d'aquesta activitat ha estat realitzat gràcies a la participació en el Projecte DIATIC (CRECIM, UAB), però no podem deixar de recordar tots els protocols anteriors elaborats pel grup de professors de física en context de batxillerat que han estat la gestació d'aquest últim. I sobretot, volem agrair als nostres alumnes llur paciència i el

seu constant entusiasme a participar en experimentar nous materials.

BIBLIOGRAFIA

HERRERAS, L.; OLIVELLA, J. (2013) *Un salt de puenting o bungee jumping segur*. [Article en línia]. Revista Recursos de Física (en publicació).

<http://www.rfisica.cat/index.htm>

OLIVELLA, J. , HERRERAS, L. et al. (2012) *Materials digitals de Física en context de batxillerat* [Article en línia].

<https://sites.google.com/a/xtec.cat/fisicaencontext/>