

Alumne: Alba Ollé Martínez

Tutora: Araceli Cabrero

Curs 2004 / 2005

I.E.S. Alba del Vallès

• INDEX

	Pàg.
1. <u>Introducció</u>	
1.1. Justificació de la tria del treball	4
1.2. Motivacions personals.....	4
1.3. Explicació de les parts del treball i la seva relació.....	4
2. <u>Objectius de la recerca</u>	
2.1. Teòrics.....	5
2.2. Experimentals.....	5
• Anàlisis resultats de l'enquesta.....	6
3. <u>Marc Teòric</u>	
Presentació ordenada de les informacions bibliogràfiques	
3.1. Glossari física.....	12
3.2. Parc d'atraccions	
3.2.1. Arrels històriques.....	18
3.2.2. Parcs d'Espanya.....	19
3.2.3. Fonaments físics a estudiar.....	20
3.2.4. Estudi de les atraccions	
<u>Treball de camp</u>	30
3.2.4.1. Carroussel.....	34
3.2.4.2. Cadiretes.....	40
3.2.4.3. Nòria.....	44
3.2.4.4. Caiguda Lliure.....	47
3.2.4.5. Vaixell.....	52
3.2.4.6. Muntanya Russa.....	55
4. <u>Part experimental: didàctica de la Física</u>	
4.1. Explicació del procés de recerca.....	61
4.2. Presentació dels resultats d'una forma ordenada i visualitzada.....	64

5. <u>Conclusions del treball</u>	
5.1. Explicació dels resultats obtinguts en funció dels objectius inicials.....	65
5.2. Valoració i opinió personal del treball	66
6. <u>Bibliografia</u>	
6.1. Presentació ordenada alfabèticament per autors.....	67
6.2. Cites bibliogràfiques.....	69
<u>Agraïments</u>	70

Annexos

- Enquesta
- Resultats de l'enquesta
- Material per a la realització de la pràctica
- Mostra examen

1. Introducció

1.1 Justificació de la tria del treball

“Física + emoció = excel·lent combinació?”, així es titula el meu treball de recerca. Sembla que faci un parell de dies que ens van dir que anéssim pensant el tema que ens agradaria fer, però la veritat és que ha passat força temps i costa de creure que ja estigui acabat. Em va resultar força difícil decidir-me per un tema en concret ja que, al ser tema lliure, hi havia infinitat de possibilitats per fer.

Finalment vaig pensar que com el treball de recerca és un treball en el qual has d’invertir moltes hores vaig creure convenient escollir un tema relacionat amb una de les meves assignatures preferides, la Física.

1.2. Motivacions personals

La idea de fer aquest treball va sorgir per una curiositat que tinc des de petita pel món dels parcs temàtics, sempre m’han agradat molt, però a mesura que he anat creixent m’he anat fent preguntes sobre que s’amaga darrera dels mecanismes de les màquines que es troben en qualsevol parc d’atraccions, o per què reps determinades sensacions quan pugues a alguna atracció. Ara que tinc la oportunitat, crec que és interessant fer un estudi d’una cosa que està tan a prop nostre i que ens servirà per comprendre el funcionament de les atraccions.

1.3. Explicació de les parts del treball i la seva relació

El treball consta de tres parts ben diferenciades: una part teòrica, un treball de camp i una part didàctica. La part teòrica consta de dues parts: un breu glossari de conceptes físics que tenen relació amb les atraccions i un treball de camp, un estudi complet de sis atraccions que ens servirà per a veure diferents tipus de moviments, i realitzar una sèrie de mesures. La segona part és la part experimental del treball, aquest consistirà en la realització de dues classes de física, a un grup centrant-me en les atraccions, i a l’altre amb exemples i explicacions corrents. A partir d’aquí extraurem les conclusions gràcies a una prova de coneixements comuna.

A continuació apareixen les conclusions finals del treball, on es valoren els objectius que s’han assolit tenint en compte els objectius que ens hem proposat inicialment.

2. Objectius i/o hipòtesis de la recerca

2.1. Objectius Teòrics:

- Principals:
 - Identificar els fonaments en que es basen les atraccions d'un parc temàtic.
 - Controlar les variables que intervenen en els fenòmens físics que tenen lloc en les atraccions.

- Secundaris:
 - Reconèixer els límits de precisió en les estimacions, mesures, dates i calcular l'incertesa.

2.2. Objectius Experimentals:

- Explicar un fenomen físic a partir de l'estudi del moviment d'unes determinades atraccions.

Pensem que els parcs d'atraccions poden ser utilitzats com recurs per l'aprenentatge de la Física. De fet, hi ha bibliografia i articles que avalen aquesta idea. Un dels llibres és "Aprende física en el parque de atracciones" de Colección Materiales Curriculares. També hi ha articles de *El Mundo* com són: "Todo está preparado para disfrutar de la física y la emoción" y "La física está en todas partes, incluso en la Lanzadera"

Els parcs d'atraccions tenen un grau d'atractiu per la majoria de l'alumnat. Es tracta de comprovar si mitjançant l'estudi dels moviments a partir de les atraccions aconseguim motivar i interessar més a l'alumnat per l'aprenentatge del moviment, obtenint millors resultats.

Anàlisi de l'enquesta

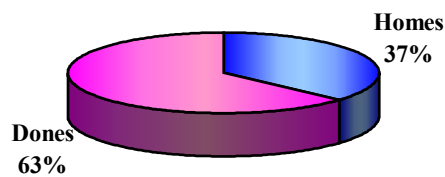
Hem realitzat una enquesta per a veure el que pensava la gent sobre les atraccions, com a mode d'introducció al treball, més aviat com a curiositat que no per extreure unes conclusions finals.

Per tal de preparar l'enquesta ens hem marcat els següents objectius:

- Definir quin tipus de moviment agrada més a la gent, i per què.
- Definir quins paràmetres creu la gent que estan lligats a unes emocions o altres.
- Reconèixer les aportacions que creu la gent que té la Física en aspectes relacionats amb la diversió.

L'enquesta la vam dur a terme al parc d'atraccions del Tibidabo. La vam fer a setanta-cinc persones a partir dels deu anys endavant, tant homes com dones. Amb els resultats hem construït una sèrie de gràfics que interpretarem a continuació:

Distribució del sexe de les persones enquestades

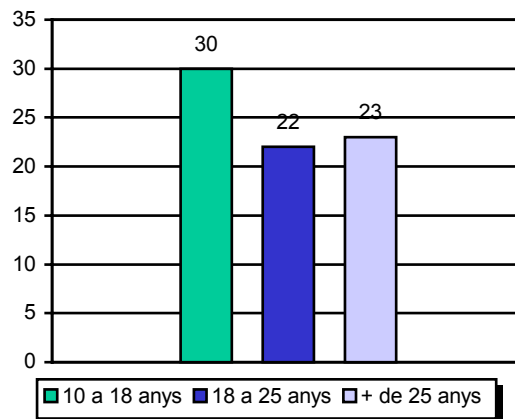


Gràfic 1

Comentari:

En el gràfic 1 podem observar el sexe de les persones que han contestat a l'enquesta. Un 63% eren dones i la resta, el 37%, homes.

Distribució de les edats de les persones enquestades



Gràfic 2

Comentari:

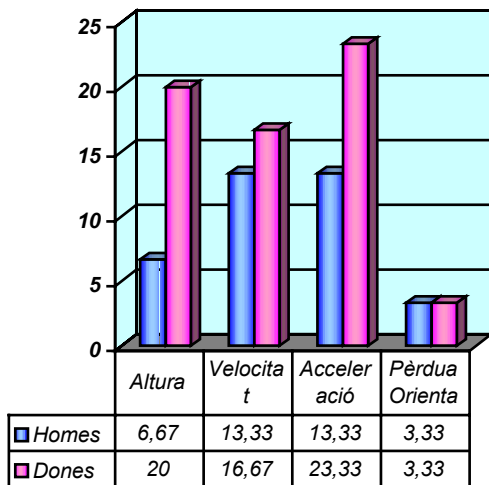
En el gràfic 2 es divideix la mostra per franges d'edats, tot indicant el nombre de persones que pertany a cada generació del total sense tenir en compte el seu sexe.

Distribució dels factors que més influeixen segons sexe i edat

Comentari:

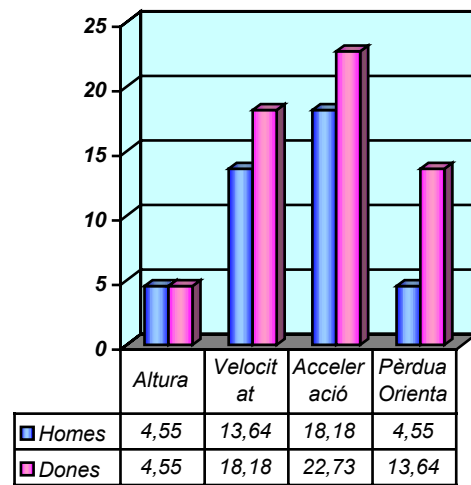
Els gràfics següents estan relacionats amb els factors que la gent creu que fa que una atracció sigui més atractiva. Observem (gràfic 3 i 4) que la majoria de persones d'entre 10 a 25 anys, tant homes com dones, estan d'acord en que el factor que té més influència és l' acceleració. Les velocitats també tenen un alt percentatge, encara que no superior. La franja de més de 25 anys (gràfic 5), la opinió entre la gent varia. La majoria d' homes creu que les acceleracions són el factor que més influeix en fer una atracció atractiva. En canvi, les dones es decanten més cap a la velocitat i la pèrdua del sentit de l'orientació.

Factors (10 a 18 anys)



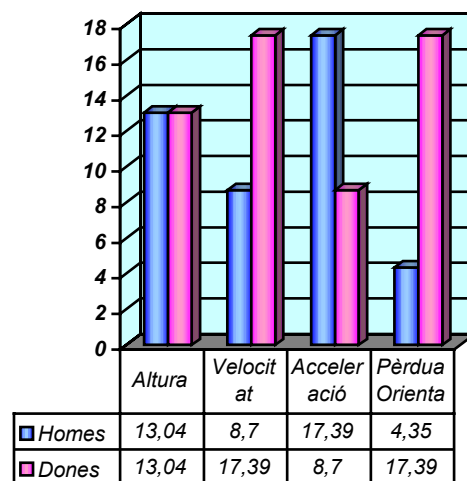
Gràfic 3

Factors (18 a 25 anys)



Gràfic 4

Factors (+ de 25 anys)



Gràfic 5

Conclusió:

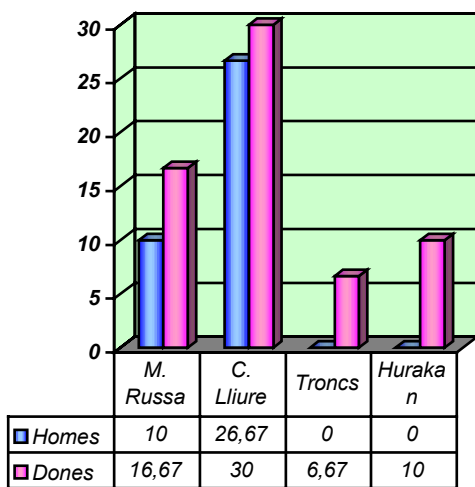
En general, doncs, podem afirmar que el paràmetre que a la gent li sembla que fa més emocionant una atracció és l'acceleració. A continuació, amb els següents gràfics, comprovarem si és o no és veritat amb els resultats que s'han obtingut. En conclusió, les atraccions que més agraden haurien de ser, doncs, aquelles en que l'acceleració és important i més rellevant respecte les altres.

Distribució de les atraccions que més agraden segons sexe i edat

Comentari:

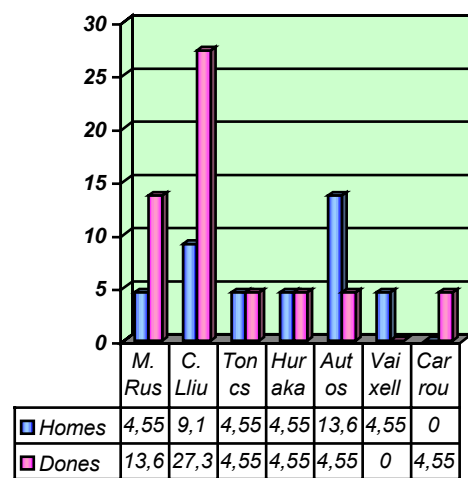
L'atracció que més agrada amb diferència a les dones, és sens dubte la Caiguda Lliure. Els homes, en canvi, divergeixen en els seus gustos. Els més petits si que prefereixen la Caiguda Lliure (gràfic 6), en canvi, els joves s'estimen més els Autos de xoc (gràfic 7) i els més grans la Muntanya Russa (gràfic 8).

Més satisfactoria (10 a 18 anys)



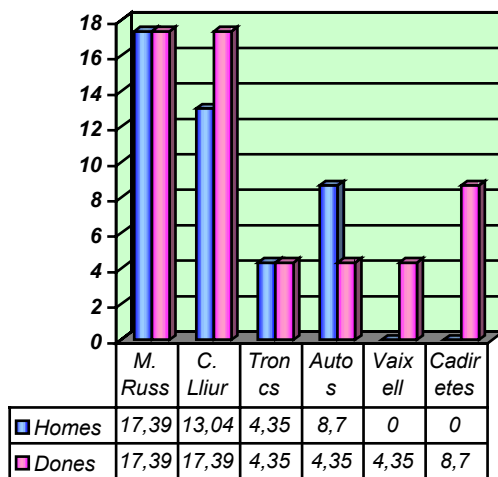
Gràfic 6

Més satisfactoria (18 a 25 anys)



Gràfic 7

Més satisfactoria (+ de 25 anys)



Gràfic 8

Conclusió:

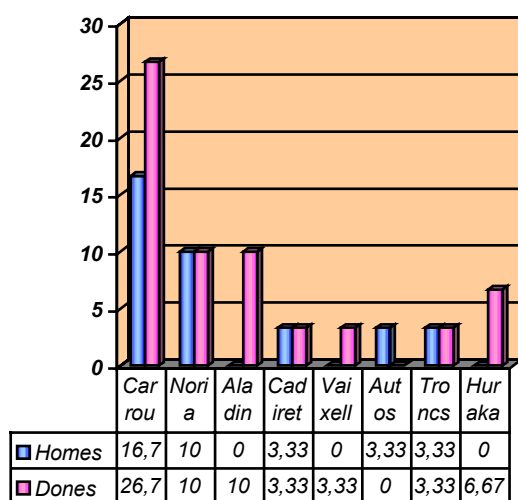
Per tant, podem ratificar la conclusió anterior en la que dèiem que les atraccions amb majors acceleracions són les més atractives. La Caiguda Lliure és l'atracció que més acceleració té del tot el parc. La seva acceleració és la gravetat ($9,8 \text{ m/s}^2$).

Distribució de les atraccions que menys agraden segons sexe i edat

Comentari:

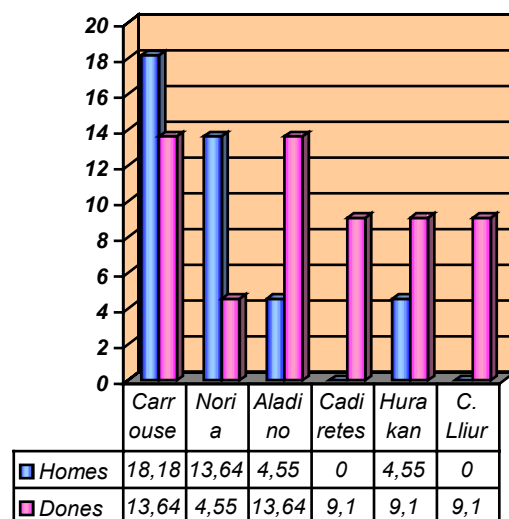
Els homes i dones de 10 a 18 anys (gràfic 9) l'atracció que menys satisfacció els proporciona és el Carroussel, segurament pel fet que els avorreix. Els de 18 a 25 anys (gràfic 10) també hi estan d'acord. Les dones d'aquesta edat, a més a més, tampoc els hi agrada l'Aladino. Els homes de més de 25 anys (gràfic 11) estan d'acord en que la Caiguda Lliure és l'atracció que menys els atrau, segurament perquè els esgarrifa o els produeix vertigen. Les dones es decanten també per la Caiguda Lliure, i a part, les Cadiretes i la Nòria.

Menys satisfactoria (10 a 18 anys)



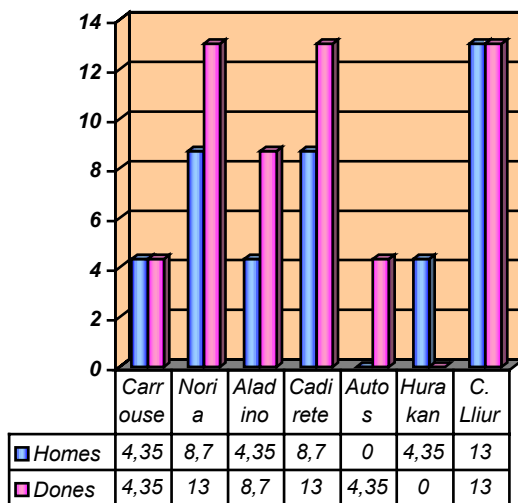
Gràfic 9

Menys satisfactoria (18 a 25 anys)



Gràfic 10

Menys satisfacció (+ de 25 anys)



Gràfic 11

Conclusió:

Gràcies a aquesta enquesta i els resultats obtinguts a partir dels gràfics podem afirmar que el tipus de moviment que més agrada és, en general, la caiguda lliure, i el que menys satisfacció proporciona és el moviment circular.

A partir d'aquí començarem l'estudi de cada una de les atraccions amb els corresponents tipus de moviment, identificant les variables i els factors que hi intervenen per a pogué comparar els resultats obtinguts.

3. Marc Teòric

3.1. Nocions bàsiques de Física aplicades a les atraccions

Hem elaborat un glossari de definicions i fórmules de física relacionats amb els factors físics que estudiaré en la descripció de les atraccions.

Força: Una força és una tracció o embranzida sobre un objecte. Les forces resulten de la interacció de dos o més objectes. Moltes interaccions impliquen contacte entre elles. Si empenys un mur, el mur t'empeny a tu. Existeixen forces en les quals no hi ha contacte entre els objectes, com és la força de gravetat. En una caiguda lliure existeix una força entre el teu cos i la terra, la força de gravetat, encara que no hi ha contacte entre elles.

Forces equilibrades i desequilibrades: Una força es considera equilibrada quan sobre un objecte actuen dos o més forces de manera que són exactament iguals en intensitat però en sentit contrari, de forma que s'anul·len. Per exemple, mentre llegeixes aquestes línies i estàs assegut, la teva cadira exerceix una força cap amunt d'igual intensitat però en sentit contrari que la força de gravetat. Aquestes dues forces s'anul·len i s'equilibren. Si de cop i volta et treuen la cadira, la força de gravetat es l'única que actua sobre teu, existint una força desequilibrada, provocant la teva caiguda cap al terra.

Força Centrípeta: És la força dirigida cap a un centre, que fa que un objecte es desplaci en una trajectòria circular. És una força que atrau l'objecte cap al centre del seu gir. La Lluna orbita a La Terra amb moviment circular perquè existeix una força gravitatòria que atrau La Lluna cap al centre de la seva òrbita. En un looping, els passatgers són empesos cap al centre virtual del looping, per forces resultants del seient, (en la part més baixa del looping), i per la força de la gravetat, (en la part més alta del looping).

$$F_c = m \cdot v^2 / r$$

Força de Fregament: És una força que ofereix resistència al moviment d'un objecte. Apareix com a conseqüència de la interacció de dues superfícies en contacte que es llisquen una sobre l'altra. Igual que quan accions els frens del cotxe, el moviment de les rodes queda bloquejat per la fricció produïda pels discs de fre.

$$F_r = \mu \cdot N$$

Força Gravitacional: Dos objectes, independentment de la massa que tinguin s'atreuen entre si per una força anomenada gravetat. Aquesta força depèn tant de la massa dels objectes com de la distància que els separen. Per a objectes amb masses com la Terra o el Sol, aquestes forces tenen una important influència en el moviment resultant. Per a objectes com poden ser dues persones assentades en un cinema, la força gravitacional entre elles és tan petita que és insignificant. Per a augmentar aquesta força d'atracció, aquestes persones haurien d'augmentar les seves masses corporals. Els objectes en la superfície de la Terra experimenten una notable atracció a causa de l'enorme massa del planeta.

Velocitat: La velocitat és la variació de posició d'una partícula respecte el temps. Els objectes que es mouen a altes velocitats poden cobrir majors distàncies en menors quantitats de temps. Un tren d'una muntanya russa que es desplaci a 100 km/h seria capaç de recórrer 100 quilòmetres en una hora si pogués mantenir aquesta velocitat de forma constant. És una magnitud que a més té ubicació en l'espai, és a dir, pots desplaçar-te a X velocitat en direcció Nord, per exemple. És molt important per a evitar la col·lisió dels trens.

$$V_m = \Delta S / \Delta t$$

Velocitat angular: En un moviment circular uniforme, és l'angle que gira el mòbil per unitat de temps. En el SI s'expressa en radiants per segon (rad/s).

$$\omega = \Delta \varphi / \Delta t$$

La relació entre la velocitat lineal i l'angular es defineix com:

$$V = \omega \cdot r$$

Acceleració: L'acceleració és la variació de la velocitat respecte el temps. Els objectes que canvien la seva velocitat o la seva direcció es diu que acceleren. En algunes atraccions, com són les muntanyes russes, es caracteritzen per un ràpid canvi de velocitat i direcció. Tenen grans acceleracions. En canvi, les atraccions com un Carroussel, tenen petites acceleracions: la velocitat i direcció dels passatgers canvia de forma gradual.

$$a_m = \Delta V / \Delta t$$

Components de l'acceleració:

- **Acceleració normal o centrípeta:** La direcció és perpendicular a la trajectòria, en un moviment circular, i el seu sentit va dirigit cap al centre de la circumferència. És deguda a la variació de la trajectòria.

$$a_n = \omega^2 r = v^2 / r$$

- **Acceleració tangencial:** La velocitat és tangent a la trajectòria, per tant, també ho és el vector acceleració. És degut a la variació de celeritat.

$$a_t = \alpha r = dv/dt$$

g: La g és l'acceleració causada per la força de gravetat. La força de gravetat fa que els objectes caiguin cap al terra a una acceleració de $9,8 \text{ m/s}^2$ quan es troben en posicions properes a la superfície terrestre. Si es diu que un objecte experimenta 3 g's d'acceleració, vol dir que aquest objecte està canviant la seva velocitat a 30 m/s^2 .

Energia mecànica: L'Energia mecànica és la suma de l'Energia Cinètica i l'Energia Potencial. En absència de forces externes no conservatives, com la resistència de l'aire i la fricció, la quantitat total d'energia d'un objecte es manté constant. En una muntanya russa, l'Energia potencial es transforma ràpidament en Energia cinètica en el moment de la caiguda, i al revés en el moment següent quan arriba de nou la següent pujada.

- Energia Cinètica: És l'energia que pot tenir un cos degut al seu moviment. Tots els objectes que es mouen té una quantitat determinada d'energia cinètica. La quantitat d'aquesta energia depèn tant de la massa com de la velocitat de l'objecte. Un tren d'una muntanya russa té molta energia cinètica, ja que té molta massa i es mou molt ràpid. L'energia cinètica es defineix com:

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

- Energia potencial: És l'energia que té un cos dependent de la seva posició. Per calcular l'Energia Potencial d'objectes en posicions properes a la superfície terrestre s'utilitza la fórmula:

$$E_p = m g h$$

El tren d'una muntanya russa és inicialment arrossegat per un motor i un sistema de cadenes a dalt de la primera caiguda, augmentant molt la seva energia potencial.

Inèrcia: És la tendència que té un objecte a no canviar el seu estat de moviment. Quant més massa té l'objecte més inèrcia té, degut al fet que oposen major resistència a modificar el seu moviment en la direcció que ho fan. Un elefant té molta inèrcia, per inèrcia. Si es troba en estat de repòs, ofereix molta resistència per a canviar aquest estat de repòs. En l'altre extrem tenim un llapis, el qual té molt poca inèrcia. És fàcil moure un llapis de la posició de repòs. Per tant quant més massa té un objecte més inèrcia té, i per això es requereix molta més força per a canviar el seu estat de moviment.

Massa: La massa d'un objecte és la mesura que indica la quantitat de material de que està compost aquest objecte.

Quantitat de moviment: Es defineix com el producte de la massa, per la velocitat que porta. Un tren de la muntanya russa movent-se a alta velocitat té una quantitat de moviment molt gran. Una pilota de tennis movent-se a alta velocitat té menys quantitat

de moviment, perquè la massa és més petita. I un edifici, malgrat de la seva enorme massa, no té quantitat de moviment perquè es troba en repòs.

$$p = m v$$

Període: En un moviment circular uniforme és el temps que tarda el mòbil a donar una volta completa. Definim moviment periòdic com aquell moviment que es repeteix a intervals regulars de temps, de manera que el mòbil descriu la mateixa trajectòria al llarg del temps. La rotació periòdica de La Terra sobre el seu eix és de 24 hores.

$$T = 2\pi / \omega$$

Freqüència: En un moviment circular uniforme és el nombre de voltes que fa el mòbil en un segon. La seva unitat és el

$$f = 1 / T \quad \text{Herz (Hz)}.$$

Pes: El pes és la força que exerceix la Terra sobre els cossos. Es mesura en Newtons (N).

$$P = m g$$

Ingravidesa: Els parcs d'atraccions sovint produeixen sensacions d'ingravidesa. Aquesta sensació es produeix quan els passatgers no senten cap tipus de força actuant sobre els seus cossos. A la part alta d'una torre de caiguda lliure, una persona que pesi 90 kg. Rep tant la força de la gravetat tirant cap al terra, com la força de reacció del seient, la qual empeny cap al cel. En aquest punt, la persona és capaç de sentir el seu propi pes, però que succeeix quan de cop i volta el seient desapareix de sota el seu cos? Llavors no sent cap tipus de força, i experimenta una sensació d'ingravidesa per la falta de la força que exercia el seient sobre el seu cos.

La **Dinàmica** estudia el moviment dels cossos i les causes d'aquest moviment. Es regeix per les tres lleis de Newton:

Primera Llei de Newton sobre el moviment: Els objectes sempre es mantenen en repòs o en moviment rectilini uniforme a menys que una força canviï el seu estat de moviment. A la tendència que tenen els objectes de mantenir el seu estat de moviment s'anomena inèrcia.

Segona Llei de Newton sobre el moviment: El canvi en l'estat de moviment d'un cos es deu a l'acció d'una força la qual és directament proporcional a l'acceleració (la mesura del canvi en el seu estat de moviment) del cos. La constant de proporcionalitat entre ambdues magnituds es coneix com massa del cos i és una mesura de la seva inèrcia, és a dir, de la seva "resistència" a l'acceleració.

$$F = m \cdot a$$

Tercera Llei de Newton sobre el moviment: Si un cos "A" exerceix una força sobre un altre cos "B", el cos "B" exerceix una força d'igual magnitud i en sentit contrari cap al cos "A". Aquesta Llei és coneguda com La Llei de la Interacció o Principi d'Acció-Reacció.

3.2. Parcs d'atraccions

3.2.1. Arrels històriques

Les atraccions il·lustren alguns dels principis més fonamentals de la física enunciats fa gairebé 400 anys per Galileu. En detall, els seus “diàlegs referents a dos noves ciències” (1638) contenen discussions de la caiguda i de l'arracada lliures al llarg dels plans inclinats. Un tren d'una atracció que baixa per un turó representa, en un sentit, simplement un cas complex d'un cos que descendeix un pla inclinat.

Newton va desenvolupar la resta de la física fonamental necessària per a entendre les atraccions. Les primeres dos lleis de Newton en la seva “Principia” (1687) relacionen la força i l'acceleració, que són conceptes dominants en la física de les atraccions. Newton era també un dels innovadors del càlcul, essencials per a analitzar els cossos que queien obligats en trajectòries més complexes que els plans inclinats.

Un concepte físic útil per a entendre la física de les atraccions és el d'energia, que va ser desenvolupada per molts físics del segle XIX encara que les seves arrels estenen a la física anterior. Albert Einstein, en “l'evolució de la física”, va utilitzar una atracció com exemple de la conversió de l'energia en un sistema.

3.2.2. Parcs temàtics d'Espanya

Els parcs temàtics que es troben a Espanya són els següents, els hem classificat per comunitats autònomes:

Andalusia	{	Isla mágica (Sevilla) Trivoli World (Benalmádena)	Andalusia
Aragó	{	Parque de atracciones de Zaragoza	
Catalunya	{	Tibidabo (Barcelona) Universals Port Aventura (Costa Daurada)	
Madrid	{	Parque de atracciones de Madrid Warner Bros Park	
País Basc	{	Parque de atracciones Igueldo	
València	{	Terra Mítica Pola Park	

3.2.3. Fonaments físics a estudiar

Cada atracció es caracteritza per una sèrie de moviment concret. Abans de descriure les sis atraccions, anem a estudiar la física dels moviments que tenen cada una d'elles.

➤ Caiguda Lliure

Aquest moviment el trobem a la Caiguda Lliure, com el seu nom indica.

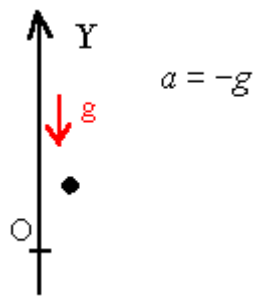
La Caiguda Lliure és un moviment rectilini uniformement accelerat que té per acceleració la gravetat ($g=9.8\text{m/s}^2$). Així doncs les equacions seran les mateixes, substituint "a" per "g". En els moviments de cossos llançats verticalment començarà en velocitat positiva, s'aturarà per acció de la gravetat, i començarà a baixar tot adquirint velocitat negativa. La gravetat és una força que atrau els cossos cap avall, per tant, el seu valor l'expressarem amb el signe negatiu al davant.

Equacions caiguda lliure:

$$V = V_0 - g t$$

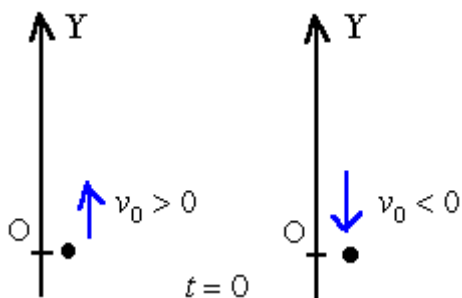
$$Y = Y_0 + V_0 t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$V^2 = V_0^2 - 2g (Y - Y_0)$$



Signe de l'acceleració

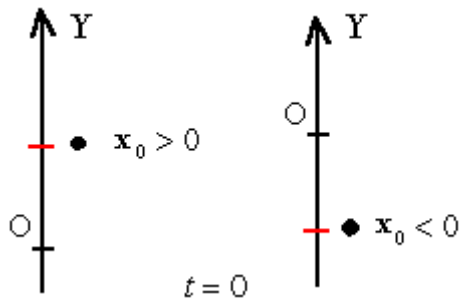
Si l'eix Y apunta cap a dalt la gravetat val $a = -g$,
 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$.



Signe de la velocitat inicial

Si l'eix Y apunta cap a dalt i el cos és llançat inicialment cap a dalt el signe de la velocitat inicial és positiu; en el cas de ser llançat cap a baix el signe és negatiu.

Situació de l'origen



S'acostuma a posar l'origen en el punt des d'on es llança el mòbil en l'instant inicial. Això no ha de ser sempre així; si un cos és llançat des del terrat d'un edifici podem situar l'origen en el terra, i la posició inicial del mòbil correspondria a l'altura de l'edifici, h .

Si situem l'origen en el terrat de l'edifici i llancem el mòbil des del terra, la posició inicial seria $-h$

L'acceleració dels cossos en caiguda lliure s'explica per l'existència d'una força d'atracció cap al centre de la Terra, el pes, de forma que:

- Si el medi es el buit, el cos cau a la Terra amb una acceleració constant cap a baix de 9.8 m/s^2 .
- Si la caiguda es produeix a l'aire, existeix una resistència que depèn de la forma del cos i la densitat de l'aire: el fregament.
- Per a caigudes de poques altures, de cossos pesats i aerodinàmics, es possible negligir la resistència de l'aire, ja que aquesta augmenta molt amb la velocitat de l'objecte.

En un moviment de caiguda lliure es compleix el principi de conservació de l'energia mecànica, que diu que l'energia ni es crea ni es destrueix, sinó que es transforma, per tant, l'energia mecànica es manté constant. Només es compleix si no hi ha fregament.

En la posició inicial ($V_0=0$, altura h) l'energia mecànica només és potencial. A mesura que va caient l'objecte es produeix una transformació d' E_p en energia cinètica.

Al arribar a terra (V final, $h=0$) tota l'energia mecànica és energia cinètica.

$$\left. \begin{array}{l} E_p = m g h \\ E_c = \frac{1}{2} m v^2 \end{array} \right\} E_m = E_c + E_p$$

Quan arriba a l'altura màxima la velocitat del mòbil es nul·la. De l'equació de la velocitat s'obté el temps que transcorre des que es llança fins que arriba a l'alçada màxima. El temps transcorregut se substitueix en l'equació de la posició i s'obté la màxima alçada a la qual arriba el mòbil mesurada des del terra.

El temps que tarda en arribar al terra s'obté a partir de l'equació de la posició, posant $x = 0$ i resolent una equació de segon grau.

Sembla que els cossos més pesats cauen més ràpid, però no és així.

Galileu va formular la següent hipòtesis: L'augment de rapidesa que experimenta el cos que cau és independent de la seva massa. Per comprovar experimentalment la seva hipòtesis, Galileu va tenir que fer una doble comprovació. En primer lloc, mostrar que el moviment de caiguda lliure complia les equacions del MRUA i, a més a més, amb la mesura del temps, comprovar que eren independents de la massa del cos. Va utilitzar cossos de masses diferents, amb els que va mesurar diferents espais recorreguts i el temps que utilitzava. L'experiència pràctica consistia en deixar caure un cos des de diferents altures i mesurar el temps de caiguda fins el terra, comprovant que les dues magnituds complien l'equació del MRUA.

➤ Moviment circular

Aquest moviment el trobem en el Carroussel, en la Nòria i en les Cadiretes. També en els loopings de les muntanyes russes.

Cinemàtica del moviment circular

Es defineix un moviment circular com aquell la trajectòria del qual és una circumferència. Una vegada situat l'origen O d'angles descriurem el moviment circular mitjançant una sèrie de magnituds: posició angular, velocitat angular, acceleració angular, desplaçament angular, variació velocitat angular...

Tenim acceleració quan varia el vector velocitat, per tant, podem tenir dos tipus d'acceleracions, dos components:

- Acceleració tangencial, es deu al canvi del mòdul de la velocitat, quan en mòbil augmenta o disminueix la seva velocitat.
- Acceleració normal o centrípeta que es deu a un canvi en la direcció del vector velocitat.

A partir d'ara considerem l'acceleració tangencial zero i ens centrarem en l'acceleració normal que apareix sempre quan tenim un moviment circular, ja que la direcció va canviant.

L'expressió de l'acceleració normal es: $a_n = V^2 / R = \omega^2 R$

La direcció sempre va cap el centre de la circumferència.

La velocitat angular es lo ràpid que gira un mòbil. Les unitats en SI (rad/s).

Altres conceptes que apareixen en el moviment circular:

- Període: T, que es el temps que triga un mòbil en donar una volta completa i es defineix com: $T = 2 \pi / \omega$ Les unitats en SI (s).

- Freqüència: f , que es el nombre de voltes que dona el mòbil per segon. Per tant és la inversa període: $f = 1 / T$ Les unitats en SI (Hz).

$$\omega = d\varphi / dt$$

$$\alpha = d\omega / dt$$

$$\varphi - \varphi_0 = +\omega dt$$

$$\omega - \omega_0 = +\alpha dt$$

Tindrem dos tipus de moviment circular:

1. Moviment circular uniforme

Un moviment circular uniforme és aquell la velocitat angular ω del qual és constant i, per tant, l'acceleració angular és zero.

En aquest moviment tots els punts donen el mateix número de voltes en un temps determinat, malgrat això, la velocitat de desplaçament de un punt es major a mesura que ens apartem de l'eix de gir ja que recorre més espai (una circumferència de major radi) en el mateix temps.

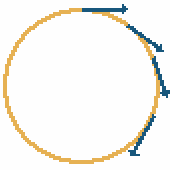
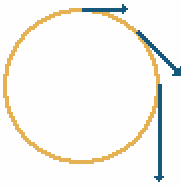
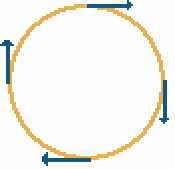
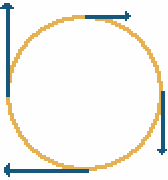
$$\alpha = 0$$

$$\omega = \text{ctant}$$

$$\varphi - \varphi_0 = \omega (t - t_0)$$

Encara que el moviment circular sigui uniforme i la seva rapidesa sigui constant, la seva velocitat és variable i, per tant, és accelerat.

La rapidesa és una magnitud escalar que no canvia durant el moviment circular uniforme, mentre que la velocitat és un vector que si canvia constantment.

M.C.U.	M.C. NO UNIFORME
	
	



2. Moviment circular uniformement accelerat

Un moviment circular uniformement accelerat és aquell en que l'acceleració α és constant.

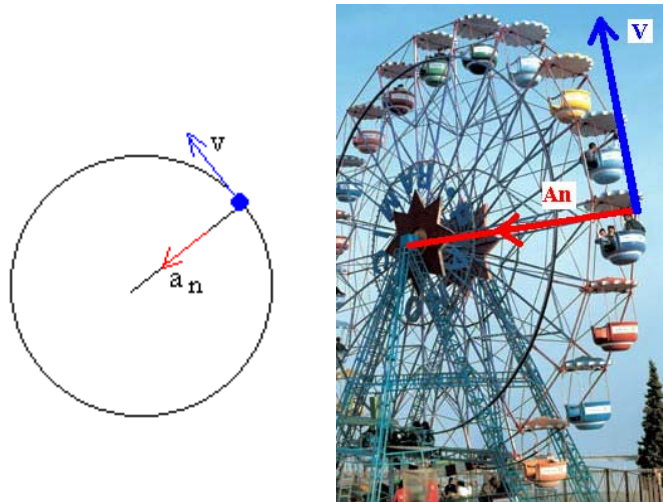
És aquell moviment en què la partícula descriu una trajectòria circular amb acceleració angular constant. En aquest moviment, l'acceleració angular mitjana i l'acceleració angular instantània coincideixen, i l'acceleració tangencial és constant.

$$\alpha = \text{ctant}$$

$$\omega = \omega_0 + \alpha t$$

$$\omega^2 = \omega_0^2 + 2 \alpha (\varphi - \varphi_0)$$

Dinàmica del moviment circular



En l'estudi del moviment circular uniforme hem vist que la velocitat del mòbil no canvia de mòdul però canvia constantment de direcció. El mòbil té una acceleració que està dirigida cap al centre de la trajectòria, anomenada acceleració normal, el mòdul de la qual és:

$$a_n = V^2 / R$$

La segona llei de Newton afirma que la resultant de les forces F que actuen sobre un cos que descriu un MCU és igual al producte de la massa m per l'acceleració normal a_n .

$$F = m a_n$$

→

$$F = m V^2 / R$$

Sistema de referència Inercial

Des del punt de vista d'un observador inercial el mòbil descriu un moviment circular uniforme. El mòbil canvia constantment la direcció de la velocitat tot i que el seu mòdul es manté constant. La força necessària per a produir l'acceleració normal és:

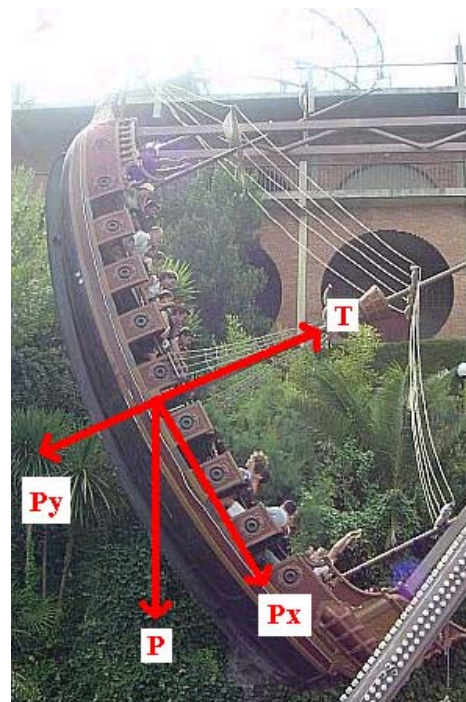
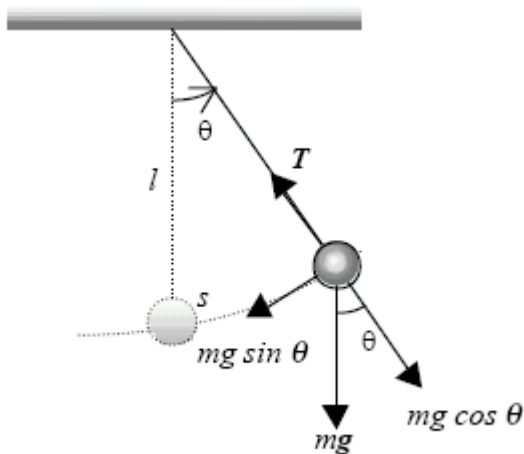
$$F = m \omega^2 R$$

➤ Pèndul

Aquest moviment el trobem en el Vaixell.

El pèndul simple és un sistema mecànic que es mou segons un moviment periòdic i oscil·latori.

Es disposa d'un pèndol fet amb un fil de longitud l i de massa menyspreable, del qual penja una massa puntual m . La seva posició d'equilibri és la vertical. Si es desplaça lleugerament la massa de la posició d'equilibri, en direcció horitzontal, i després s'allibera, el pèndol oscil·larà, amb una amplitud petita, sota l'efecte de la gravetat g . El pèndol descriu una trajectòria circular, un arc d'una circumferència de radi l . Estudiarem el seu moviment en la direcció tangencial i en la direcció normal.



En la figura anterior es mostra el diagrama de las forces que actuen sobre la massa puntual quan aquesta està desplaçada, en un instant determinat, un petit angle q respecte la posició d'equilibri.

Les forces que actuen sobre la massa són:

- la força exercida per la corda T i
- la força gravitatòria mg .

La component tangencial de la força gravitatòria és una força recuperadora que tendeix a portar a la massa a la posició d'equilibri.

Descomponem el pes en l'acció simultània de dues components, $mg \cdot \sin \theta$ en la direcció tangencial i $mg \cdot \cos \theta$ en la direcció radial.

Anem a deduir les equacions del moviment per desplaçaments petits respecte de la posició d'equilibri:

$$F_x = -T \sin \theta \quad F_y = T \cos \theta - mg$$

Si l'angle θ és molt petit, aleshores, $\sin \theta \approx \theta$, $\cos \theta \approx 1$. Això voldrà dir que només són apreciables moviments horitzontals, però els verticals són menyspreables. Per tant, aleshores: $T=mg$ i $F_y=0$. En la direcció x podrem escriure la segona llei de Newton:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = -g \theta$$

Es convenient escriure x en termes de l'angle: $x = l \sin \theta \approx l \theta$. Substituint a l'equació diferencial:

$$\frac{d^2 \theta}{dt^2} = -\frac{g}{l} \theta$$

de manera que la freqüència angular d'aquesta oscil·lació serà:

$$\omega \equiv \sqrt{\frac{g}{l}}$$

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

El període d'una oscil·lació és $T = \frac{2\pi}{\omega}$ i, per tant, el període del moviment d'aquest sistema ve descrit per:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Fixem-nos que la massa no apareix en aquesta equació. El moviment d'un pèndol no depèn de la seva massa. Aquest fet ja va ser descobert per Galileu, i és la base per a l'exactitud dels rellotges de pèndol que es desenvoluparien en una època posterior.

- Principi de conservació de l'energia

En la posició $\theta = \theta_0$ el pèndol tan sols té energia potencial, que es transforma en energia cinètica quan el pèndol passa per la posició d'equilibri.

La tensió de la corda no és constant, sinó que varia amb la posició angular θ . El seu valor màxim s'abasta quan $\theta = 0$, quan el pèndol passa per la posició d'equilibri (la velocitat és màxima). El seu valor mínim, quan $\theta = \theta_0$ (la velocitat és nul·la).

La relació entre l'acceleració tangencial a_t i l'acceleració angular α és:

$$a_t = \alpha l.$$

3.2.4 Estudi

TIBIDABO

Parc d'atraccions situat en la muntanya més alta de Barcelona, és un autèntic mirador de la ciutat. Un espai d'oci per al gaudiment de les famílies i dels joves en atraccions de tot tipus o espais lúdics diversos.

El parc del Tibidabo va néixer el 20 de Febrer de 1899 quan un grup d'homes barcelonesos van construir la Societat Anónima Tibidabo. Un dels accionistes era el doctor Salvador Andreu. El Tibidabo va començar a contenir activitats recreatives, es va estrenar el tramvia i el funicular i es van anar obrint atraccions. Algunes de les primeres van ser l'Aeromàgic (1915), la Talaia (1921) i l'Avió (1928). El parc sempre ha estat de propietat privada, actualment és de l'ajuntament.

El parc conserva algunes de les atraccions més significatives, les quals han anat omplint el parc en els seus cent anys d'existència. El Tibidabo té una oferta que reuneix pràcticament totes les varietats d'atraccions de referència en el sector, algunes d'elles allunyades dels models capdavaners però amb d'altres, en canvi, que destaquen per la seva qualitat, antiguitat o singularitat.



El parc es divideix en diferents barris on trobem repartides les vint-i-sis atraccions de que consta el parc en total.

Barri de la Talaia

1. Aeromàgic
2. Carroussel
3. Panoràmic
4. Talaia

Barri de l'avió

5. Avió

Barri de la muntanya russa

6. Muntanya Russa
7. Museu Autòmats
8. Pony Rodeo

Barri dels autos xoc

9. Crash Cars
10. Zoo Choc

Barri de l'aladino

11. Aladino
12. Alaska
13. Diavolo

Barri del pirata

14. Miralls Màgics
15. Piratta
16. Tchu Tchu Tren
17. Viking

Barri de l'hurakan

18. Caiguda Lliure
19. Hurakan

Barri del bosc

20. Mina d'Or
21. Transmòbil

Barri del castell

22. Castell Misteriós
23. Tibidabo Express

Barri de les atraccionetes

24. Jumpin
25. Llaunes
26. Tren Río Grande

MÈTODE DE TREBALL

Les atraccions encara que semblin complicades, tenen un funcionament fàcil de comprendre.

Un cop escollit el treball i tenint la idea clara dels objectius que volíem aconseguir i el procés que teníem que seguir per aconseguir-los, vam començar a pensar en quines atraccions centrariem el nostre estudi. Des d'un inici vam decidir que serien entre cinc i set atraccions, ja que fer un estudi d'aquestes característiques requereix el seu temps. És millor fer un estudi de poques atraccions, però fer-lo bé.

El criteri d'elecció que vam seguir al escollir les atraccions es que havien de poder descriure diferents fonaments físics i havien de ser, a la vegada, fàcilment mesurables.

Finalment les sis atraccions escollides van ser:

ATRACCIÓ	FONAMENT FÍSIC A ESTUDIAR
1. Muntanya Russa	Canvis energètics
2. Caiguda Lliure	Caiguda Lliure
3. Carroussel	Moviment circular
4. Cadiretes	Dinàmica del moviment circular
5. Vaixell	Moviment pèndol simple
6. Nòria	Moviment circular

Hem realitzat un estudi en el qual hem fet primerament un estudi teòric a casa que es tractava de fer una descripció de les atraccions i de les forces que hi actuen. Al finalitzar aquesta part, ens vam posar en contacte amb el Tibidabo. Després de moltes trucades i e-mails, vam aconseguir anar al parc a parlar amb un enginyer. Vam aprofitar el viatge, ja que el parc estava tancat al públic, per a fer mesures un dia sense funcionament de les atraccions per veure quins paràmetres havíem de calcular i agafar mesures sobre les dimensions de les atraccions. A partir d'aquí vam preparar un quadre amb totes les dades que necessitàvem calcular per no oblidar-nos de res i vam tornar a anar al parc un altre dia, quan les atraccions estaven en funcionament per poder realitzar les mesures necessàries. Aquest dia també el vam aprofitar per a la realització de l'enquesta.



Vam haver de descartar algunes atraccions emblemàtiques del nostre estudi, com per exemple, els “Autos de Xoc”, que anaven bé per descriure col·lisions, i els “Troncs”, l’atracció més nova del parc. No va ser possible ja que l’estudi era molt complicat, hi havia masses variables a controlar.

La Muntanya Russa és l’atracció on vam tenir més dubtes a l’hora d’escollir-la per a fer l’estudi, ja que és difícil controlar les variables, però és una atracció molt emblemàtica i finalment vam decidir incloure-la en l’estudi.



3.2.4.1 Carroussel

Inaugurat el 1989 i construït per l'empresa Bertazon 3B, és, juntament amb la Talaia, l'Avió i el Panoràmic el primer element visible en el moment d'entrar al parc. Des d'aquest nivell, l'única altre atracció a la qual s'accedeix és l'Aeromàgic.

Totes aquestes atraccions són utilitzables per persones de totes les edats. Per la seva decoració, el Carroussel contribueix a configurar un cert ambient d'època a l'entrada del parc. Els Carroussels són un element ineludible en un parc d'atraccions. El 1910 es va instal·lar la primera atracció d'aquestes característiques al Tibidabo.



✳ Descripció

El Carroussel es l'emblemàtica atracció on pots pujar als cavallets o a les carrosses que giren a ritme de l'orgue del Carroussel. Atracció que consisteix en una sèrie de seients amb formes d'animals o vehicles divertits que pugen i baixen, mentre donen voltes a una plataforma circular giratòria.

Si un cos es mou amb moviment circular té que actuar sobre aquest una força, denominada força centrípeta dirigida cap al centre de la circumferència que descriu. Aquest model senzill d'un Carroussel mostra aquesta força.

La velocitat d'un cos, en mòdul, direcció i sentit, es manté constant d'acord amb la tercera llei de Newton (Llei de la inèrcia) si no actua cap força sobre la resultant de totes les forces que actuen és zero. Les circumstàncies d'un moviment circular són diferents: En aquest cas deu haver una força, la força centrípeta, dirigida cap a l'eix de rotació. Aquest model senzill d'un Carroussel mostra aquesta força.

Tots els cavalls transcorren en la mateixa quantitat de temps un cercle complet. Els cavalls exteriors del Carroussel tenen que recórrer més distància en la mateixa quantitat de temps. Això significa que els cavalls exteriors tenen una velocitat lineal¹ més ràpida que els interiors. En canvi la velocitat angular és la mateixa per els dos cavalls, tan l'exterior com l'interior.

Les atraccions com el Carroussel tenen petites acceleracions: la velocitat i direcció dels passatgers canvia de forma gradual.

En alguns Carroussels, els cavalls fan un moviment cap a dalt i cap a baix que simula el galop d'un cavall de veritat. En un Carroussel normal, cada cavall manté una acceleració constant, un radi i una velocitat angular. Si li afegim el moviment del galop tenim que considerar les forces que necessitem per a canviar la posició del cavall.

El Carroussel del Tibidabo es caracteritza perquè té dues plantes, a baix hi ha tres files de cavallets i al pis de dalt només hi ha una fila de cavallets. Per accedir al primer pis es fa per una petita escala que hi ha a la part de baix.

¹ Velocitat lineal i velocitat angular definides al glossari pàg. 13

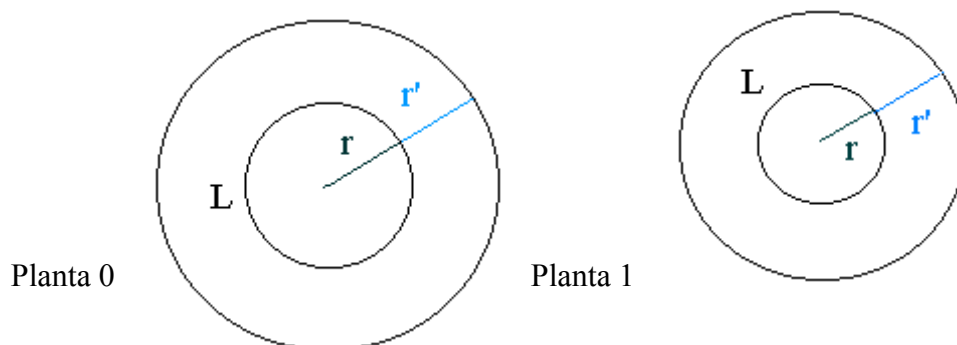
✘ Treball de camp

- Atracció en repòs

D'aquesta atracció ens interessa calcular els radis de les dues plantes i després els diferents radis de quatre dels cavallets, tres dels quals estan situats a la planta de baix i un altre, a la planta de dalt.



Aquestes mesures les vam prendre un dia en que les atraccions no estaven en funcionament. La realització de les mesures no va ser tan fàcil com ens pensàvem. En principi, per a calcular el radi del Carroussel, pensàvem que hi hauria prou amb un metre i mesurar del centre fins a l'extrem. Però ens vam trobar amb un inconvenient, i es que al mig de la plataforma giratòria hi ha una columna cilíndrica que no ens permetia mesurar el radi tan fàcilment. Vam haver de mesurar el perímetre de la columna per poder així calcular el valor d' r ja que $L=2\pi r$. Després vam mesurar la distància des de la columna fins l'extrem de la plataforma giratòria (r'), i a continuació, sumar els dos radis per tal d'aconseguir el radi total de la circumferència ($R= r + r'$). En el cas del Carroussel, al ser de dues plantes, vam tenir que fer la mesura dues vegades, ja que les plantes eren de radis diferents.



- Atracció en moviment

Amb els radis dels diferents cavallets podem obtenir les diferents velocitats lineals de cadascun d'ells. Però abans és necessari trobar la velocitat angular. Per això, hem de trobar el període del moviment.

Per a calcular el període del moviment, primer vam calcular el número total de voltes que feia, que van ser quatre. Com les primeres voltes serveixen per accelerar i les últimes per frenar, vam treure la primera i la última volta i vam calcular el temps que trigava en fer les quatre voltes senceres i després el temps que trigava en donar dues voltes a velocitat constant amb l'ajuda d'un cronòmetre. Vam repetir l'operació uns quants cops per a obtenir un resultat més exacte. Vam fer les mesures amb diferents mètodes i persones per evitar la tendència de repetir el mateix possible error.

- Càlculs

Radi planta 0

$$L=15.8\text{m}=2\pi r \rightarrow r = 15.8 / 2\pi = 2.51\text{m}$$

$$r' = 2.50 \text{ m}$$

$$\text{Radi total} = r + r' = 2.51 + 2.50 = \mathbf{5.01 \pm 0.01 \text{ m}}$$

- Cavallet 1: $r = 0.60 + 2.51 = \mathbf{3.11 \pm 0.01 \text{ m}}$
- Cavallet 2: $r = 1.40 + 2.51 = \mathbf{3.91 \pm 0.01 \text{ m}}$
- Cavallet 3: $r = 2.10 + 2.51 = \mathbf{4.61 \pm 0.01 \text{ m}}$

Radi planta 1

$$L = 7.40\text{m} = 2\pi r \rightarrow r = 7.40 / 2\pi = 1.18 \text{ m}$$

$$r' = 1.80 \text{ m}$$

$$\text{Radi total} = r + r' = 1.18 + 1.80 = \mathbf{2.98 \pm 0.01 \text{ m}}$$

- Cavallet 4: $r = 1.40 + 1.18 = \mathbf{2.58 \pm 0.01 \text{ m}}$

El període es defineix com el temps per el número de voltes, si substituïm el temps per les dues voltes que hem mesurat, obtenim el període:

$$T = 49.86/2 = \mathbf{24.93 \pm 0.73 \text{ s}}$$

A partir d'aquesta dada podem obtenir la velocitat angular de l'atracció:

$$\omega = 2\pi/T = 2\pi/24.93 = \mathbf{0.25 \text{ rad/s}}$$

La velocitat angular és la mateixa per a tots els punts de l'atracció, per tant, els cavallets tindran tots la mateixa velocitat angular ja que recorren el mateix angle en el mateix temps, en canvi, cada cavallet tindrà una velocitat lineal diferent perquè han de recórrer un diferent arc en el mateix temps.

Com coneixem la velocitat angular de l'atracció i el radi de cada cavallet podem calcular les seves respectives velocitats lineals:

- Cavallet 1 $\rightarrow V_1 = \omega \cdot R = 0.25 \cdot 3.11 = \mathbf{0.78 \text{ m/s}}$
- Cavallet 2 $\rightarrow V_2 = \omega \cdot R = 0.25 \cdot 3.91 = \mathbf{0.98 \text{ m/s}}$
- Cavallet 3 $\rightarrow V_3 = \omega \cdot R = 0.25 \cdot 4.61 = \mathbf{1.15 \text{ m/s}}$
- Cavallet 4 $\rightarrow V_4 = \omega \cdot R = 0.25 \cdot 2.58 = \mathbf{0.65 \text{ m/s}}$

Una mesura perfecta és impossible, sempre es cometen errors. Per això és necessari calcular aquests errors que poden ser deguts a instruments inadequats o espatllats o a una mala realització del procés de mesura.

- Temps que tarda en donar dues voltes.

Error absolut:

$$\bar{t} = (49.13 + 49.98 + 50.07 + 50.28) / 4 = 49.86 \text{ s}$$

$$\left. \begin{array}{l} e_1 = |49.13 - 49.86| = 0.73 \\ e_2 = |50.28 - 49.86| = 0.42 \end{array} \right\} \begin{array}{l} e = 0.73 \text{ s} \\ e_{\text{ins}} = 0.01 \text{ s} \end{array}$$

$$E_a = 0.73 \text{ s}$$

Error relatiu:

$$E_r = 0.73 \cdot 100 / 49.86 = 1.46 \% \approx 1.5 \% \text{ (És acceptable fins a un 5\%)}$$

Mesura: $49.86 \pm 0.73 \text{ s}$

- Període:

$$T = \text{temps total} / n^\circ \text{ de voltes} = 49.86 \pm 0.73 / 2 = 24.93 \pm 0.73 \text{ s}$$

- Radis:

Error absolut:

$$E_a = e_{\text{ins}} = 0.01 \text{ m}$$

Error relatiu:

Radi planta 0 $\rightarrow E_r = 0.01 \cdot 100 / 5.01 = 0.20 \%$

Mesura: 5.01 ± 0.01 m

Radi cavallet 1 $\rightarrow E_r = 0.01 \cdot 100 / 3.11 = 0.32 \%$

Mesura: 3.11 ± 0.01 m

Radi cavallet 2 $\rightarrow E_r = 0.01 \cdot 100 / 3.91 = 0.26 \%$

Mesura: 3.91 ± 0.01 m

Radi cavallet 3 $\rightarrow E_r = 0.01 \cdot 100 / 4.61 = 0.22 \%$

Mesura: 4.61 ± 0.01 m

Radi planta 1 $\rightarrow E_r = 0.01 \cdot 100 / 2.98 = 0.33 \%$

Mesura: 2.98 ± 0.01 m

Radi cavallet 4 $\rightarrow E_r = 0.01 \cdot 100 / 2.58 = 0.39 \%$

Mesura: 2.58 ± 0.01 m

✘ Dades tècniques

NOM:	CARROUSSEL
TIPUS D'ATRACCIÓ:	Cavallets
ÀREA:	Barri de La Talaia
RADI planta 0:	5,01 m
RADI cavall 1:	3,11 m
RADI cavall 2:	3,91 m
RADI cavall 3:	4.61 m
RADI planta 1:	2,98 m
RADI cavall 4:	2,58 m
PERIODE:	24.93 s
VELOCITAT ANGULAR:	0,25 rad/s
VELOCITAT LINEAL Cavall 1:	0,78 m/s
VELOCITAT LINEAL Cavall 2:	0,98 m/s
VELOCITAT LINEAL Cavall 3:	1.15 m/s
VELOCITAT LINEAL Cavall 4:	0,65 m/s
ANY D'INAUGURACIÓ:	1910
RESTRICCIONS:	Alçada mínima: 90 cm Acompanyats: Menors de 90 cm

Quadre 1

3.2.4.2 Cadiretes

Estan decorades amb motius al·lusius a la ciutat de Barcelona, combina el moviment de gir amb el de l'elevació de l'eix, fent volar les 48 cadires a gran velocitat i proporcionant un vertigen considerable a través d'una sensació de vol lliure.

El Diavolo actual, fabricat per la companyia alemanya Zierer el 1989, substitueix les atraccions d'aquest tipus que hi havia hagut des de 1953 fins al 1967.



✘ Descripció

Amb les cadires voladores es gaudeix d'una sensació de vol lliure. És una combinació de girs, elevacions, vertigen i velocitat, tot al mateix temps.

Consisteix en plataformes giratòries amb unes cadires unides a la plataforma mitjançant unes cadenes. Conforme augmenta la velocitat de la plataforma, les cadires es separen més del terra. En principi seria suficient dir que la causa és la força centrífuga que actuant horitzontalment cap a l'exterior incrementa el radi i dona lloc a que l'angle (α) que formen les cadenes amb la vertical vagi augmentant i conseqüentment la cadira s'elevi.

Sent una mica més precisos diríem:

- 1r. Analitzant des del sistema de referència no inercial (el que gira amb la plataforma i en el que les cadires estan en repòs) en cada moment ha d'haver equilibri entre les tres forces: pes (P), tensió (T) i força centrífuga ($F_c = \text{força d'inèrcia que s'ha d'incloure per estar en un sistema no inercial}$).
- 2n. Si s'analitzen des del sistema de referència del terra, com és inercial i en ell els gronxadors giren en una circumferència de radi r , ha d'existir una força centrípeta (F_c) proporcionada per la component horitzontal de la tensió de la cadena, que conseqüentment no pot mantenir-se en vertical $T_y = T \cdot \cos\alpha$ i horitzontal $T_x = T \cdot \sin\alpha$.
($R_0 = \text{radi del punt de sujecció de la cadena}$ i $l = \text{longitud de la cadena}$).
D'aquestes fórmules es pot trobar l'angle per cada velocitat i quan ja tenim aquest angle s'obté el que puja cada cadira amb $h = l \cdot \cos\alpha$.

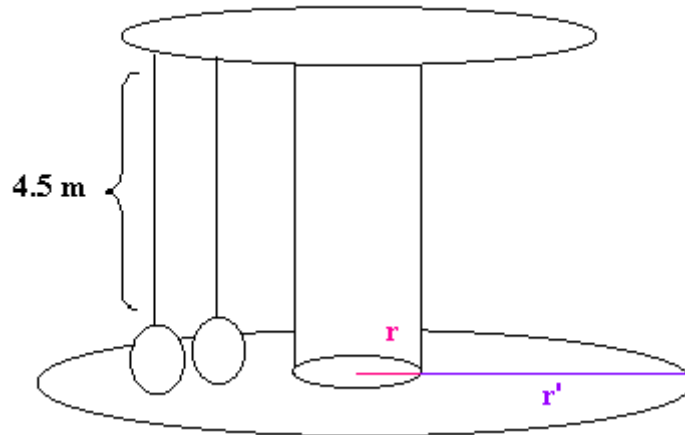
✘ Treball de camp

- **Atracció en repòs**

Les cadiretes, al igual que el Carroussel, pensàvem que per calcular el radi hi hauria prou amb un metre i mesurar del centre fins a l'extrem. Però ens vam trobar que al mig de la plataforma giratòria hi ha una columna cilíndrica que no ens permetia mesurar el radi tan fàcilment. Vam haver de mesurar el perímetre de la columna i per poder així calcular el valor d' r , ja que $L = 2\pi r$. Després vam mesurar la distància des de la columna fins l'extrem de la plataforma giratòria (r'), i a continuació, sumar els dos radis per tal d'aconseguir el radi total de la circumferència ($R = r + r'$), exactament igual que vam fer al Carroussel. També vam prendre la mesura dels radis de la cadireta interior i de la cadireta exterior.

De les cadiretes també ens interessava la longitud de la cadena que lliga la cadireta amb el sostre de l'atracció. La cadena està formada per peces molt petites. Vam calcular quantes peces hi havia en un metre de la cadena. El resultat va ser de 54 peces. El següent pas era saber quantes peces formaven tota la cadena. El problema no va ser fàcil, perquè les peces eren petites i al ser la cadena tan llarga era complicat veure les peces de la part més alta. El que vam fer és que diferents persones vam contar diferents

vegades el número de peces que formaven tota la cadena per assegurar-nos i trobar un valor el més exacte possible fent una mitjana.



- Atracció en moviment

Vam contar que les voltes que realitzava en total eren divuit, però d'aquestes voltes a velocitat constant, que és el que ens interessa eren poques, ja que les primeres l'atracció les utilitza per accelerar i les últimes per frenar. Per tant, al final només vam calcular el temps que trigava a fer deu voltes senceres.

- Càlculs

Longitud de la cadena = $4.50 \pm 0.01\text{ m}$

Radi de la plataforma

$$L=11\text{m}=2\pi r \rightarrow r = 11 / 2\pi = 1.75\text{m}$$

$$r' = 4\text{ m}$$

$$\text{Radi total} = r + r' = 1.75 + 4 = \mathbf{5.75 \pm 0.01\text{ m}}$$

- Cadireta 1 (interior): $r = 1.75 + 2 = \mathbf{3.75 \pm 0.01\text{ m}}$
- Cadireta 2 (exterior): $r = 1.75 + 3.3 = \mathbf{5.05 \pm 0.01\text{ m}}$
- Temps total que tarda en donar una volta :

Error absolut:

$$t = (55.81 + 55.54 + 55.41 + 55.44) / 4 = 55,55\text{ s}$$

$$\left. \begin{array}{l} e_1 = |55,41 - 55,55| = 0,14 \\ e_2 = |55,81 - 55,55| = 0,26 \end{array} \right\} \begin{array}{l} e = 0,26 \text{ s} \\ e_{\text{ins}} = 0,01 \text{ s} \end{array}$$

$$E_a = 0,26 \text{ s}$$

Error relatiu:

$$E_r = 0,26 \cdot 100 / 55,55 = 0,47 \% \approx 0,5 \% \text{ (És acceptable fins a un } 5\%)$$

Mesura: $55,55 \pm 0,26 \text{ s}$

- Període:

$$T = \text{temps total} / \text{n}^\circ \text{ de voltes} = 55,55 \pm 0,26 / 10 = 5,55 \pm 0,73 \text{ s}$$

- Radis:

Error absolut:

$$E_a = e_{\text{ins}} = 0,01 \text{ m}$$

Error relatiu:

$$\text{Radi plataforma} \rightarrow E_r = 0,01 \cdot 100 / 5,75 = 0,17 \%$$

Mesura: $5,75 \pm 0,01 \text{ m}$

$$\text{Radi cadireta 1 (interior)} \rightarrow E_r = 0,01 \cdot 100 / 3,75 = 0,27 \%$$

Mesura: $3,75 \pm 0,01 \text{ m}$

$$\text{Radi cavallet 2 (exterior)} \rightarrow E_r = 0,01 \cdot 100 / 5,05 = 0,20 \%$$

Mesura: $5,05 \pm 0,01 \text{ m}$

✘ Dades tècniques

NOM:	DIABOLO
TIPUS D'ATRACCIÓ:	Cadiretes
ÀREA:	Barri de l'Aladino
LONGITUD CADENA:	4,50 m
PERIODE	5,55 s
RADI PLATAFORMA:	5,75 m
RADI cadireta 1 (interior):	3,75 m
RADI cadireta 2 (exterior):	5,05 m
FREQUENCIA	0,18 Hz
VELOCITAT ANGULAR:	1,13 rad/s
VELOCITAT LINEAL cadireta 1	4,24 m/s
VELOCITAT LINEAL cadirtea 2	5,70 m/s
ANY D'INAUGURACIÓ:	1910
RESTRICCIONS:	Alçada mínima: 120 cm

Quadre 2

3.2.4.3 Nòria

La sínia del Tibidabo va ser construïda el 1983 per l'empresa Bernal Toledano, prenent el relleu de la inaugurada el 1962 que, al seu torn, ja havia substituït la primera que hi va haver, del 1953. Com la Talaia, la sínia del Tibidabo suma la seva alçada a la de la pròpia muntanya.



✘ Descripció

Atracció que consisteix en una gran roda que gira en vertical i de la que pengen vint cabines on van assentades les persones. No s'assoleixen emocions fortes però sí una bona vista. És una atracció molt emblemàtica, es troba a la majoria dels parcs d'atraccions.

El moviment que descriu és un moviment circular. Triga sempre el mateix temps en fer una volta, per tant, la seva velocitat és constant en mòdul. L'acceleració tangencial és 0 per això l'acceleració total és igual a l'acceleració normal.

✘ Treball de camp

- **Atracció en repòs**

Per a calcular el radi de la Nòria vam aprofitar que està formada per una estructura metàl·lica d'unes peces iguals que casualment va des del terra fins el centre de l'atracció. Vam calcular la mida d'una de les peces i vam multiplicar-ho per el número total de peces que anaven de la perifèria al centre de la circumferència.

- **Atracció en moviment**

Per a calcular el període en aquesta atracció va ser bastant més complicat, ja que la Nòria, és una atracció que normalment no realitza cap volta sencera degut a que estan pujant i baixant persones constantment. Per a pogué calcular, com a mínim, el temps que trigava en fer una volta completa, vam haver de parlar amb l'encarregat de l'atracció. Vam explicar-li que estàvem realitzant un Treball de Recerca i que necessitàvem fer una sèrie de mesures. La persona, molt amable, no va tenir cap inconvenient i va deixar que la Nòria fes unes quantes voltes sense parar. Gràcies a això vam calcular amb el cronòmetre el temps que trigava a fer una volta, vam repetir-ho dues o tres vegades i vam obtenir el resultat final que ens servirà per calcular el període.

- **Càlculs**

Radi Nòria

$$R = 15.5 \text{ peces} \times 0.47 = \mathbf{7.28 \pm 0.01 \text{ m}}$$

Període del moviment: Vam calcular el temps que trigava la Nòria en fer una volta sencera. Vam realitzar quatre mesures:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Mesura 1: } 17.64 \text{ s} \\ \text{Mesura 2: } 16.05 \text{ s} \\ \text{Mesura 3: } 16.91 \text{ s} \\ \text{Mesura 4: } 17.22 \text{ s} \end{array} \right\} \text{ Mitjana: } T = \mathbf{17.08 \pm 0.56 \text{ s}}$$

Com que el temps que vam calcular va ser només d'una volta, aquest ja és el període del moviment.

$$\text{Per a calcular la velocitat angular: } \omega = 2\pi/T = 2\pi/17.08 = \mathbf{0.37 \text{ rad/s}}$$

I la velocitat lineal, la calculem amb la mesura que vam fer del radi:

$$V = \omega \cdot R = 0.37 \cdot 7.285 = \mathbf{2.71 \text{ m/s}}$$

La freqüència del moviment es defineix com:

$$f = 1/T = 1/17.08 = \mathbf{0.059 \text{ Hz}}$$

- Període

Error absolut:

$$t = (17.64 + 16.55 + 16.91 + 17.22) / 4 = 17.08 \text{ s}$$

$$\left. \begin{array}{l} e_1 = |16.55 - 17.08| = 0.53 \\ e_2 = |17.64 - 17.08| = 0.56 \end{array} \right\} \begin{array}{l} e = 0.56 \text{ s} \\ e_{\text{ins}} = 0.01 \text{ s} \end{array}$$

$$E_a = 0.56 \text{ s}$$

Error relatiu:

$$E_r = 0.56 \cdot 100 / 17.08 = 3.28 \% \approx 3 \% \text{ (És acceptable fins a un 5\%)}$$

Mesura: $17.08 \pm 0.56 \text{ s}$

- Radi

Error absolut: $E_a = e_{\text{ins}} = 0.01 \text{ m}$

Error relatiu:

$$E_r = 0.01 \cdot 100 / 7.28 = 0.14 \%$$

Mesura: $7.28 \pm 0.01 \text{ m}$

✘ Dades tècniques

NOM:	PANORÀMIC
TIPUS D'ATRACCIÓ:	Nòria
ÀREA:	Barri de La Talaia
RADI:	7,28 m
VELOCITAT ANGULAR:	0,37 rad/s
VELOCITAT LINEAL:	2,71 m/s
PERIODE:	17,08 s
Nº CADIRETES:	20
ANY D'INAUGURACIÓ:	1962
RESTRICCIONS:	Alçada mínima: 120 cm Acompanyats: De 100 a 120 cm

Quadre 3

3.2.4.4 Caiguda Lliure

Al Tibidabo des del dia 19 de Juny de 2004 es pot gaudir d'una experiència única pujant a la primera atracció de caiguda lliure a Catalunya.. L'única condició que requereix és tenir una alçada mínima de 140cm.



✘ Descripció

És una torre amb una alçada considerable en la qual els passatgers pugen i quan són a dalt els deixen caure. Tota l'emoció i l'adrenalina de caure al buit en fraccions de segon. Com si fos un ascensor, els seients dels passatgers, són elevats a considerables altures des d'on son deixats anar per a realitzar una baixada a la velocitat de la gravetat. Es diferencien clarament tres etapes:

1^a etapa: un moviment uniforme, en la pujada.

2^a etapa: un moviment uniformement accelerat, en la caiguda lliure.

3^a etapa: un moviment desaccelerat, en la fase final de frenada.

Quan baixes tota l'energia potencial que s'havia emmagatzemat a la pujada es converteix en energia cinètica. Aquí també és compleix la llei de la conservació de l'energia. Tota l'energia potencial no es converteix en cinètica a causa d'alguna pèrdua pel fregament.

Mentre estàs caient en caiguda lliure, se sent una sensació d'ingravidessa degut al fet que l'única força que actua sobre nosaltres és la gravetat.

La velocitat a la qual està caient pot ser determinada per l'equació: $V = V_0 + a \cdot t$
Com parteix del repòs ($V_0 = 0 \text{ m/s}$), l'equació quedaria: $V = a \cdot t$

La distància que ha recorregut durant la caiguda lliure pot ser determinada per:
 $X - X_0 = V_0 t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$ però com parteix del repòs quedaria: $X - X_0 = \frac{1}{2} a t^2$
Com l'acceleració que actua és la de la terra, podem substituir-la en les equacions anteriors:

$$V = 9.8 t$$

$$X - X_0 = -4.9 t^2$$

✘ Treball de camp

- **Atracció en repòs**

Calcular l'altura de la torre de la Caiguda lliure tampoc era possible per això vam demanar als responsables del parc que ens donessin la mida, la massa i la potència de l'elevador. L'elevador té una capacitat per a dotze persones.

- **Atracció en moviment**

El que sí vam poder calcular van ser el temps d'elevació i el temps de caiguda lliure. Vam preguntar-li a l'encarregat de l'atracció, en Marcel, si ens podíem estar als comandaments per a realitzar una presa de mesures més exacte. Ell sense cap inconvenient ens va explicar el funcionament de l'atracció. L'atracció té dues maneres de pujar fins a dalt de tot de la torre, es pot pujar directament o en dos trams, parant l'atracció a una distància intermèdia. Li vam demanar que primer de tot fes pujar l'elevador directament per a prendre el temps d'elevació, perquè ens interessa el temps d'elevació directament i no en dos trams. Quan l'elevador està a l'altura màxima, es deixa una estona a dalt i al prémer un botó es deixa caure en Caiguda Lliure. Després de prendre les diferents mesures del temps de caiguda lliure, en Marcel ens va deixar

controlar a nosaltres l'atracció. Va ser una experiència al·lucinant, perquè en aquell moment, dotze persones estan a les teves mans. Després vam ser nosaltres els que vam pujar per a prendre mesures des de la mateixa atracció.

- Càlculs

Aquestes són les dades que ens van facilitar al Tibidabo ja que eren impossibles de calcular, però ens feien falta per a calcular la velocitat màxima de l'atracció.

Dades:

Altura de la torre= **40 ± 0.01 m**

Altura caiguda lliure = **35 ± 0.01 m**

Distància de frenada = **10 ± 0.01 m**

Elevador:

Massa = **3.000 kg**

Potència = **170 kW**

- Temps d'elevació

Error absolut:

$$\bar{t} = (35.15 + 35.30 + 35.12 + 35.24) / 4 = 35.20 \text{ s}$$

$$\left. \begin{array}{l} e_1 = |35.12 - 35.20| = 0.08 \\ e_2 = |35.30 - 35.20| = 0.10 \end{array} \right\} \begin{array}{l} e = 0.10 \text{ s} \\ e_{\text{ins}} = 0.01 \text{ s} \end{array}$$

$$E_a = 0.10 \text{ s}$$

Error relatiu:

$$E_r = 0.10 \cdot 100 / 35.20 = 0.28 \% \approx 0.3 \% \text{ (És acceptable fins a un 5\%)}$$

Mesura: 35.20 ± 0.10 s

- Temps de caiguda lliure

Error absolut:

$$\bar{t} = (2.13 + 2.32 + 2.15 + 2.20) / 4 = 2.20 \text{ s}$$

$$\left. \begin{array}{l} e_1 = |2.13 - 2.20| = 0.07 \\ e_2 = |2.32 - 2.20| = 0.12 \end{array} \right\} \begin{array}{l} e = 0.12 \\ e_{\text{ins}} = 0.01 \text{ s} \end{array}$$

$$E_a = 0.12 \text{ s}$$

Error relatiu:

$$E_r = 0.12 \cdot 100 / 2.20 = 5.45 \% \approx 5.5 \%$$

Mesura: $2.20 \pm 0.12 \text{ s}$

El temps de caiguda lliure és el temps que tarda en baixar l'elevador des del punt més alt de l'atracció fins a tornar al terra. Nosaltres vam calcular amb un cronòmetre aquest temps i el resultat obtingut va ser de 2.20 segons.

Aquest temps, l'hem calculat i hauria de tardar 3.16 segons en comptes de 2.20 segons. L'altura total de l'atracció són 40 metres, on 35 metres són de caiguda lliure i 10 d'aquests són de frenada.

Calculem primer el temps de caiguda lliure:

$$V = 4.9 t^2 \rightarrow 25 = 4.9 t^2 \rightarrow t = 2.26 \text{ s}$$

Ara necessitem el temps de frenada, però primer hem de calcular la velocitat de frenada i l'acceleració:

$$V = V_0 - 9.8t \rightarrow V = 0 - 9.8 \cdot 2.26 = -22.14 \text{ m/s}$$

$$V^2 = V_0^2 - 2a\Delta y \rightarrow 0 = 22.14^2 - 2a \cdot 10 \rightarrow a = 24.5 \text{ m/s}^2$$

Un cop calculada l'acceleració i la velocitat obtenim el temps de frenada:

$$V = V_0 + at \rightarrow -22.14 = 0 + 24.5 t' \rightarrow t' = 0.9 \text{ s}$$

El temps total, la suma del temps de caiguda lliure i de frenada, és el següent:

$$T = t + t' = 2.26 + 0.9 = \mathbf{3.16 \text{ s}}$$

El fet de que el temps real de caiguda lliure que nosaltres vam calcular sigui inferior el temps que hauria de trigar pot ser degut a que hi ha un lloc on el fregament és molt gran, ja que la resistència de l'aire no pot ser tan gran per a fer canviar d'una manera tan considerable l'interval de temps.

x Dades tècniques

NOM:	CAIGUDA LLIURE
TIPUS D'ATRACCIÓ:	Caiguda lliure
ÀREA:	Barri de l'Hurakan
ALTURA TOTAL:	40 m
TEMPS D'ELEVACIÓ:	35,2 s
ALTURA DE CAIGUDA LLIURE:	35 m
TEMPS DE CAIGUDA LLIURE:	2,3 s
DISTÀNCIA DE FRENADA:	10 m
MASSA DE L'ELEVADOR:	3.000 Kg
CAPACITAT DE L'ELEVADOR:	12 persones
POTÈNCIA DE L'ELEVADOR:	170 kW
ANY D'INAUGURACIÓ:	2004
RESTRICCIONS:	Alçada mínima: 140 cm

Quadre 4

3.2.4.5 El vaixell

Aquesta atracció ambientada en un moll, fabricada per Zamperla l'any 1989, és una altra de les propostes vertiginoses del Tibidabo, atès que el balanceig fa que el vaixell arribi a efectuar un recorregut de quasi 180°.



✘ Descripció

Vaixell pirata que t'enlaira i el seu balanceig et porta a efectuar un recorregut de quasi 180°. És un moviment com un gran pèndol que quan aconseguix l'alçada màxima torna a baixar i pujar repetidament.

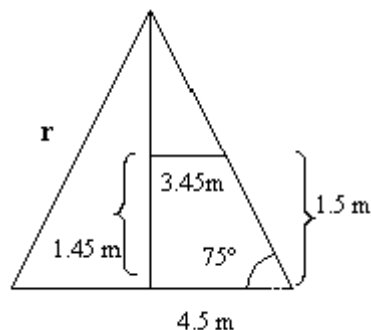
És un gronxador que eleva fins a 12 metres un vaixell pirata amb capacitat per a 42 persones.

✘ Treball de camp

- **Atracció en repòs**

El Vaixell és l'atracció que més dificultats ha comportat a l'hora de realitzar les mesures degut a les seves dimensions. Primerament vam estar pensant com calcular el radi, en aquest cas no hi havia peces iguals com a la Nòria, sinó que les peces s'anaven fent petites i no vam poder realitzar la mesura d'aquesta manera. Després vam pensar en el teorema de tals, dels triangles semblants, hi vam calcular amb un metre tan bé com vam poder la vertical i l'horitzontal.

Per a calcular l'angle d'inclinació vam ajudar-nos amb un portangles, que encara que no sigui una eina de mesura molt precisa ens va servir per a conèixer encara que fos aproximadament l'angle.



- **Atracció en moviment**

El vaixell comença a oscil·lar fins que assoleix l'alçada màxima. A nosaltres el que ens interessava era calcular el temps que feia mentre estava a aquesta alçada, per això, el primer que vam fer es contar quantes oscil·lacions feia. Després d'assegurar-nos que eren quatre oscil·lacions vam calcular el temps amb un cronòmetre.

- **Càlculs**

- Temps

Error absolut:

$$\bar{t} = (27.72 + 27.85 + 27.99 + 27.80) / 4 = 27.84 \text{ s}$$

$$\left. \begin{array}{l} e_1 = |27.72 - 27.84| = 0.12 \\ e_2 = |27.99 - 27.84| = 0.15 \end{array} \right\} \begin{array}{l} e = 0.15 \\ e_{\text{ins}} = 0.01 \text{ s} \end{array}$$

$$E_a = 0.15 \text{ s}$$

Error relatiu:

$$E_r = 0.15 \cdot 100 / 27.84 = 0.54 \% \approx 0.5 \% \text{ (És acceptable fins a un 5\%)}$$

Mesura: $27.84 \pm 0.15 \text{ s}$

✘ **Dades tècniques**

NOM:	PIRATTA
TIPUS D'ATRACCIÓ:	vaixell
ÀREA:	Barri del pirata
RADI:	4 m
PES:	15-20 tones
ANGLE D'INCLINACIÓ:	$\pm 75^\circ$
ANY D'INAUGURACIÓ:	1910
RESTRICCIONS:	Alçada mínima: 120 cm Acompanyats: De 100 a 120 cm

Quadre 5

3.2.4.6 Muntanya russa

La muntanya russa en la que he realitzat el meu estudi és la muntanya russa del Tibidabo. És una muntanya russa de les més senzilles ja que no presenten cap gir, només té pujades i baixades al llarg de l'itinerari.

Va ser construïda per la companyia italiana Fini l'any 1961 i reformada per Tibidabo l'any 1992. És apta per a totes les edats i l'única limitació és l'alçada mínima requerida, 1 metre. Comparteix amb moltes altres atraccions del Tibidabo l'especificitat de la seva ubicació, que fa que a la naturalesa de la pròpia atracció s'hi sumi el vertigen de la vista oberta sobre la ciutat. És una muntanya russa iniciàtica i segura, on poden despenjar-se junts una persona gran amb un nen petit.



✘ Descripció

La muntanya russa és com un tren de passatgers. Consisteix en una sèrie de cotxes connectats entre sí que es mouen en pistes. Però a diferència d'un tren, la muntanya russa no té cap motor ni cap font d'energia a part d'ell mateix.

Durant el recorregut es mogut només per les forces d'inèrcia i de la gravetat. L'únic esforç d'energia és a la primera part del recorregut. Els trens arriben a la part alta abans de la primera baixada mitjançant procediments mecànics (fig.1). Des d'aquí se'ls deixa anar per iniciar el seu recorregut sense cap mena de motor ni màquina acoblada.

fig. 1



El propòsit d'aquesta pujada inicial serveix per acumular l'energia potencial. Una vegada que comença a baixar (fig.2), l'energia potencial es va convertint en energia cinètica perquè la suma de les dues és l'energia mecànica i s'ha de mantenir constant: teoria de conservació de l'energia.

fig.2



El curs de la pista està convertint constantment l'energia cinètica en energia potencial. Amb la velocitat que arriba el tren, es pot pujar una vegada més a una pujada. No obstant, l'altura d'aquesta cresta no pot ser de la mateixa altura inicial, ja el dipòsit total d'energia acumulada es perd gradualment amb el fregament. La diferència d'altures (H) depèn d'aquesta pèrdua pel que és necessari anar disminuint l'altura cada vegada més (fig.3).

fig. 3



Aquest procés es repeteix una vegada i una altra, fins a que el vehicle es para al final de la pista.

En els girs de les muntanyes russes no hi ha una força que et mantingui del revés. Mentre que tu et moues al llarg de la pista, els cotxes i el teu cos volen continuar movent-se en línia recta, però la pista que fa una corba cap amunt aplica una força i empeny els cotxes. Aquesta força és la força centrípeta i la seva direcció és sempre interna (perpendicular a la direcció del moviment). Els cotxes també estan accelerant ja que estan canviant la seva direcció, aquesta acceleració centrípeta i la seva direcció són iguals que la força centrípeta.

Els girs de les muntanyes russes acostumen a no ser cercles perfectes, són uns girs amb una forma més ovalada, el radi està disminuint constantment i això causa una força centrípeta més alta a velocitats més reduïdes.

Classificació de les muntanyes russes:

- Per la seva altura

- KIDDIE (Infantil): muntanya que no passa dels 15 metres d'altura.
- COASTER (Normal): muntanya russa que té poc més de 15m fins poc menys de 60m. La majoria de les muntanyes russes es troben en aquest apartat.
- HYPERCOASTER (muntanya gran): més de 60m d'altura i menys de 90m.
- GIGACOASTER (muntanya molt gran): més de 90m d'altura i menys de 120m.
- STRATACOASTER (muntanya estratosfèrica): de més de 120m d'altura.

- Per el tipus de tren o via

- WOODEN (Fusta)
- STEEL (Acer): Estructura d'acer amb riels tubulars.
- LOOPING (amb gir): Presenta un o varis girs verticals.
- CORCKSCREW (amb tirabuixons)
- SHUTTLE: Inclou un sistema mecànic que permet catapultar el tren.
- MULTILOOPIING (diferents elements d'inversions)
- SUSPENDED (suspesa): Via a la part superior i els trens penjats permeten un balanceig lateral lliure.
- STAND UP (de peu): Permet als passatgers viatjar en posició vertical recta.
- INVERTED (invertida)
- FLOORLESS (sense terra): no tenen una superfície apropiada per posar els peus.
- SUSPENDED LOOPING (multi girs suspesa)
- TWISTER (torçada)
- LIM (amb motors magnètics)
- VERTICAL

- FLYING (voladora): Permet viatjar en una posició horitzontal, tan cap a dalt com cap a baix.
- MULTIDIMENSION (multi dimensional): Permet una rotació dels seus seients en una direcció frontal.
- AIR LAUNCH (catapultada amb aire)
- HYDRAULIC LAUNCH (catapultada per sistema hidràulic)

- Per el seu recorregut

- TWISTED (torçada)
- OUT AND BACK (anada i tornada)
- MULTILOOPER (multi girs)
- RACER (corredores)
- DUELING (competidores)

✘ **Treball de camp**

- **Atracció en repòs**

A la Muntanya Russa va ser impossible realitzar cap mesura ja que el que ens interessava mesurar era la longitud del recorregut i de la rampa i no va ser possible. Un enginyer del Tibidabo ens va facilitar la longitud total del recorregut, que són aproximadament **360 ± 0.01 m**

- **Atracció en moviment**

El que sí vam poder calcular el dia que estava en funcionament van ser el temps total del recorregut i, el temps a pujar la primera rampa amb procediments mecànics que serviran per a proporcionar energia potencial al vagó per a poder realitzar el recorregut.

- **Càlculs**

- Temps total del recorregut

Mesura 1: 73.15 s

Mesura 2: 74.10s

Mesura 3: 72.01 s

Mesura 4: 72.12 s

Error absolut:

$$\bar{t} = (73.13 + 74.10 + 72.01 + 72.12) / 4 = 72.84 \text{ s}$$

$$\left. \begin{array}{l} e_1 = |72.01 - 72.84| = 0.83 \\ e_2 = |74.10 - 72.84| = 1.26 \end{array} \right\} \begin{array}{l} e = 1.26 \\ e_{\text{ins}} = 0.01 \text{ s} \end{array}$$

$$E_a = 1.26 \text{ s}$$

Error relatiu:

$$E_r = 1.26 \cdot 100 / 72.84 = 1.73 \% \approx 2 \% \text{ (És acceptable fins a un 5\%)}$$

Mesura: **72.84 ± 1.26 s**

Temps a pujar la rampa

Mesura 1: 13.94 s

Mesura 2: 13.68 s

Mesura 3: 13.85 s

Mesura 4: 13.90 s

Error absolut:

$$\bar{t} = (13.96 + 13.68 + 13.85 + 13.90) / 4 = 13.85 \text{ s}$$

$$\left. \begin{array}{l} e_1 = |13.68 - 13.85| = 0.17 \\ e_2 = |13.90 - 13.85| = 0.05 \end{array} \right\} \begin{array}{l} e = 0.17 \\ e_{\text{ins}} = 0.01 \text{ s} \end{array}$$

$$E_a = 0.17 \text{ s}$$

Error relatiu:

$$E_r = 0.17 \cdot 100 / 13.85 = 1.23 \% \approx 1 \%$$

Mesura: **13.85 ± 0.17 s**

✘ Dades tècniques

NOM:	MUNTANYA RUSSA
TIPUS D'ATRACCIÓ:	Muntanya russa
ÀREA:	Barri de la muntanya russa
DURACIÓ:	1 minut i 13 segons
ANY D'INAUGURACIÓ:	1992
CONSTRUCTORA:	Companyia Italiana Fini
Nº DE CADENES D'ASCENS:	4
Nº DE CADENES DESCENDENS:	4
VELOCITAT MÀXIMA:	x Km/h
LONGITUD DE RECORREGUT:	360 metres (aprox.)
CAPACITAT PER TREN:	4 persones
RESTRICCIONS:	Alçada mínima: 120 cm Acompanyats: De 100 a 120 cm

Quadre 6

4 Part experimental: didàctica de la Física

4.1. Explicació del procés

L'objectiu d'aquesta part del treball és d'intentar presentar la física de manera més atractiva per a veure si dóna uns millors resultats als alumnes.

“ La societat en què viuen els nostres adolescents és ben diferent de la que fa una dècada i encara ho és més de la societat en que va ser escolaritzada la generació anterior i, probablement, els professors actuals. La disponibilitat de mitjans i de tecnologies de la informació i la comunicació ha canviat en gran manera. Els valors socioculturals s'han modificat.... Tots aquests valors impregnen els nostres alumnes i fan que els gustos i interessos que tenen siguin molt llunyans d'aquells a què els professors recorrien per incentivar els estudiants. Així, avui en dia els professors fan esforços per detectar que els pot motivar.” (Roser Pintó, 2003)

Les atraccions es poden presentar com a recurs didàctic, ja que la física de les atraccions mecàniques és suficientment senzilla per ser entesa a un nivell d'iniciació.

La metodologia utilitzada ha estat realitzar dues classes de física utilitzant “mètodes pedagògics” diferents a dos grups diferents de 4t E.S.O. Hem decidit explicar un tipus de moviment concret: el moviment circular, un tema de física que és nou per als alumnes i que està comprovat que costa una mica entendre el concepte.



Hem escollit la classe de 4t E.S.O. B. El seu professor de Física és el Joaquín, li vam explicar els nostres propòsits i ell no va tenir cap problema en deixar-nos a nosaltres fer unes classes. Ens va facilitar les hores en que aquest grup tenia desdoblament i a partir d'aquí ens vam anar preparant per el dia de la classe. A la classe són vint-i-nou alumnes, però a desdoblament, es divideixen i queden una classe de quinze alumnes i una altre classe de catorze alumnes.



Per a la preparació de les classes, volíem que fos interessant per els alumnes, per això, en comptes d'agafar el llibre de Física i explicar concepte per concepte, vam pensar que seria més atractiu una presentació amb imatges. Vam preparar el temari i el vam passar a una presentació de Power Point, amb exemples, dibuixos, fotografies, etc. Vam fer un dossier per a cada alumne per tal de que haguessin de prendre el mínim d'apunts i tinguessin tota la seva atenció concentrada a les explicacions.

Les classes es van dur a terme el dimarts dia 25 de Gener a primera i a segona hora del matí. Els vaig explicar als alumnes que estava realitzant un treball de recerca i que volia arribar a comprovar si eren capaços d'entendre millor la Física gràcies a les atraccions.

La primera classe, de 8.30 a 9.30 del matí, ens vam centrar en els parcs d'atraccions. Vam començant repassant el moviment rectilini per a després comparar-lo amb el

moviment circular, que és el que havien d'aprendre. Va ser una classe amena, on fèiem servir exemples d'atraccions que utilitzen un moviment circular, com és el cas de la Nòria, el Carroussel, les cadiretes i altres. Vam comentar un exercici conjuntament i al final de la classe vam aprofitar per fer uns quants exercicis per practicar.²

La segona classe, de 9.30 a 10.30, ens vam limitar a explicar la teoria amb exemples comuns d'elements que tenen un moviment circular que s'acostumen a fer servir com és el cas de les agulles d'un rellotge, de les aspes d'un ventilador, d'un disc, etc.

També vam utilitzar una presentació de Power Point per a fer més amena la teoria, vam realitzar una sèrie d'exercicis a la pissarra i els alumnes van estar preguntant dubtes.



Per comprovar si els objectius s'havien confirmat, vam realitzar una mateixa prova comuna als dos grups. L'examen consistia en: una part de qüestions i una part d'exercicis. Les qüestions valien un 60% de la nota i els exercicis un 40%. Tant en els exercicis com en les qüestions hi havien que estaven enfocats en les atraccions i d'altres que no, perquè els dos grups tinguessin una mateixa igualtat de condicions.³

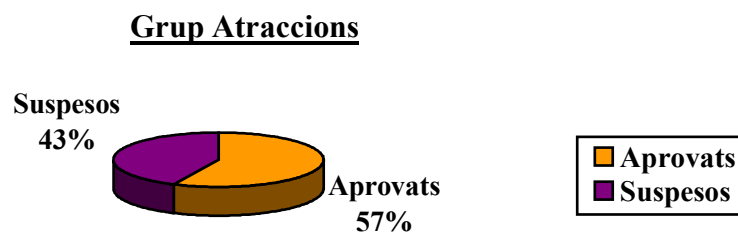
² Material en annex

³ Mostra de l'examen en annex

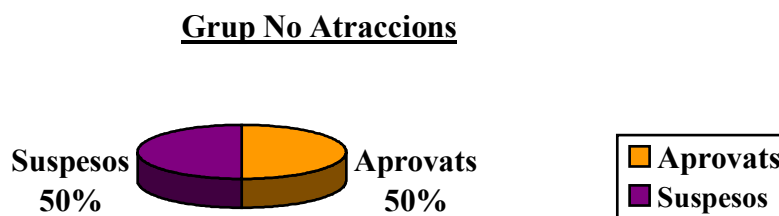
4.2. Presentació dels resultats

Després de l'examen que van realitzar els alumnes podem extreure una sèrie de conclusions.

El primer grup, en el que ens vam centrar en les atraccions, van realitzar la prova només set alumnes, la resta no va assistir a classe, dels quals quatre han aprovat i tres han suspès.



El segon grup, han realitzat la prova el doble d'alumnes que el primer grup, un total de catorze, dels quals set han aprovat i set han suspès.



L'objectiu d'aquesta pràctica era comprovar si era cert que els alumnes tenien més facilitats alhora d'aprendre Física gràcies a les atraccions o no. Els resultats obtinguts han estat molt igualats entre els dos grups, val la pena dir que són un grup que treu notes bastant similars. Hem estudiat els resultats de l'avaluació anterior i els resultats eren bastant igualats entre l'alumnat. Al haver realitzat la prova a un grup de vint-i-nou alumnes, això fa que els resultats obtinguts siguin una mostra poc representativa. Per tant, en un anàlisi final podríem dir que no hi ha prou variació en els resultats per poder afirmar que els alumnes aprenen millor la Física gràcies a les atraccions.

5. Conclusions del treball

5.1 Explicació dels resultats obtinguts en funció dels objectius inicials

Dur a terme aquest treball no ha estat fàcil, però el resultat ha valgut la pena i n'estic molt orgullosa.

Pel que fa a la part teòrica, hem de tenir en compte els objectius inicials, on era identificar els fonaments en que es basen les atraccions. Després d'acabar el treball podem concloure que hem aconseguit identificar aquests fonaments gràcies a l'intens estudi de les sis atraccions. Respecte al segon objectiu principal, controlar les variables que intervenen en els fenòmens físics, hem aconseguit controlar-ne la majoria. Per això va ser necessari anar al parc d'atraccions Tibidabo i realitzar una sèrie de mesures i càlculs. Tot seguit hem realitzat un estudi d'errors dels càlculs que vam prendre al Tibidabo, on tots ens han donat un marge d'error acceptable, per sota del 5%. Val la pena dir que aquest últim objectiu (reconèixer els límits de precisió en les estimacions, mesures, dates i calcular l'incertesa) és un objectiu secundari, ja que en tots els treballs físics la mesura d'errors és una cosa que s'hauria de fer sempre.

Pel que fa a la part experimental no he obtingut els resultats que esperava que sortissin. El meu objectiu era comprovar si un grup d'alumnes aprenien millor la física gràcies a les atraccions. Al ser una mostra poc representativa i el fet de que els resultats no presenten prou variació entre ells, fa que no pugui confirmar la hipòtesis.

Com a resposta de l'eslògan del títol, *Física + emoció = excel·lent combinació?*, un cop finalitzat el treball, la meva resposta és un sí. He après que la Física dels parcs d'atraccions és senzilla, divertida i, a la vegada, real, una molt bona combinació per a divertir-se i aprendre alhora.

5.2 Valoració i Opinió personal sobre el treball

Ha estat una experiència molt interessant, crec que totes aquestes hores d'esforç i de treball han valgut molt la pena, ja que he après molt més del que pensava.

Aquest treball de recerca m'ha servit per aprendre a buscar informació, resumir-la, redactar-la i per últim treure'n conclusions. També he tingut que perdre la vergonya per a realitzar les classes de Física per a la part experimental i a saber-me organitzar totes les idees.

La realització del treball no hauria estat possible si no hagués treballat amb una constància, el fet de tenir dues hores lectives a la setmana destinades a aquest treball, han sigut de molta ajuda.

Al principi, val la pena dir que va costar una mica tirar endavant el treball, només teníem un títol i no sabíem per on agafar-lo. Jo tenia pensat de fer un estudi de les forces dels parcs d'atraccions, però com bé em va dir l'Araceli, això no era un treball de recerca, sinó que només era una part bàsica que tenia que incloure en la meua investigació. També tenia en ment construir una maqueta d'una de les atraccions, però vam descartar la idea per la dificultat que comportava i per la raó que jo estic fent el Batxillerat científic i la construcció d'una maqueta era més aviat relacionada amb la mecànica. Sort que mica en mica vam anar trobant idees, vam tirar endavant i finalment ha sortit un treball del qual estic molt satisfeta.

6. Bibliografia

Llibres:

- DOU, J.M. i altres. 1998, *Física i Química*, Barcelona, Editorial Casals.
- MARTÍNEZ, José Antonio; DE PRADA PÉREZ, Fernando Ignacio. 2001, *Aprende física en el parque de atracciones*, Madrid, Colección Materiales Curriculares.
- SERRA, Salvador i altres. 2002, *Física 1*, Madrid, Editorial McGraw-Hill.
- SERRA, Salvador i altres. 2003, *Física 2*, Madrid, Editorial McGraw-Hill.
- Enciclopèdia interactiva de consulta – El periódico
- 1995, *Enciclopèdia catalana*, volum 5, Barcelona, Proa diccionari enciclopèdic.
- Nova enciclopèdia catalana de l'estudiant, Física. Química. Tecnologia, Barcelona, Carroggio S.A. De Ediciones.

Articles:

- CHICOLUQUE, Luis A. Noviembre 2001, “Todo está preparado para disfrutar de la física y la emoción”, *El Mundo*.
- LUMBRERAS, Sonsoles. Mayo 2002, “La física está en todas partes, incluso en la Lanzadera”, *El Mundo*.
- PARDINA, José. Julio 2004, “¿Por qué chillamos en las montañas rusas?”, *Muy extra: preguntas y respuestas*, número 5.

Pàgines Web:

- www.tibidabo.es
- <http://www.universalmediterranea.com/>
- <http://aula.el-mundo.es/aula/noticia.php/2002/05/09/aula1020874862.html>
- <http://aula.el-mundo.es/aula/noticia.php/2001/11/08/aula1005150203.html>
- http://www.fq.profes.net/archivo2.asp?id_contenido=36889
- <http://www.learner.org/exhibits/parkphysics/index.html>
- <http://www.achus.net/tibidabo/atracciones.htm>
- <http://goya.eis.uva.es/DireccionInteres.asp>
- <http://www.edu.aytolacoruna.es/aula/fisica/>
- http://www.edu365.com/batxillerat/recursos_xarxa/fisica.htm

- http://www.edu365.com/aulanet/comsoc/Lab_fisica/fisica_simula.htm
- <http://personal2.iddeo.es/romeroa/gravedad/Apartado1.htm>
- <http://www.xtec.es/~oplana/>
- <http://www.xtec.es/~mbajo/fisquim/llicons%20virtuals%204/>
- <http://www.xtec.es/cdec/secundaria/pagines/practicf.htm>
- <http://platea.cnice.mecd.es/~cpalacio/>
- <http://usuarios.lycos.es/pefeco/temas.html>
- <http://www.glenbrook.k12.il.us/gbssci/phys/projects/frig/yepbycca/rcoaster.html>
- <http://www.wcsscience.com/amusement/intro.html>
- <http://library.thinkquest.org/2745/data/openpark.htm>
- http://dir.yahoo.com/Science/Physics/Mechanics/Amusement_Park_Ride_Physics/
- <http://themeparks.about.com/cs/classicparks/a/RidePhysics.htm>
- http://www.newton.dep.anl.gov/app/nau_links.htm
- <http://www.uv.es/~ten/p831.html>
- <http://www.coasterquest.com/>
- <http://www.ultimaterollercoaster.com/coasters/pictures/index.html>
- http://www.geocities.com/zona_q_2000/index.html
- http://pktk.com/index_coasters.htm
- <http://www.montanarusa.com/>
- <http://www.ceemr.com/index.html>
- <http://www.coasterworld.org/>
- <http://www.walter-fendt.de/ph11s/index.html>
- http://www.didactika.com/fisica/interactivas_index.html
- <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/>
- <http://baldufa.upc.es>
- <http://newton.cnice.mecd.es/index2.html>
- <http://platea.pntic.mec.es/~jsanch15/FUERZAS1.htm>
- <http://www.circuloastronomico.cl/temas/caida.html>
- http://www.lowy-robles.com/2_8.htm
- <http://perso.wanadoo.es/cpalacio/30lecciones.htm>
- http://www.fq.profes.net/archivo2.asp?id_contenido=12830
- <http://guillermoga.galeon.com/index.html>

- <http://www.monografias.com/trabajos16/movimiento-circular/movimiento-circular.shtml>
- <http://www.irabia.org/web/ciencias/movimientos/movimientos%20y%20fuerzas/indexmovyfuerza.htm>
- <http://www.phy6.org/stargaze/Mintro.htm>
- <http://www.geocities.com/fisicarecreativa2/freicap03.html>
- http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4070002/contenido/capitulo2_5.html
- <http://www2.udec.cl/~dfiguero/curso/circular/circular.htm>
- <http://www.quimica.urv.es/~w3fa/assignat/quimica/feltn/fisica.htm>
- <http://www.xtec.es/sgfp/d119inph/d119m3/d119m3p3.htm>
- http://copernic.udg.es/QuimFort/fisica_basica/tema_4.pdf
- <http://www.lamevaweb.info/369>
- <http://search.eb.com/coasters/ride.html>
- <http://www.vast.org/vip/book/home.htm>
- <http://www.middleweb.com/coaster.html>
- <http://www.itzalist.com/sci/physics-of-roller-coasters.html>
- <http://et.sdsu.edu/jspiegel/coaster/taskphysics/physics.htm>
- <http://cec.chebucto.org/Co-Phys.html>
- <http://www.biopoint.com/traversecity/coasters.htm>
- <http://www.teachingtools.com/GoFigure/FlyerCarpets.htm>
- <http://www.pagewise.com/how-roller-coasters-work.htm>
- <http://www.pendergast.k12.az.us/schools/cbreeze/pepclass/physics/physics.htm>
- http://ffden-2.phys.uaf.edu/212_fall2003.web.dir/scott_kemp/Physics%20behind%20the%20fun.html
- <http://regentsprep.org/Regents/physics/phys02/rolcoast/default.htm>

Cites:

- http://dewey.uab.es/prac_c_exp/Conservacidelenergia.doc, “*Física + emoció = excel·lent combinació?*”
- Roser Pintó, 2003

Agraïments

Vull agrair de tot cor a totes aquelles persones que d'alguna manera m'han ajudat i aconsellat durant aquests llargs mesos.

- En primer lloc, a l'Araceli Cabrero qui m'ha ajudat moltíssim i ha confiat en mi des del principi al acceptar ser la meva tutora.
- També mil gràcies al Robert Pablo per ajudar-me en tot allò que li he demanat, per acompanyar-me al Tibidabo i per aguantar-me quan estava estressada, que han estat molts moments.
- Al Joaquín per deixar-me als seus alumnes de Física de 4t d' E.S.O. B per a la realització de la part experimental del Treball, i gràcies a aquests per escoltar-me.
- A Josep M^a Gaudes, cap de departament, manteniment i seguretat del parc d'atraccions Tibidabo; Gemma Peragon, departament comercial i a Marcel per la teva simpatia.
- Al meu pare per haver-me donat la idea de fer aquest fantàstic treball, que encara que al principi només teníem un títol, poc a poc, el vam tirar endavant.
- Als setanta-cinc enquestats per la seva amabilitat i sinceritat a l'hora de contestar.
- Als tutors del COMSOC per tots els seus comentaris i suggeriments.
- Als meus companys de 2n. de Batxillerat, entre d'altres, a la meva companya Sonia.
- A tota la meva família, amics i a tots els que han fet possible la realització del Treball.

Gràcies.