

TECNOLOGIES DE LA INFORMACIÓ APLICADES AL LABORATORI DE FÍSICA

Àngeles Gil Reyes, Carolina Espinosa Candela, Tania Sànchez Macià¹

Introducció

Les tecnologies de la informació i la comunicació (TIC) estan cada vegada més presents en la vida quotidiana i a l'escola. En el treball teòric i experimental que presentem, hem aplicat les TIC a dues pràctiques de l'àrea de Física. Hem fet servir telèfons mòbils amb càmera, Internet, fotointerruptors connectats a calculadores programables i software de lliure distribució per a l'anàlisi de problemes físics per mitjà del vídeo (<http://www.scf-iec.org/revista/num29/carnicer.pdf>).

Les característiques dels equipaments i software esmentats ens han permès el següent:

- a) Adquirir informació prèvia per al disseny i orientacions per a la fonamentació teòrica de l'experiència en poc temps (<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/solido/pendulo/pendulo.htm>).
- b) Intercanviar informació entre els membres del grup i el tutor, sense que calgueren sessions presencials.
- c) Fer mesures més precises que les realitzades per mètodes habituals.
- d) Obtenir resultats experimentals amb rapidesa i facilitat.
- e) Possibilitat de repetir les mesures sense dificultats.

En definitiva les TIC ens han permès dedicar més temps a intercanviar, contrastar i manipular idees. D'altra banda, l'automatització en la presa de dades ha fet possible que ens plantejem experiències més complexes que les tradicionals. Així, per exemple, en prendre les dades del pèndol físic que hem analitzat no es tarda més que en fer l'estudi

¹ Alumnes de Física en 2n BAT durant el curs 2005/06 a l'IES Sixto Marco d'Elx (Baix Vinalopó).

del pèndol matemàtic amb el cronòmetre de mà. Sens dubte, l'estudi del pèndol físic, en incloure com a cas particular el pèndol matemàtic, és molt més ric que aquest.

I) Pèndol no-intuïtiu

Objectiu

Construir un pèndol físic amb una vareta i una esfera que pugui desplaçar-se al llarg d'aquesta (veure figura 1). Estudiar la relació entre el període, T , i la distància, x , de l'eix de gir al centre de l'esfera del pèndol físic.

Fonaments teòrics

Aquesta experiència es proposa, tot i que amb un muntatge diferent, en <http://www.fisicarecreativa.com/guias/nointuitivo.pdf>.

El pèndol físic és un sòlid que oscil·la al voltant d'un eix fix. Quan es desplaça un angle θ de la posició d'equilibri i s'allibera, sobre el sòlid apareix el moment del pes, que té signe contrari al desplaçament i tracta de restituir-lo a la posició d'equilibri.

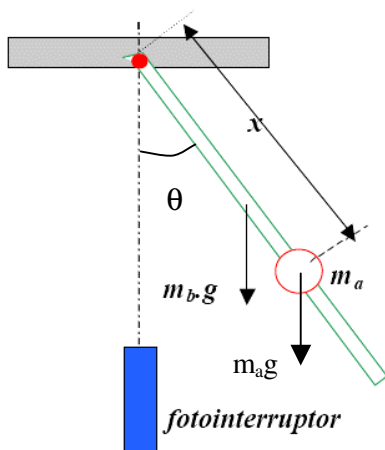


Figura 1: Esquema del pèndol físic i disposició del fotointerruptor.

Sabem que el moment, \mathbf{M} , d'una força, \mathbf{F} , el punt d'aplicació de la qual dista, \mathbf{r} , de l'eix de gir es defineix com, $\mathbf{M} = \mathbf{r} \wedge \mathbf{F}$, i el mòdul és $M = r F \sin \theta$

En el nostre cas, el mòdul del moment total restaurador, és,

$$M = - (x m_a g \sin \theta + L/2 m_b g \sin \theta)$$

Notem que M té sentit oposat a l'angle desplaçat, θ .

Per altra banda, si tenim en compte l'equació fonamental de la dinàmica de rotació del sòlid rígid,

$$\mathbf{M}_{ext} = \frac{d\mathbf{L}}{dt}, \text{ i com que } \mathbf{L} = I\boldsymbol{\omega}, \text{ també pot escriure's en la forma } \mathbf{M} = I\boldsymbol{\alpha}, \text{ si el moment}$$

d'inèrcia, I , és constant, com en el nostre cas.

Quant al moment d'inèrcia trobem que $I_{\text{vareta respecte extrem}} = \frac{1}{3} m_b L^2$ i $I_{\text{esfera}} = m_a x^2$ (suposem la massa de l'esfera concentrada en un punt, veure observació

5). Aleshores el moment d'inèrcia total serà el següent:

$$-(x m_a g \sin \theta + L/2 m_b g \sin \theta) = (\frac{1}{3} m_b L^2 + m_a x^2) \alpha$$

Hem estudiat primer el cas d'angles petits, no superiors a 10° , per tant podem considerar l'aproximació $\sin \theta \approx \theta$. En conseqüència,

$$-(x m_a g \theta + L/2 m_b g \theta) = (\frac{1}{3} m_b L^2 + m_a x^2) \alpha$$

És a dir,

$$\alpha + \left[\frac{x m_a g + \frac{L}{2} m_b g}{\frac{1}{3} m_b L^2 + m_a x^2} \right] \theta = 0$$

Si anomenem $k = \frac{x m_a g + \frac{L}{2} m_b g}{\frac{1}{3} m_b L^2 + m_a x^2}$, l'equació anterior es pot escriure en la forma

$\alpha + k\theta = 0$, o $\frac{d^2\theta}{dt^2} + k\theta = 0$. Per analogia amb el MHS, la solució d'aquesta darrera

equació és $\theta = A \sin(\omega t + \varphi_0)$. Si la derivem dues vegades respecte del temps i

substituïm en $\frac{d^2\theta}{dt^2} + k\theta = 0$ s'obté $-A \omega^2 \cdot \sin(\omega t + \varphi_0) + k A \sin(\omega t + \varphi_0) = 0$.

D'on $k = \omega^2$. Si tenim en compte que $\omega = \frac{2\pi}{T}$ i el valor de k, obtenim finalment

l'expressió que ens relaciona el període amb la posició, variables, de l'esfera respecte de l'eix de gir, x,

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\frac{1}{3} m_b L^2 + m_a x^2}{g(x m_a + \frac{L}{2} m_b)}}$$

Com que el moviment del pèndol depèn de la intensitat de la gravetat, g , els valors del període varien amb la localització geogràfica, és més o menys intensa segons la latitud i l'altitud. Sabem que la nostra localitat, Elx, es troba a una latitud $\varnothing = 38^\circ 15' 24N$ i a una altitud $H = 0,086 \text{ km}$ (<http://www.meteoelche.com/>). Si substituïm aquestos valors en la fórmula (*Handbook of Chemistry and Physics*)

$$g = 9,780356 (1 + 0,005288 \sin^2\varnothing - 0,0000059 \sin^2 2 \varnothing) - 0,003086H$$

obtenim un valor de $g = 9,79981 \text{ N/kg}$ que hem utilitzat en els nostres càlculs.

Hipòtesi intuïtiva

A cop d'ull, el sentit comú ens fa pensar que en augmentar la x , augmentarà també el moment d'inèrcia del sistema degut a que I és proporcional al quadrat d' x

$$I = \frac{1}{3} m_b L^2 + m_a x^2 . I, \text{ a més, caldria esperar que el període augmente en augmentar } x.$$

Si això fos així ens portaria a esperar una gràfica (figura 2) de les característiques següents:

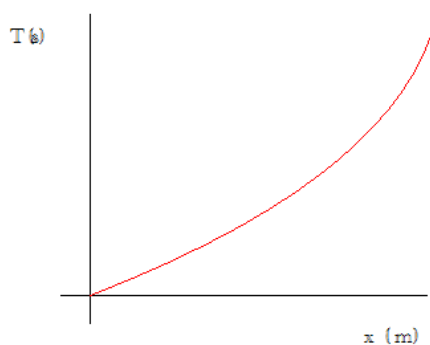


Figura 2: Gràfica de T en funció d' x , si suposem proporcionalitat entre el període i x^2 .

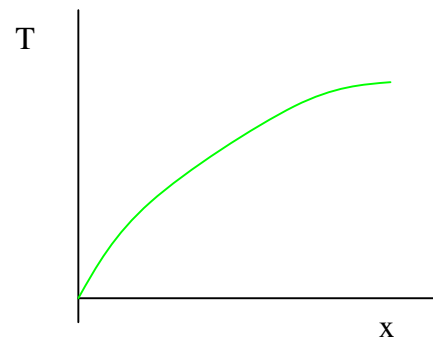


Figura 3: Gràfica de T en funció d' x , si suposem comportament de pèndol matemàtic.

D'altra banda, si suposàvem que el comportament és semblant al pèndol matemàtic, la gràfica de la variació de T amb x s'assemblaria a la de la figura 3.

La relació vertadera, però, com aviat comprovarem, i es desprèn també de l'anàlisi teòrica anterior, evidencia que el resultat real no és intuïtiu.

Muntatge

Materials

(<http://www.ua.es/dfa/agm/lac/LAC-2n-ms.htm>,

<http://www.vernier.com/mbl/>)

Transportador d'angles Fotointerruptor

Suports

CBL, TI-83



Cinta mètrica

Balança de precisió

Clau (eix)

pèndol

Oli



Vista general del muntatge



Característiques

1. Característiques més idònies del pèndol per a fer l'experiència:
 - La massa de la vareta i la del cos adjunt són comparables, tot i que no és imprescindible aquesta condició.
 - Fàcil mobilitat de la massa per la barra.
 - Evitar al màxim la fricció del conjunt (triar una esfera com a cos adjunt del pèndol i una vareta d'allò més prima possible). Lubricar la superfície de contacte entre la barra i l'eix.
2. Recollir els materials i adaptar-los a les nostres necessitats:
 - Triar com a barra una vareta roscada de manera que la massa es desplaça gràcies a una femella.
 - Foradar l'esfera per un diàmetre, per a poder-la desplaçar al llarg de la vareta. Foradar també un extrem de la barra per passar-hi un eix.
3. Construir el muntatge:
 - Es subjecta el suport a la taula.
 - Suspenem el pèndol al suport.
 - Es col·loca un transportador a la part superior del suport i baix de l'extrem oscil·lant un fotointerruptor connectat a l'equipament CBL i la calculadora gràfica TI-83 (<http://www.ua.es/dfa/agm/lac/LAC-2n-ms.htm>).
 - Es programa la TI-83: ON – PROGRAM PHYSICS – ENTER – ENTER – SET UP PROBES – ONE – MORE – MORE – PENDULUM – ENTER – MOTION – COLLECT DATA – ESTIMATE NUMBER OF REVOLUTIONS - 10 – ENTER.
4. Recollir dades.

5. Analitzar els resultats.
6. Comparar els valors pràctics i els teòrics

Funcionament

Cal dir al respecte del funcionament que les noves tecnologies (com el fotointerruptor, la CBL, la TI-83) juguen un paper clau en aquesta experiència, ja que ens permeten obtenir unes dades de gran precisió i així evidenciar anomalies que romandrien ocultes si els enregistraments de temps es feren amb un cronòmetre manual.

Col·loquem l'esfera en l'extrem inferior de la barra. Desplacem el pèndol un angle de 10° mesurat gràcies al transportador. L'alliberem i aquest en oscil·lar interromp el senyal de llum que emet el fotointerruptor. Aquesta informació elèctrica es enregistrada pel CBL que la interpreta i l'envia a la calculadora programable, la qual fa la mitjana de les 10 oscil·lacions i dóna finalment el període.

A més, per a reduir l'error experimental, repetim el procediment anterior cinc vegades per a cada distància, x , i traiem la mitjana. Cal dir que el conveni que vam establir entre mesura i mesura era de 3 centímetres.

Mesures

Massa de la vareta, $m_b=0,058662\pm 0,000001$

X(m)	T(s) experimental	T(s) teòric
0,028	1,075	1,090
0,058	1,034	1,047
0,088	1,013	1,022
0,118	1,003	1,013
0,148	1,007	1,015
0,178	1,015	1,025
0,208	1,035	1,043
0,238	1,058	1,065
0,268	1,084	1,091
0,298	1,111	1,120
0,328	1,142	1,151
0,358	1,177	1,183
0,388	1,211	1,217
0,418	1,243	1,251
0,448	1,279	1,285
0,478	1,314	1,320

kg, massa de l'esfera, $m_a= 0,067787\pm 0,000001$ kg i la longitud de la vareta= $0,495\pm 0,001$ m,

Taula 1: *Valors experimentals i teòrics del període del pèndol no intuïtiu.*

Variació de T respecte de x $T=f(x)$

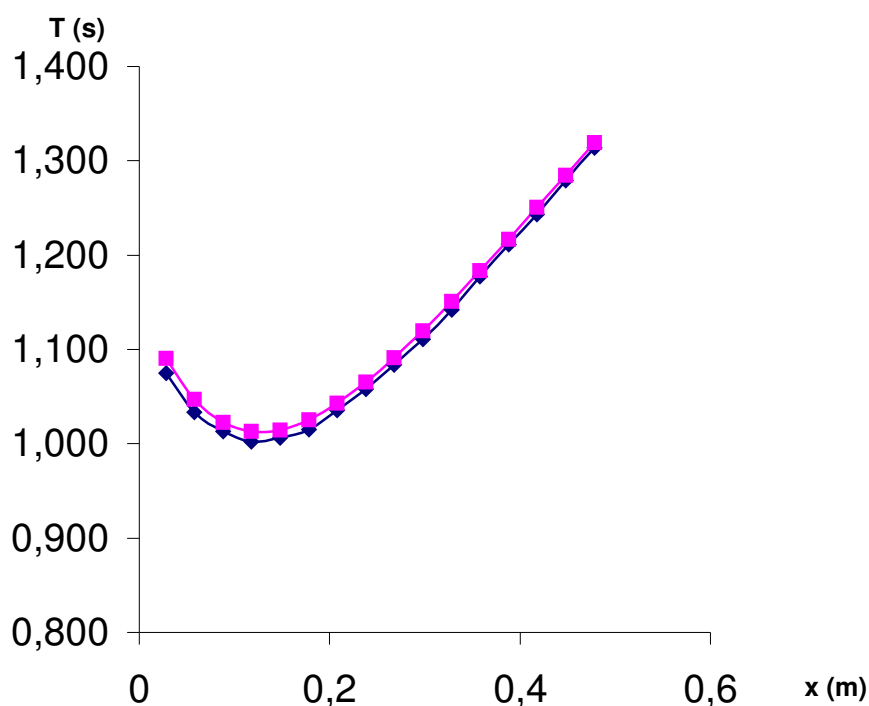


Figura 4: Representació gràfica dels valors experimentals, en blau, i dels teòrics, rosa, del període, T, en funció de la posició, x, de l'esfera respecte de l'eix de gir.

Anàlisi dels resultats i contrastació d'hipòtesis

Com es pot observar en primer lloc, el resultat està lluny del comentat en l'apartat hipòtesi intuïtiva.

D'altra banda la gràfica de la figura 4 mostra clarament que els valors teòrics s'acoblen bé als experimentals. La coincidència és major a mesura que augmenta la distància de l'esfera a l'eix de gir.

En la gràfica anterior, observem que de la distància 0,028 fins a 0,118 decreix el període, i per a aquesta última, T pren el valor mínim enregistrat, 1,003 s. A partir d'ací T creix amb x. Més precisament, hem derivat l'expressió general anterior $T=f(x)$ i l'hem igualat a zero per a trobar el valor d'x que fa mínima aquesta funció, en el nostre cas $x = 0,127$ m.

Quan x tendeix a zero el període teòric predit és $T = 2\pi\sqrt{\frac{2L}{3g}}$, és a dir, de 1,153s, resultat cap a on tendeix el valor experimental, i que torna a prendre per a $x=0,328$ m. El mateix període, $T = 2\pi\sqrt{\frac{2L}{3g}}$, s'obté si la massa de l'esfera, m_a , tendeix a zero o el que és el mateix, T no depèn d' m_a per a aquest valor d' x . Un altre resultat aquests no gens intuïtiu, és a dir, el període del sistema barra i esfera en $x=0,328$ m, és el mateix que el de la barra sola, com es dedueix teòricament i hem comprovat experimentalment. La gràfica de la figura 5 evidencia aquest sorprenent resultat.

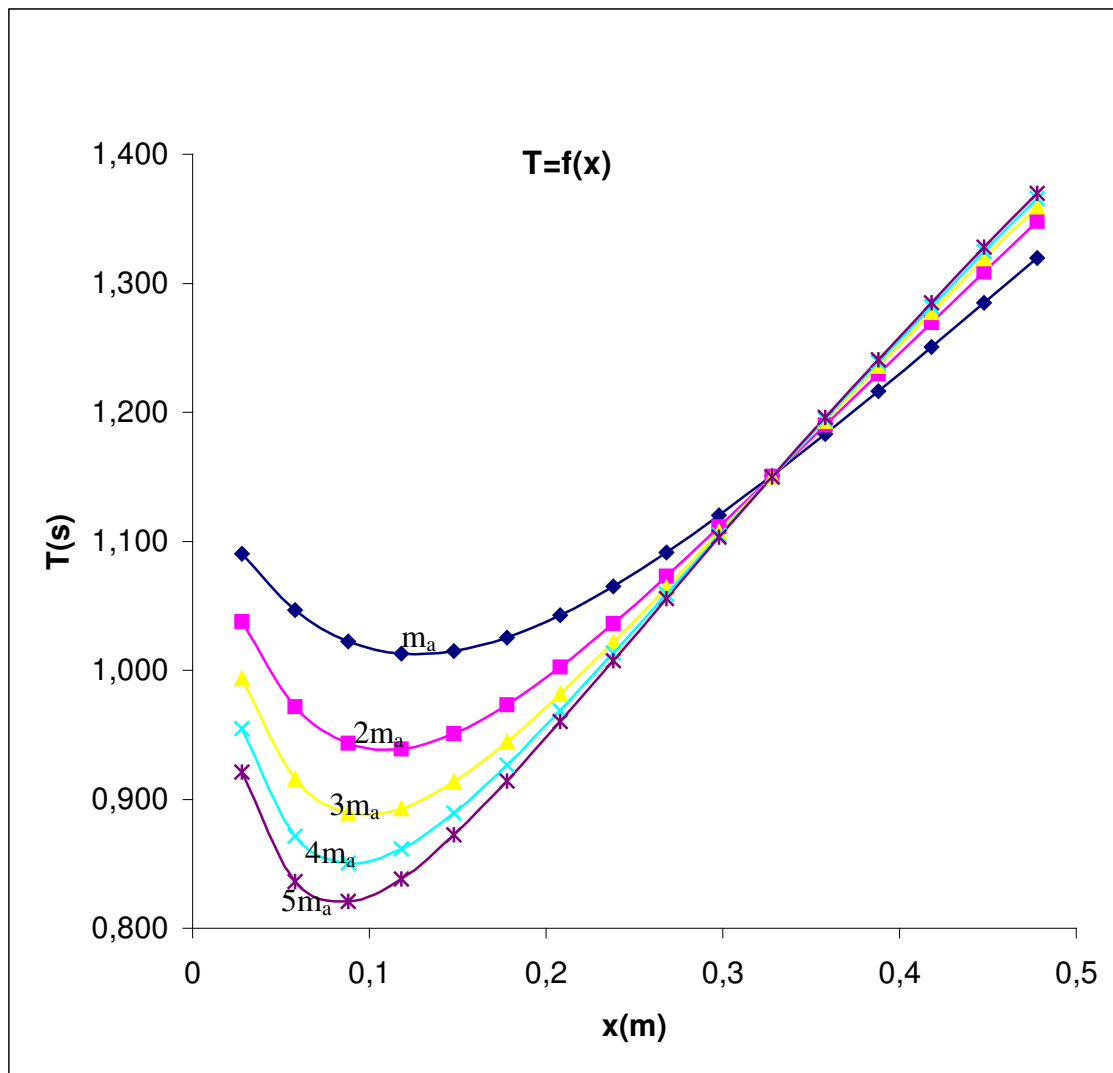


Figura 5: Representacions de les funcions teòriques $T = f(x)$ per a masses diferents de l'esfera: m_a , $2m_a$, $3m_a$, $4m_a$, $5m_a$. Totes les funcions $T=f(x)$ es tallen el punt, $x = 0,328$ m, per al qual els períodes coincideixen, és a dir, T no depèn de la massa.

A mesura que augmenta la massa de l'esfera, si les altres variables romanen constants, el valor mínim del període disminueix i això ocorre per a un valor d' x que tendeix a zero. Tant la gràfica anterior com la taula següent evidencien aquest resultat:

m_a	$x(m)$	$T_{\min}(s)$
m_a	0,127	1,012
$2 m_a$	0,109	0,938
$3 m_a$	0,098	0,888
$4 m_a$	0,089	0,850
$5 m_a$	0,083	0,820

Figura 6: *Coordenades del mínim de la funció $T=f(x)$ per a diversos valors de la massa de l'esfera, on $m_a = 0,067787 \pm 0,000001$ kg*

Per altra banda si suposem $m_a \gg m_b$ i $x = L$, aleshores el període tendeix a

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{x}{g}}, \text{ expressió que correspon al pèndol matemàtic}$$

D'una banda, la part creixent a la gràfica era d'esperar tal com hem formulat a la hipòtesi, altrament la part decreixent és la que caracteritza a aquest tipus de pèndol, és a dir, al pèndol no intuïtiu. Ja que a primera vista no era previsible que augmentant la distància el període disminuïra, ni que el període del sistema per a $x = 0,328$ m fora el mateix que el de la barra sola, amb independència de la massa de l'esfera que hi pengem.

Observacions

- Que la barra no toque amb el cap del clau que fa d'eix.
- Assegurar-se que el pèndol oscil·la en un pla .
- La barra no ha de colpejar el fotointerruptor.
- En el moment d'oscil·lació del pèndol no ha d'haver corrents d'aire.
- És bona l'aproximació de considerar el moment d'inèrcia de l'esfera respecte de l'eix de gir com el d'una massa puntual com es mostra en la taula de valors següent:

$I=Mx^2$	53,145	222.035	524.943	943.866	1484.806	2147.763	2932.737	3839.727	...
$I=2/5MR^2+Mx^2$	53,145	222.035	524.943	943.866	1484.806	2147.763	2932.737	3839.727	...
Mx^2									

On $I=Mx^2$ és el moment d'inèrcia d'una massa puntual, M, igual a l'esfera i a x metres de l'eix de gir. $I=2/5MR^2+Mx^2$ és el moment que resulta d'aplicar el teorema de Steiner, i on R és el radi de l'esfera i $2/5MR^2$ el moment d'inèrcia de l'esfera respecte d'un diàmetre.

Conclusions i propostes de futur

La relació que prediu la mecànica entre el període, T, d'una esfera solidària a una vareta que oscil·la al voltant d'un eix que passa per un extrem d'aquesta s'ajusta als resultats experimentals.

El pèndol físic considerat presenta una desviació respecte de la relació intuïtiva esperada entre el període i la distància a l'eix de gir a la posició de l'esfera, x: Per a $0 \leq x \leq 0,118$ m, el valor de T disminueix en augmentar la distància x.

En augmentar la massa de l'esfera el valor mínim del període disminueix.

És un resultat inesperat que el període de la vareta és el mateix amb independència de la massa col·locada en un punt determinat, $x=0,328$ m.

S'ha iniciat l'estudi de l'experiència anterior aplicant-hi el càlcul d'error, per avaluar amb precisió la comparació que se'n fa entre els resultats experimentals i teòrics.

La relació anterior i l'ajustament entre el model teòric i els valors experimentals s'evidencien de forma clara si hom fa servir un equipament igual o anàleg a l'emprat aquí: enregistrament automatitzat del període d'oscil·lació que aprecia fins la mil·lèsima de segon. Aquesta tecnologia fa possible l'ampliació de l'experiència, com ara estudiar la influència de l'angle màxim d'oscil·lació, influència en el període de la presència de

dues esferes alhora, estudi del període d'una vareta no homogènia, cònica per exemple,
etc.

II) Anàlisi d'un problema de cinemàtica per mitjà del vídeo

Introducció

El programa de lliure distribució *Tracker*, a partir de l'anàlisi i comparació dels diferents quadres d'una seqüència de vídeo, permet obtenir informació sobre la posició, velocitat, etc. d'un mòbil. Artur Carnier fa una descripció del software en <http://www.scf-iec.org/revista/num29/carnicer.pdf> i en <http://www.curiedigital.net> es poden trobar més detalls sobre com instal·lar a l'ordinador tots els programes que calen i com manejar el Tracker.

En la present experiència hem mostrat les potencialitats, i alguna limitació, del programa d'anàlisi de vídeo en l'estudi del moviment real d'una moto.

Descripció de l'experiència i metodologia

L'objectiu de l'experiència reproduir tres tipus diferents de moviment amb una moto, i estudiar-los a partir de l'anàlisi amb el programa *Tracker* dels vídeos realitzats amb una càmera fotogràfica, amb opció de gravació de vídeo.

El lloc més adient per a realitzar la gravació és aquell en què es filma perpendicularment a la trajectòria del mòbil, des del centre aproximadament d'aquesta, i sense variar el pla. Vam mesurar prèviament, per a tindre ficada una distància de referència, la porta que hi havia al costat esquerre de la imatge (veure fletxa de dues puntes de les figures).

Es passà la gravació de la càmera a l'ordinador. El programa Tracker ens permeté assignar la variable temps a l'eix d'abscisses i la posició x , per exemple, a l'eix d'ordenades. Prèviament havíem declarat el valor de la distància de referència. El programa informàtic ens permet fixar un sistema d'eixos de coordenades sobre la imatge i, mitjançant el punter, marcar les posicions que va assolint un punt determinat

de la moto, fotograma a fotograma. Les taules de valors i les gràfiques que facilità el programa a continuació foren les següents:



Figura 1: Reproducció d'un moviment rectilini uniforme (MRU) i marca de cada fotograma indicant-hi la posició d'un element mòbil.

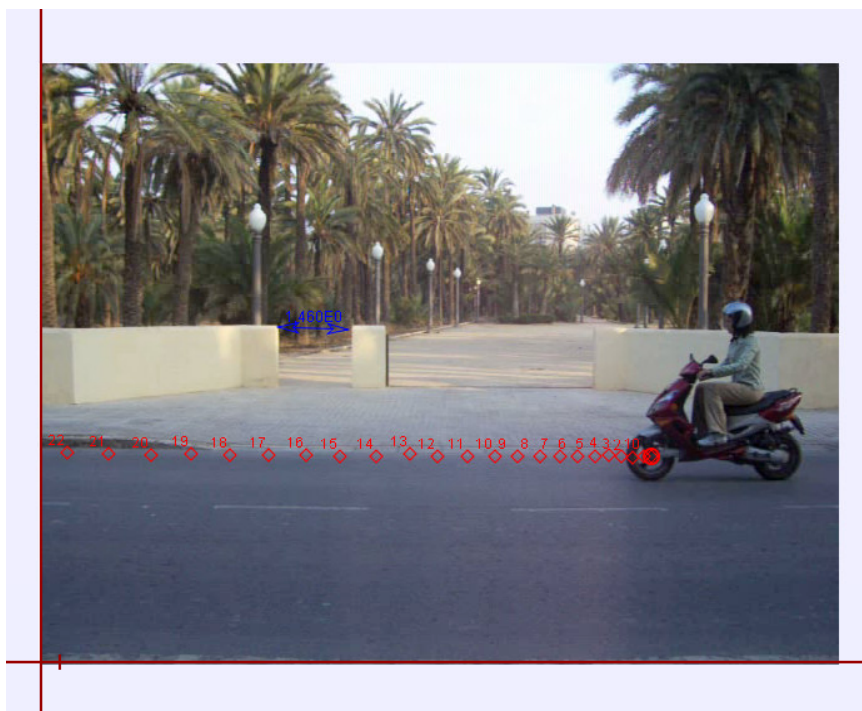


Figura 2: Reproducció d'un moviment uniformement accelerat (MRUA) amb augment de la rapidesa, i marca de cada fotograma indicant-hi la posició d'un element mòbil.

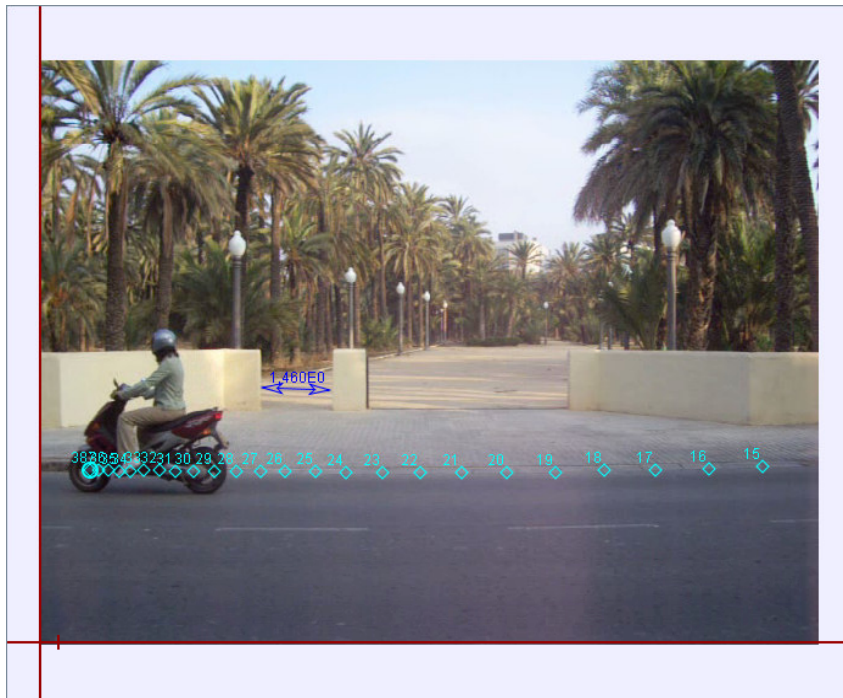
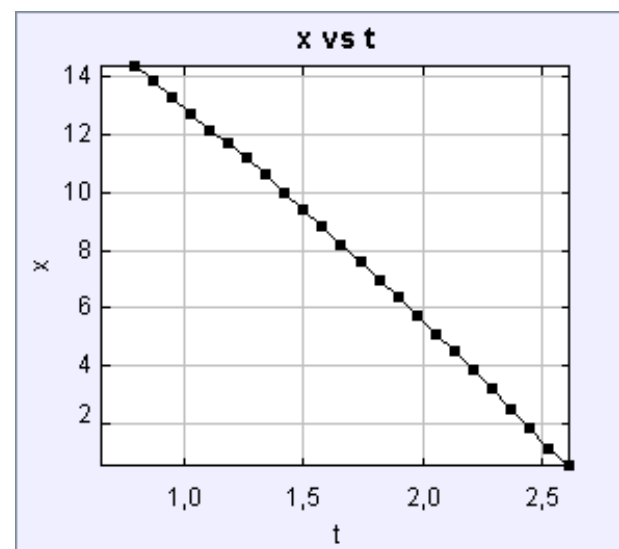


Figura 3: Reproducció d'un moviment uniformement accelerat (MRUA) amb disminució de la rapidesa, i marca de cada fotograma indicant-hi la posició d'un element mòbil.

Resultats experimentals

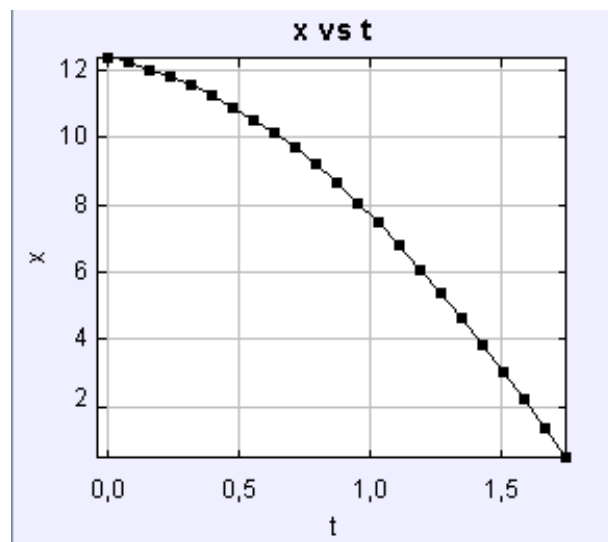
- MRU

t	x	vx	ax
0,79	14,358		
0,869	13,835	-6,921	
0,948	13,265	-7,222	-2,177
1,027	12,694	-7,222	5,441
1,106	12,124	-6,47	4,897
1,185	11,672	-6,169	-1,632
1,264	11,149	-6,921	-7,618
1,343	10,579	-7,372	-3,809
1,422	9,984	-7,523	-1,088
1,501	9,39	-7,523	0
1,58	8,796	-7,523	-1,088
1,659	8,201	-7,673	-0,544
1,738	7,583	-7,673	0,544
1,817	6,989	-7,523	-2,177
1,896	6,395	-7,974	-1,632
1,975	5,729	-7,974	1,632
2,054	5,135	-7,523	1,088
2,133	4,54	-7,824	-4,353
2,212	3,899	-8,275	-3,809
2,291	3,233	-8,426	0
2,37	2,567	-8,275	-1,632
2,449	1,926	-8,576	2,721
2,528	1,212	-8,125	
2,607	0,642		



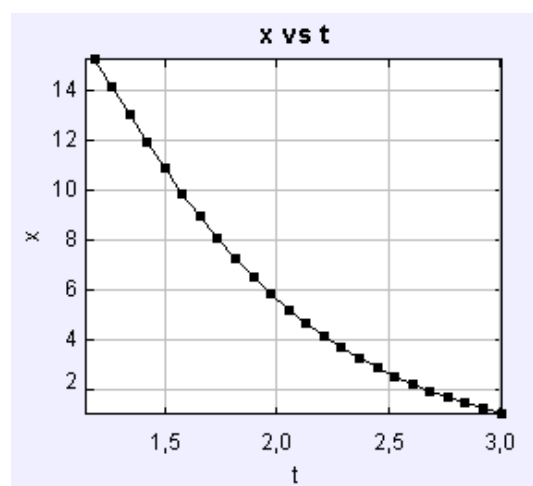
- MRUA (augment de la rapidesa)

t	x	vx	ax
0	12,403		
0,079	12,25	-2,413	
0,158	12,022	-2,895	-4,654
0,237	11,793	-3,056	-2,909
0,316	11,539	-3,378	-6,399
0,395	11,259	-4,021	-6,399
0,474	10,903	-4,504	-5,818
0,553	10,548	-4,826	-5,818
0,632	10,141	-5,469	-5,818
0,711	9,683	-5,791	-6,981
0,79	9,226	-6,434	-9,308
0,869	8,667	-7,4	-5,818
0,948	8,057	-7,4	-4,654
1,027	7,498	-7,882	-8,727
1,106	6,811	-9,008	-6,981
1,185	6,074	-9,008	-2,327
1,264	5,388	-9,169	-4,072
1,343	4,626	-9,812	-5,236
1,422	3,838	-9,973	-2,327
1,501	3,05	-10,134	-4,072
1,58	2,237	-10,617	-3,491
1,659	1,372	-10,778	
1,738	0,534		



- MRUA (disminució de la rapidesa)

t	x	vx	ax
1,185	15,338		
1,264	14,2	-14,406	
1,343	13,062	-14,078	5,92
1,422	11,975	-13,423	5,92
1,501	10,941	-13,096	5,92
1,58	9,906	-12,605	8,881
1,659	8,949	-11,623	12,433
1,738	8,07	-10,641	10,065
1,817	7,268	-9,986	11,249
1,896	6,492	-9,004	10,065
1,975	5,845	-8,185	11,841
2,054	5,199	-7,367	8,881
2,133	4,682	-6,548	8,289
2,212	4,164	-6,221	4,736
2,291	3,699	-5,73	6,513
2,37	3,259	-5,238	7,105
2,449	2,871	-4,584	5,92
2,528	2,535	-4,256	4,736
2,607	2,199	-3,929	5,92
2,686	1,914	-3,274	5,92
2,765	1,681	-2,947	3,552
2,844	1,448	-2,783	2,96
2,923	1,242	-2,456	
3,002	1,06		



Anàlisi dels resultats

- MRU: Hom observa a la imatge que les diferents posicions que va ocupant el mòbil estan separades una mateixa distància, fet que suposa llevar una velocitat constant, ja que els intervals de temps corresponents són també iguals. Quant a la gràfica de la posició front al temps, veiem que aquesta és una recta, forma característica d'aquest tipus de moviment. A partir dels valors de la taula traiem la velocitat mitjana de la moto $\mathbf{v} = -7,55\mathbf{i}$ m/s (el signe negatiu de la velocitat és el que correspon al nostre sistema de referència).
- MRUA (augment de la rapidesa): Les distàncies entre les successives posicions augmenten a mesura que avancem en el temps. La forma de la gràfica de la posició front al temps es correspon amb la forma esperada, una paràbola. Per altra banda la taula de valors mostra que la velocitat augmenta amb el temps, fet que evidencia l'existència d'una acceleració de $\mathbf{a} = -5.30\mathbf{i}$ m/s². La igualtat de signe entre acceleració i velocitat, negatius tots dos, confirma que el moviment és accelerat amb augment de la rapidesa.
- MRUA (disminució de la rapidesa): Les distàncies entre les successives posicions disminueixen a mesura que passa el temps. La forma de la gràfica de la posició front al temps es correspon amb la forma esperada, una paràbola, tot i que de concavitat diferent a l'anterior. Per altra banda la taula de valors mostra que la velocitat disminueix amb el temps, fet que evidencia l'existència d'una acceleració que, en valor mitjà, és de $\mathbf{a} = 7,34\mathbf{i}$ m/s². La diferència entre el signe de l'acceleració i de la velocitat, positiu la primera i negativa la segona, confirma que el moviment és accelerat amb disminució de la rapidesa.

Observacions

En els tres tipus de moviments estudiats s'observa una desviació respecte dels models teòrics previstos. Entre les causes d'aquesta diferència podem suposar la imperfecta qualitat de les filmacions, la dificultat d'assenyalar sobre cada fotograma amb el punter del ratolí l'objecte mòbil, sempre en el mateix punt d'aquest. Potser també, la moto portava moviments aproximats als que hem pres com a model i el programa informàtic està evidenciant les diferències entre el desplaçaments reals i el previstos de reproduir els previstos. Quant a les diferències comentades observem que en el moviment rectilini i uniforme, la velocitat no es manté constant, oscil·la entre $-6,16$ i $-8,57$, no és per tant nul·la l'acceleració, com caldria esperar en el primer cas. L'acceleració en els MRUA tampoc no es manté constant, oscil·la entre $-2,3$ i $-9,30$, en el primer cas i entre $2,96$ i $12,43$ en el segon. Caldria conèixer també la forma en què el programa calcula magnituds com la velocitat i l'acceleració a partir de la posició.

Conclusions provisionals i propostes de futur

El programa d'anàlisi i comparació dels diferents quadres d'una seqüència de vídeo, Tracker, és de lliure distribució i fàcil de manejar. Amb el treball de recerca que hem fet podem afirmar que és útil per a l'estudi de moviments. Les dificultats en obtenir mesures precises limita el camp d'aplicació, per exemple no ens ha resultat vàlid per a fer el treball de recerca sobre el pèndol no intuïtiu, desenvolupat més amunt. El Tracker però, és adient per a les anàlisis semiquantitatives, estimació de característiques bàsiques de molts moviments i determinació de les gràfiques posició-temps de mòbils reals.

Resten moltes hipòtesis per contrastar abans de fer un pronunciament més definitiu sobre les possibilitats que ofereix el Tracker en l'estudi de moviments reals. Apuntem, per abordar pròximament, el comparar les mesures obtingudes amb càmeres diferents.

Agraïments

Al professors Josep Oliver per facilitar-nos els materials per a la construcció del pèndol, a Vicent Soler per orientar-nos en la realització de les experiències i a Teresa López per ajudar-nos amb els seus suggeriments a millorar la redacció final del text.

Bibliografia

Enciclopèdia CD Microsoft *Encarta 99*.

AA. VV. (2003), *Mecànica 2n BAT*, Barcelona: Ed. Everest SA, pàg. 232-233.

SOLER-SELVA, VF, GRAS-MARTÍ, A. (1998) "Laboratori assistit amb calculadora gràfica (LACG)", *Revista de Física*, 5, p. 40-43.

Handbook of Chemistry and Physics (1997-1998), edició 78, New York: CRC Press, p. 14-9.

TIPLER, P. A. (1994), *Física*, vol I, Barcelona: Editorial Reverté, S. A., p. 382-386.