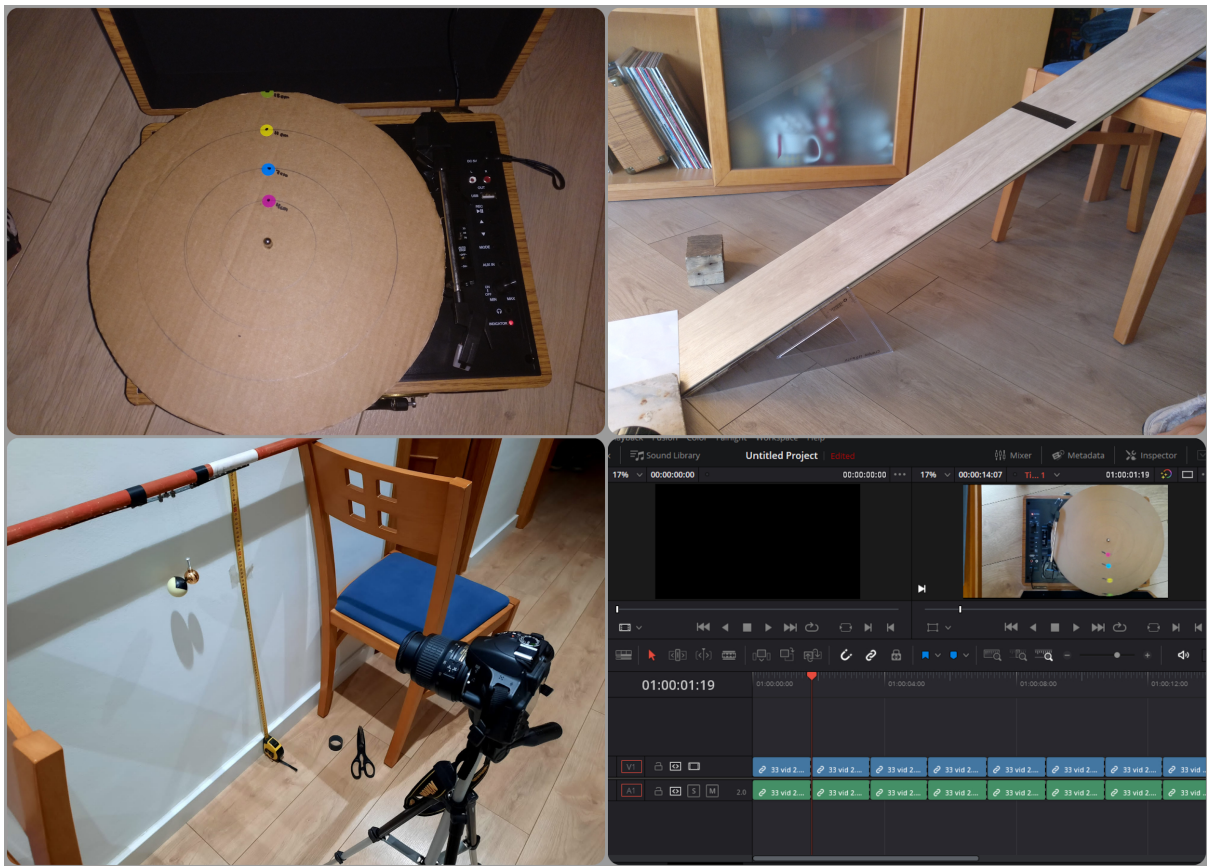


FÍSICA DES DE LA PRÀCTICA

Propostes didàctiques per a primer de batxillerat



HARU

CURS 2020-2021

AGRAÏMENTS

En primer lloc voldria agrair l'orientació i ajuda proporcionada per part de la tutora d'aquest treball. Sense la seva ajuda el treball resultant no seria el que és.

També voldria agrair la col·laboració de qui va ser la tutora d'aquest treball en un inici que em va orientar en la tria del tema i l'enfoc del treball.

Per últim volia agrair als meus amics i família, especialment als meus pares i germà, qui m'han acompanyat i proporcionat suport moral durant tot el procés.

Moltes gràcies a tots i totes.

RESUM

Aquest treball consisteix en l'elaboració de dissenys experimentals i propostes didàctiques del contingut curricular de la física de batxillerat. S'han escollit tres branques de la física clàssica sobre les quals es realitzarà el treball, sent aquestes la cinemàtica, la dinàmica i els xocs i energies.

Els objectius del treball inclouen l'elaboració de tres dissenys experimentals i la redacció de propostes didàctiques per cadascun d'aquests dissenys. Aquestes propostes didàctiques pretenen garantir l'assoliment de coneixements de manera pràctica a l'aula amb l'objectiu de ser completades sense invertir gran quantitat d'hores lectives. Un altre dels objectius principals d'aquest treball és observar la diferència entre els models estudiats a classe i la realitat, ja que per tal de facilitar els càlculs, en física bàsica es treballa amb models ideals que no es corresponen en la seva totalitat amb el món que ens envolta.

Després de dur a terme les tres pràctiques i analitzar-ne els resultats, la conclusió més important que s'ha extret ha estat que majoritàriament els models estudiats a l'aula s'adeqüen amb la realitat de manera més precisa de l'esperada. Tot i així, alguns models emprats es corresponen més que d'altres amb la realitat. S'ha observat que com més complexa és una situació, més factors es negligeixen. Al present treball s'ha pogut notar que la precisió del model utilitzat per estudiar el moviment circular uniforme proporciona resultats més acurats a la realitat que el model utilitzat per estudiar xocs i energies. S'atribueix aquest succés a la omisió del fregament de l'aire o la pèrdua d'energia durant la col·lisió.

RESUMEN

Este trabajo consiste en la elaboración de diseños experimentales y propuestas didácticas del contenido curricular de la física de bachillerato. Se han escogido tres ramas de la física clásica sobre las cuales se realizará el trabajo, siendo estas la cinética, la dinámica i los choques y energías.

Los objetivos del trabajo incluyen la elaboración de tres diseños experimentales y la redacción de propuestas didácticas para cada uno de estos diseños. Estas propuesta didácticas pretenden garantizar la adquisición de conocimientos de manera práctica en el aula con el objetivo de ser completadas sin invertir gran cantidad de horas lectivas. Otro de los objetivos principales de este trabajo es observar la diferencia entre los modelos estudiados en clase y la realidad, ya que para facilitar los cálculos, en física básica se trabaja con modelos ideales que no corresponden en su totalidad con el mundo que nos rodea.

Después de llevar a cabo las tres prácticas y analizar sus resultados, la conclusión más importante que se ha extraído ha sido que mayoritariamente los modelos estudiados en el aula se adecuan con la realidad de manera más precisa a la esperada. Aún así, algunos modelos empleados se corresponden más que otros con la realidad. Se ha podido observar que como más compleja es una situación, más factores son negligidos. En el presente trabajo se ha podido notar que la precisión del modelo utilizado para estudiar el movimiento circular uniforme proporciona resultados más ajustados a la realidad que el modelo utilizado para estudiar choques y energías. Se atribuye este suceso a la omisión de la fricción del aire o la pérdida de energía durante la colisión.

ABSTRACT

This project consists in developing three experimental designs and didactic proposals of high school physics curriculum content. Three branches of physics have been chosen to elaborate the project, including kinetics, dynamics and energy and collisions.

The main objectives of this work involve the generation of three experimental designs plus the creation of a didactic proposal for each one of them. The three didactic proposals aim to guarantee the acquisition of knowledge in a practical way within the classroom. Furthermore, it has been designed to be achieved by investing only a small amount of school hours. Besides, another important goal of this project is to observe the difference between the models studied in class and reality. In order to facilitate the calculations, in basic physics we work with ideal models that do not necessarily correspond with the real world.

After conducting the three experiments and analysing the results, the main conclusion is that, in general, the studied models match theoretical values. However, some models are more in line with reality than others. It has been observed that the more complex a situation, the more factors are neglected. In this work it has been noted that the accuracy of the model used to study uniform circular motion provides more accurate results than the one used to study energy and collisions. These results have been attributed to the omission of air friction and energy loss during collision.

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ	2
2. CINEMÀTICA: Moviment Circular Uniforme (MCU)	4
2.1 MARC TEÒRIC	4
2.1.1 Introducció a la cinemàtica	4
2.1.2 Conceptes i magnituds de la cinemàtica	4
2.1.3 Moviment Circular Uniforme (MCU)	6
2.2 TREBALL EXPERIMENTAL	8
2.2.1 Disseny experimental	8
2.2.2 Resultats i discussió	11
2.3 CONCLUSIONS	18
2.4 PROPOSTA DIDÀCTICA	19
3. DINÀMICA	23
3.1 MARC TEÒRIC	23
3.1.1 Introducció a la dinàmica	23
3.1.2 Conceptes i magnituds de la dinàmica	23
3.1.3 Conceptes de cinemàtica associats al Moviment Rectilini Uniformement Accelerat (MRUA)	25
3.2 TREBALL EXPERIMENTAL	25
3.2.1 Disseny de l'experiment	25
3.2.2 Resultats i discussió	28
3.3 CONCLUSIONS	30
3.4 PROPOSTA DIDÀCTICA	31
4. XOCS I ENERGIES	34
4.1 MARC TEÒRIC	34
4.1.1 Conceptes i magnituds associats als xocs	34
4.1.2 Tipus de xocs	35
4.2 TREBALL EXPERIMENTAL	36
4.2.1 Disseny de l'experiment	36
4.2.2 Resultats i discussió	40
4.3 CONCLUSIONS	44
4.4 PROPOSTA DIDÀCTICA	45
5. CONCLUSIONS	48
BIBLIOGRAFIA I WEBGRAFIA	
ANNEX I: Taules de càlcul	
ANNEX II: Imatges i vídeos	
ANNEX III: Models fitxes didàctiques	

1. INTRODUCCIÓ

Des de fa molts anys he sentit interès per la ciència, especialment per tot allò relacionat amb l'Univers. Les estrelles, els planetes i tot allò que desconeixem sobre el que hi ha més enllà del planeta Terra sempre m'ha fascinat. Tenint això en compte, no és d'estranyar que les branques de la ciència que més m'encurioseixen són l'astronomia i astrofísica, que és al seu torn una branca de la física. Per ser capaços de mirar més enllà primer s'ha de comprendre allò que tenim a prop. És per això que vaig decidir realitzar el Treball de recerca sobre física, concretament la física ensenyada a batxillerat, ja que era l'opció més assolible dins el meu nivell de coneixement.

La motivació per fer aquest treball prové, en l'àmbit personal, de les ganes d'experimentar i comprendre millor el temari de física. També a escala acadèmica, per exportar els coneixements de l'aula a un ambient més pràctic com el d'un experiment.

A les classes de ciències dels instituts sempre es troben a faltar pràctiques. És comú escoltar a l'aula preguntes sobre quan s'anirà al laboratori, però degut a falta de temps o recursos rarament es realitzen experiments a classe. Personalment considero que aquestes activitats dinàmiques ajuden als estudiants a trobar un sentit i aplicació al que estan estudiant sobre paper i al que sovint no troben cap mena d'utilitat i això els desmotiva.

Una altra motivació per fer aquest treball és observar fins a quin punt són diferents els models proposats i estudiats a classe de la realitat que ens envolta. Quan ens disposem a estudiar un cos (el seu moviment, forces, interaccions amb altres cossos, etc.) utilitzem models. Com sovint passa en la física, a causa de la complexitat que poden tenir certs problemes, utilitzem un model simplificat en el qual es negligeixen certs factors per tal facilitar l'estudi. És per això que en molts casos, especialment en la física bàsica estudiada a batxillerat, la realitat que ens envolta no es correspon totalment amb els models estudiats a classe i els resultats obtinguts mitjançant els càlculs teòrics poden diferir dels observats en una pràctica.

Per les raons esmentades anteriorment l'objectiu d'aquest treball és dissenyar experiments i propostes didàctiques mitjançant materials fàcilment accessibles per tal de poder ser duts a terme a classe o des de casa, tenint en compte la situació de pandèmia durant la qual s'ha realitzat aquest treball.

Així doncs, els objectius que es pretenen assolir amb la realització d'aquest treball es descriuen a continuació:

- Dissenyar tres experiments relacionats amb el contingut curricular de física de batxillerat els quals puguin ser fàcilment reproduïts en un entorn acadèmic o a casa.
- Analitzar els resultats de cada experiment i contrastar la realitat amb les dades calculades a partir dels conceptes teòrics.
- Redactar una proposta didàctica per a cadascun dels dissenys experimentals plantejats.
- Assolir els objectius particulars de cadascun dels experiments, que es troben detallats en el cos del treball.

Per tal d'assolir els objectius anteriors, molts dels quals requereixen la comparació de dades i resultats, cal establir un criteri estàndard a seguir en totes les situacions estudiades al treball. S'ha determinat, doncs, que en tots els casos on la diferència percentual dels valors a comparar sigui igual o inferior al 20%, es considerarà que aquests coincideixen.

Per a la realització del present treball s'ha fet recerca d'informació mitjançant llibres i fonts d'informació virtuals per a la redacció del marc teòric en què s'ha centrat cadascun dels dissenys experimentals. Així mateix, per a cadascun dels dissenys experimentals s'han plantejat objectius i hipòtesis que s'han comparat amb els resultats obtinguts tant a nivell teòric com experimentalment. Finalment, les propostes didàctiques presentades s'han basat en els dissenys experimentals proposats.

Per tal de facilitar la lectura i comprensió del treball, cal esmentar com ha estat estructurat. Està dividit en tres grans apartats segons el tema o branca de la física de batxillerat que tracten. Els temes escollits han estat la cinemàtica (concretament el moviment circular uniforme), la dinàmica i els xocs i energies. Dins de cada apartat s'inclou el marc teòric necessari per realitzar i/o entendre la pràctica dissenyada. Tot seguit es desenvolupa el disseny experimental del tema en qüestió. Els subapartats inclosos dins el treball experimental tenen com a objectiu exposar l'experiment dissenyat i el procediment seguit per portar-lo a terme, les dificultats trobades, com han estat afrontades i com aquests entrebancs han afectat el disseny experimental final. Tot seguit es troben els resultats obtinguts, una petita discussió sobre aquests, les conclusions individuals i proposta didàctica dissenyada. Finalment s'han redactat unes conclusions generals del treball.

2. CINEMÀTICA: Moviment Circular Uniforme (MCU)

2.1 MARC TEÒRIC

2.1.1 Introducció a la cinemàtica

La cinemàtica és la part de la mecànica que estudia els cossos en moviment¹ sense contemplar les causes que el produeixen (forces, masses, etc.), sinó que més ben dit en descriu la geometria. En cinemàtica, el cos subjecte d'estudi és sovint anomenat mòbil.

Considerem que un cos està en moviment quan la seva posició canvia amb el pas del temps respecte un punt fix de referència. Per això, l'equació emprada per estudiar aquest succés relaciona la posició del mòbil amb el temps. Aquesta equació es denomina equació del moviment.

En aquest cas, per simplificar el problema estudiarem el moviment d'un punt material on considerem que es troba tota la massa del cos i que representa el mòbil del qual en volem analitzar el moviment.

2.1.2 Conceptes i magnituds de la cinemàtica

Per entendre bé el tema és necessària la introducció d'alguns conceptes propis de la matèria en qüestió, com els que es detallen a continuació.

Quan estudiem el moviment d'un mòbil és necessari tenir clar des de quin punt s'està analitzant aquest canvi de posició, ja que, d'altra manera, estaríem determinant la posició d'un cos sense establir la seva relació amb el punt de referència, el qual considerarem l'origen del sistema de coordenades. Per tant, el **sistema de referència** és un punt més o menys arbitrari, sovint situat a la posició de l'observador o col·locat per nosaltres mateixos al lloc des d'on ens és més pràctic o fàcil realitzar els càlculs. Aquest és el punt respecte al qual s'estudia el moviment d'un cos.

La **posició**, representada per la lletra r , és el punt on es troba el mòbil respecte el sistema de referència en un temps concret. És una magnitud vectorial i per tant tenim un **vector posició**, el qual és fix i està situat amb l'origen a l'origen de coordenades i l'extrem al punt on es troba el mòbil en aquell instant. Aquest vector està representat per la lletra \vec{r} , i té tres components que són les tres coordenades de les tres dimensions (x, y, z).

¹ Gran Enciclopèdia Catalana - Cinemàtica

2. CINEMÀTICA: Moviment Circular Uniforme (MCU)

$$r = xi + yj + zk$$

La **trajectòria**, al seu torn, és la línia que uneix totes les posicions en què es troba el mòbil amb el pas del temps, en altres paraules, el camí recorregut pel cos. Les trajectòries poden ser classificades com a rectilínies o curvilínies depenent del tipus de moviment que descriuen. Al Moviment Circular Uniforme (MCU) trobem una trajectòria circular (curvilínia) al voltant d'un eix de gir de radi constant. També es pot obtenir una equació de la trajectòria que és una equació del tipus $y = f(x)$ que ens descriu com és la y en funció de la x .

És important no confondre la trajectòria amb el **desplaçament**. El desplaçament és l'increment de posició d'un cos en un interval de temps determinat. És una magnitud vectorial i el **vector desplaçament** correspon a la diferència del vector de la posició final i inicial. La fórmula és la següent:

$$\Delta r = x_f - x_o$$

La unitat del sistema internacional (SI) del desplaçament és el metre (m).

En el cas del moviment circular també trobem el **desplaçament angular** (representat per la lletra φ), el qual és la distància recorreguda en una trajectòria curvilínia i que s'expressa en radians (rad). Una volta, o 360° , són 2π rad. Al moviment circular la trajectòria s'anomena **arc** i la representem amb la lletra s . L'arc és el producte del desplaçament angular pel radi (R) per tant podem afirmar el següent:

$$\Delta s = \Delta \varphi \cdot R$$

Tot moviment transcorre al llarg del **temps**. Es representa amb la lletra t i la seva unitat del sistema internacional és el segon (s).

La **velocitat** mostra com canvia, amb relació al temps, la posició d'un mòbil. Suposant que la velocitat és constant durant aquest interval de temps o que vulguem conèixer la **velocitat mitjana** també pot ser definida amb la fórmula següent.

$$v = \frac{\Delta r}{\Delta t}$$

Tanmateix, si la velocitat no és constant i volem conèixer la **velocitat instantània** aleshores la fórmula serà:

$$v_i = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{\Delta r}{\Delta t}$$

Les unitats de la velocitat són els metres/segon (m/s) i el vector velocitat sempre serà tangent a la trajectòria.

Cal esmentar que si la trajectòria és curvilínia, com és el cas del moviment circular uniforme, trobem també la **velocitat angular**, representada amb la lletra grega ω . Les seves unitats són els radiants/segon (rad/s) i es tracta de l'increment del desplaçament angular (φ) entre l'increment de temps. Les fórmules per la velocitat angular mitjana i instantània es corresponen respectivament a les de la velocitat tangencial (o lineal) i aquestes es relacionen entre si pel radi de la curvatura de la trajectòria: $v = \omega \cdot R$.

L'**acceleració** també és una magnitud important quan s'estudia el moviment. Aquesta pot ser definida per l'increment de la velocitat amb relació a l'increment del temps.

$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

De la mateixa manera que passa amb la velocitat, la fórmula anterior només serà vàlida quan vulguem calcular l'**acceleració mitjana** o aquesta sigui constant (moviments uniformement accelerats). Quan vulguem saber l'acceleració instantània s'aplicarà la fórmula següent.

$$a_i = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Les unitats del SI de l'acceleració són els metres/segon² (m/s²).

Quan trobem un moviment circular també trobarem **acceleració angular**, la qual és l'increment de la velocitat angular (ω) entre l'increment de temps. Les fórmules per calcular l'acceleració angular mitjana (o constant) i per calcular l'acceleració angular instantània es corresponen a les de l'acceleració lineal respectivament. De la mateixa manera que passa amb la velocitat, aquestes estan relacionades entre si pel radi: $a_t = \alpha \cdot R$

Si el moviment no és rectilini, l'acceleració podrà ser descomposta en dues components. Com que la direcció del cos canvia, hi haurà una component perpendicular a la direcció del moviment la qual anomenarem **acceleració normal**. Aquesta indica com canvia la direcció a diferència de l'**acceleració tangencial**, que ens diu com canvia la rapidesa i té la mateixa direcció que el moviment. La fórmula de l'acceleració normal és: $a_N = \omega^2 \cdot R$.

2.1.3 Moviment Circular Uniforme (MCU)

El moviment circular uniforme és aquell en el qual el mòbil descriu una trajectòria circular a velocitat constant, per tant, al MCU les acceleracions angular i tangencial no existeixen. No obstant això, en aquest cas no podem afirmar que l'acceleració del cos sigui nul·la. Tot i que la rapidesa no varia amb el transcurs del temps, sí que ho fa la direcció, aleshores trobem

2. CINEMÀTICA: Moviment Circular Uniforme (MCU)

que el cos té acceleració normal, la qual és perpendicular a la direcció del moviment. En aquest tipus de moviment utilitzem la unitat angular radiant (rad) per descriure la posició i desplaçament del cos al voltant de l'eix de gir i el metre (m) com a mesura de l'arc recorregut. Les equacions del moviment del MCU que relacionen la posició lineal i angular amb el temps són les següents:

$$\Delta\varphi = \varphi_0 + \omega \cdot t$$

$$\Delta s = s_0 + v \cdot t$$

Altres conceptes a tenir en compte quan parlem del moviment circular són el període i freqüència. Aquests, però, només tenen sentit quan parlem del moviment circular uniforme, ja que la rapidesa és constant.

El **període** pot ser definit com el temps que necessita un cos per completar un cicle (en aquest cas una volta). Com que es tracta de temps la seva unitat del SI és el segon (s). La seva fórmula és:

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

Per altra banda, la **freqüència** és l'invers: el nombre de voltes que un cos descriu cada segon. Com que la freqüència i el període són magnituds inverses i podem afirmar

$$f = \frac{1}{T} \text{ i } T = \frac{1}{f}$$

I consegüentment podem escriure el següent: $f = \frac{\omega}{2\pi}$. La seva unitat del SI és l'hertz (Hz).

Per entendre els moviments de trajectòria curvilínia és imprescindible comprendre la definició de radiant i la relació entre les magnituds angulars i lineals. Aquests conceptes són els que sovint dificulten a l'alumnat de batxillerat la comprensió dels problemes amb trajectòria circular.

La diferència entre desplaçament lineal (que descriu l'arc) i el desplaçament angular es troba en el fet que el desplaçament lineal és el recorregut en metres que fa el mòbil i que seria equivalent a un moviment rectilini si s'estirés el cercle dibuixat. Per altra banda, el desplaçament angular és l'angle girat i s'expressa en radians. La diferència entre la velocitat lineal (o tangencial) i la velocitat angular es basa en el mateix. La velocitat angular no depèn dels metres recorreguts sinó de l'angle girat. Aleshores la velocitat angular és la mateixa independentment del radi de la circumferència descrita durant el moviment. Dos cossos que portin la mateixa velocitat angular no tindran la mateixa velocitat tangencial i

FÍSICA DES DE LA PRÀCTICA

aquesta última serà proporcional al radi atès que com major sigui el radi, major serà la circumferència, i per tant, l'arc que està sent recorregut en el mateix temps.

Quan estudiem una trajectòria curvilínia trobem magnituds angulars (φ , ω , α) i magnituds lineals (s , v , a). Aquestes magnituds estan relacionades pel radi, sent la magnitud lineal el producte de l'angular pel radi i la magnitud angular el quocient de la lineal entre el radi.

La **relació entre les magnituds angulars i lineals** pot ser expressada de la següent manera:

$$\Delta\varphi \cdot R = \Delta s$$

$$\omega \cdot R = v$$

El **radiant** és la unitat del sistema internacional pel desplaçament angular. És equivalent a l'angle girat: $2\pi \text{ rad} = 360^\circ$.

2.2 TREBALL EXPERIMENTAL

2.2.1 Disseny experimental

Per ser capaços d'estudiar un moviment circular correctament hem de fer un disseny experimental tenint en compte els factors següents:

- El moviment haurà de ser uniforme o uniformement accelerat per tal de poder aplicar les equacions estudiades durant el primer any de batxillerat. En aquest cas hem escollit el moviment circular uniforme.
- Serà necessari recollir dades de la manera més precisa possible i hem de ser capaços de repetir el mateix procés diverses vegades, per tant queda descartat qualsevol moviment circular que requereix una força externa la qual no puguem garantir que sigui reproduïble.

Considerant els factors anteriors hem dissenyat un experiment en el qual utilitzarem un tocadiscs per descriure la trajectòria circular. L'experiment es descriu a continuació.

Objectius:

- Analitzar el moviment circular d'un tocadiscs a diferents velocitats angulars i diferents punts del seu radi.
- Observar la diferència entre les dades calculades mitjançant les velocitats indicades al tocadiscs i els resultats reals obtinguts durant l'experimentació.
- Estudiar la diferència entre la velocitat angular i tangencial.

2. CINEMÀTICA: Moviment Circular Uniforme (MCU)

- Calcular i comparar l'acceleració normal d'un tocadiscs en les diferents revolucions.

Hipòtesis:

1. Com major sigui el radi major serà la velocitat tangencial en un punt.
2. Com més gran sigui la velocitat d'un cos més gran serà la seva acceleració normal.
3. Les dades calculades/teòriques no coincidirán amb les dades reals.

Material:

- Cartó
- 4 gomets
- Llapis
- Tisores
- Càmera de vídeo/mòbil
- Aplicació d'edició de vídeo². Hem utilitzat el DaVinci Resolve 16
- Tocadiscs

Procediment

1. Per evitar malmetre un disc autèntic dibuixem i retallem un cercle de cartó utilitzant un disc com a plantilla.
2. Col·loquem quatre marques o gomets de colors i/o formes diferents a distintes distàncies del centre. En aquest cas, considerant que el radi del cercle és de 15 cm, hem situat les marques a 4, 7, 11 i 15 centímetres del centre (Imatge 1).
3. Un cop tenim el cercle preparat el col·loquem al tocadiscs i enregistrem les repeticions amb un dispositiu mòbil o una càmera de vídeo. Hem realitzat 40 repeticions de cada situació, és a dir, per cada velocitat angular indicada al tocadiscs. A l'Annex II (Fig. A1-A3) es mostren les gravacions de les repeticions.
4. Amb l'editor de vídeo retallem cada seqüència d'una volta i anotem la seva duració, la qual està indicada en fotogrames. Amb les dades obtingudes, i considerant que els vídeos estan gravats a 24 fotogrames/segon, calculem els períodes i fem la mitjana del període a cada velocitat. També calculem l'error absolut de la mesura (taules A1-A3, Annex I). A l'Annex II es mostren imatges del procediment seguit per realitzar el muntatge experimental i l'anàlisi de les gravacions.
5. A partir de la velocitat angular indicada pel tocadiscs (la trobem a l'interruptor que ens permet canviar entre 33, 45 o 78 rpm) calculem la velocitat lineal i l'acceleració

² És necessari que l'editor de vídeo tingui l'opció de desplaçar-se per la gravació fotograma per fotograma per tal d'aconseguir una major precisió a l'hora de prendre mesures.

FÍSICA DES DE LA PRÀCTICA

normal per als diferents radis. També calculem el període i la freqüència per comparar-los amb els obtinguts de manera experimental.

6. A partir del període mesurat calculem la velocitat angular experimental ω , a partir d'aquesta, calculem la velocitat lineal i l'acceleració normal als diferents radis. També calculem la freqüència. Aquests seran els resultats experimentals a comparar amb els teòrics.
7. Analitzem i comparem els resultats obtinguts per poder redactar-ne unes conclusions que acceptin o descartin les nostres hipòtesis.



Imatge 1: Muntatge experimental pràctica MCU.

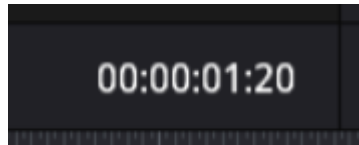
Consideracions i problemàtiques:

Durant aquest experiment no hem trobat problemàtiques de suficient consideració per a haver de redissenyar l'experiment. Si bé això és cert, l'anàlisi de les dades ha resultat complicat i és necessari explicar-ne les causes i la solució aplicada a aquest obstacle.

Com ja hem esmentat anteriorment, l'editor de vídeo emprat per analitzar les gravacions i obtenir les mesures ha estat el DaVinci Resolve 16. Aquest programa permet desplaçar-se per les gravacions fotograma per fotograma (en el cas de les nostres gravacions amb una precisió de 24 fotogrames/segon). L'aplicació mostra al lateral dret de la pantalla el temps de la gravació en el que es troba el cursor. És per això que per recol·lectar les mesures vam decidir retallar de manera precisa cada fragment de vídeo que contingués una volta sencera i col·locar el cursor al final del clip per poder visualitzar el temps a la dreta de la pantalla i poder anotar la duració d'aquest. Un cop fet això, esborràvem el fragment situat a l'inici de la pista de vídeo per evitar repetir la mesura i situàvem el següent fragment a l'inici d'aquesta. Així i tot, no va ser fins més tard que ens vam adonar que els nombres indicats a

2. CINEMÀTICA: Moviment Circular Uniforme (MCU)

la dreta de la pantalla eren, efectivament, els minuts i segons, però no les dècimes i centèsimes de segon, sinó els fotogrames.



Imatge 2: Captura de pantalla DaVinci Resolve16: 1 segon i 20 fotogrames.

A la Imatge 2 podem veure que aquest fragment de vídeo que conté una volta té una duració d'un segon més 20 fotogrames. Considerant que el programa marca 24 fotogrames per segon, podem afirmar que aquest tall de gravació conté 44 fotogrames. En adonar-nos d'aquest petit però molt important detall vam haver de passar els nombres que havíem mesurat (ex: 1,20 "segons" que realment eren 1 segon i 20 fotogrames) a fotogrames (44 fotogrames). I tot seguit passar-ho a segons aplicant el factor de conversió següent.

$$\text{nombre fotogrames} \cdot \frac{1 \text{ segon}}{24 \text{ fotogrames}} = \text{mesura en segons.}$$

Un altre fet que cal tenir en compte a l'hora d'enregistrar les mesures és la relació entre la quantitat de mesures i la durada de la gravació. Com que hem mesurat el període (temps per volta) cada volta del disc equival a una mesura. En un principi vam enregistrar un vídeo de la mateixa durada pels tres casos (un per cada velocitat angular permessa pel tocadiscs). El problema que això va comportar va ser que en el mateix temps vam obtenir moltes més mesures a 78 rpm que a 33 rpm, i perquè l'experiment sigui comparable cal tenir en compte el mateix nombre de mesures. Per arreglar aquest fet vam haver de refer les gravacions així que considerem que és un fet que val la pena tenir en compte abans de començar l'experiment.

2.2.2 Resultats i discussió

Com ja s'ha mencionat anteriorment, la física, especialment la bàsica, treballa amb models, i és per això que la teoria no sempre es correspon amb la pràctica. En aquest experiment pretenem comparar els dos casos: les dades calculades partint de les revolucions indicades al tocadiscs i les dades reals, obtingudes durant la pràctica.

Hem dividit els càlculs en tres apartats segons les revolucions per minut indicades al tocadiscs i per cadascun dels apartats s'han inclòs els resultats teòrics i reals. En tots els casos s'han arrodonit a la centèsima i s'ha seguit el procediment explicat a l'apartat a.

a) 33 rpm

Càlculs teòrics:

Calculem la ω teòrica ($1,10\pi$ rad/s) tenint en compte el factor de conversió següent:

$$33rpm \cdot \frac{1min}{60s} \cdot \frac{2\pi rad}{1 volta} = 1,10\pi rad/s$$

A partir de la ω calculem la v_t en els diferents punts o radis amb la fórmula: $v_t = \omega \cdot R$

(Taula 1).

Taula 1. Velocitat tangencial en funció del radi per a $\omega= 33$ rpm.

Radi	Velocitat tangencial
0,15 m	$v_{t1} = 1,10\pi \cdot 0,15 = 0,52 m/s$
0,11 m	$v_{t2} = 1,10\pi \cdot 0,11 = 0,38 m/s$
0,07 m	$v_{t3} = 1,10\pi \cdot 0,07 = 0,24 m/s$
0,04 m	$v_{t4} = 1,10\pi \cdot 0,04 = 0,14 m/s$

L'acceleració normal pot ser calculada de dues maneres, mitjançant el radi i la velocitat angular, o bé la velocitat tangencial. Hem decidit dur a terme els càlculs amb la velocitat angular, ja que és la mateixa en tots els punts i considerem que hi ha menys risc d'error pels decimals arrodonits (Taula 2). En tots els casos realitzem els càlculs amb la fórmula següent.

$$a_N = \omega^2 \cdot R$$

Taula 2. Acceleració normal en funció del radi per a $\omega= 33$ rpm.

Radi	Acceleració normal
0,15 m	$a_{N_1} = (1,10\pi)^2 \cdot 0,15 = 1,79 m/s^2$
0,11 m	$a_{N_2} = (1,10\pi)^2 \cdot 0,11 = 1,31 m/s^2$
0,07 m	$a_{N_3} = (1,10\pi)^2 \cdot 0,07 = 0,84 m/s^2$
0,04 m	$a_{N_4} = (1,10\pi)^2 \cdot 0,04 = 0,48 m/s^2$

Per tal d'obtenir un temps teòric que puguem comparar amb el temps mesurat durant la pràctica, busquem el període (T).

2. CINEMÀTICA: Moviment Circular Uniforme (MCU)

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{1,1\pi} = 1,82s$$

I a partir del període trobem la freqüència:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1,82} = 0,55 \text{ Hz}$$

Càlculs amb les dades experimentals:

A partir de les diferents gravacions hem mesurat quant temps tarda el disc a fer una volta sencera. Hem fet la mitjana i l'error absolut d'aquestes mesures (Taula A1, Annex I). El resultat obtingut ha estat: $(1,80 \pm 0,05)s$. Calculem la velocitat tangencial (Taula 3), l'acceleració normal (Taula 4) i de la freqüència utilitzant la mitjana sense tenir en compte l'error, el qual s'ha utilitzat posteriorment per comparar les dades calculades i les dades reals.

$$\omega = \frac{2\pi \text{ rad}}{T} = \frac{2\pi \text{ rad}}{1,80s} = 1,11\pi \text{ rad/s}$$

Taula 3. Velocitat tangencial en funció del radi per a la $\omega = 1,11\pi \text{ rad/s}$.

Radi	Velocitat tangencial
0,15 m	$v_{t1} = 1,11\pi \cdot 0,15 = 0,52 \text{ m/s}$
0,11 m	$v_{t2} = 1,11\pi \cdot 0,11 = 0,38 \text{ m/s}$
0,07 m	$v_{t3} = 1,11\pi \cdot 0,07 = 0,24 \text{ m/s}$
0,04 m	$v_{t4} = 1,11\pi \cdot 0,04 = 0,14 \text{ m/s}$

Taula 4. Acceleració normal en funció del radi per a la $\omega = 1,11\pi \text{ rad/s}$.

Radi	Acceleració normal
0,15 m	$a_{N_1} = (1,11\pi)^2 \cdot 0,15 = 1,82 \text{ m/s}^2$
0,11 m	$a_{N_2} = (1,11\pi)^2 \cdot 0,11 = 1,34 \text{ m/s}^2$
0,07 m	$a_{N_3} = (1,11\pi)^2 \cdot 0,07 = 0,85 \text{ m/s}^2$
0,04 m	$a_{N_3} = (1,11\pi)^2 \cdot 0,04 = 0,49 \text{ m/s}^2$

$$\text{Freqüència} = f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1,80} = 0,56 \text{ Hz}$$

Discussió dels resultats:

FÍSICA DES DE LA PRÀCTICA

El període i la velocitat angular són les dades a partir les quals hem realitzat els càlculs d'aquesta pràctica, és per això que comparant-les podem adquirir una idea general de la diferència que presenten els valors obtinguts mitjançant els càlculs teòrics i les dades reals.

El període calculat és d'1,82 s mentre que el període que hem mesurat durant la pràctica és de $(1,80 \pm 0,05)$ s. Per tant, el valor calculat es troba dins els valors compresos en l'error de la nostra mesura, indicant que els valors teòrics i reals són iguals.

Per altra banda, la ω teòrica obtinguda ha estat $1,10\pi \text{ rad/s}$ i la ω real $1,11\pi \text{ rad/s}$. Podem expressar la diferència entre aquests dos valors calculant-ne la diferència percentual. Aquesta dada ens permet apreciar de manera més entenedora la magnitud de la diferència entre els valors obtinguts.

$$\frac{(1,11\pi - 1,10\pi)}{1,10\pi} \cdot 100 = 0,90\%$$

Podem apreciar que la diferència percentual dels dos resultats és molt baixa (0,9%) i inferior al límit considerat en aquest treball (<20%). Conseqüentment, les magnituds calculades a partir de les dades teòriques i les dades experimentals coincideixen o presenten una diferència mínima. En conclusió, podem afirmar que les dades calculades a partir de la teoria i de la realitat observada coincideixen, ja que la diferència entre aquestes és inferior al 20%. Aquesta desviació es relaciona amb l'error experimental del període mesurat.

b) 45rpm

Càlculs teòrics:

Càlcul de la ω teòrica ($1,50\pi \text{ rad/s}$) a partir de la qual calculem la velocitat tangencial (Taula 5) i l'acceleració normal (Taula 6):

$$45 \text{rpm} \cdot \frac{1 \text{min}}{60 \text{s}} \cdot \frac{2\pi \text{rad}}{1 \text{volta}} = 1,50\pi \text{ rad/s}$$

Taula 5. Velocitat tangencial en funció del radi per a la $\omega = 45 \text{ rpm}$.

Radi	Velocitat tangencial
0,15 m	$v_{t1} = 1,50\pi \cdot 0,15 = 0,71 \text{ m/s}$
0,11 m	$v_{t2} = 1,50\pi \cdot 0,11 = 0,52 \text{ m/s}$
0,07 m	$v_{t3} = 1,50\pi \cdot 0,07 = 0,33 \text{ m/s}$
0,04 m	$v_{t4} = 1,50\pi \cdot 0,04 = 0,19 \text{ m/s}$

Taula 6. Acceleració normal en funció del radi per a la $\omega = 45 \text{ rpm}$.

Radi	Acceleració normal
-------------	---------------------------

2. CINEMÀTICA: Moviment Circular Uniforme (MCU)

0,15 m	$a_{N_1} = (1,50\pi)^2 \cdot 0,15 = 3,33 \text{ m/s}^2$
0,11 m	$a_{N_2} = (1,50\pi)^2 \cdot 0,11 = 2,44 \text{ m/s}^2$
0,07 m	$a_{N_3} = (1,50\pi)^2 \cdot 0,07 = 1,55 \text{ m/s}^2$
0,04 m	$a_{N_4} = (1,50\pi)^2 \cdot 0,04 = 0,89 \text{ m/s}^2$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{1,50\pi} = 1,33\text{s}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1,33\text{s}} = 0,75 \text{ Hz}$$

Càlculs amb les dades experimentals:

A partir de les diferents mesures (Taula A2, Annex I) hem obtingut que el període del disc és de $(1,33 \pm 0,04)\text{s}$

$$\omega = \frac{2\pi \text{ rad}}{T} = \frac{2\pi \text{ rad}}{1,33\text{s}} = 1,50\pi \text{ rad/s}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1,33\text{s}} = 0,75 \text{ Hz}$$

En aquest cas observem que les velocitats angulars obtingudes als càlculs teòrics i als càlculs amb les dades experimentals han coincidit en ser arrodonides a la centèsima. Així doncs, com que tant la velocitat lineal com l'acceleració normal depenen de la velocitat angular podem afirmar que els resultats d'aquest apartat són idèntics als que hem obtingut mitjançant les dades teòriques. També veiem que coincideixen el període calculat i el mesurat i, en conseqüència, també ho fa la freqüència.

Discussió dels resultats:

Tal com ja hem esmentat, els càlculs realitzats a partir de les dades teòriques es corresponen exactament amb els de les dades reals. En arrodonir la velocitat angular a la centèsima, en ambdós casos hem obtingut $\omega = 1,50\pi \text{ rad/s}$.

El període mesurat durant la pràctica ha estat de $(1,33 \pm 0,04)\text{s}$ i el teòric de $1,33\text{s}$. L'error absolut de la dada mesurada inclou el valor del càlcul teòric. Així doncs, la diferència percentual de les dades teòriques i experimentals serà inferior al 20% en totes les magnituds i per tant podem afirmar que el model correspon la realitat.

c) 78 rpm

Càlculs teòrics:

Càlcul de la ω teòrica ($2,60\pi$ rad/s) a partir de la qual calculem la velocitat tangencial (Taula 7) i l'acceleració normal (Taula 8):

$$78rpm \cdot \frac{1min}{60s} \cdot \frac{2\pi rad}{1volta} = 2,60\pi rad/s$$

Taula 7. Velocitat tangencial en funció del radi per a la $\omega=78$ rpm.

Radi	Velocitat tangencial
0,15 m	$v_{t1} = 2,60\pi \cdot 0,15 = 1,23 m/s$
0,11 m	$v_{t2} = 2,60\pi \cdot 0,11 = 0,90 m/s$
0,07 m	$v_{t3} = 2,60\pi \cdot 0,07 = 0,57 m/s$
0,04 m	$v_{t4} = 2,60\pi \cdot 0,04 = 0,33 m/s$

Taula 8. Acceleració normal en funció del radi per a la $\omega=78$ rpm.

Radi	Acceleració normal
0,15 m	$a_{N_1} = (2,60\pi)^2 \cdot 0,15 = 10,01 m/s^2$
0,11 m	$a_{N_2} = (2,60\pi)^2 \cdot 0,11 = 7,34 m/s^2$
0,07 m	$a_{N_3} = (2,60\pi)^2 \cdot 0,07 = 4,67 m/s^2$
0,04 m	$a_{N_4} = (2,60\pi)^2 \cdot 0,04 = 2,67 m/s^2$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{2,6\pi} = 0,77s$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,77s} = 0,30 Hz$$

Càlculs amb les dades experimentals:

A partir de les diferents mesures (Taula A3, Annex I) hem obtingut $T = (0,78 \pm 0,03)s$. Calculem la velocitat angular i l'utilitzem per calcular la velocitat tangencial (Taula 9) i l'acceleració normal (Taula 10).

$$\omega = \frac{2\pi rad}{T} = \frac{2\pi rad}{0,78s} = 2,56\pi rad/s$$

Taula 9. Velocitat tangencial en funció del radi per a la $\omega = 2,56\pi$ rad/s.

Radi	Velocitat tangencial
0,15 m	$v_{t1} = 2,56\pi \cdot 0,15 = 1,21 m/s$
0,11 m	$v_{t2} = 2,56\pi \cdot 0,11 = 0,88 m/s$
0,07 m	$v_{t3} = 2,56\pi \cdot 0,07 = 0,56 m/s$
0,04 m	$v_{t4} = 2,56\pi \cdot 0,04 = 0,32 m/s$

2. CINEMÀTICA: Moviment Circular Uniforme (MCU)

Taula 10. Acceleració normal en funció del radi per a la $\omega = 2,56\pi \text{ rad/s}$.

Radi	Acceleració normal
0,15 m	$a_{N_1} = (2,56\pi)^2 \cdot 0,15 = 9,70 \text{ m/s}^2$
0,11 m	$a_{N_2} = (2,56\pi)^2 \cdot 0,11 = 7,11 \text{ m/s}^2$
0,07 m	$a_{N_3} = (2,56\pi)^2 \cdot 0,07 = 4,53 \text{ m/s}^2$
0,04 m	$a_{N_4} = (2,56\pi)^2 \cdot 0,04 = 2,59 \text{ m/s}^2$

$$\text{Freqüència} = f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,778} = 1,29 \text{ s}^{-1}$$

Discussió dels resultats:

De la mateixa manera que hem fet a l'apartat a, realitzarem una breu comparació entre els períodes i les velocitats angulars (experimentals i teòriques).

El període calculat és de 0,77s mentre que el període que hem mesurat durant la pràctica és de $(0,78 \pm 0,03)\text{s}$. Considerant l'error de la mesura, podem afirmar que la dada calculada es troba dins el marge d'error de la dada mesurada.

Per fer la comparació calcularem la diferència percentual de les velocitats angulars:

$$\frac{(2,6\pi - 2,56\pi)}{2,6\pi} \cdot 100 = 1,53\%$$

En aquest cas el percentatge de diferència també és inferior al 20% i l'atribuïm a l'error experimental. Per tant podem afirmar que les dades teòriques i les reals coincideixen.

Altrament, de la mateixa manera que al cas a, observem certa proporcionalitat del radi i la velocitat lineal i acceleració normal.

d) Discussió general dels resultats

Hem comprovat que la diferència entre les dades reals i les dades calculades és mínima als casos a i c i gairebé inexistent al cas b. En tots els casos el valor teòric està inclòs dins l'error de la mesura de la dada real.

Per altra banda, respecte a les velocitats tangencials i les acceleracions normals, les diferències observades es troben en el rang de les centèsimes. Aquesta petita desviació pot haver estat causada, en part, pel fet d'haver arrodonit la mesura, i també perquè la mesura amb la qual s'han realitzat els càlculs reals no té en compte el marge d'error de la nostra pràctica. La diferència entre les acceleracions normals és visiblement més gran que les

FÍSICA DES DE LA PRÀCTICA

diferències observables entre les velocitats tangencials. Això és degut al fet que les dues estan calculades a partir de les mateixes dades (ω i R) però, en la fórmula de l'acceleració normal, la velocitat angular es troba elevada al quadrat. Aquest fet provoca que la desigualtat entre els valors obtinguts creixi.

Per tot el que hem esmentat anteriorment, considerem que podem afirmar que les dades calculades gairebé no difereixen de les dades experimentals. És per això que podem concloure que el model emprat a l'aula permet explicar la realitat de manera adequada.

Per altra banda, un dels objectius era veure l'efecte de la longitud del radi sobre la velocitat tangencial i l'acceleració normal. Si observem les taules 1-10 podem veure clarament que com major és el radi, major són les magnituds esmentades. L'explicació a aquest succés és el fet que com major és el radi d'una circumferència, major és aquesta en longitud lineal. Per tant si el mòbil ha de recórrer més longitud en el mateix temps, la velocitat ha de ser més elevada.

2.3 CONCLUSIONS

Començant pel disseny experimental, en aquest cas les problemàtiques trobades durant la realització de la pràctica no han estat de la suficient magnitud per a haver de refer o redissenyar el procediment experimental. Tot i això, cal reflexionar sobre com es podria millorar el disseny perquè aquest sigui el més exacte i rigorós possible dins el marc acadèmic. Una millora considerable a l'hora de prendre les mesures seria enregistrar les gravacions amb un format de vídeo que contingui el màxim de fotogrames per segon possibles. Com més alt sigui aquest nombre, més exactes seran les nostres mesures. Moltes càmeres de dispositius mòbils tenen l'opció d'ajustar els FPS (fotogrames per segon) a la que gravaran, els valors permesos sovint oscil·len entre els 24, 30 o fins i tot 60 FPS. Aquesta millora ens proporcionaria unes mesures amb un menor error experimental.

Els resultats han estat discutits profundament a l'apartat 2.2.2 "*Resultats i discussió*". Això no obstant, és important remarcar que la diferència entre les dades calculades i les dades reals ha estat mínima (en un cas gairebé nul·la) i les dades teòriques queden incloses dins el marge d'error de les mesures de la nostra pràctica. Aplicant les millores mencionades anteriorment els resultats experimentals encara hagueren estat més acurats i propers a les dades teòriques.

Amb aquesta informació podem descartar una de les hipòtesis d'aquest experiment: "*Les dades calculades/teòriques no coincidirán amb les dades reals*". Relacionem aquests

2. CINEMÀTICA: Moviment Circular Uniforme (MCU)

resultats al fet que el tocadiscs és una màquina i aquesta descriu un moviment circular a una velocitat constant, que per tant s'acosta molt als models ideals estudiats a classe.

Una altra de les hipòtesis era: *“Com major sigui el radi, major serà la velocitat tangencial en un punt”*. Aquesta ha quedat acceptada, ja que tal com es pot observar als càlculs la velocitat tangencial augmenta amb el radi. L'explicació per aquest fet és que tots els punts del radi d'una circumferència fan una volta en el mateix lapse de temps, malgrat això, linealment no tots recorren la mateixa distància. Com més lluny es troba un cos d'un punt, més gran serà la circumferència que descriurà al seu voltant. Si es mesura la llargada d'aquest cercle com si es tractés d'una trajectòria rectilínia, s'observa que en el mateix temps recórrer una distància superior a la de cercles amb el radi més petit. És per això que la seva velocitat és més alta.

L'última hipòtesi de la pràctica era: *“Com més gran sigui la velocitat d'un cos més gran serà la seva acceleració normal”*. Aquesta hipòtesi també ha quedat confirmada. Segons hem augmentat les rpm del tocadiscs podem observar un creixement a l'acceleració normal.

Mitjançant les fórmules: $a_N = \omega^2 \cdot R = \frac{v^2}{R}$ observem que a_N és proporcional a la velocitat (angular o tangencial) i al radi. Per tant podem afirmar que com major sigui la velocitat i com major sigui el radi, més gran serà l'acceleració normal.

Tots els objectius individuals d'aquesta pràctica han estat assolits.

2.4 PROPOSTA DIDÀCTICA

A continuació es mostra una proposta didàctica basada en la pràctica relacionada amb el MCU que hem realitzat anteriorment. La proposta està pensada per ser portada a terme a classe o des de casa, és per això que ha estat simplificada de facilitar la seva execució.

Anys enrere a cada casa hi havia un tocadiscs, un objecte casolà que descriu una trajectòria circular uniforme. Avui en dia, però, aquest objecte ha anat desapareixent de moltes llars. És per això que aquesta pràctica consistirà en l'anàlisi d'un vídeo d'un tocadiscs, ja que d'altra manera molts alumnes no comptarien amb el material necessari per realitzar la pràctica i podria ser difícil aconseguir un tocadiscs per portar a l'aula.

Per fer la pràctica apta per fer a classe, els alumnes no hauran d'analitzar 40 repeticions sinó que amb 15 serà suficient. A més, dividirem als alumnes en tres grups: uns analitzaran i realitzaran els càlculs del tocadiscs a 33 rpm, uns altres a 45 rpm i l'últim grup a 78 rpm. Realitzant només el seu apartat seran capaços de comparar les diferents velocitats lineals i

FÍSICA DES DE LA PRÀCTICA

acceleracions normals depenent del radi r , també, de veure la diferència entre els resultats pràctics i teòrics. Quan tots els alumnes hagin realitzat el seu apartat podran completar els objectius de la pràctica comparant els resultats a les diferents velocitats angulars entre ells.

Abans de començar la pràctica els alumnes hauran de contestar unes quantes preguntes que els ajudaran a comprendre millor el tema i la pràctica. En aquest cas hem inclòs una petita pràctica per entendre millor el concepte de radiànt. Es troba a la pregunta 1 de la correcció que tenim a continuació. El model de les fitxes en blanc pels alumnes es troba a l'Annex III.

Enunciats i correcció

1- Per començar farem una petita pràctica per comprendre millor el concepte de radiànt. Primer dibuixeu una circumferència amb un compàs. A continuació, talleu un tros de llana de la mida del radi de la circumferència que heu dibuixat. Col·loqueu el tros de llana sobre el traçat de la circumferència. Quants cops us hi cap a la circumferència? I a mitja? Amb què ho relaciones?

A aquest exercici els alumnes veuran que a una circumferència el radi d'aquesta hi cap 6 i escaig vegades, i 3 i escaig en mitja circumferència. Això ho hauran de relacionar amb el nombre $\pi(3,14\dots)$ i amb el fet que una circumferència sencera siguin 2π rad. El radiànt és una mesura que no es fa servir al dia a dia i és una de les majors complicacions a l'hora d'estudiar i entendre els moviments amb trajectòria circular. Entendre el concepte de radiànt ajuda a entendre el concepte de velocitat angular, cosa que facilita molt la comprensió dels problemes i el moviment.

2- Quina és la relació entre la velocitat angular i la velocitat lineal? Quines són les seves unitats del SI? Explica la relació amb les teves paraules i escriu la fórmula que les relaciona.

Resposta exemple: La velocitat lineal és la rapidesa amb què es mou un cos. És el que anomenem simplement velocitat en un moviment rectilini, però que a un moviment circular anomenem velocitat lineal per tal de distingir-la de la velocitat angular. La velocitat lineal és l'increment de l'arc entre el temps: $v = \frac{\Delta s}{t}$ Les seves unitats són els m/s.

Per altra banda, la velocitat angular no depèn dels metres recorreguts sinó de l'angle girat. Es tracta del desplaçament angular (angle expressat en radiants) entre el temps: $\omega = \frac{\Delta\varphi}{t}$ Les seves unitats són els rad/s.

2. CINEMÀTICA: Moviment Circular Uniforme (MCU)

És important ser conscients que la velocitat angular no depèn de la llargada del radi de la circumferència descrita mentre que la velocitat lineal sí que en depèn.

Estan relacionats pel radi. La fórmula que els relaciona és: $\omega \cdot R = v$

3- Abans de dur a terme un experiment cal redactar les nostres hipòtesis. Per fer-ho respon les preguntes següents:

- a) Com creus que afectarà el radi a la velocitat lineal?
- b) I a l'acceleració normal?
- c) Com creus que afectarà la velocitat angular (33rpm, 45rpm,...) a l'acceleració normal?

Aquí els alumnes hauran de redactar les seves prediccions abans de realitzar la pràctica. Exemple: Com més gran sigui el radi, més gran serà la velocitat lineal.

4- Segueix el següent procediment:

1. Amb un editor de vídeo analitza de manera més precisa possible el període del moviment del tocadiscs³. Fes-ho en 15 repeticions. Utilitza una de les gravacions enllaçades a la taula 12 o visualitza-la a través del codi QR:

Taula 12. Enregistraments de mesures preses per l'experiment de cinemàtica.

Per $\omega = 33$ rpm	https://drive.google.com/file/d/1g4D08guEMgC1fCT10MyoZ0OGnkAkIZAd/view?usp=sharing
Per $\omega = 45$ rpm	https://drive.google.com/file/d/153A17wlvXn6lpp63PAODHOigYBFRG0mP/view?usp=sharing
Per $\omega = 78$ rpm	https://drive.google.com/file/d/1GDnsWY6foj-44lCuxtDkNBqJDFCzP_qg/view?usp=sharing

³ S'ha utilitzat el DaVinci Resolve 16. Tutorial per aprendre a utilitzar les funcions bàsiques de l'editor: <https://www.youtube.com/watch?v=PNPpzzrSbhog>



Figura 1. Codi QR
enregistrament mesures
 $\omega = 33$ rpm



Figura 2. Codi QR
enregistrament mesures
 $\omega = 45$ rpm



Figura 3. Codi QR
enregistrament mesures
 $\omega = 78$ rpm

2. **Amb els resultats obtinguts fes una mitjana aritmètica i calcula l'error de la mesura.**
3. **Amb les dades teòriques (radis, revolucions del tocadiscs,...) calcula la velocitat lineal per als diferents radis i també l'acceleració normal. Calcula també el període i la freqüència.**
4. **Repeteix el procediment anterior a partir del període mesurat a la pràctica.**
5. **Analitza i compara els resultats reals i teòrics obtinguts.**
6. **Compara els resultats amb els companys que hagin realitzat la pràctica a partir de les altres gravacions.**

5- Redacta les conclusions de la pràctica. Algunes preguntes per ajudar-te:

- a) **Has assolit els objectius?**
- b) **S'han confirmat o descartat les hipòtesis inicials?**
- c) **Què has pogut observar?**
- d) **Què has après?**
- e) **Com valoren la pràctica? Què milloraries?**

A aquest apartat els alumnes hauran de respondre les preguntes i fer un redactat propi i individual de les seves conclusions, observacions i aprenentatge durant la pràctica.

3. DINÀMICA

3.1 MARC TEÒRIC

3.1.1 Introducció a la dinàmica

Hem vist que la cinemàtica és la branca de la física que estudia el moviment, però sense considerar les forces que el causen. La dinàmica és la part de la física que s'encarrega d'estudiar aquestes forces que provoquen el moviment. Quan estudiem mecànica clàssica és imprescindible parlar de les tres lleis de Newton:

- Primera llei o principi d'inèrcia. Un cos es mantindrà en repòs o a velocitat constant sempre que una força no actuï sobre ell, modificant així el seu estat.
- Segona llei o principi fonamental de la dinàmica. El sumatori de forces que actuen sobre un cos és el producte de la seva massa per l'acceleració amb què es mou:
 $\Sigma F = m \cdot a.$
- Tercera llei o principi d'acció-reacció. Quan s'exerceix una força sobre un cos, aquest exerceix una força en la mateixa direcció i mòdul però en sentit contrari.

3.1.2 Conceptes i magnituds de la dinàmica

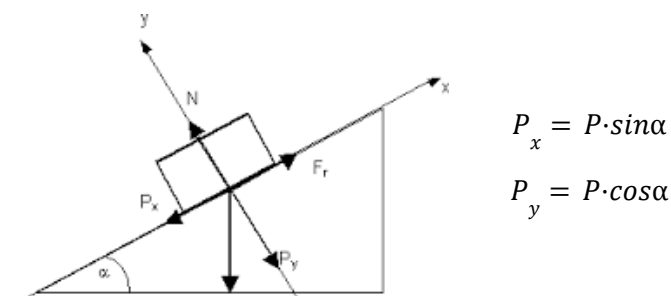
Els exercicis de dinàmica típics del batxillerat es basen en la segona llei de Newton, però per a realitzar-los és necessari entendre alguns conceptes propis d'aquest tema.

Entenem la **força** com la causa de la modificació del moviment a velocitat constant o de l'estat de repòs d'un cos. Dos cossos poden exercir una força l'un sobre l'altre i modificar el seu moviment per contacte directe o des de la distància (ex: força gravetat). Es tracta d'una magnitud vectorial expressada amb la lletra F i les seves unitats són els $\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$. Aquesta unitat rep el nom de Newton i s'expressa amb la lletra N .

El **pes** és la força de gravetat que hi ha entre un planeta i un cos. És el resultat del producte de la massa pel camp gravitatori del planeta (g). Ho escrivim com: $m \cdot g = pes$. El camp gravitatori a la superfície del planeta Terra és de $9,8 \text{ m}/\text{s}^2$. El pes és una força així que les seves unitats també són els Newtons.

Segons la tercera llei de Newton (Acció-reacció), quan s'exerceix una força sobre un cos, aquest exerceix una força en la mateixa direcció i mòdul però en sentit contrari, i el pes no és una excepció. La **força normal** (F_N , o sovint N) és la força que fa la superfície on es troba el cos sobre aquest mateix. Sovint es correspon al pes en sentit contrari i per tant el

pes i la força normal s'anul·len entre elles. No obstant, això no sempre és així ja quan la superfície sobre la qual es troba el cos i la superfície del planeta no són paral·leles, les dues forces tenen direccions diferents. Un d'aquests casos seria el del pla inclinat, molt comú entre els problemes de dinàmica. En aquests casos, tal com mostra la Imatge 3, s'haurà de descompondre el pes en P_x i P_y de la següent manera:



Imatge 3: Descomposició de forces.
Font: Educastur.printcast

En aquesta situació la força normal es correspon al P_y , però en sentit contrari.

Abans de continuar amb la força de fregament, és important entendre què és el **coeficient de fregament** o **coeficient de fricció** (representat amb la lletra grega μ). *Cada parell de materials en contacte té un coeficient característic*⁴ que depèn de la naturalesa d'aquestes substàncies. Tot i així no podem afirmar que es tracti d'una propietat dels materials, ja que variarà en funció de molts factors com per exemple la temperatura. El coeficient de fregament no té unitats.

Aleshores, la **força de fregament** és una força contrària al sentit del moviment la qual ofereix resistència al moviment del cos. La fórmula de la força de fregament és la següent: $F_f = \mu \cdot N$. Tot i que el pes no apareix explícitament a la fórmula, la força normal és directament proporcional al pes i, per tant, podem afirmar que com major és el pes del cos, major serà el fregament. Això és degut al fet que com major sigui el pes de l'objecte més contacte hi haurà entre les seves superfícies.

La **força resultant** és el sumatori dels vectors de totes les forces que actuen sobre un mateix cos.

⁴ Dinàmica - Força de fregament, Google sites "La Física"

3.1.3 Conceptes de cinemàtica associats al Moviment Rectilini Uniformement Accelerat (MRUA)

Per dur a terme l'experiment de dinàmica que hem dissenyat serà necessari aplicar l'equació del moviment rectilini uniformement accelerat. Els conceptes i magnituds bàsiques de cinemàtica ja han estat explicats anteriorment a l'apartat 2.1.2, per tant només cal introduir el tipus de moviment i les seves equacions.

El moviment rectilini uniformement accelerat és aquell que descriu una trajectòria recta, sense curvatures. En aquest moviment la velocitat no és constant, però si ho és l'acceleració. Les fórmules que descriuen el MRUA són les següents.

$$\Delta x = x_o + v_o \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

$$v = v_o + a \cdot t$$

on:

$x, x_o =$ posició / posició inicial

$v, v_o =$ velocitat / velocitat inicial

$a =$ acceleració

$t =$ temps

3.2 TREBALL EXPERIMENTAL

3.2.1 Disseny de l'experiment

Per poder estudiar la dinàmica d'un cos trobem el mateix problema que a l'experiment de cinemàtica: la força aplicada haurà de ser sempre la mateixa per tal de poder comparar els resultats entre ells. En aquest cas, però, hem trobat una solució basada en els problemes més típics d'aquesta part de la física: els plans inclinats.

Aquest experiment consisteix a deixar anar un bloc de fusta a la part més alta d'un pla inclinat i mesurar el temps que necessita per arribar a sota. Hem fet això en sis situacions diferents emprant tres materials i dues inclinacions diferents per formar els plans inclinats sobre els quals hem fet lliscar el bloc.

Objectius:

- Estudiar la dinàmica d'un bloc en lliscar per un pla inclinat.

FÍSICA DES DE LA PRÀCTICA

- Calcular el coeficient de fregament entre el pla inclinat i el bloc emprant tres materials diferents.
- Comparar el coeficient de fregament i el temps que tarda el bloc a recórrer el pla inclinat en diferents materials.
- Comparar el temps que tarda el bloc a recórrer el pla inclinat en angles diferents.

Hipòtesis:

1. Com més gran sigui la inclinació del pla inclinat, menor serà el temps que tardarà el bloc a recórrer-lo.
2. El temps que el bloc necessitarà per recórrer el pla inclinat variarà segons el material i serà proporcional amb el coeficient de fregament entre el bloc i el pla.
3. El marbre serà el material amb un coeficient de fregament (i temps requerit per desplaçar-se pel pla inclinat) més baix, seguit del parquet i finalment el gres.
4. El coeficient de fregament d'un mateix material no variarà segons l'angle.

Material:

- 3 materials diferents de llargada mínima de 50 cm. Hem utilitzat: parquet, gres i marbre.
- Bloc
- Cinta adhesiva (preferiblement negra)
- Tisoires
- Paper de llima
- Escaire i cartabó
- Càmera de vídeo/mòbil
- Editor de vídeo⁵. Hem utilitzat el DaVinci Resolve 16
- Marcador negre
- Cinta mètrica
- Suport per crear les rampes (taula, cadira, llibres,...)

Procediment:

1. Llimem la cara del bloc que farem lliscar sobre el pla inclinat i dibuixem una fletxa. D'aquesta manera ens assegurem de llançar sempre el bloc en igualtat de condicions (mateixa cara i sentit).

⁵ És necessari que l'editor de vídeo tingui l'opció de passar la gravació fotograma per fotograma o lentament per tal d'aconseguir una major precisió a l'hora de prendre mesures.

2. Marquem des d'on haurem de llançar els blocs (tenint en compte el nostre material més curt, en el nostre cas, la rajola de gres de 75cm) perquè tots els plans inclinats tinguin la mateixa llargada. Ho fem amb una línia de cinta adhesiva.
3. Recolzem el material sobre un suport (cadira o llibres) per crear el pla inclinat.
4. Duem a terme i enregistrem 35 repeticions deixant lliscar el bloc sobre el pla inclinat en cada una de les sis condicions diferents, dues per cada material, una a 30° i l'altre a 45° . Ajustem l'angle d'inclinació corresponent utilitzant com a referència l'angle de 30° d'un escaire i un de 45° d'un cartabó. A l'Annex II (Fig. A4-A9) es mostren les gravacions de les repeticions.
5. Mitjançant un editor de vídeo recollim les mesures, retallant els fragments de vídeo des de que es deixa anar el bloc fins que aquest arriba a terra i mirant la durada de la seqüència. A l'Annex II es mostren imatges del procediment seguit per realitzar el muntatge experimental i l'anàlisi de les gravacions.
6. Apuntem les mesures de totes les repeticions en columnes agrupades segons el material i l'angle amb què han estat preses les mesures i fem una mitjana aritmètica. També calculem l'error de la mesura (veure Taules 4-9, Annex I).
7. Amb les dades obtingudes realitzem els càlculs adients per trobar el coeficient de fregament i assolir els objectius de la pràctica.



Imatge 4. Muntatge experimental dinàmica.

Consideracions i problemàtiques:

Inicialment els materials del pla inclinat eren el vidre, el parquet i el marbre, mentre que els angles escollits per fer la mesura eren 20° i 30° . A causa de certs problemes que ens hem trobat al posar a prova l'experiment hem hagut de modificar alguns aspectes de la pràctica.

El primer obstacle que hem trobat durant aquesta pràctica ha estat el fet que, després de dur a terme unes quantes repeticions sobre el vidre, el bloc frenava i baixava amb diferent rapidesa i, en alguns casos, fins i tot s'aturava al mig del pla inclinat. Per això el vidre ha hagut de ser descartat com a material pel pla inclinat i hem hagut de buscar un substitut. Creiem que la raó darrere aquest succés és l'electricitat estàtica que es pot formar entre el

FÍSICA DES DE LA PRÀCTICA

bloc i el vidre un cop aquest ha fregat uns quants cops la seva superfície, i és per això que el bloc queda “enganxat” al vidre després d’unes quantes repeticions.

A la vegada, al col·locar el bloc sobre la superfície de marbre amb una inclinació de 20° hem observat que aquest no es desplaçava.

L’única solució que hem trobat a aquests problemes degut a la manca d’accés a una gran varietat de materials ha estat modificar l’angle d’inclinació dels plans inclinats i també substituir el vidre per una rajola de gres.

Això, però, ha provocat que les mesures preses fins al moment no siguin vàlides, ja que la llargada de la rajola de gres (l’únic material que hem pogut trobar) és de 75cm, més curta que la del parquet i el marbre. Així que hem hagut de variar la llargada del parquet i el tros de marbre perquè totes les mesures siguin preses en les mateixes condicions.

A més a més, l’obstacle amb l’editor explicat a l’apartat de *Consideracions i problemàtiques* del MCU també ha afectat aquesta pràctica.

3.2.2 Resultats i discussió

A l’hora de prendre les mesures hem mesurat el temps que tarda la part davantera del bloc a arribar a baix. El bloc té una llargada de 10cm, i per tant hem hagut de restar aquests 10cm de la llargada total del pla inclinat. Per això considerem $\Delta x = 0,65m$.

Per fer els càlculs d’aquesta pràctica aplicarem la segona llei de Newton: $\Sigma \vec{F} = m \cdot a$

La incògnita que volem trobar és el coeficient de fregament, però per fer-ho també necessitarem l’acceleració del bloc en baixar pel pla inclinat i per trobar-la haurem d’aplicar l’equació del moviment del moviment rectilini uniformement accelerat i aïllar-ne l’acceleració:

$$\Delta x = x_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$$
$$\frac{2 \cdot \Delta x}{t^2} = a$$

I farem servir el valor obtingut en l’altra equació, on aïllarem la μ .

$$P_x - F_f = m \cdot a$$
$$m \cdot g \cdot \sin \alpha - N \cdot \mu = m \cdot a$$
$$m \cdot g \cdot \sin \alpha - P_y \cdot \mu = m \cdot a$$
$$m \cdot g \cdot \sin \alpha - m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot \mu = m \cdot a$$
$$m \cdot g \cdot \sin \alpha - m \cdot a = m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot \mu$$

$$\frac{m \cdot g \cdot \sin \alpha - m \cdot a}{m \cdot g \cdot \cos \alpha} = \mu$$

Per últim podem extreure factor comú al numerador i simplificar l'expressió:

$$\frac{m \cdot (g \cdot \sin \alpha - a)}{m \cdot g \cdot \cos \alpha} = \mu \rightarrow \frac{g \cdot \sin \alpha - a}{g \cdot \cos \alpha} = \mu$$

Amb aquestes dues equacions realitzarem tots els càlculs:

$$\frac{2 \cdot \Delta x}{t^2} = a \quad \frac{g \cdot \sin \alpha - a}{g \cdot \cos \alpha} = \mu$$

A la Taula 11 es mostren els resultats obtinguts aplicant les fórmules anteriors amb les mesures obtingudes en les situacions explicades a continuació:

- Situació 1: Pla inclinat de parquet amb un angle de 45° (Taula A4, Annex I).
- Situació 2: Pla inclinat de marbre amb un angle de 45° (Taula A5, Annex I).
- Situació 3: Pla inclinat de gres amb un angle de 45° (Taula A6, Annex I).
- Situació 4: Pla inclinat de parquet amb un angle de 30° (Taula A7, Annex I).
- Situació 5: Pla inclinat de marbre amb un angle de 30° (Taula A8, Annex I).
- Situació 6: Pla inclinat de gres amb un angle de 30° (Taula A9, Annex I).

Taula 11. Càlculs del treball experimental de dinàmica de les situacions 1-6.

Situació	Temps	Acceleració	Coefficient de fricció
1	(0,49±0,07) s	$a = \frac{2 \cdot 0,65}{0,49^2} = 5,41 \text{m/s}^2$	$\mu = \frac{9,8 \cdot \sin 45 - 5,41}{9,8 \cdot \cos 45} = 0,22$
2	(0,52±0,06)s	$a = \frac{2 \cdot 0,65}{0,52^2} = 4,81 \text{m/s}^2$	$\mu = \frac{9,8 \cdot \sin 45 - 4,81}{9,8 \cdot \cos 45} = 0,31$
3	(0,50±0,05)s	$a = \frac{2 \cdot 0,65}{0,50^2} = 5,20 \text{m/s}^2$	$\mu = \frac{9,8 \cdot \sin 45 - 5,20}{9,8 \cdot \cos 45} = 0,25$
4	(0,69±0,06)s	$a = \frac{2 \cdot 0,65}{0,69^2} = 2,73 \text{m/s}^2$	$\mu = \frac{9,8 \cdot \sin 30 - 2,73}{9,8 \cdot \cos 30} = 0,26$
5	(0,86±0,07)s	$a = \frac{2 \cdot 0,65}{0,86^2} = 1,76 \text{m/s}^2$	$\mu = \frac{9,8 \cdot \sin 30 - 1,76}{9,8 \cdot \cos 30} = 0,37$
6	(0,71±0,08)s	$a = \frac{2 \cdot 0,65}{0,71^2} = 2,58 \text{m/s}^2$	$\mu = \frac{9,8 \cdot \sin 30 - 2,61}{9,8 \cdot \cos 30} = 0,27$

Discussió dels resultats:

- a) Mateix material, diferents angles

FÍSICA DES DE LA PRÀCTICA

Si comparem els resultats obtinguts en un mateix material quan es varia l'angle podem observar que el temps que tarda el bloc a recórrer el pla inclinat disminueix a mesura que augmenta l'angle.

Per altra banda, observem que els coeficients de fricció (Taula 11) que hem obtingut en situacions on el material era el mateix no són exactament iguals. Per tal de determinar si la diferència entre els dos resultats és molt significant i es consideren iguals o no les magnituds resultants, hem calculat la diferència percentual dels coeficients de fricció en un mateix material. Hem utilitzat les magnituds calculades a la Taula 11.

$$\text{Parquet: } \frac{(0,26-0,22)}{0,26} \cdot 100 = 15,38\%$$

$$\text{Marbre: } \frac{(0,37-0,31)}{0,37} \cdot 100 = 16,22\%$$

$$\text{Gres: } \frac{(0,27-0,25)}{0,27} \cdot 100 = 7,41\%$$

Els percentatges obtinguts són inferiors al 20% i per tant considerem que en un mateix material el coeficient de fregament no varia en funció de l'angle d'inclinació del pla.

b) Mateix angle, diferents materials

Si observem els resultats obtinguts en diferents materials, però amb un mateix angle d'inclinació (Taula 11, situacions 1-3, angle 45° i situacions 4-6, angle 30°) veiem que el coeficient de fregament varia en funció del material. Un altre punt a destacar és el fet que els coeficients de fricció del parquet i el gres són similars mentre que el del marbre presenta una diferència major respecte el dels altres materials.

3.3 CONCLUSIONS

En tots els casos hem pogut establir una relació entre el temps que tarda el bloc a recórrer el pla inclinat i el coeficient de fregament. Com major és el coeficient de fricció entre dos materials, més gran serà la força de fregament. Aquesta força va en sentit oposat al moviment i dificulta el desplaçament del bloc sobre el pla inclinat, és per això que el bloc necessita més temps per arribar a terra. Per tant podem confirmar la hipòtesi següent: *“El temps que el bloc necessitarà per recórrer el pla inclinat variarà segons el material i serà proporcional amb el coeficient de fregament entre el bloc i el pla”*.

Per altra banda, tot i que no hem obtingut el mateix coeficient de fregament en un mateix material en modificar l'angle d'inclinació del pla, la diferència que hem obtingut entre els nostres resultats és inferior al 20% i per tant en aquest estudi es considera que els valors

són iguals. A més a més, generalment, es pot atribuir aquesta desviació a l'error de la mesura. Per tant la hipòtesi *“El coeficient de fregament d'un mateix material no variarà segons l'angle”*, també queda acceptada.

Una altra hipòtesi que podem acceptar és *“Com més gran sigui la inclinació del pla inclinat, menor serà el temps que tardarà el bloc a recórrer-lo”*, ja que hem pogut observar i documentar la validesa d'aquesta afirmació.

No obstant això, no totes les hipòtesis que hem redactat prèviament a la realització de l'experiment poden ser acceptades. La hipòtesi: *“El marbre serà el material amb un coeficient de fregament (i temps requerit per desplaçar-se pel pla inclinat) més baix, seguit del parquet i finalment el gres”*, queda descartada. Si observem els resultats obtinguts i la discussió podem dir que el material amb un coeficient de fregament més baix és el parquet, seguit del gres i per últim el marbre. L'aparença lluent del marbre feia pensar que el bloc lliscaria amb facilitat per sobre la seva superfície, però no ha estat així. Cal remarcar, però, que els coeficients calculats en aquesta pràctica corresponen als fragments de material concrets utilitzats durant la pràctica i que per tant no poden ser extrapolats a aquests tipus de materials en general.

Per millorar aquesta pràctica i fer-la més precisa hem considerat la mateixa opció que a la pràctica anterior (enregistrar les gravacions a més FPS). També pensem que utilitzar plans inclinats d'una major longitud podria contribuir a l'obtenció d'uns resultats més vàlids, ja que la diferència del temps que necessitaria el bloc per recórrer-los seria més significant.

En conclusió considerem haver assolit tots els objectius individuals d'aquesta pràctica.

3.4 PROPOSTA DIDÀCTICA

A continuació s'exposa una proposta d'una activitat pràctica dissenyada per tal de ser portada a terme en un entorn educatiu o a casa. Aquesta proposta didàctica es tracta d'una versió simplificada, ideada per no ocupar un gran nombre de sessions de la matèria.

Aquest experiment és senzill de dur a terme, però té l'inconvenient que requereix espai. Per tal d'adaptar-lo a l'aula, els alumnes només hauran de realitzar 15 repeticions en un sol material i angle. Cadascú haurà de triar una combinació dels dos angles i els tres materials escollits pel professor. Hi haurà un total de sis combinacions/situacions (per cada material en dos angles diferents), per tant, els alumnes estaran dividits en sis grups. Com que cadascú analitzarà una situació diferent, la pràctica es podrà resoldre en menys temps. És

important que el professor/a s'asseguri que el bloc llisca sobre els plans inclinats de diferents materials als dos angles, ja que, en cas contrari, no podrem fer la pràctica.

Les preguntes prèvies i els enunciats proposats per aquesta pràctica són els següents. Podem trobar el model en blanc per l'alumnat a l'Annex III.

Enunciats i correcció

1- Fes un esquema de la situació i dibuixa les forces que actuen sobre el bloc.

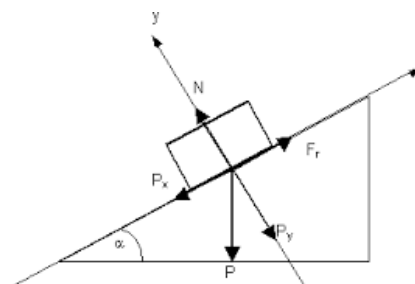


Figura 4: Exemple descomposició de forces.
Font: Educastur.printcast

2- Quina llei de Newton haurem d'aplicar per resoldre aquest problema? Desenvolupa la fórmula i troba quina o quines incògnites caldrà que calculem:

La segona llei de Newton o principi fonamental de la dinàmica: $\Sigma \vec{F} = m \cdot a$

$$P_x - F_f = m \cdot a$$

$$m \cdot g \cdot \sin \alpha - N \cdot \mu = m \cdot a$$

$$m \cdot g \cdot \sin \alpha - P_y \cdot \mu = m \cdot a$$

$$m \cdot g \cdot \sin \alpha - m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot \mu = m \cdot a$$

$$m \cdot g \cdot \sin \alpha - m \cdot a = m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot \mu$$

$$\frac{m \cdot g \cdot \sin \alpha - m \cdot a}{m \cdot g \cdot \cos \alpha} = \mu$$

Com que tenim les masses i l'angle del pla inclinat observem que caldrà calcular l'acceleració i el coeficient de fregament entre el material i el bloc.

3- Depèn el coeficient de fregament de la massa del bloc? Justifica la teva resposta.

No, la massa no afecta el coeficient de fregament, ja que si continuem desenvolupant l'expressió de l'exercici anterior la massa se simplifica:

$$m \cdot g \cdot \sin \alpha - m \cdot a = m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot \mu$$

$$\frac{m \cdot g \cdot \sin \alpha - m \cdot a}{m \cdot g \cdot \cos \alpha} = \mu$$

$$\frac{m \cdot (g \cdot \sin \alpha - a)}{m \cdot g \cdot \cos \alpha} = \mu \rightarrow \frac{g \cdot \sin \alpha - a}{g \cdot \cos \alpha} = \mu$$

4- Abans de dur a terme un experiment cal redactar les nostres hipòtesis. Per fer ho respon les preguntes següents:

- a) **Sobre quin material creus que anirà més lent el bloc?**
- b) **Com creus que afectarà l'angle d'inclinació del material al temps que el bloc necessitarà per recórrer-lo?**
- c) **Variarà el coeficient de fregament d'un mateix material segons l'angle?**

Aquí hauran de posar que creuen que passarà. Resposta del tipus: Com major sigui l'angle d'inclinació del pla inclinat, menor serà el temps que necessitarà el bloc per recórrer-lo.

5- Segueix aquest procediment:

1. Fes una marca al bloc i al pla inclinat per assegurar-te que sempre el poses al mateix punt i sobre la mateixa cara (pots dibuixar una fletxa al bloc per fer-lo lliscar sempre sobre la mateixa cara i en el mateix sentit).
2. Fes lliscar el bloc sobre el pla inclinat deixant-lo anar a la part més alta de la rampa. Repeteix el procés 15 vegades i enregistra el procediment.
3. Amb una aplicació d'edició de vídeo visualitza i mesura quant temps necessita el bloc per arribar a la part més baixa del pla inclinat.
4. Fes una mitjana aritmètica dels temps obtinguts i calcula l'error de la mesura. Realitza els càlculs adients.
5. Compara els teus resultats amb els dels companys per extreure'n conclusions.

6- Redacta les conclusions de la pràctica. Algunes preguntes per ajudar-te:

- a) **Has assolit els objectius?**
- b) **S'han confirmat o descartat les hipòtesis inicials?**
- c) **Què has pogut observar?**
- d) **Què has après?**
- e) **Com valores la pràctica? Què milloraries?**

A aquest apartat els alumnes hauran de respondre les preguntes i fer un redactat propi i individual de les seves conclusions, observacions i aprenentatge durant la pràctica.

4. XOCS I ENERGIES

4.1 MARC TEÒRIC

En física definim xoc com una interacció entre dos o més cossos on com a mínim un d'ells es troba prèviament en moviment. Durant aquest succés hi ha un intercanvi d'energia i és per això que és important definir els conceptes bàsics relacionats amb l'energia abans d'estudiar o anomenar els diferents tipus de xocs.

Una altra magnitud que intervé en els xocs és la quantitat de moviment. Aquesta es manté constant als tres tipus de xocs bàsics que trobem a la física de batxillerat els quals seran explicats més endavant.

4.1.1 Conceptes i magnituds associats als xocs

L'**energia** és sovint definida com la capacitat que té un sistema de dur a terme un treball. L'energia és un concepte abstracte i difícil d'imaginar però, malgrat no ser visible, podem percebre els seus efectes. Algunes de les "manifestacions" de l'energia es troben en la temperatura, la llum i el treball útil. Classifiquem l'energia en diferents tipus, en mecànica trobem tres: l'energia cinètica, energia potencial i l'energia mecànica.

En termes simples podríem dir que l'**energia cinètica** (E_c) és aquella energia que permet que un objecte estigui en moviment. És a dir, l'energia cinètica és el treball necessari perquè un objecte arribi a una velocitat concreta.

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Una observació que cal remarcar d'aquesta fórmula és el fet que l'energia cinètica en cap cas serà negativa. La massa d'un cos no pot ser inferior a zero i la velocitat es troba elevada al quadrat. Per tant sempre podem afirmar: $E_c \geq 0$.

Quan parlem d'**energia potencial** fem referència a l'energia que té un objecte depenent de la seva posició dins d'un camp de forces conservatiu. Existeixen diferents tipus d'energia potencial com per exemple la gravitatòria, l'elàstica i l'electroestàtica. La més comuna i la qual treballarem durant la nostra pràctica és l'**energia potencial gravitatòria** (E_p). La seva fórmula és: $E_p = mgh$ on h és la variació de l'alçada respecte al punt de referència i g el camp gravitatori del planeta (camp gravitatori de la Terra = $9,8 \text{ m/s}^2$).

Finalment tenim l'**energia mecànica** (E_m), que és la suma de l'energia potencial i l'energia cinètica: $E_m = E_p + E_c$. Per tant, quan l'energia mecànica d'un cos en un moment determinat és nul·la, podem escriure el següent:

$$\begin{aligned} E_m &= 0 \\ E_c + E_p &= 0 \\ E_c &= -E_p \end{aligned}$$

En tots els casos la unitat del SI de l'energia és el Joule (J).

Quan parlem d'energia és important mencionar el **principi de conservació de l'energia**, el qual determina que l'energia no es crea ni es destrueix, sinó que es transforma. Quan al sistema no hi intervé cap mena de força o treball extern, diem que l'energia total es conserva, és a dir, la variació d'energia mecànica és nul·la. Aleshores podem fer el raonament següent:

$$\begin{aligned} \Delta E_m &= 0 \\ E_{m_o} + E_{m_f} &= 0 \\ E_{m_o} &= E_{m_f} \\ E_{c_o} + E_{p_o} &= E_{c_f} + E_{p_f} \end{aligned}$$

Una altra magnitud que es conserva és la **quantitat de moviment**. Aquesta és una magnitud vectorial representada pel vector \vec{p} . Es tracta del producte entre la velocitat i la massa del cos en moviment. Les seves unitats del SI són el kg·m/s.

$$\vec{p} = m \cdot v$$

4.1.2 Tipus de xocs

Agrupem els xocs en tres grups diferents segons les seves característiques que ens permeten diferenciar-los.

Quan dos cossos reboten immediatament després de l'impacte i no es produeix cap deformació del seu estat original parlem d'un **xoc elàstic**. És el més ideal i senzill d'estudiar, ja que en aquests tipus de xocs es conserven tant la quantitat de moviment com l'energia cinètica.

FÍSICA DES DE LA PRÀCTICA

Contràriament al que passa durant un xoc elàstic, en un **xoc inelàstic** com a mínim un dels cossos implicats es deforma durant l'impacte. En aquest tipus de xoc la quantitat de moviment es conserva, però no l'energia cinètica, de la qual se'n perd part en la col·lisió.

Per últim, el **xoc perfectament inelàstic** és aquell on un dels cossos queda totalment deformat i incrustat a l'altre objecte. Després del xoc, ambdós es mouen a la mateixa velocitat i direcció de manera conjunta com un sol cos. La quantitat de moviment es conserva, però l'energia cinètica es perd durant el xoc a causa de la deformació o es transforma en calor.

4.2 TREBALL EXPERIMENTAL

4.2.1 Disseny de l'experiment

De la mateixa manera que hem fet a la pràctica anterior, en aquest cas també ens basarem en una situació típicament presentada als problemes de física de primer de batxillerat. Aquesta situació es tracta del pèndol. Aquest pèndol estarà format per dues boles lligades a dos fils. Col·locarem una de les boles en un angle determinat i la deixarem caure perquè xoqui contra l'altra, la qual estarà inicialment en repòs. El procés experimental seguit es descriu a continuació.

Objectius:

- Estudiar el xoc entre dos cossos i l'intercanvi d'energia que aquest provoca.
- Calcular l'alçada teòrica a la qual hauria d'arribar la segona bola.
- Comparar el model teòric amb els resultats obtinguts a la pràctica.
- Comparar el xoc quan les masses de les dues esferes són iguals i quan la segona bola té una massa inferior a la primera.

Hipòtesis:

1. L'alçada que assolirà la segona bola durant la pràctica serà lleugerament menor que l'alçada calculada mitjançant les dades teòriques.
2. Quan la massa de la primera bola sigui menor que la de la segona, la segona bola arribarà a menys alçada que quan les masses siguin iguals.

Material:

- Fil de pescar
- 3 boles (dues de masses iguals i una diferent)

- Pal d'escombra o similar
- Tira metàl·lica perforada
- Dos cargols
- Dues femelles
- Càmera de vídeo/mòbil
- Cinta mètrica
- Cinta adhesiva
- Tisores
- Dos suports (cadires, piles de llibres, etc.)
- Aplicació d'edició de vídeo⁶

Procediment:

1. Tallem dos trossos de fil de pescar d'aproximadament 20cm.
2. Lliguem un extrem del fil a una de les boles. En el nostre cas, les dues boles de pes igual tenen un cargol (Imatge 6) on podem nuar el fil. En el cas de la bola de massa inferior la fixem amb un tros de cinta adhesiva.
3. L'altre extrem del fil el fem passar per un forat de la tira metàl·lica perforada. Els passem per dos forats contigus o separats per un sol forat (Imatge A8, Annex II).
4. Als forats on hi hem passat un fil posem un cargol i el fixem amb una femella. D'aquesta manera podem allargar o escurçar el fil sense fer o desfer nusos, simplement afluixant el cargol, i ens serà més fàcil ajustar l'alçada perquè les dues boles estiguin anivellades. Amb aquest muntatge enregistrem les gravacions i analitzarem les dades de la mateixa manera que al disseny primari (Imatge 7).
5. Posem el muntatge anterior davant d'una paret sobre la qual enganxarem una cinta mètrica per poder mesurar posteriorment de manera visual l'alçada màxima que assolirà la segona bola (Imatge 6).

⁶ És necessari que l'editor de vídeo tingui l'opció de passar la gravació fotograma per fotograma per tal d'aconseguir una major precisió a l'hora de prendre mesures.



Imatge 6: Les dues boles de massa igual lligades a la tira perforada i al pal d'escombra.

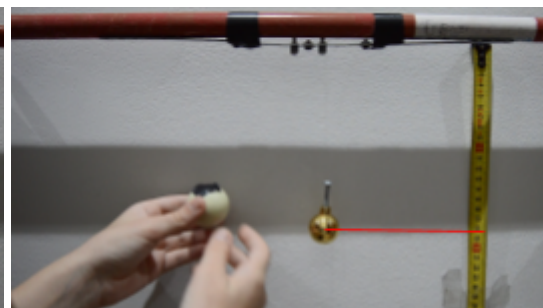


Imatge 7: Muntatge experimental preparat per l'enregistrament (boles de masses diferents).

6. Deixem caure la primera bola des d'un angle de 90° fent que xoqui contra la segona i repetim el procés 30 vegades enregistrant les repeticions en vídeo. A l'Annex II es mostren les gravacions de les repeticions (Fig. A10-A11) i imatges del procediment seguit per realitzar el muntatge experimental i l'anàlisi de les gravacions.
7. Repetim tot el procediment canviant la primera bola per la de massa inferior.
8. Per recollir les mesures busquem fotograma per fotograma fins a localitzar el moment en què la bola es troba en el punt més alt i anotem l'alçada. En molts casos, per veure l'alçada final de la bola haurem de posar pantalla completa⁷, ja que majoritàriament els editors de vídeo ofereixen una previsualització massa petita per apreciar els nombres i les línies d'una cinta mètrica de mida estàndard.
9. Amb les dades que obtenim realitzem la mitjana aritmètica i l'error de la mesura. Hem de tenir en compte, però, que hem col·locat la cinta amb el punt de referència (0) al pal d'escombra. Aleshores, per conèixer l'alçada que assolix la segona bola hem restat l'altura final (després del xoc) de l'altura inicial (en repòs). L'altura inicial l'hem calculat amb una imatge on la bola es troba en repòs i hem traçat una línia recta. (Imatges 8 i 9).



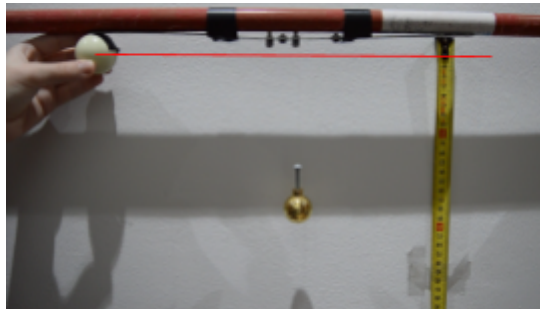
Imatge 8: Mesura de l'alçada inicial (17cm) de la bola en repòs (cas a, boles masses iguals).



Imatge 9: Mesura de l'alçada inicial (18,2cm) de la bola en repòs (cas b, boles masses diferents).

⁷ Ctrl+F: Per accedir al mode pantalla completa al DaVinci Resolve 16.

A la segona situació, a diferència de la primera, tal com podem observar a la Imatge 10 la bola no és exactament llançada des del 0. Per tant a l'hora de fer els càlculs també haurem de tenir en compte que l'alçada inicial de la primera bola en aquest cas (cas b a l'apartat dels càlculs) és de 16,2cm.



Imatge 10: Mesura de l'alçada inicial (16,2cm) de la primera bola (cas b, masses diferents).

Consideracions i problemàtiques

El procediment explicat anteriorment no correspon al disseny inicial. A continuació es descriuen els canvis en el disseny que ha calgut modificar.

En primer lloc, hem vist que lligar les dues boles al pal d'escombra fent que aquestes quedin a la mateixa alçada és molt complicat. Per tal de poder considerar la massa del fil negligible hem utilitzat fil de pescar, molt fi i difícil de nuar i encara més de desnuar. Per solucionar aquest inconvenient sense haver d'estar molta estona intentant igualar l'alçada de les dues boles, hem canviat lleugerament el disseny. En comptes de fer un nus al pal d'escombra hem passat l'extrem del fil de pescar, el que no està lligat ni enganxat a la bola, per un forat d'una tira metàl·lica perforada. Aleshores hem col·locat un cargol i una femella al mateix forat pel qual hem passat el fil per fixar-lo. Llavors l'únic que cal fer per ajustar l'alçada de les boles és afluixar una mica el cargol, deixar o recollir fil, i tornar a collar-lo.

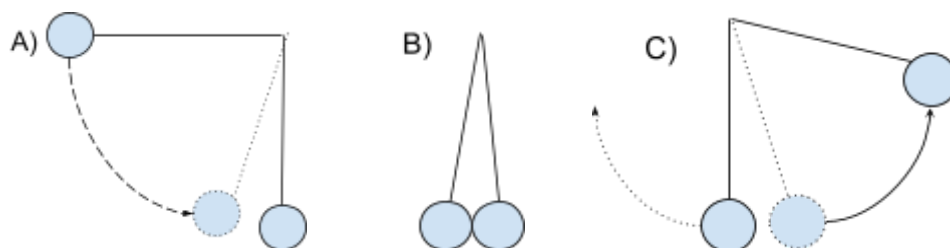
Un cop fet això hem col·locat els extrems de la tira perforada sobre dues piles de llibres que ens fan de suport. Això no obstant, ens hem trobat amb un segon problema: la tira perforada és massa curta i no podem llençar les boles, ja que aquestes xoquen amb els llibres. La primera idea per solucionar aquest problema ha estat allargar la tira perforada mitjançant altres tires perforades. Amb cargols i femelles hem fixat dues tires perforades a cada extrem de la tira original i d'aquesta manera la seva llargada permet dur a terme l'experiment sense

que les boles toquin els suports. Aquesta solució, però, ha comportat un altre obstacle: en llançar les boles les tires metàl·liques oscil·len. Aquest moviment requereix energia i fa que els resultats obtinguts amb aquest muntatge es vegin afectats. Per evitar això hem fixat amb cinta adhesiva l'estructura muntada amb la tira metàl·lica perforada al pal d'escombra, el qual és més llarg i rígid, fet que resol els dos problemes anteriors (Imatge 6).

Per últim, al realitzar la pràctica hem vist que si deixem anar la bola de massa superior i posem la de massa inferior en repòs, la segona bola assolirà una alçada considerable tal que a vegades xocarà contra el pal d'escombra, invalidant la mesura. És per això que hem decidit que la bola que llançarem en la segona situació (masses diferents) serà la de massa inferior i no al revés com teníem pensat originalment.

4.2.2 Resultats i discussió

Hem fet els càlculs considerant que es tracta d'un xoc perfectament elàstic. A més, hem considerat negligibles la massa del fil que subjecta les dues boles i el fregament de l'aire. Per fer els càlculs teòrics d'aquesta pràctica cal dividir el problema en tres situacions i fer un seguit de raonaments previs que hem aplicat en tots dos casos.



Imatge 11. Esquema pèndol situacions A, B i C descrites a continuació

- A) **Des que deixem anar la bola 1 fins que aquesta arriba al punt on $h = 0$.** En aquesta situació calcularem la velocitat de la bola 1 just abans del xoc com es mostra a continuació.

$$\Delta E_m = 0 \rightarrow E_{c_o} + E_{p_o} = E_{c_f} + E_{p_f}$$

$$\text{Com que } v_1 = 0 \text{ i } h_f = 0 \rightarrow E_{p_o} = E_{c_f} \rightarrow h \cdot m \cdot g = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2$$

$$\text{Simplifiquem les masses i aïllem la velocitat: } \sqrt{2 \cdot h \cdot g} = v_1$$

- B) **Moment del xoc.** En aquesta situació calcularem la velocitat de la bola 2 (v_2) just després de la col·lisió. No és necessari trobar v_{1f} perquè no estudiarem la primera bola després del xoc.

$$\Delta p = 0 \rightarrow p_o = p_f \rightarrow m_1 \cdot v_1 = m_1 \cdot v_{1f} + m_2 \cdot v_2$$

$$\Delta E_c = 0 \rightarrow \frac{1}{2}m_1 \cdot v_1^2 = \frac{1}{2}m_1 \cdot v_{1f}^2 + \frac{1}{2}m_2 \cdot v_2^2$$

C) **Moment posterior al xoc fins que la segona bola assoleix la seva alçada màxima.** En aquesta situació calcularem l'alçada màxima de la segona bola.

$$\Delta E_m = 0 \rightarrow E_{c_o} + E_{p_o} = E_{c_f} + E_{p_f}$$

$$\text{Com que } v_f = 0 \text{ i } h_o = 0 \rightarrow E_{c_o} = E_{p_f} \rightarrow \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_2^2 = h \cdot m \cdot g$$

$$\text{Simplifiquem les masses i aïllem l'alçada } \frac{1}{2} \cdot v_2^2 = h \cdot g \rightarrow \frac{\frac{1}{2} \cdot v_2^2}{g} = h$$

A continuació es descriuen els resultats obtinguts en el cas del xoc de dues boles amb masses iguals (a) i en el cas de dues boles amb masses diferents (b).

a) *Dues masses iguals*

$$\text{Dades: } m_1 = 83g, m_2 = 83g, h_o = 17cm, g = 9,8m/s^2$$

Situació A:

$$\sqrt{2 \cdot 0,17 \cdot 9,8} = 1,83m/s (v_1)$$

Situació B:

Extraiem factor comú i simplifiquem les masses a les dues equacions del sistema ($m_1 = m_2$).

$$m \cdot v_1 = m (v_{1f} + v_2) \rightarrow v_1 = v_{1f} + v_2$$

$$\frac{1}{2}m \cdot v_1^2 = \frac{1}{2}m (v_{1f}^2 + v_2^2) \rightarrow v_1^2 = v_{1f}^2 + v_2^2$$

$$1,83 = v_{1f} + v_2$$

$$1,83^2 = v_{1f}^2 + v_2^2$$

$$1,83 - v_2 = v_{1f}$$

$$1,83^2 = (1,83 - v_2)^2 + v_2^2 \rightarrow 3,35 = 3,35 - 3,66v_2 + v_2^2 + v_2^2$$

$$0 = -3,64v_2 + 2v_2^2 \rightarrow 0 = v_2(2v_2 - 3,66)$$

$$\text{Dos possibles resultats: } v_{2_1} = 0m/s \quad v_{2_2} = 1,83m/s$$

Després del xoc la velocitat no pot ser nul·la així que el primer resultat queda descartat i obtenim que la velocitat de la segona bola just després del xoc és 1,83 m/s.

Situació C:

FÍSICA DES DE LA PRÀCTICA

$$\frac{\frac{1}{2} \cdot 1,83^2}{9,8} = h = 0,1708 \text{ m} = 17,08 \text{ cm}$$

Discussió dels resultats

Hem passat el resultat obtingut a centímetres per comparar-lo amb la mesura obtinguda durant la pràctica. Aquesta mesura (Taula A10, Annex I) és $(9,11 \pm 1,14)$ cm. La mesura experimental no coincideix ni conté dins el seu marge d'error el resultat dels càlculs teòrics.

$$\frac{(17,08 - 9,11)}{17,08} \cdot 100 = 46,66\%$$

La diferència percentual entre les dades calculades i les dades experimentals és significativament superior al 20% establert. Així doncs, en aquest cas podem afirmar que el model emprat a classe per estudiar els xocs elàstics no ens permet explicar la realitat acuradament.

b) Dues masses diferents

$$\text{Dades: } m_1 = 54 \text{ g}, m_2 = 83 \text{ g}, h_o = 16,2 \text{ cm}, g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

Situació A:

$$\sqrt{2 \cdot 0,162 \cdot 9,8} = 1,78 \text{ m/s } (v_1)$$

Situació B:

En aquest cas no podem simplificar les masses del sistema, ja que $m_1 \neq m_2$.

$$0,054 \cdot 1,78 = 0,054 v_{1f} + 0,082 v_2$$

$$\frac{1}{2} 0,054 \cdot 1,78^2 = \frac{1}{2} 0,054 \cdot v_{1f}^2 + \frac{1}{2} 0,082 \cdot v_2^2$$

$$\frac{0,096 - 0,082 v_2}{0,054} = v_{1f}$$

$$0,086 = \frac{1}{2} 0,054 \left(\frac{0,096 - 0,082 v_2}{0,054} \right)^2 + \frac{1}{2} 0,082 \cdot v_2^2$$

$$0,086 = 0,027 \left(\frac{9,22 \cdot 10^{-3} - 15,7 \cdot 10^{-3} v_2 + 6,7 \cdot 10^{-3} v_2^2}{2,95 \cdot 10^{-3}} \right) + 0,041 v_2^2$$

$$0,086 = 0,027 \left(\frac{10^{-3} (9,22 - 15,7 v_2 + 6,7 v_2^2)}{2,95 \cdot 10^{-3}} \right) + 0,041 v_2^2$$

$$0,086 = 0,027 \left(\frac{9,22 - 15,7v_2 + 6,7v_2^2}{2,95} \right) + 0,041v_2^2$$

$$0,086 = \left(\frac{0,25 - 0,42v_2 + 0,18v_2^2}{2,95} \right) + 0,041v_2^2$$

$$0,086 = \frac{0,25 - 0,42v_2 + 0,18v_2^2 + 0,12v_2^2}{2,95}$$

$$0,25 = 0,25 - 0,42v_2 + 0,3v_2^2$$

$$0,3v_2^2 - 0,42v_2 = 0 \rightarrow v_2(0,3v_2 - 0,42) = 0$$

Dos possibles resultats: $v_{2_1} = 0m/s$ $v_{2_2} = 1,4m/s$

Situació C: A partir de $v_{2_2} = 1,4m/s$

$$\frac{\frac{1}{2} \cdot 1,4^2}{9,8} = h \quad h = 0,1m = 10cm$$

Discussió dels resultats

Hem passat el resultat a centímetres per poder-lo comparar amb la mesura experimental. La dada real obtinguda durant la pràctica (veure taula A12, Annex I) ha estat $(8,81 \pm 0,91)$ cm.

$$\frac{(10 - 8,81)}{10} \cdot 100 = 11,9\%$$

En aquest cas la magnitud calculada no es troba inclosa dins l'error de la dada experimental. No obstant, cal destacar que el percentatge diferencial és inferior al 20%, de manera que considerarem que en aquest segon cas el model utilitzat a l'aula és representatiu del funcionament del món real.

Discussió general

En el cas de l'experimentació amb els xocs les diferències entre resultats reals i teòrics ha estat major que en els casos estudiats anteriorment. Atribuïm aquests resultats a la complexitat del problema i el fet que per tal de facilitar els càlculs es planteja una situació ideal en la qual no es perd energia durant la col·lisió. Aquest model no és realista i també negligeix el fregament de l'aire. Per tal d'acostar-se el màxim al model estudiat a l'aula caldria buscar un suport rígid i ben assegurat que no permetés la pèrdua d'energia en fer vibrar l'estructura. Escurçar la longitud del fil nuat a les masses també seria una millora a

considerar. En descriure un recorregut més curt abans i després del xoc, l'acció del fregament de l'aire es veuria reduïda i per tant també es veurien menys afectats els nostres resultats.

4.3 CONCLUSIONS

Una millora senzilla per aquest model experimental consistiria a buscar un suport rígid que permeti deixar anar la bola des de 90° còmodament. D'aquesta manera s'evitaria haver de tenir en compte tantes consideracions com des de quina alçada és llançada realment la bola i al fer l'experiment més senzill hi hauria menys possibilitat d'error. A més, com ja s'ha discutit anteriorment, un suport estable minimitzaria la quantitat d'energia perduda en fer vibrar l'estructura, fent els nostres càlculs més fiables. Un altre factor que simplificaria els càlculs seria el fet d'utilitzar masses més grans. Això ens evitaria haver de treballar amb nombres petits amb els quals és més fàcil equivocar-se i, a més, la diferència entre els dos casos seria més notable. Una altra millora que ja ha estat discutida en més profunditat anteriorment és l'escurçament dels fils lligats a les boles.

Aquesta pràctica ens ha proporcionat resultats molt diversos als dos casos estudiats. En el primer cas (masses iguals), la diferència entre la realitat observada durant l'experiment i els resultats teòrics calculats a partir del model estudiat a classe és molt gran. Per fer els càlculs hem considerat que el xoc produït a la pràctica és totalment elàstic. Això significa que tota l'energia i la quantitat de moviment es conserva i per tant, quan les dues masses són iguals, l'alçada final de la segona bola és, teòricament, igual a l'alçada inicial de la primera. A la gravació 10 (Annex II) s'observa clarament que això no succeeix. Atribuïm la diferència entre el model i la realitat al fet que en aquest estudi per tal de simplificar els càlculs es negligeix el fregament de l'aire i l'energia perduda durant el xoc.

Altrament, en el segon cas (masses diferents) hem conclòs que les dades teòriques coincideixen amb les mesures experimentals i que en aquest cas el model emprat a classe sí que ens permet explicar la realitat de manera precisa. Relacionem la petita diferència entre els resultats teòric i experimental al mateix que en el cas anterior.

Tanmateix, observem una desigualtat significant entre la diferència percentual de les dades. Tot i que no sabem del cert la causa d'aquesta desviació considerant que els dos casos han estat estudiats emprant el mateix model teòric, creiem que el fet que quan les masses són iguals, la segona bola assoleixi una alçada superior a quan les boles tenen massa diferent, pot causar que a l'haver de realitzar un major recorregut el resultat es vegi més afectat pel fregament de l'aire.

Dit això, la hipòtesi *“L'alçada que assolirà la segona bola durant la pràctica serà lleugerament menor que l'alçada calculada mitjançant les dades teòriques”* queda descartada pel primer cas (on la diferència entre els resultats calculats i les dades mesurades és força significant) però és acceptada en el segon cas, on la dada calculada gairebé queda inclosa dins el marge d'error de la dada real i la diferència percentual entre les dues és inferior al 20%.

Respecte a la nostra segona hipòtesi *“Quan la massa de la primera bola sigui menor que la de la segona, la segona bola arribarà a menys alçada que quan les masses siguin iguals”* queda acceptada. L'energia necessària per moure un cos és proporcional a la seva massa. Si la primera bola té una massa menor, aquesta porta menys energia que en el primer cas i per tant en transferir-la a la segona bola (de massa més elevada) l'alçada que aquesta assoleix és inferior que en el cas anterior.

En definitiva podem considerar assolits tots els objectius individuals d'aquesta pràctica.

4.4 PROPOSTA DIDÀCTICA

L'activitat didàctica proposada a continuació pren com a referència el disseny experimental anterior, adaptant-lo per fer-lo apropiat per ser realitzat en hores lectives o a casa en cas de confinament.

L'experiment proposat pot ser realitzat de moltes maneres diferents. A la nostra pràctica hem mirat de dissenyar un experiment que ens minimitzi l'error de mesura. Tot i això s'ha de ser conscient que a l'aula es disposa de temps i materials limitats i que per tant s'ha de simplificar l'experiment. Així doncs, a classe aquesta pràctica es podria realitzar amb un parell de boles de massa significativa, una cinta mètrica, cinta aïllant, fil de pescar i una barra o semblant. Per fer la pràctica més breu, farem que els alumnes es divideixin en dos grups. Un reproduirà el cas A (masses iguals) i l'altre el cas B (masses diferents). Només amb la meitat de la pràctica, els alumnes hauran estudiat els xocs i les energies i seran capaços de comparar els resultats que han obtingut a la pràctica amb els resultats teòrics que hauran calculat. Al final de la pràctica els dos grups podran comparar les dues situacions per enllestir l'anàlisi de l'experiment i poder redactar unes conclusions. El model de les fitxes en blanc pels alumnes és a l'Annex III.

Enunciats i correcció

1-Què diu el principi de conservació de l'energia? Quan el podem aplicar?

El principi de conservació de l'energia determina que “l'energia no es crea ni es destrueix, sinó que es transforma”. Podem dir que l'energia total es conserva quan al sistema no hi intervé cap mena de força o treball extern. En aquests casos la variació d'energia mecànica és nul·la i podem escriure el següent:

$$\Delta E_m = 0$$

$$E_{m_o} + E_{m_f} = 0$$

$$E_{m_o} = E_{m_f}$$

$$E_{c_o} + E_{p_o} = E_{c_f} + E_{p_f}$$

2- Fes un esquema de les tres “parts” en les que hem de dividir l'experiment per fer-ne els càlculs i explica a què es correspon cada situació.

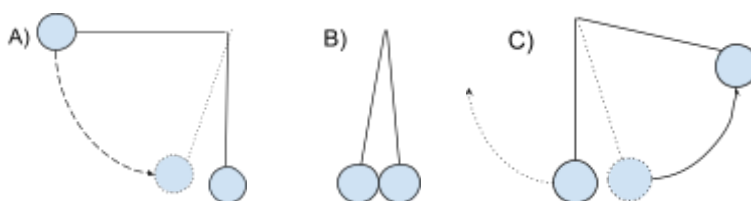


Figura 5: Esquema del pèndol situacions A, B i C.

- A) Des que deixem anar la bola 1 fins que aquesta arriba al punt on $h = 0$.
- B) Moment del xoc.
- C) Moment posterior al xoc fins que la segona bola assoleix la seva alçada màxima.

3- Abans de dur a terme un experiment cal redactar les nostres hipòtesis. Per fer-ho respon les preguntes següents:

- a) Creus que hi haurà diferència entre els resultats calculats i els obtinguts experimentalment? Per què?
- b) Creus que a la pràctica la bola assolirà una alçada major que a la teoria o al revés?
- c) En quina de les dues variants de l'experiment creus que assolirà una major alçada la segona bola?

Aquí hauran de posar que creuen que passarà. Resposta del tipus: Hi haurà diferència entre els càlculs teòrics i els pràctics perquè a la teoria no estem tenint en compte el fregament de l'aire.

4- Segueix el procediment següent:

El muntatge de l'experiment pot ser modificat per l'alumne depenent del material que tingui disponible. El procediment estàndard de guia és el següent:

Materials: dues boles (de pes igual o diferent depenent de la situació que estigui estudiant), fil de pescar, barra, cinta aïllant i cinta mètrica.

1. Lliguem el fil de pescar a la barra i a la bola (amb un nus o cinta adhesiva) col·locant les dues boles a la mateixa alçada.
2. Posem els extrems de la barra sobre dos suports vigilat que hi hagi espai suficient perquè les boles no xoquin amb els suports.
3. Posarem el muntatge anterior davant d'una paret sobre la qual enganxarem la cinta mètrica, darrere de les boles. D'aquesta manera podrem visualitzar i mesurar posteriorment l'alçada màxima a la qual arribarà la segona bola.
4. Deixarem caure la primera bola des d'un angle de 90° fent que xoqui contra la segona, repetirem el procés 15 vegades i enregistrarem les repeticions en vídeo.
5. Per recollir les dades utilitzarem un editor de vídeo que ens permeti observar les gravacions fotograma per fotograma. D'aquesta manera podrem observar amb més claredat quan la segona bola es troba en el punt més alt i podrem fer la mesura observant la cinta mètrica situada al darrere prèviament. Farem la mitjana aritmètica de les mesures i el seu error absolut.

5- Redacta les conclusions de la pràctica. Algunes preguntes per ajudar-te:

- a) **Has assolit els objectius?**
- b) **S'han confirmat o descartat les hipòtesis inicials?**
- c) **Què has pogut observar?**
- d) **Què has après?**
- e) **Com valora la pràctica? Què milloraries?**

A aquest apartat els alumnes hauran de respondre les preguntes i fer un redactat propi i individual de les seves conclusions, observacions i aprenentatge durant la pràctica.

5. CONCLUSIONS

Els dissenys experimentals tan diversos que hem executat i desenvolupat en el cos d'aquest treball ens han proporcionat resultats molt diferents dels quals n'hem extret conclusions de manera individual.

Primerament, a l'experiment de cinemàtica, hem conclòs que el model emprat en la física de primer de batxillerat per estudiar el moviment circular uniforme permet estudiar el moviment d'un tocadiscs de manera acurada. El tocadiscs és una màquina que manté sempre la velocitat constant (fenomen difícil de trobar a la natura) i és per aquesta raó que en aquest cas el model teòric descriu la realitat de manera tan adequada. També hem observat que el radi de la circumferència descrita per un cos és proporcional a la velocitat tangencial d'aquest, de la mateixa manera que són proporcionals la velocitat angular i l'acceleració normal.

En segon lloc, a l'experiment de dinàmica hem pogut observar que el coeficient de fregament varia en funció del material emprat. Per altra banda, aquest es manté constant quan es modifica la inclinació del pla on es troba. Així doncs, podem concloure que el coeficient de fricció és característic de cada parella de materials en contacte i no depèn de l'angle.

Finalment, en l'experiment de xocs i energies hem obtingut dos resultats contradictoris. En el primer cas (masses iguals) hem determinat que el model no representa la realitat de manera adequada. Hem atribuït els resultats obtinguts al fet que en aquesta pràctica s'han negligit factors que tenen un efecte considerable sobre els nostres resultats com són el fregament de l'aire i la pèrdua de part de l'energia durant la col·lisió. No obstant, en el segon cas estudiat (masses diferents), s'ha aplicat el mateix model teòric i la diferència percentual de les dades mesurades i les calculades a partir dels conceptes teòrics ha resultat inferior al 20%. Per tant en aquest cas considerat que el model emprat s'adequa a la realitat. Tot i que desconeixem la causa real d'aquesta diferència, creiem que, parcialment, pot tenir a veure amb el fet que, en assolir una major alçada, la segona vola en el primer cas ha de fer un major recorregut i per tant es veu més afectada pel fregament de l'aire.

Resumint, els models emprats són més acurats del que preveiem. Tot i així, també hem notat que la complexitat de les situacions plantejades està estretament relacionada amb la precisió del seu model. Com més complexa és una situació, més factors es negligeixen, i

per tant les dades calculades a partir dels conceptes teòrics presenten una major desviació respecte a la realitat.

Considerem que en general les problemàtiques trobades durant el procés experimental han estat ben tractades i documentades, resultant en uns experiments amb la major precisió possible dins les nostres capacitats. Globalment creiem que els objectius, tant els generals del treball com els detallats en cada treball experimental, han estat assolits.

BIBLIOGRAFIA I WEBGRAFIA

- Aprèn física: Cinemàtica <https://sites.google.com/site/aprenfisica/cinematica>
(Consulta 18/10/2020)
- Candel A., Satoca J., Soler J.B., Tejerina F., Tent, J.J. Física C.O.U. editorial ANAYA
- Concepto.de - Concepto de Energía en Física
<https://concepto.de/energia-en-fisica/> (consulta 27/12/2020)
- Coronado G., Fernandez J.L., Físicalab: movimiento y sistemas de referencia
<https://www.fisicalab.com/apartado/movimiento-sistemas-referencia> (Consulta 25/10/2020)
- Diccionari.cat - Radiant <http://www.diccionari.cat/lexicx.jsp?GECART=0113141>
(Consulta 02/11/2020)
- Educaplus.org - Tipos de choques
http://www.educaplus.org/momentolineal/tipos_choques.html (Consulta 29/11/2020)
- Escola Pia Santa Anna Mataró - Quantitat de moviment i conservació de la quantitat de moviment
https://fisicaformula1.webcindario.com/quantitat_de_moviment_i_conservaci_de_la_quantitat_de_moviment.html (consulta 27/12/2020)
- Fernández J.L., Ecuaciones del Movimiento Circular Uniforme (M.C.U.)
<https://www.fisicalab.com/apartado/ecuaciones-mcu> (Consulta 02/11/2020)
- Físicalab - Ecuaciones Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado (M.R.U.A.)
<https://www.fisicalab.com/apartado/mrua-ecuaciones> (Consulta 30/11/2020)
- Gran Enciclopèdia Catalana - Cinemàtica
<https://www.enciclopedia.cat/ec-gec-0090570.xml> (consulta 18/10/2020)
- Grau, Carla - Força de fregament (Ff)
<https://sites.google.com/a/santantoni.epiaedu.cat/la-fisica2/dinamica/forca-de-fregament-ff> (Consulta 27/12/2020)
- Recio Miñarro, Joaquín - Principio de conservación de la energía
http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/energia/conservacion.htm
(consulta 27/12/2020)
- Rinconeducativo.org - La Energia
https://www.rinconeducativo.org/contenidoextra/la-energia-quinto-primaria/la_energia.html (consulta 27/12/2020)
- Rodriguez Portilla M., E.Cinemática Conceptos Básicos
<https://sites.google.com/site/elpasadodelafisica/cinematica> (Consulta 25/10/2020)

- Sc.ehu.es - El rozamiento por deslizamiento
<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/dinamica/rozamiento/general/rozamiento.htm>
(Consulta 28/11/2020)
- Serendiphia.es - 1.5 Ecuación de la trayectoria
http://serendiphia.es/recursos/fyq1/cine/t3cine/15_ecuacin_de_la_trayectoria.html
(Consulta 25/10/2020)
- Valcarce, Aldo - Física: Dinámica Conceptos básicos y problemas
http://www.astro.puc.cl/~avalcarc/FIS109A/08_Dinamica.pdf (Consulta 28/11/2020)
- Valenzuela D., Movimiento Circular Uniforme FISIC Movimiento circunferencial Uniforme <https://www.fisic.ch/contenidos/cinem%C3%A1tica-rotacional/mcu/>
(Consulta 18/10/2020)
- Vikipèdia - Coeficient de fricció
https://ca.wikipedia.org/wiki/Coeficient_de_fricci%C3%B3 (Consulta 28/11/2020)
- Vikipèdia - Lleis de Newton
https://ca.wikipedia.org/wiki/Lleis_de_Newton#Les_tres_lleis_de_Newton (Consulta 28/11/2020)
- Vikipèdia - Moviment Circular https://ca.wikipedia.org/wiki/Moviment_circular
(Consulta 25/10/2020)
- Wikipedia - Choque física [https://es.wikipedia.org/wiki/Choque_\(f%C3%ADsica\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Choque_(f%C3%ADsica))
(Consulta 29/11/2020)
- Wikipedia - Modelo Físico
https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_f%C3%ADsico#En_la_f%C3%ADsica (Consulta 25/10/2020)
- Wikipedia - Movimiento Circular Uniforme
https://es.wikipedia.org/wiki/Movimiento_circular_uniforme (Consulta 02/11/2020)

ANNEX I: Taules de càlcul

Taula A1. Mesures preses en l'experiment de cinemàtica per $\omega = 33$ rpm.

Mesures 33rpm	Fotogrames	Fotogrames \rightarrow segons	Error absolut
Mesura 1	43	1,791666667	0,01197916633
Mesura 2	43,5	1,8125	0,008854167
Mesura 3	44	1,833333333	0,02968750033
Mesura 4	43	1,791666667	0,01197916633
Mesura 5	43	1,791666667	0,01197916633
Mesura 6	43	1,791666667	0,01197916633
Mesura 7	43	1,791666667	0,01197916633
Mesura 8	43	1,791666667	0,01197916633
Mesura 9	43	1,791666667	0,01197916633
Mesura 10	43	1,791666667	0,01197916633
Mesura 11	42	1,75	0,053645833
Mesura 12	43,5	1,8125	0,008854167
Mesura 13	42,5	1,770833333	0,03281249967
Mesura 14	43	1,791666667	0,01197916633
Mesura 15	43,5	1,8125	0,008854167
Mesura 16	44	1,833333333	0,02968750033
Mesura 17	44	1,833333333	0,02968750033
Mesura 18	44	1,833333333	0,02968750033
Mesura 19	43	1,791666667	0,01197916633
Mesura 20	44	1,833333333	0,02968750033
Mesura 21	44	1,833333333	0,02968750033
Mesura 22	43	1,791666667	0,01197916633
Mesura 23	44	1,833333333	0,02968750033
Mesura 24	43	1,791666667	0,01197916633
Mesura 25	44	1,833333333	0,02968750033
Mesura 26	43	1,791666667	0,01197916633
Mesura 27	43	1,791666667	0,01197916633
Mesura 28	44	1,833333333	0,02968750033
Mesura 29	43	1,791666667	0,01197916633
Mesura 30	43	1,791666667	0,01197916633
Mesura 31	43	1,791666667	0,01197916633
Mesura 32	44	1,833333333	0,02968750033
Mesura 33	43	1,791666667	0,01197916633

Mesura 34	43	1,791666667	0,01197916633
Mesura 35	43	1,791666667	0,01197916633
Mesura 36	43	1,791666667	0,01197916633
Mesura 37	44	1,833333333	0,02968750033
Mesura 38	43	1,791666667	0,01197916633
Mesura 39	43	1,791666667	0,01197916633
Mesura 40	43,5	1,8125	0,008854167
	MITJANA I ERROR	1,803645833	±0,053645833

Taula A2. Mesures preses en l'experiment de cinemàtica per $\omega = 45$ rpm.

Mesures 45rpm	Fotogrames	Fotogrames → segons	Error absolut
Mesura 1	32	1,333333333	0,0005208336667
Mesura 2	33	1,375	0,041145833
Mesura 3	32	1,333333333	0,0005208336667
Mesura 4	32	1,333333333	0,0005208336667
Mesura 5	33	1,375	0,041145833
Mesura 6	33	1,375	0,041145833
Mesura 7	32	1,333333333	0,0005208336667
Mesura 8	32	1,333333333	0,0005208336667
Mesura 9	32	1,333333333	0,0005208336667
Mesura 10	33	1,375	0,041145833
Mesura 11	32	1,333333333	0,0005208336667
Mesura 12	33	1,375	0,041145833
Mesura 13	32	1,333333333	0,0005208336667
Mesura 14	32	1,333333333	0,0005208336667
Mesura 15	31,5	1,3125	0,021354167
Mesura 16	32	1,333333333	0,0005208336667
Mesura 17	31	1,291666667	0,04218750033
Mesura 18	31	1,291666667	0,04218750033
Mesura 19	31	1,291666667	0,04218750033
Mesura 20	33	1,375	0,041145833
Mesura 21	31,5	1,3125	0,021354167
Mesura 22	32	1,333333333	0,0005208336667
Mesura 23	32	1,333333333	0,0005208336667
Mesura 24	32	1,333333333	0,0005208336667
Mesura 25	32	1,333333333	0,0005208336667
Mesura 26	31	1,291666667	0,04218750033

FÍSICA DES DE LA PRÀCTICA

Mesura 27	32	1,333333333	0,0005208336667
Mesura 28	31,5	1,3125	0,021354167
Mesura 29	32	1,333333333	0,0005208336667
Mesura 30	32	1,333333333	0,0005208336667
Mesura 31	32	1,333333333	0,0005208336667
Mesura 32	32	1,333333333	0,0005208336667
Mesura 33	32	1,333333333	0,0005208336667
Mesura 34	32	1,333333333	0,0005208336667
Mesura 35	32	1,333333333	0,0005208336667
Mesura 36	32	1,333333333	0,0005208336667
Mesura 37	32	1,333333333	0,0005208336667
Mesura 38	32	1,333333333	0,0005208336667
Mesura 39	32	1,333333333	0,0005208336667
Mesura 40	32	1,333333333	0,0005208336667
	MITJANA I ERROR	1,333854167	$\pm 0,04218750033$

Taula A3. Mesures preses en l'experiment de cinemàtica per $\omega = 78$ rpm.

Mesures 78rpm	Fotogrames	Fotogrames \rightarrow segons	Error Absolut
Mesura 1	19	0,7916666667	0,01406249997
Mesura 2	19	0,7916666667	0,01406249997
Mesura 3	18	0,75	0,0276041667
Mesura 4	19	0,7916666667	0,01406249997
Mesura 5	19	0,7916666667	0,01406249997
Mesura 6	19	0,7916666667	0,01406249997
Mesura 7	19	0,7916666667	0,01406249997
Mesura 8	19	0,7916666667	0,01406249997
Mesura 9	19	0,7916666667	0,01406249997
Mesura 10	19	0,7916666667	0,01406249997
Mesura 11	18	0,75	0,0276041667
Mesura 12	19,5	0,8125	0,0348958333
Mesura 13	18	0,75	0,0276041667
Mesura 14	19	0,7916666667	0,01406249997
Mesura 15	18	0,75	0,0276041667
Mesura 16	18,5	0,7708333333	0,006770833367
Mesura 17	18	0,75	0,0276041667

Mesura 18	18	0,75	0,0276041667
Mesura 19	19	0,7916666667	0,01406249997
Mesura 20	19	0,7916666667	0,01406249997
Mesura 21	18	0,75	0,0276041667
Mesura 22	19	0,7916666667	0,01406249997
Mesura 23	18	0,75	0,0276041667
Mesura 24	18,5	0,7708333333	0,006770833367
Mesura 25	19	0,7916666667	0,01406249997
Mesura 26	18	0,75	0,0276041667
Mesura 27	19	0,7916666667	0,01406249997
Mesura 28	18	0,75	0,0276041667
Mesura 29	19	0,7916666667	0,01406249997
Mesura 30	19	0,7916666667	0,01406249997
Mesura 31	18	0,75	0,0276041667
Mesura 32	19	0,7916666667	0,01406249997
Mesura 33	19	0,7916666667	0,01406249997
Mesura 34	19	0,7916666667	0,01406249997
Mesura 35	19	0,7916666667	0,01406249997
Mesura 36	18	0,75	0,0276041667
Mesura 37	19	0,7916666667	0,01406249997
Mesura 38	19	0,7916666667	0,01406249997
Mesura 39	18	0,75	0,0276041667
Mesura 40	19	0,7916666667	0,01406249997
MITJANA I ERROR		0,7776041667	±0,0348958333

Taula A4. Mesures preses en l'experiment de dinàmica, sobre parquet i a un angle de 45°.

Nº Repetició	Fotogrames	Fotogrames → segons	Error absolut
Repetició 1	11	0,4583333333	0,01547619047
Repetició 2	12	0,5	0,0261904762
Repetició 3	12	0,5	0,0261904762
Repetició 4	11	0,4583333333	0,01547619047
Repetició 5	12	0,5	0,0261904762
Repetició 6	12	0,5	0,0261904762
Repetició 7	11	0,4583333333	0,01547619047
Repetició 8	11	0,4583333333	0,01547619047
Repetició 9	13	0,5416666667	0,06785714287

FÍSICA DES DE LA PRÀCTICA

Repetició 10	11	0,4583333333	0,01547619047
Repetició 11	11	0,4583333333	0,01547619047
Repetició 12	12	0,5	0,0261904762
Repetició 13	13	0,5416666667	0,06785714287
Repetició 14	11	0,4583333333	0,01547619047
Repetició 15	12	0,5	0,0261904762
Repetició 16	11	0,4583333333	0,01547619047
Repetició 17	11	0,4583333333	0,01547619047
Repetició 18	12	0,5	0,0261904762
Repetició 19	12	0,5	0,0261904762
Repetició 20	12	0,5	0,0261904762
Repetició 21	12	0,5	0,0261904762
Repetició 22	13	0,5416666667	0,06785714287
Repetició 23	11	0,4583333333	0,01547619047
Repetició 24	12	0,5	0,0261904762
Repetició 25	12	0,5	0,0261904762
Repetició 26	12	0,5	0,0261904762
Repetició 27	11	0,4583333333	0,01547619047
Repetició 28	12	0,5	0,0261904762
Repetició 29	11	0,4583333333	0,01547619047
Repetició 30	12	0,5	0,0261904762
Repetició 31	12	0,5	0,0261904762
Repetició 32	12	0,5	0,0261904762
Repetició 33	11	0,4583333333	0,01547619047
Repetició 34	11	0,4583333333	0,01547619047
Repetició 35	11	0,4583333333	0,01547619047
	MITJANA I ERROR	0,4857142857	±0,06785714287

Taula A5. Mesures preses en l'experiment de dinàmica, sobre marbre i a un angle de 45°.

Nº Repetició	Fotogrames	Fotogrames → segons	Error absolut
Repetició 1	13	0,5416666667	0,01904761907
Repetició 2	13	0,5416666667	0,01904761907
Repetició 3	12	0,5	0,0226190476
Repetició 4	13	0,5416666667	0,01904761907
Repetició 5	13	0,5416666667	0,01904761907
Repetició 6	13	0,5416666667	0,01904761907

Repetició 7	12	0,5	0,0226190476
Repetició 8	13	0,5416666667	0,01904761907
Repetició 9	12	0,5	0,0226190476
Repetició 10	13	0,5416666667	0,01904761907
Repetició 11	11	0,4583333333	0,06428571427
Repetició 12	12	0,5	0,0226190476
Repetició 13	14	0,5833333333	0,06071428573
Repetició 14	12	0,5	0,0226190476
Repetició 15	12	0,5	0,0226190476
Repetició 16	13	0,5416666667	0,01904761907
Repetició 17	13	0,5416666667	0,01904761907
Repetició 18	13	0,5416666667	0,01904761907
Repetició 19	13	0,5416666667	0,01904761907
Repetició 20	12	0,5	0,0226190476
Repetició 21	13	0,5416666667	0,01904761907
Repetició 22	12	0,5	0,0226190476
Repetició 23	12	0,5	0,0226190476
Repetició 24	13	0,5416666667	0,01904761907
Repetició 25	13	0,5416666667	0,01904761907
Repetició 26	12	0,5	0,0226190476
Repetició 27	13	0,5416666667	0,01904761907
Repetició 28	13	0,5416666667	0,01904761907
Repetició 29	13	0,5416666667	0,01904761907
Repetició 30	12	0,5	0,0226190476
Repetició 31	12	0,5	0,0226190476
Repetició 32	12	0,5	0,0226190476
Repetició 33	13	0,5416666667	0,01904761907
Repetició 34	12	0,5	0,0226190476
Repetició 35	12	0,5	0,0226190476
	MITJANA I ERROR	0,5226190476	±0,06428571427

Taula A6. Mesures preses en l'experiment de dinàmica, sobre gres i a un angle de 45°.

Nº Repetició	Fotogrames	Fotogrames → segons	Error absolut
Repetició 1	12	0,5	0,0047619048
Repetició 2	12	0,5	0,0047619048
Repetició 3	11	0,4583333333	0,03690476187

FÍSICA DES DE LA PRÀCTICA

Repetició 4	12	0,5	0,0047619048
Repetició 5	11	0,4583333333	0,03690476187
Repetició 6	12	0,5	0,0047619048
Repetició 7	12	0,5	0,0047619048
Repetició 8	12	0,5	0,0047619048
Repetició 9	12	0,5	0,0047619048
Repetició 10	12	0,5	0,0047619048
Repetició 11	12	0,5	0,0047619048
Repetició 12	13	0,5416666667	0,04642857147
Repetició 13	12	0,5	0,0047619048
Repetició 14	12	0,5	0,0047619048
Repetició 15	12	0,5	0,0047619048
Repetició 16	12	0,5	0,0047619048
Repetició 17	12	0,5	0,0047619048
Repetició 18	12	0,5	0,0047619048
Repetició 19	13	0,5416666667	0,04642857147
Repetició 20	12	0,5	0,0047619048
Repetició 21	12	0,5	0,0047619048
Repetició 22	12	0,5	0,0047619048
Repetició 23	11	0,4583333333	0,03690476187
Repetició 24	12	0,5	0,0047619048
Repetició 25	12	0,5	0,0047619048
Repetició 26	12	0,5	0,0047619048
Repetició 27	11	0,4583333333	0,03690476187
Repetició 28	12	0,5	0,0047619048
Repetició 29	12	0,5	0,0047619048
Repetició 30	12	0,5	0,0047619048
Repetició 31	11	0,4583333333	0,03690476187
Repetició 32	12	0,5	0,0047619048
Repetició 33	12	0,5	0,0047619048
Repetició 34	11	0,4583333333	0,03690476187
Repetició 35	12	0,5	0,0047619048
	MITJANA I ERROR	0,4952380952	±0,0464285714

Taula A7. Mesures preses en l'experiment de dinàmica, sobre parquet i a un angle de 30°.

Nº Repetició	Fotogrames	Fotogrames → segons	Error absolut
Repetició 1	17	0,7083333333	0,02261904763
Repetició 2	16	0,6666666667	0,01904761903
Repetició 3	17	0,7083333333	0,02261904763
Repetició 4	17	0,7083333333	0,02261904763
Repetició 5	18	0,75	0,0642857143
Repetició 6	17	0,7083333333	0,02261904763
Repetició 7	17	0,7083333333	0,02261904763
Repetició 8	16	0,6666666667	0,01904761903
Repetició 9	16	0,6666666667	0,01904761903
Repetició 10	16	0,6666666667	0,01904761903
Repetició 11	16	0,6666666667	0,01904761903
Repetició 12	16	0,6666666667	0,01904761903
Repetició 13	17	0,7083333333	0,02261904763
Repetició 14	16	0,6666666667	0,01904761903
Repetició 15	16	0,6666666667	0,01904761903
Repetició 16	17	0,7083333333	0,02261904763
Repetició 17	17	0,7083333333	0,02261904763
Repetició 18	17	0,7083333333	0,02261904763
Repetició 19	17	0,7083333333	0,02261904763
Repetició 20	16	0,6666666667	0,01904761903
Repetició 21	16	0,6666666667	0,01904761903
Repetició 22	17	0,7083333333	0,02261904763
Repetició 23	15	0,625	0,0607142857
Repetició 24	17	0,7083333333	0,02261904763
Repetició 25	16	0,6666666667	0,01904761903
Repetició 26	16	0,6666666667	0,01904761903
Repetició 27	17	0,7083333333	0,02261904763
Repetició 28	16	0,6666666667	0,01904761903
Repetició 29	15	0,625	0,0607142857
Repetició 30	16	0,6666666667	0,01904761903
Repetició 31	17	0,7083333333	0,02261904763
Repetició 32	16	0,6666666667	0,01904761903
Repetició 33	16	0,6666666667	0,01904761903
Repetició 34	17	0,7083333333	0,02261904763
Repetició 35	17	0,7083333333	0,02261904763

FÍSICA DES DE LA PRÀCTICA

	MITJANA I ERROR	0,6857142857	±0,0642857143
--	-----------------	--------------	---------------

Taula A8. Mesures preses en l'experiment de dinàmica, sobre marbre i a un angle de 30°

Nº Repetició	Fotogrames	Fotogrames → segons	Error absolut
Repetició 1	21	0,875	0,0154761905
Repetició 2	21	0,875	0,0154761905
Repetició 3	22	0,9166666667	0,05714285717
Repetició 4	22	0,9166666667	0,05714285717
Repetició 5	22	0,9166666667	0,05714285717
Repetició 6	21	0,875	0,0154761905
Repetició 7	22	0,9166666667	0,05714285717
Repetició 8	20	0,8333333333	0,02619047617
Repetició 9	21	0,875	0,0154761905
Repetició 10	20	0,8333333333	0,02619047617
Repetició 11	21	0,875	0,0154761905
Repetició 12	21	0,875	0,0154761905
Repetició 13	20	0,8333333333	0,02619047617
Repetició 14	21	0,875	0,0154761905
Repetició 15	21	0,875	0,0154761905
Repetició 16	20	0,8333333333	0,02619047617
Repetició 17	21	0,875	0,0154761905
Repetició 18	21	0,875	0,0154761905
Repetició 19	20	0,8333333333	0,02619047617
Repetició 20	21	0,875	0,0154761905
Repetició 21	21	0,875	0,0154761905
Repetició 22	21	0,875	0,0154761905
Repetició 23	20	0,8333333333	0,02619047617
Repetició 24	20	0,8333333333	0,02619047617
Repetició 25	20	0,8333333333	0,02619047617
Repetició 26	20	0,8333333333	0,02619047617
Repetició 27	20	0,8333333333	0,02619047617
Repetició 28	19	0,7916666667	0,06785714283
Repetició 29	21	0,875	0,0154761905
Repetició 30	20	0,8333333333	0,02619047617
Repetició 31	19	0,7916666667	0,06785714283
Repetició 32	21	0,875	0,0154761905

Repetició 33	20	0,8333333333	0,02619047617
Repetició 34	20	0,8333333333	0,02619047617
Repetició 35	21	0,875	0,0154761905
	MITJANA I ERROR	0,8595238095	±0,06785714283

Taula A9. Mesures preses en l'experiment de dinàmica, sobre gres i a un angle de 30°.

Nº Repetició	Fotogrames	Fotogrames → segons	Error absolut
Repetició 1	17	0,7083333333	0,002380952333
Repetició 2	17	0,7083333333	0,002380952333
Repetició 3	18	0,75	0,044047619
Repetició 4	17	0,7083333333	0,002380952333
Repetició 5	17	0,7083333333	0,002380952333
Repetició 6	17	0,7083333333	0,002380952333
Repetició 7	15	0,625	0,080952381
Repetició 8	17	0,7083333333	0,002380952333
Repetició 9	16	0,6666666667	0,03928571433
Repetició 10	17	0,7083333333	0,002380952333
Repetició 11	17	0,7083333333	0,002380952333
Repetició 12	17	0,7083333333	0,002380952333
Repetició 13	17	0,7083333333	0,002380952333
Repetició 14	17	0,7083333333	0,002380952333
Repetició 15	17	0,7083333333	0,002380952333
Repetició 16	17	0,7083333333	0,002380952333
Repetició 17	17	0,7083333333	0,002380952333
Repetició 18	17	0,7083333333	0,002380952333
Repetició 19	17	0,7083333333	0,002380952333
Repetició 20	16	0,6666666667	0,03928571433
Repetició 21	17	0,7083333333	0,002380952333
Repetició 22	17	0,7083333333	0,002380952333
Repetició 23	17	0,7083333333	0,002380952333
Repetició 24	18	0,75	0,044047619
Repetició 25	17	0,7083333333	0,002380952333
Repetició 26	18	0,75	0,044047619
Repetició 27	17	0,7083333333	0,002380952333
Repetició 28	17	0,7083333333	0,002380952333
Repetició 29	18	0,75	0,044047619

FÍSICA DES DE LA PRÀCTICA

Repetició 30	17	0,7083333333	0,002380952333
Repetició 31	17	0,7083333333	0,002380952333
Repetició 32	16	0,6666666667	0,03928571433
Repetició 33	17	0,7083333333	0,002380952333
Repetició 34	16	0,6666666667	0,03928571433
Repetició 35	17	0,7083333333	0,002380952333
	MITJANA I ERROR	0,705952381	±0,080952381

Taula A10. Mesures preses en l'experiment de xocs i energies. Cas 1: Masses iguals.

Boles igual massa		Mesura punt referència a sota	
Nº Repetició	Mesura	(17-mesura)	Error absolut
Repetició 1	6,75	10,25	1,141666667
Repetició 2	8	9	0,108333333
Repetició 3	8	9	0,108333333
Repetició 4	8,5	8,5	0,608333333
Repetició 5	7	10	0,891666667
Repetició 6	9,5	7,5	1,608333333
Repetició 7	7,5	9,5	0,391666667
Repetició 8	8	9	0,108333333
Repetició 9	8,5	8,5	0,608333333
Repetició 10	8	9	0,108333333
Repetició 11	7,5	9,5	0,391666667
Repetició 12	8	9	0,108333333
Repetició 13	8	9	0,108333333
Repetició 14	7,25	9,75	0,641666667
Repetició 15	9	8	1,108333333
Repetició 16	8	9	0,108333333
Repetició 17	8,5	8,5	0,608333333
Repetició 18	8	9	0,108333333
Repetició 19	8,5	8,5	0,608333333
Repetició 20	8	9	0,108333333
Repetició 21	8	9	0,108333333
Repetició 22	7,75	9,25	0,141666667
Repetició 23	7,5	9,5	0,391666667
Repetició 24	8	9	0,108333333
Repetició 25	8,25	8,75	0,358333333
Repetició 26	7,5	9,5	0,391666667

Repetició 27	7	10	0,891666667
Repetició 28	7,5	9,5	0,391666667
Repetició 29	6,75	10,25	1,141666667
Repetició 30	8	9	0,108333333
	MITJANA	9,108333333	±1,141666667

Taula A11. Mesures preses en l'experiment de xocs i energies. Cas 2: Masses diferents.

Bola 1 massa inferior a bola 2		Mesura punt referència a sota	
Nº Repetició	Mesura	(18,2-mesura)	Error absolut
Repetició 1	9,25	8,95	0,341666667
Repetició 2	9,25	8,95	0,341666667
Repetició 3	10,5	7,7	0,908333333
Repetició 4	10	8,2	0,408333333
Repetició 5	9,75	8,45	0,158333333
Repetició 6	9	9,2	0,591666667
Repetició 7	9,5	8,7	0,091666667
Repetició 8	9,25	8,95	0,341666667
Repetició 9	9	9,2	0,591666667
Repetició 10	9	9,2	0,591666667
Repetició 11	9,5	8,7	0,091666667
Repetició 12	9,5	8,7	0,091666667
Repetició 13	9	9,2	0,591666667
Repetició 14	9,5	8,7	0,091666667
Repetició 15	9,25	8,95	0,341666667
Repetició 16	9,5	8,7	0,091666667
Repetició 17	9,5	8,7	0,091666667
Repetició 18	9,5	8,7	0,091666667
Repetició 19	9,75	8,45	0,158333333
Repetició 20	9,5	8,7	0,091666667
Repetició 21	9,25	8,95	0,341666667
Repetició 22	9,75	8,45	0,158333333
Repetició 23	9	9,2	0,591666667
Repetició 24	9	9,2	0,591666667
Repetició 25	9	9,2	0,591666667
Repetició 26	9,5	8,7	0,091666667
Repetició 27	9,5	8,7	0,091666667

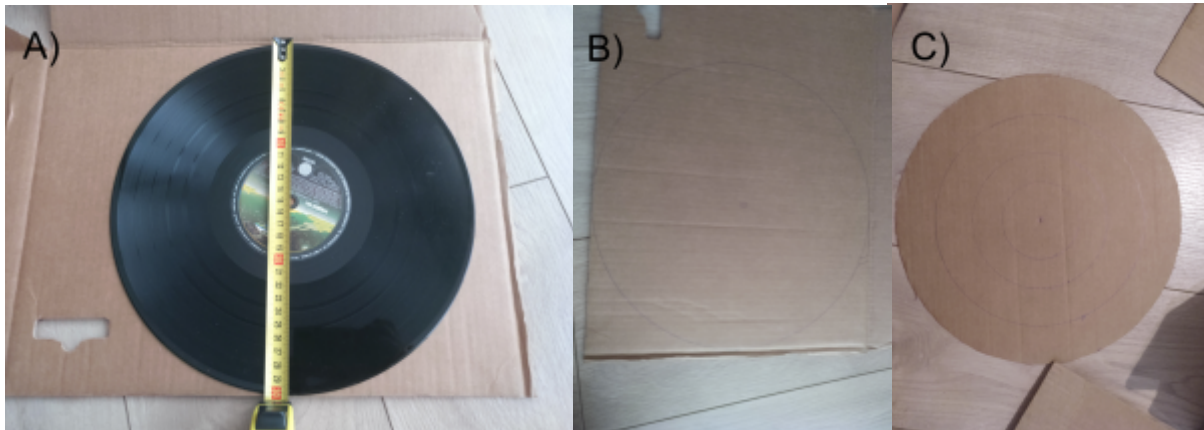
FÍSICA DES DE LA PRÀCTICA

Repetició 28	9,5	8,7	0,091666667
Repetició 29	9	9,2	0,591666667
Repetició 30	9,25	8,95	0,341666667
	MITJANA	8,808333333	±0,908333333

ANNEX II: Imatges i vídeos

Les gravacions enllaçades en aquest document també es troben al llapis de memòria adjunt al treball.

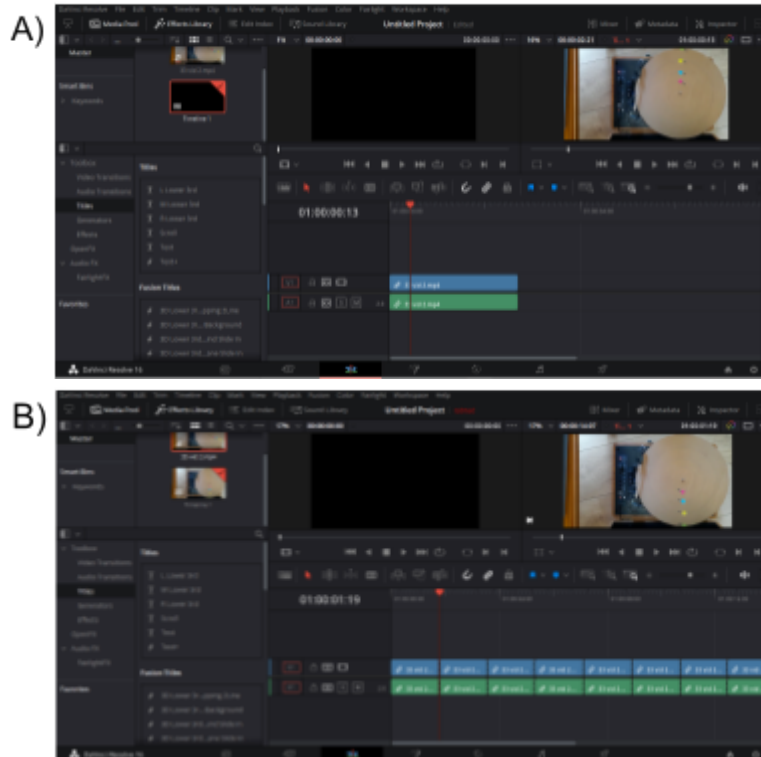
CINEMÀTICA: Moviment Circular Uniforme



Imatge A1. Procés de creació del disc de cartró emprat per realitzar les mesures de l'experiment de cinemàtica. Dibuix de la forma (A,B) i disc resultant marcat a diferents radis (C).



Imatge A2. Muntatge experimental cinemàtica. Gometes pels radis: rosa=4cm, blau= 7cm, groc=11cm, verd=15cm.



Imatge A3. Recull de les dades. Cerca fotograma a fotograma del moment en què es completa una volta (A). Anotació de les durades dels fragments corresponents a una volta (B).

Taula A12. Enregistraments de mesures preses per l'experiment de cinemàtica.

Per $\omega = 33$ rpm	https://drive.google.com/file/d/1g4D08guEMgC1fCT10MyoZ0OGnkAkIZAd/view?usp=sharing
Per $\omega = 45$ rpm	https://drive.google.com/file/d/153A17wlvXn6lpp63PAODHOigYBFRG0mP/view?usp=sharing
Per $\omega = 78$ rpm	https://drive.google.com/file/d/1GDnsWY6foj-44iCuxtDkNBqJDFCzP_gg/view?usp=sharing



Figura A1. Codi QR
enregistrament mesures
 $\omega = 33$ rpm

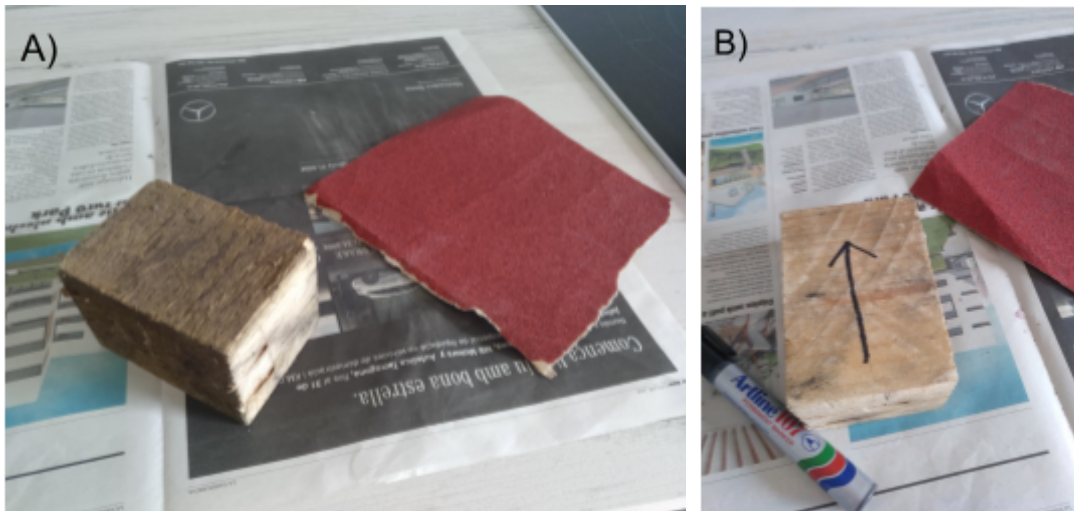


Figura A2. Codi QR
enregistrament mesures
 $\omega = 45$ rpm

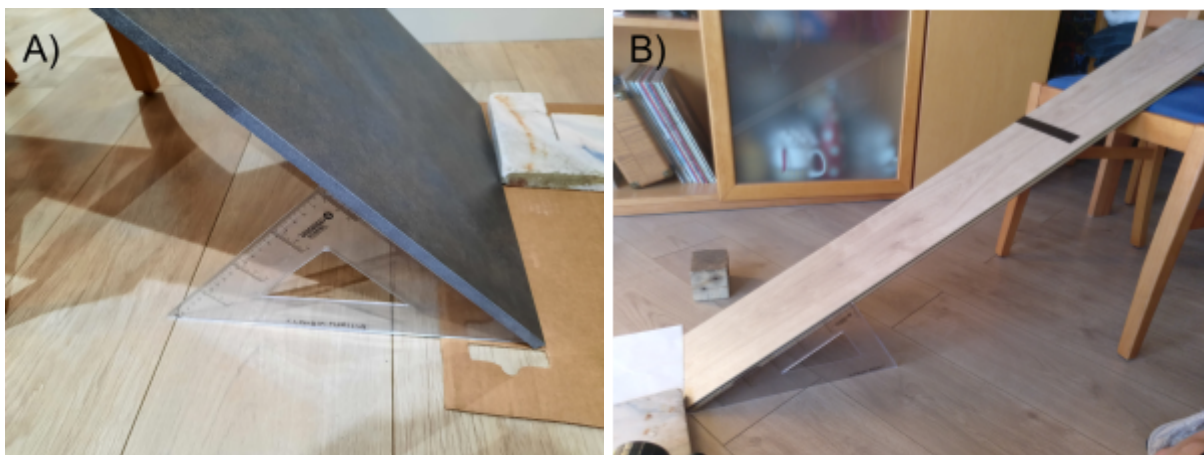


Figura A3. Codi QR
enregistrament mesures
 $\omega = 78$ rpm

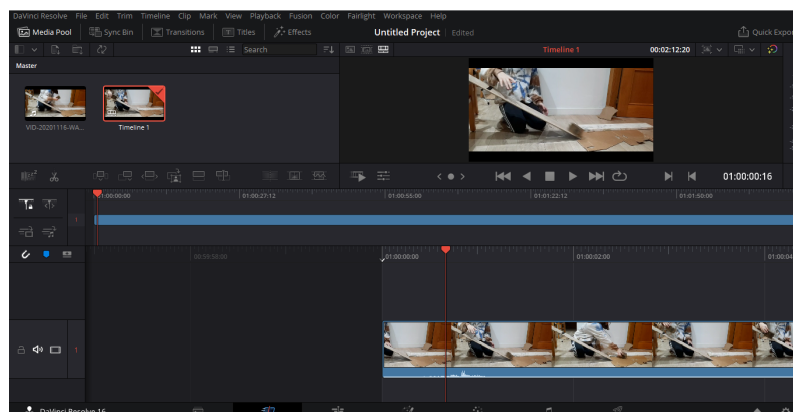
DINÀMICA



Imatge A4. Preparació del bloc. Es lima la superfície sobre la qual el farem lliscar (A) i es dibuixa una fletxa per fer-ho sempre en la mateixa direcció i sentit (B).



Imatge A5. Muntatge experimental dinàmica. Pla inclinat de gres amb angle de 45° (A) i pla inclinat de parquet amb angle de 30° (B).



Imatge A6. Recollida de dades emprant el mateix sistema que a l'experiment de cinemàtica.

Taula A13. Enregistraments de mesures preses per l'experiment de dinàmica:

Parquet, 45°	https://drive.google.com/file/d/1aAhl-4aleNb4qGm1rjNaSa4ztQVEL2xQ/view?usp=sharing
Marbre, 45°	https://drive.google.com/file/d/11_cDly3GbNZEJ-D83g9tD7JJFEZdCbBF/view?usp=sharing
Gres, 45°	https://drive.google.com/file/d/1Dd4FI9Jd1UIHSQSdGy2LbtRASA1IBBq4/view?usp=sharing
Parquet, 30°	https://drive.google.com/file/d/1YUJzurcLDs2VJ5iYYZxLTUoX_-AFb9bU/view?usp=sharing
Marbre, 30°	https://drive.google.com/file/d/1xRQCkh1K6hThghqBorRM_BZ5hxaQoPi/view?usp=sharing
Gres, 30°	https://drive.google.com/file/d/1_wmOWauylHOKnrQ3l_zTBNyEpeaAgUH/_view?usp=sharing



Figura A4. Codi QR enregistrament mesures preses sobre parquet a 45°.



Figura A5. Codi QR enregistrament mesures preses sobre marbre a 45°.



Figura A6. Codi QR enregistrament mesures preses sobre gres a 45°.



Figura A7. Codi QR enregistrament mesures preses sobre parquet a 30°.

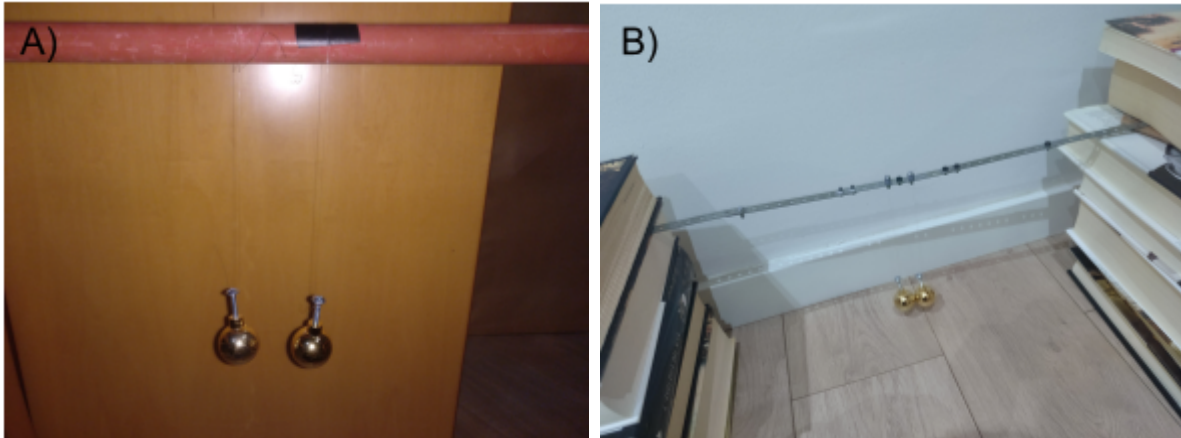


Figura A8. Codi QR enregistrament mesures preses sobre marbre a 30°.



Figura A9. Codi QR enregistrament mesures preses sobre gres a 30°.

XOCS I ENERGIES



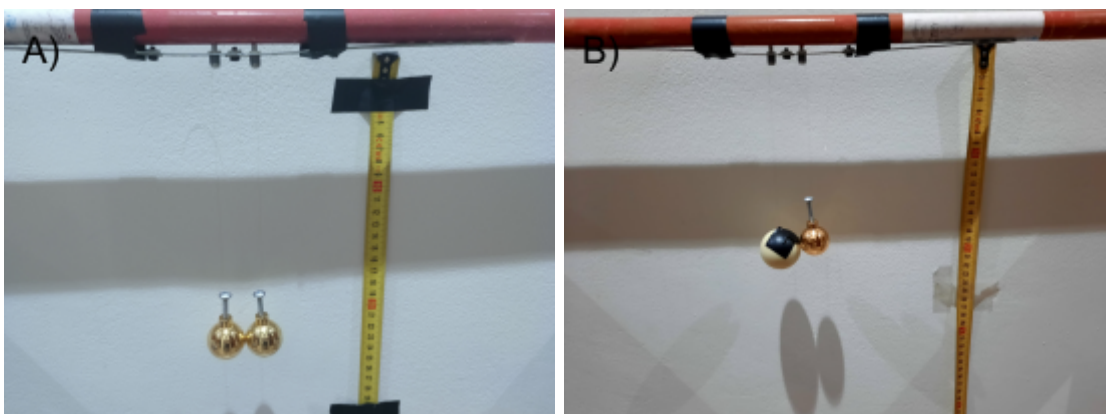
Imatge A7. Muntatges previs al disseny experimental definitiu. Fets a partir d'un pal d'escombra (A) i a partir de diverses tires metàl·liques perforades (B).



Imatge A8. Muntatge per regular la llargada del fil.



Imatge A9. Nivell de bombolla per anivellar el pal d'escombra.

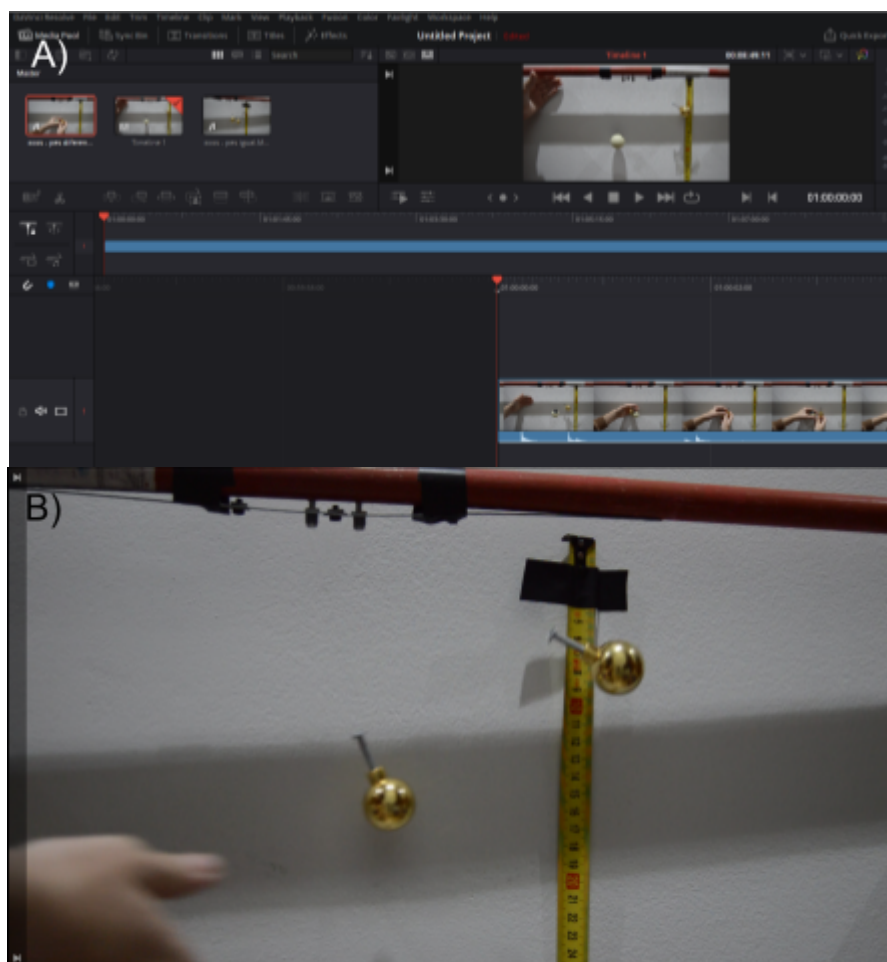


Imatge A10. Muntatge final de l'experiment de xocs i energies. Cas 1, masses iguals (A) i cas 2, masses diferents (B).

FÍSICA DES DE LA PRÀCTICA



Imatge A11. Enregistrament de les mesures amb el muntatge experimental final de xocs i energies.



Imatge A12. Recull de dades. Cerca de l'instant en que la segona bola assoleix l'alçada màxima (A). Anotació de la mesura fent pantalla completa per veure més clarament l'alçada assolida (B).

Taula A14. Enregistrament de les mesures preses per l'experiment de xocs i energies.

Masses iguals	https://drive.google.com/file/d/1DTIZxWOIJC-QJsFS9HIhubHOWCOCxUMW/view?usp=sharing
Masses diferents	https://drive.google.com/file/d/1mIsA6_13Kts-Ewt9k8A1A47Y6SXLqafq/view?usp=sharing



Figura A10. Codi QR enregistrament mesures per masses iguals.



Figura A11. Codi QR enregistrament mesures per masses diferents.

ANNEX III: Models fitxes didàctiques

Nom:	Grup:
Data:	Curs:

PRÀCTICA MOVIMENT CIRCULAR UNIFORME

A continuació realitzarem una activitat pràctica per complementar la teoria estudiada a classe.

Aquesta pràctica consisteix a analitzar el moviment d'un tocadiscs. Es faran tres grups i cada grup analitzarà el moviment del disc a unes revolucions per minut diferents. Al final de la classe tindreu temps per comprar els resultats amb els companys i extreure unes conclusions.

L'objectiu d'aquesta pràctica és que realitzeu els càlculs tant a partir de les dades que us proporciona el tocadiscs en si (rpm) i segons el que observeu. Els resultats dels dos casos hauran de ser comparats per veure la diferència entre el model i la realitat. En cada cas heu de calcular les magnituds següents; velocitat angular, velocitat tangencial, acceleració normal, període i freqüència. A partir dels teus resultats extreieu unes conclusions pròpies.

1- Per començar farem una petita pràctica per comprendre millor el concepte de radiant. Primer dibuixeu una circumferència amb un compàs. A continuació, talleu un tros de llana de la mida del radi de la circumferència que heu dibuixat. Col·loqueu el tros de llana sobre el traçat de la circumferència. Quants cops us hi cap a la circumferència? I a mitja? Amb què ho relaciones?

2-Quina és la relació entre la velocitat angular i la velocitat lineal? Quines són les seves unitats del SI? Explica la relació amb les teves paraules i escriu la fórmula que les relaciona.

3-Abans de dur a terme un experiment cal redactar les nostres hipòtesis. Per fer-ho respon les preguntes següents:

- a) Com creus que afectarà el radi a la velocitat lineal?
- b) I a l'acceleració normal?
- c) Com creus que afectarà la velocitat angular (33rpm, 45rpm,...) a l'acceleració normal?

Pots afegir alguna hipòtesi més si ho trobes necessari.

4- Segueix el següent procediment:

1. Amb un editor de vídeo analitza de manera més precisa possible el període del moviment del tocadiscs. Fes-ho en 15 repeticions. Utilitza una de les gravacions següents:

Per $\omega = 33$ rpm	https://drive.google.com/file/d/1g4D08guEMgC1fCT10MyoZ0OGnkAkIZAd/view?usp=sharing
Per $\omega = 45$ rpm	https://drive.google.com/file/d/153A17wlvXn6lpp63PAODHOigYBFRG0mP/view?usp=sharing

Per $\omega = 78\text{rpm}$	https://drive.google.com/file/d/1GDnsWY6foj-44lCuxtDkNBqJDFCzP_gg/view?usp=sharing
-----------------------------	---



Figura A1. Codi QR
enregistrament mesures
 $\omega = 33\text{ rpm}$



Figura A2. Codi QR
enregistrament mesures
 $\omega = 45\text{ rpm}$



Figura A3. Codi QR
enregistrament mesures
 $\omega = 78\text{ rpm}$

2. Amb els resultats obtinguts fes una mitjana aritmètica i calcula l'error de la mesura.
3. Amb les dades teòriques (radis, revolucions del tocadiscs,...) calcula la velocitat lineal als diferents radis i també l'acceleració normal. Calcula també el període i la freqüència.
4. Repeteix el procediment anterior a partir del període mesurat a la pràctica.
5. Analitza i compara els resultats pràctics i teòrics obtinguts.
6. Compara els resultats amb els companys que hagin realitzat la pràctica a partir de les altres gravacions.

5- Redacta les conclusions de la pràctica. A continuació tens algunes preguntes per ajudar-te, però has de fer les conclusions redactades:

- a) Has assolit els objectius?
- b) S'han confirmat o descartat les hipòtesis inicials?
- c) Que has pogut observar?
- d) Que has après?
- e) Com valores la pràctica? Què milloraries?

Nom:	Grup:
Data:	Curs:

PRÀCTICA DINÀMICA

A continuació realitzarem una activitat pràctica per complementar la teoria estudiada a classe.

Aquesta pràctica consisteix a mesurar el temps que tarda un bloc a recórrer un pla inclinat i a partir d'aquesta dada i l'angle, calcular el coeficient de fricció entre el bloc i el pla inclinat. Cadascú analitzarà un material dels tres proposats pel professor i haurà de realitzar la pràctica fent el pla inclinat amb l'angle que se li sigui assignat.

IMPORTANT: Podeu necessitar coneixements d'unitats prèvies per realitzar aquesta pràctica.

1- Fes un esquema de la situació i dibuixa les forces que actuen sobre el bloc.

2-Quina llei de Newton haurem d'aplicar per resoldre aquest problema? Desenvolupa la fórmula i troba quin o quines incògnites caldrà que calculem:

3-Depèn el coeficient de fregament de la massa del bloc? Justifica la teva resposta.

4-Abans de dur a terme un experiment cal redactar les nostres hipòtesis. Per fer ho respon les preguntes següents:

- a) Sobre quin material creus que anirà més lent el bloc?**

- b) Com creus que afectarà l'angle d'inclinació del material al temps que el bloc necessitarà per recórrer-lo?**

- c) Variarà el coeficient de fregament d'un mateix material segons l'angle?**

Pots afegir alguna hipòtesi més si ho trobes necessari

5-Segueix aquest procediment:

1. Fes una marca al bloc i al pla inclinat per assegurar-te que sempre el poses al mateix punt i sobre la mateixa cara (pots dibuixar una fletxa al bloc per fer-lo lliscar sempre en el mateix sentit).
2. Fes lliscar el bloc sobre el pla inclinat deixant-lo anar a la part més alta de la rampa. Repeteix el procés 15 vegades i enregistra el procediment.
3. Amb una aplicació d'edició de vídeo visualitza i mesura quant temps necessita el bloc per arribar a la part més baixa del pla inclinat.
4. Fes una mitjana aritmètica dels temps obtinguts i realitza els càlculs adients.
5. Compara els teus resultats amb els resultats dels companys per extreure una conclusió.

6- Redacta les conclusions de la pràctica. A continuació tens algunes preguntes per ajudar-te, però has de fer les conclusions redactades

- a) Has assolit els objectius?**
- b) S'han confirmat o descartat les hipòtesis inicials?**
- c) Que has pogut observar?**
- d) Que has après?**
- e) Com valores la pràctica? Què milloraries?**

Nom:	Grup:
Data:	Curs:

PRÀCTICA XOCES I ENERGIES

A continuació realitzarem una activitat pràctica per complementar la teoria estudiada a classe.

En aquesta pràctica es construirà un pèndol i es faran xocar dues boles, una de les quals es troba en repòs. Haureu d'escollir quin dels dos casos (A: les dues boles són de massa igual o B: la bola en repòs té una massa superior a la bola llançada). Haureu de mesurar l'alçada que assoleix la segona bola i comparar-los amb els resultats que obtingueu en fer els càlculs de la mateixa situació. Al final de la pràctica els dos grups (cas A i cas B) podreu comparar les dues situacions per enllestir l'anàlisi de l'experiment i poder redactar unes conclusions.

1- Què diu el principi de conservació de l'energia? Quan el podem aplicar?

2- Fes un esquema dels tres "apartats" en els que hem de dividir l'experiment per fer-ne els càlculs i explica a què es correspon cada situació.

3- Abans de dur a terme un experiment cal redactar les nostres hipòtesis. Per fer-ho respon les preguntes següents:

- a) Creus que hi haurà diferència entre els resultats càlculs i teòrics? Per què?**

- b) Creus que a la pràctica la bola assolirà una alçada major que a la teoria o al revés?**

- c) En quina de les dues variants de l'experiment creus que assolirà una major alçada la segona bola?**

Pots afegir alguna hipòtesi més si ho trobes necessari.

4- Segueix el procediment següent, adapta'l, si cal, als materials que tinguis disponibles:

Materials: dues boles de pes igual (si estudieu el cas a) o diferents (cas b), fil de pescar, barra, cinta aïllant i cinta mètrica.

1. Lliguem el fil de pescar a la barra i a la bola (amb un nus o cinta adhesiva) col·locant les dues boles a la mateixa alçada.
2. Posem els extrems de la barra sobre dos suports vigilant que hi hagi espai suficient perquè les boles no xoquin amb els suports.
3. Posarem el muntatge anterior davant d'una paret sobre la qual enganxarem la cinta mètrica, darrere de les boles. D'aquesta manera podrem visualitzar i mesurar posteriorment l'alçada màxima a què arribarà la segona bola.
4. Deixarem caure la primera bola des d'un angle de 90° fent que xoqui contra la segona i repetirem el procés 15 vegades i enregistrarem les repeticions en vídeo.
5. Per recollir les dades utilitzarem un editor de vídeo que ens permeti observar les gravacions fotograma per fotograma. D'aquesta manera podrem observar amb més claredat quan la segona bola es troba en el punt més alt i podrem fer la mesura observant la cinta mètrica situada al darrere prèviament.

5- Redacta les conclusions de la pràctica. A continuació tens algunes preguntes per ajudar-te, però has de fer les conclusions redactades:

- a) Has assolit els objectius?**
- b) S'han confirmat o descartat les hipòtesis inicials?**
- c) Que has pogut observar?**
- d) Que has après?**
- e) Com valores la pràctica? Què milloraries?**