

# Dóna-li un looping a la física



**Nom:** Maria Alexandri Plaza

**Centre:** Col·legi Santo Angel

**Curs i modalitat:** Segon de Batxillerat de Ciències

**Tutora:** Sònia Tarancón

**Any escolar:** 2015- 2016

**Data d'entrega:** 12 de gener de 2016

# Índex

Pàgina

1. Introducció	
1.1. Justificació del treball.....	2
1.2. Motivacions personals.....	2
1.3. Objectius.....	2
1.4. Estructura de la memòria.....	3
1.5. Metodologia.....	3
2. Parc d'atraccions	
2.1. Història dels parcs d'atraccions.....	4
2.2. Parcs d'atraccions a Espanya.....	8
3. Estudi de les atraccions	
3.1. Hurakan Condor.....	11
3.2. Dragon Khan.....	30
3.3. Autos de xoc.....	43
3.4. Kon-Tiki Wave.....	54
3.5. Shambhala.....	61
4. Anàlisi de l'enquesta.....	74
5. Conclusions	
5.1. Explicació dels resultats obtinguts en funció dels objectius inicials.....	82
5.2. Valoració i opinió personal.....	83
6. Bibliografia.....	84
7. Agraïments.....	86
8. Annexos	
8.1. Annex 1: Enquesta	
8.2. Annex 2: Resultats de l'enquesta	
8.3. Annex 3: Excel Hurakan Condor	

# **1. Introducció**

## **1.1. Justificació del Treball**

El meu treball de recerca es basa en l'estudi de la física dels parcs d'atraccions. Partint del fet que la matèria preferida és Física i el treball de recerca es una tasca en la qual s'han d'invertir-hi moltes hores vaig decidir que el meu treball consistiria en escollir un aspecte d'interès personal que pogués estudiar des del punt de vista físic. La idea dels parcs d'atraccions va sorgir després, quan vam veure a l'aula un vídeo on es realitzava un experiment en una muntanya russa i arrel d'ell, em vaig encuriosir per saber com actuava la física en la resta de les atraccions.

## **1.2. Motivacions personals**

Des de ben petita m'agraden moltíssim els parcs d'atraccions i vàries vegades m' havia qüestionat el seu funcionament, de tal forma que vaig aprofitar que l'elecció del treball era lliure per investigar més sobre el tema. De tot això va sorgir el meu treball de recerca, ja que així podria aprendre nous coneixements, aplicar els adquirits durant tot el curs, resoldre curiositats personals i tot això combinat amb la diversió que suposen els parcs temàtics.

## **1.3. Objectius**

Els objectius principals del meu treball de recerca són els següents:

- Analitzar cinc atraccions del parc d'atraccions Port Aventura (el Dragon Khan, l'Hurakan Condor, el Kon-Tiki Wave (vaixell pirata), els autos de xoc i el Shambhala) on poder posar en pràctica els coneixements de totes les lleis i principis físics estudiats al llarg del curs.
- Identificar els fonaments i les lleis físiques en que es basen cadascuna de les atraccions.
- Calcular les variables físiques de cadascuna i una curiositat concreta.
- Realitzar una enquesta a diferents persones de la població sobre la seva percepció i sensacions en les atraccions dels parcs temàtics.

#### **1.4. Estructura de la memòria**

El treball està dividit en dues parts:

- La part teòrica del treball que consisteix en informació sobre els parcs d'atraccions en Espanya i la seva història. També la informació sobre cadascuna de les atraccions, el funcionament de les atraccions, els seus rècords i l'explicació de les lleis i fonaments físics que actuen sobre les atraccions.
- La part pràctica del treball que són els càlculs de les variables de les atraccions (on s'apliquen les lleis físiques explicades anteriorment), una enquesta a diferents persones sobre els parcs d'atraccions i una curiositat a resoldre en cada atracció.

#### **1.5. Metodologia**

Les dades per a fer els càlculs de les variables de les atraccions s'han extret de diferents fonts d'internet i de vídeos realitzats per a mi mateixa en el mateix parc temàtic. Els càlculs s'han realitzat amb els programes informàtics Excel i noLimits Rollercoaster. La història i informació dels parcs temàtics d'Espanya s'ha extret d'Internet al igual que la de les atraccions de Port Aventura que també ha estat complementada amb informació que es va aconseguir en el parc d'atraccions.

## 2. Parc d'atraccions

### 2.1. Història dels parcs d'atraccions

Els parcs d'atraccions, han estat durant segles, la diversió preferida de milers de famílies, ja que ofereixen moltíssima emoció i alegria a tots els membres de la família, ja siguin grans o petits. Els parcs temàtics ens porten des de mons exòtics i llunyans com l'antiga Xina o castells medievals, fins a llocs futuristes dins de pel·lícules. També agraden tant, ja que alhora que t'ofereixen l'emoció i adrenalina de les atraccions i endinsar-te en un món ben diferent, ens ofereixen espectacles, menjar, souvenirs, etc, i tot el que puguis necessitar per gaudir d'un dia allunyat de la rutina i ple d'imaginació.

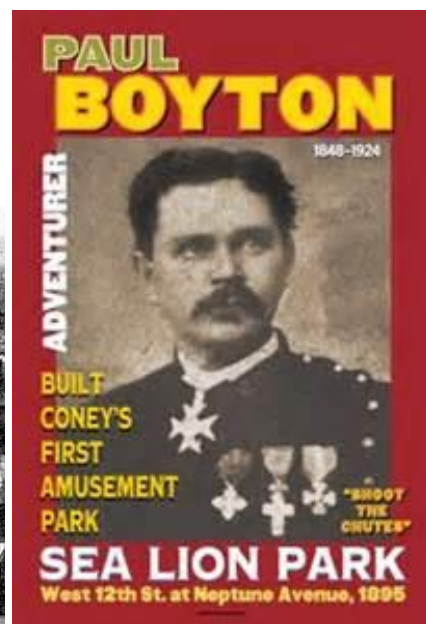
Els antecedents més antics als parcs temàtics dels quals es té coneixement, daten dels principis del segle XVI en l'Europa Medieval. En aquella època, a les afores de les ciutats feudals, s'instal·laven uns jardins que oferien focs artificials, balls, jocs i entreteniment en viu com són obres de teatre i passejos a cavall. Aquests jardins van ser molt populars fins al segle XVIII, quan els canvis polítics i socials van fer que molts d'aquests llocs desapareguessin. El parc d'atraccions més antic que segueix en funcionament actualment és el parc Bakken, al nord de Copenhaguen, capital de Dinamarca, que va ser creat al 1583.



A partir del segle XIX l' indústria dels parcs d'entreteniment, va arribar fins Amèrica. Als Estats Units, després de la guerra civil que va començar al 1861 i va durar fins el 1865, va començar a créixer l' indústria elèctrica, que va donar lloc a nous mitjans de transport com el tramvia. Els propietaris de les línies de tramvia, com que no volien perdre passatgers durant els caps de setmana, ja que les persones no anaven al centre a treballar, van promoure la construcció de parcs d'entreteniment al final de les línies de tramvies, perquè així tinguessin el mateix número de passatgers durant tots els dies de la setmana.

Aquests llocs oferien camps oberts per anar-hi d'excursió o a fer pícnic, salons de ball, jocs, restaurants i algunes passejades a la vora dels llacs o rius. Aquests primers parcs d'entreteniment van començar a estendre's arreu dels Estats Units ràpidament i després, al 1893, va començar la seva època daurada quan en l'exposició Mundial de Chicago, es van presentar jocs mecànics com la roda de la fortuna i les primeres muntanyes russes.

L'any següent, Paul Boyton va inaugurar el primer parc d'atraccions al sud de Chicago, amb el nom de Sea Lion Park. En aquest, per primer cop en l' història es cobrava l'entrada per a l'àrea en la qual estaven situats els jocs mecànics.



Aquest parc va inspirar a altres pioners de la indústria a obrir parcs similars, com Coney Island a Nova York al 1895 i que van resultar en èxit immediat.



La indústria va créixer ràpidament en les següents tres dècades. Es van obrir centenars de parcs d'atraccions als Estats Units i a la resta del món, que constantment afegien noves atraccions i van sorgir noves tecnologies que oferien al públic l'emoció i diversió que buscaven. Al 1919 existien uns 2.000 parcs d'atraccions a tot el món.

Al 1929, Estats Units va patir la seva gran depressió econòmica, que va fer que milers d'indústries perdessin beneficis, i els parcs d'atraccions no van ser l'excepció. Després, amb la segona guerra mundial els parcs d'atraccions es van veure encara més afectats econòmicament i quan la guerra va finalitzar, només quedaven 300 parcs d'atraccions funcionant en Estat Units.

Quan van començar els anys cinquanta, el món es trobava replet de conflictes socials, la televisió es va convertir en el nou mitjà d'entreteniment i els parcs d'atraccions van quedar oblidats. A causa d'això, es necessitava una innovació que revolucionés la indústria dels parcs d'atraccions i li donés al públic l'entreteniment per a tota la família que demanava.

Aquesta innovació va ser creada pel senyor Walt Disney i es va anomenar Disneyland.

Al 1955, a Orlando es va obrir Disneyland. La majoria de la població va adoptar una postura escèptica, dient que no tindria públic a causa que no oferia els tradicionals jocs d'un parc d'atraccions. Però Disney, va introduir el nou

concepte de parc temàtic, que es trobava dividit en àrees, cadascuna amb una temàtica que representava un món diferent, gràcies a l'ajuda de l'ambientació i escenografia adequada.



Disneyland va ser tot un èxit i va començar una nova època per als parcs d'atraccions i els nous parcs temàtics. A partir de llavors van començar a sorgir nous parcs temàtics, amb jocs i muntanyes russes més moderns. El 1961 es va obrir Six Flags Over Texas, que va repetir l'èxit de Disneyland.



Des de llavors i fins a la data s'han inaugurat centenars de parcs d'atraccions i parcs temàtics al món sencer amb un gran èxit.



## 2.2. Parcs d'atraccions a Espanya

Els parcs temàtics que existeixen a Espanya, actualment són els següents:

- A Aragó:
  - Parque de atracciones de Zaragoza



- A Andalusia:
  - Trivoli World situat a Benalmádena
  - Isla màgica situat en la capital, Sevilla



- A Catalunya:
  - El Tibidabo, situat a les afores de Barcelona
  - Port Aventura, en Tarragona



- A Madrid:
  - Parque de atracciones de Madrid
  - Warner Bros Park



- Al País Basc:
  - Parque de atracciones Igueldo



- A València:
  - Pola Park
  - Terra Mítica



### 3. Estudi de les atraccions

#### 3.1. Hurakan Condor

L'Hurakan Condor és una atracció que forma part de Port Aventura des del dia 20 de maig de 2005. És única en el món pel seu sistema de vagonetes inclinables  $15^\circ$  i la segona més alta d'Espanya. L'atracció consta de 5 góndoles al voltant d'un tub central de 114 metres d'alçada i d'uns frens magnètics de 3G. L'única condició per poder gaudir d'ella es fer un mínim d'alçada de 140 cm.



- **Descripció**

Aquesta atracció consisteix en el fenomen físic d'una caiguda lliure. En ella, es puja una vagoneta amb quatre persones assegudes o en posició vertical fins a una alçada de 100 metres i a continuació, son deixats anar en caiguda lliure, realitzant un descens amb una acceleració igual a la gravetat per finalment frenar durant uns 15 metres i tornar a un estat de repòs.

L'atracció consta de 4 fases diferenciades:

1ª Fase: Ascens de la vagoneta amb una velocitat constant. MRU (Moviment Rectilini Uniforme).

2ª Fase: Estat de repòs en el punt més alt del recorregut, abans del descens.

3ª Fase: Caiguda lliure amb una acceleració constant igual a la gravetat. MRUA (Moviment Rectilini Uniformement Accelerat).

4ª Fase: Frenada de la vagoneta fins a un estat de repòs. MRUA (Moviment Rectilini Uniformement Desaccelerat).

- **Dades tècniques**

Data d'inauguració	20 de Maig del 2005
Zona del parc	Mèxic
Disseny	Intamin
Tipus	Multi Drop
Estat actual	Oberta
Altura i caiguda màxima	114m i 80m
Longitud del recorregut	100m
Velocitat màxima	115km/h
Nº màxim de vagonetes simultànies	5
Capacitat per viatge	20
Volum de passatgers	850 persones/ hora
Altura min. I màx.	140cm / 195 cm
Foto / Video On Ride	Sí /No
Tipus frenada	Magnètica
Màxima força G	3 G's (desacceleració)

## 1ª Fase:

- **Teoria**

La vagoneta puja amb un moviment rectilini uniforme on no intervé cap tipus d'acceleració, de forma que per a calcular els diferents valors s'utilitza la fórmula següent:

$$x_f = x_i + v \cdot t$$

On  $x_f$  és la posició final i  $x_i$  la posició inicial que es mesuren en metres (m),  $v$  la velocitat constant que duu la vagoneta amb metres per segon (m/s) com a unitat, i  $t$  el temps que triga en anar des de la posició inicial a la posició final, que es mesura en segons (s).

Però al ser un moviment vertical i no pas horitzontal, s'agafen els valors de l'eix Y com a referència, quedant així l'equació:

$$y = y_0 + v \cdot t$$

El sistema de pujada es semblant al d'un ascensor, on les vagonetes són elevades per uns cables, aquests connectats a uns motors situats a la cúpula de l'atracció.



- **Càlculs**

### Temps de pujada

Per a calcular el temps de pujada, s'ha cronometrat el temps que triga en pujar la vagoneta fins al punt més alt varies vegades, i a continuació, s'ha fet la mitjana aritmètica.

Temps de pujada	
1 <sup>a</sup>	29,4s
2 <sup>a</sup>	29,5s
3 <sup>a</sup>	29,7s
4 <sup>a</sup>	28,9s
5 <sup>a</sup>	29,3s
<b>Mitjana aritmètica</b>	29,36s

### Velocitat de pujada

Un cop calculada la mitjana aritmètica del temps que triga en pujar la vagoneta, s'aïlla la velocitat en la fórmula  $y_f = y_i + v \cdot t$ , es substitueixen els valors i es calcula la velocitat.

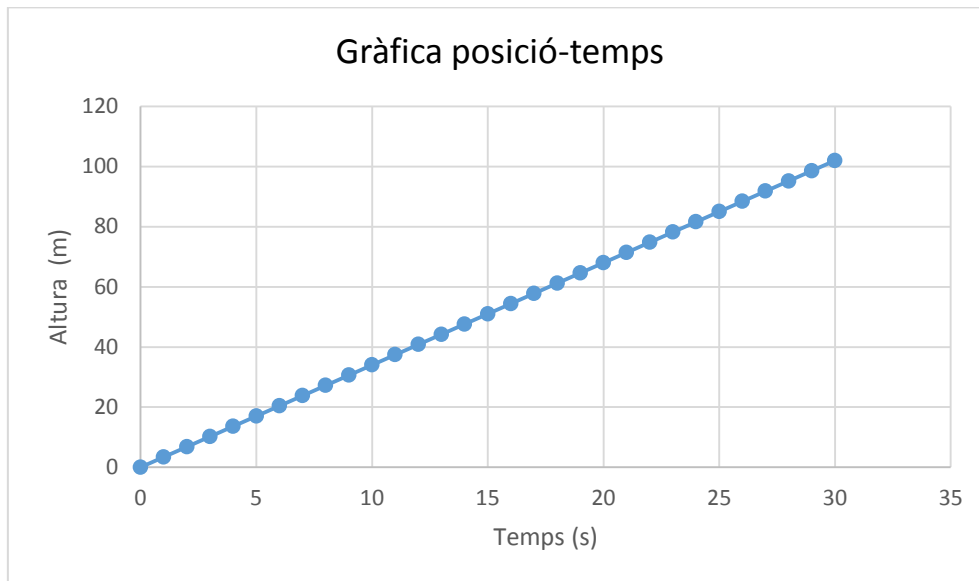
$$v = \frac{y_f - y_i}{t}$$

$$v = \frac{100m}{29,36s}$$

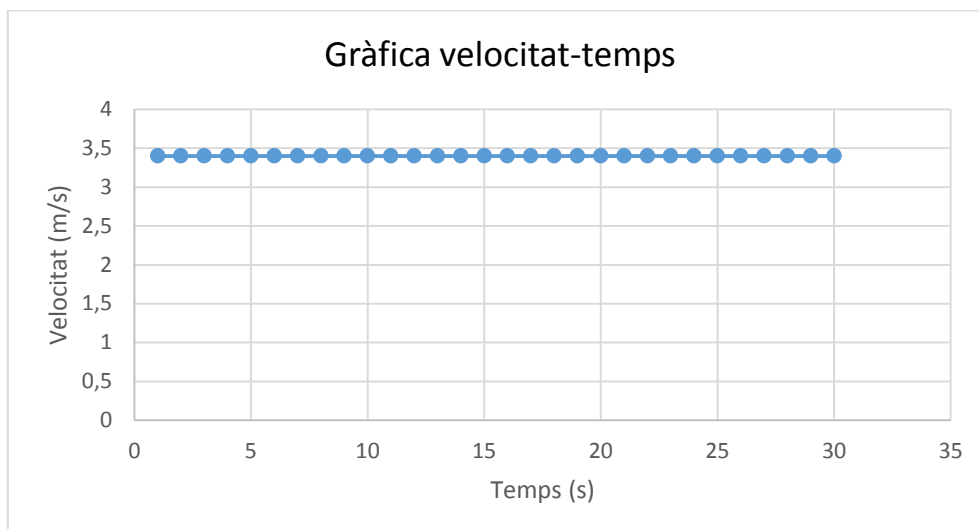
$$v = 3,4 \text{ m/s}$$

S'obté que la vagoneta puja a 3,4 m/s. Que equival a 12,26km/h aproximadament.

- **Gràfiques**



En la gràfica es pot observar que l'espai recorregut augmenta directament proporcional amb el pas del temps, és a dir, que la distància recorreguda per la vagoneta va augmentant, alhora que transcorre el temps. També podem observar, que el pendent de la recta està determinat per la velocitat constant que porta la góndola.



En aquesta gràfica s'observa com la velocitat no varia respecte al pas del temps, de forma que la velocitat es constant i l'acceleració es nul·la.



## 2ª Fase:

- Teoria

La vagoneta està situada a 100 metres d'alçada en el punt més alt del recorregut. (sense incloure l'antena que mesura 15 metres, en total fa 115m). Es troba en repòs i ha adquirit una gran energia potencial que en la fase següent, (caiguda lliure) es convertirà en cinètica exceptuant una petita part negligida que es perdrà en el fregament.

En aquesta fase, les forces que intervenen són el pes (de les persones i la vagoneta) i una força en sentit contrari realitzada per unes subjeccions, per a contrarestar la força del pes, i que així la vagoneta estigui en repòs.

El pes és el valor de la força d'atracció que fa la terra sobre un cos. La segona Llei de Newton diu que la força que actua en un cos dinàmic és  $F = m \cdot a$  on  $F$  és la força,  $m$  la massa i  $a$  l'acceleració del cos.

Com que la força amb la que la terra atrau els cossos és el pes, i l'acceleració de la terra és la gravetat (aproximadament  $9,81\text{m/s}^2$ ), l'expressió anterior queda així:

$$P = m \cdot g$$

On el pes es mesura en Newtons (N), l'acceleració en metres per segon al quadrat ( $\text{m/s}^2$ ) i la massa en kilograms (kg).



- **Càlculs**

### Pes

Per calcular el pes es necessita primer saber la massa total, que és la suma de la massa de la vagoneta més la massa de les persones.

Les vagonetes de l'atracció pesen 350 kg i tenen capacitat per a quatre persones, de forma que es suposa que les quatre persones pesen un total de 250kg (62,5kg per persona), es sumen les dues masses 350kg + 250kg i s'obté que la massa total és de 600kg.

A continuació es substitueixen els valors a l'equació:

$$P = m \cdot g$$

$$P = 600kg \cdot 9,81m/s^2$$

I queda que el pes que actua en la segona fase és de 5886 Newtons.

De forma que la força que realitzen les subjeccions és també de 5886 N en la mateixa direcció, però sentit contrari.

### **3º Fase:**

- **Teoria**

En aquesta fase, la vagoneta es deixa anar i comença a descendir amb una acceleració constant. Aquesta acceleració és la gravetat de la Terra. La vagoneta assoleix així, una velocitat final molt gran al tenir també, una acceleració molt elevada. En aquesta fase de l'atracció, la vagoneta realitza un moviment rectilini uniformement accelerat, on les equacions corresponents a aquest moviment que s'utilitzaran són les següents:

$$v_f = v_i + a \cdot t$$

On  $v_f$  és la velocitat final i  $v_i$  la velocitat inicial, on ambdues es mesuren en metres per segon (m/s),  $a$  l'acceleració que es mesura en metres per segon al quadrat ( $m/s^2$ ) i  $t$  el temps que triga en passar de la velocitat inicial a la final, mesurat en segons (s).

I la segona que també s'utilitzarà es aquesta:

$$y_f = y_i + v_i \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

On  $y_f$  és la posició final i  $y_i$  la posició inicial, mesurades en metres (m),  $v_i$  la velocitat inicial amb que la vagoneta comença a descendir, mesurada en metres per segon (m/s) ,  $t$  el temps que triga la vagoneta d'anar de la posició final a la posició inicial, mesurat en segons (s) i a l'acceleració que experimenta la vagoneta. Al ser un moviment de caiguda lliure l'acceleració és la gravetat, que es mesura en (m/s<sup>2</sup>).

Les forces que actuen en aquesta fase són el pes i la força de fregament que és la força que apareix en la superfície de contacte entre dos cossos quan un d'ells es desplaça sobre l'altre, però al ser petita i amb les eines que es tenen no es pot calcular, es negligeix.



- **Càlculs**

#### Temps de baixada

Per a calcular el temps de baixada, es cronometra el temps que triga en baixar la vagoneta fins al punt d'inici diverses vegades, i després es fa la mitjana aritmètica. És el mateix procediment que s'ha fet amb el temps de pujada.

Temps de baixada	
1 <sup>a</sup>	3,24s
2 <sup>a</sup>	3,19s
3 <sup>a</sup>	3,12s
4 <sup>a</sup>	3,27s
5 <sup>a</sup>	3,31s
<b>Mitjana aritmètica</b>	3,23s

### Velocitat final

Un cop calculat el temps experimental de baixada es substitueixen els valors en les fórmula i es calcula. La velocitat inicial és nul·la perquè comença en estat de repòs, l'acceleració és la gravetat i el temps total, els 3,23 segons experimentals calculats.

$$v_f = v_i + a \cdot t$$

$$v_f = 0 + 9,81 \cdot 3,23$$

$$v_f = 31,68 \text{ m/s}$$

S'obté que la velocitat final de l'atracció és de 31,68 m/s que equival aproximadament a 114 km/h.

La velocitat final utilitzant el temps calculat experimentalment és de 114 km/h i la velocitat final segons varies fonts d'Internet és de 115 km/h que equival a 31,94 m/s. Per tal de descobrir el temps real de baixada i evitar petits errors en els següents càlculs, s'agafa una altre vegada la mateixa fórmula ( $v_f = v_i + a \cdot t$ ) s'aïlla la velocitat i es substitueixen els valors. La velocitat final es substitueix per 31,94 m/s, l'acceleració torna a ser la gravetat i la velocitat inicial, també altre vegada 0.

$$t = \frac{v_f - v_i}{a}$$

$$t = \frac{31,94}{9,81}$$

$$t = 3,26s$$

El temps real de baixada és de 3,26 segons i el temps calculat experimentalment és de 3,23. Aquesta petita diferència de 3 centèsimes es deu al fet de calcular el temps amb un cronòmetre manualment, creant un petit error al pulsar el botó.

Per evitar alteracions i petits errors en la resta de resultats s'agafarà com a temps de baixada els 3,26 segons obtinguts a partir de la velocitat final extreta d'internet.

### Espai recorregut en caiguda lliure

Per calcular l'espai recorregut durant la caiguda lliure s'agafa la segona equació explicada en la teoria d'aquesta fase ( $y_f = y_i + v_i \cdot t + \frac{1}{2}a \cdot t^2$ ) i es substitueixen els valors. La velocitat inicial es de 0 m/s ja que surt de repòs, la posició inicial també té com a valor 0 i la velocitat final, com ja s'ha comentat, és de 3,26 segons.

$$y_f = y_i + v_i \cdot t + \frac{1}{2}a \cdot t^2$$

$$y_f = 0 + 0 \cdot 3,26 + \frac{1}{2}9,81 \cdot 3,26^2$$

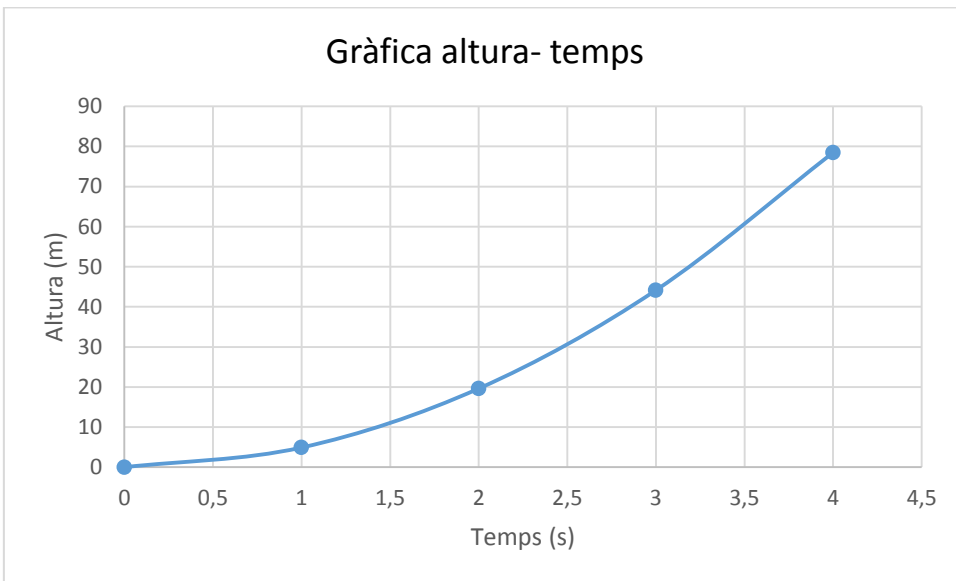
$$y_f = \frac{1}{2}9,81 \cdot 3,26^2$$

$$y_f = 52,13m$$

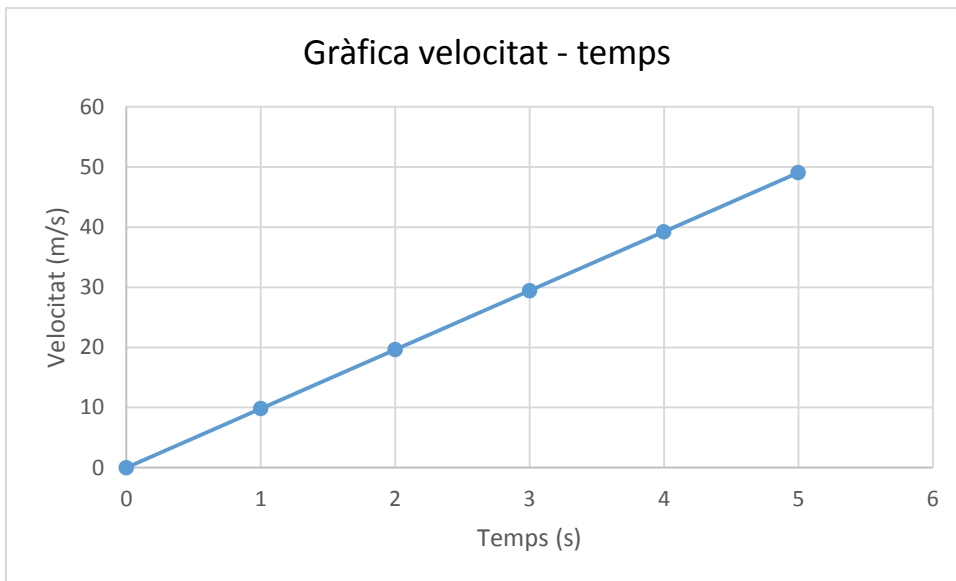
La vagoneta recorre 52,13 metres en caiguda lliure quedant a una altura de 47,87 metres sobre el terra.



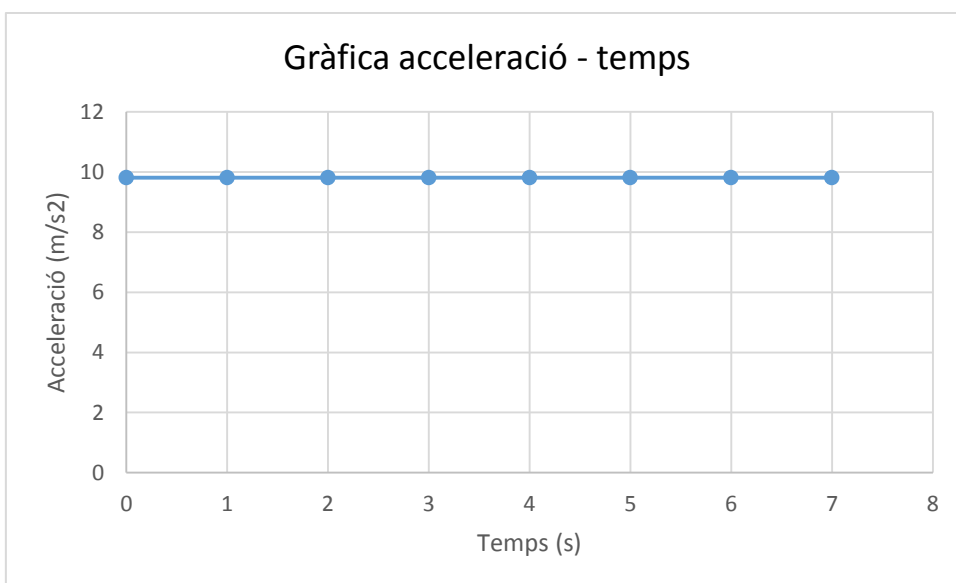
- **Gràfiques**



La gràfica té forma de paràbola perquè l'espai recorregut en un segon és cada cop més gran a mesura que passa el temps ja que es tracta d'un moviment rectilini uniformement accelerat on l'equació que determina la posició és una equació polinòmica de segon grau.



La velocitat va augmentant progressivament a mesura que passa el temps, ja que en el moviment rectilini uniformement accelerat de la góndola, hi actua una acceleració constant, que és la de la gravetat de la Terra.



En aquesta gràfica es pot observar que l'acceleració és una recta horitzontal. Això significa que a mesura que passa el temps l'acceleració no varia, de forma que l'acceleració a la que està sotmesa la vagoneta és constant.

#### 4º Fase:

- **Teoria**

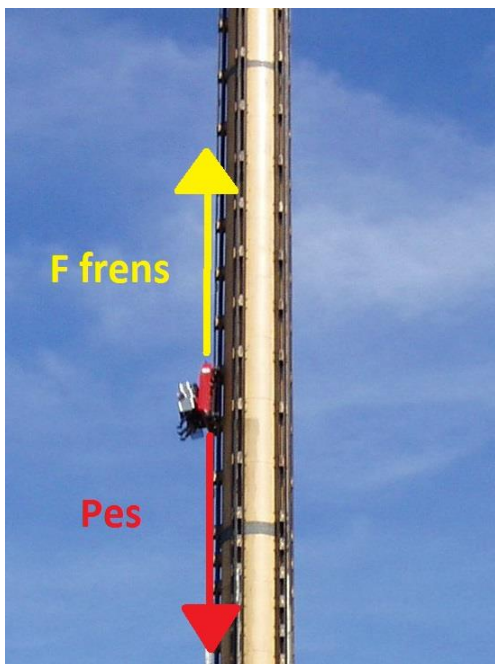
En aquesta fase, els 115 km/h assolits per la vagoneta passen a una velocitat de 0 km/h. Els frens magnètics instal·lats en la torre de caiguda, són els encarregats de la desacceleració de la vagoneta, tractant-se així d'un moviment rectilini uniformement accelerat amb una acceleració negativa (desacceleració).

En aquesta fase les equacions que s'utilitzen són al igual que en la fase anterior de moviment rectilini uniformement accelerat, i també una tercera que és la següent:

$$a = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2y}$$

On  $a$  és l'acceleració, mesurada en metres per segon al quadrat ( $m/s^2$ ),  $v_f$  la velocitat final que té la vagoneta al arribar al punt final i  $v_i$  la velocitat inicial que té la vagoneta al començar a desaccelerar, on ambdues es mesuren en metres per segon ( $m/s$ ) i  $y$  la posició final, mesurada en metres.

Les forces que actuen en la desacceleració d'aquesta quarta fase són el pes, la força de frenada causada per uns frens magnètics de -3G's i la força normal que tenen els cossos sobre els seients.





- **Càlculs**

### Desacceleració

Durant la caiguda lliure de l' Hurakan Condor, els passatgers es troben en un estat d'ingravedesa ja que cauen amb la mateixa acceleració de la gravetat. I a continuació, durant la frenada poden arribar a sentir unes forces equivalents a 3G, és a dir, en el moment de frenada senten el seu pes triplicat. De forma que a partir d'aquesta dada extreta d'Internet, amb l'ajuda d'un factor de conversió, es pot trobar la desacceleració que experimenta la góndola durant la fase de frenada.

$$\frac{-3 \text{ G's} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}{1 \text{ G's}} = -29,43 \text{ m/s}^2$$

### Espai recorregut en la desacceleració

Per a calcular l'espai recorregut s'aïlla la distància en l'equació i es substitueixen els valors. Com a valor de velocitat final, es posarà 0, com a velocitat inicial 31,94 m/s (dada calculada en la fase anterior), i com a acceleració, els -29,43 m/s<sup>2</sup> amb valor negatiu ja que és una desacceleració.

$$a = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2y}$$

$$y = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2a}$$

$$y = \frac{-(31,94^2)}{2 \cdot (-29,43)}$$

$$y = 17,33\text{m}$$

L'espai recorregut durant la frenada és de 17,33 metres, passant de trobar-se a una altura de 47,87 metres respecte el terra, a uns 30,54 metres sobre el terra, on a partir d'aquesta alçada comença a descendir lentament fins a arribar a l'alçada de terra on els passatgers es pugen a la vagoneta.

## Temps de frenada

Per a calcular el temps que triga en frenar s'aplica la fórmula  $v_f = v_i + a \cdot t$ , s'aïlla la velocitat i es substitueixen els valors. Amb una velocitat final nul·la, una velocitat inicial de 31,94m/s i una desacceleració de -29,43 m/s<sup>2</sup>.

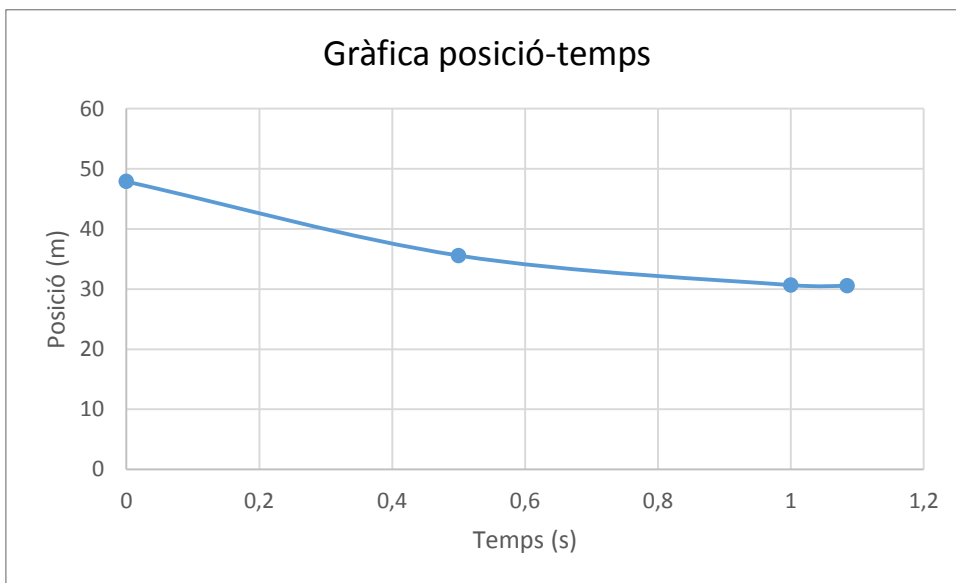
$$t = \frac{v_f - v_i}{a}$$

$$t = \frac{-31,94}{-29,43}$$

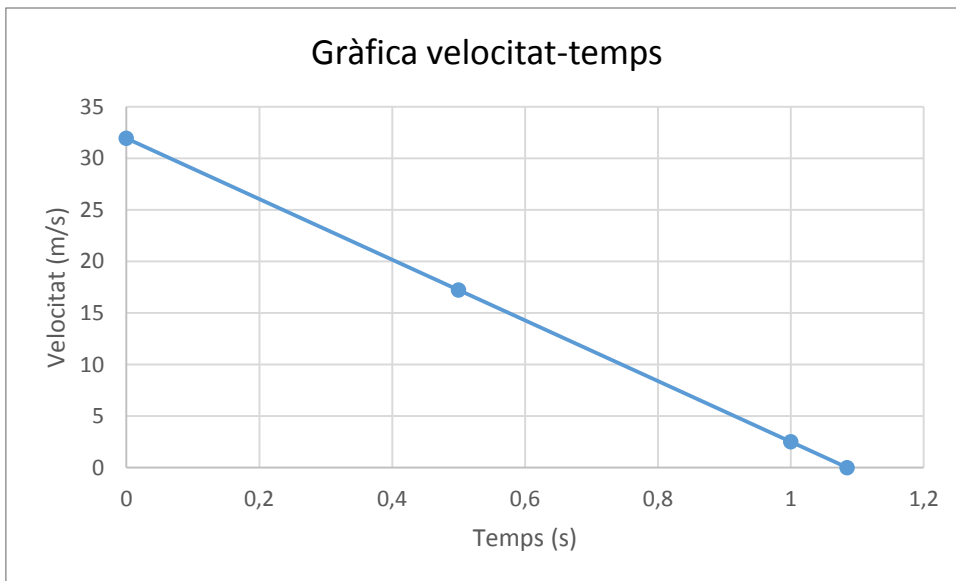
$$t = 1,085s$$

S'obté que els frens triguen 1,085 segons en frenar la vagoneta completament.

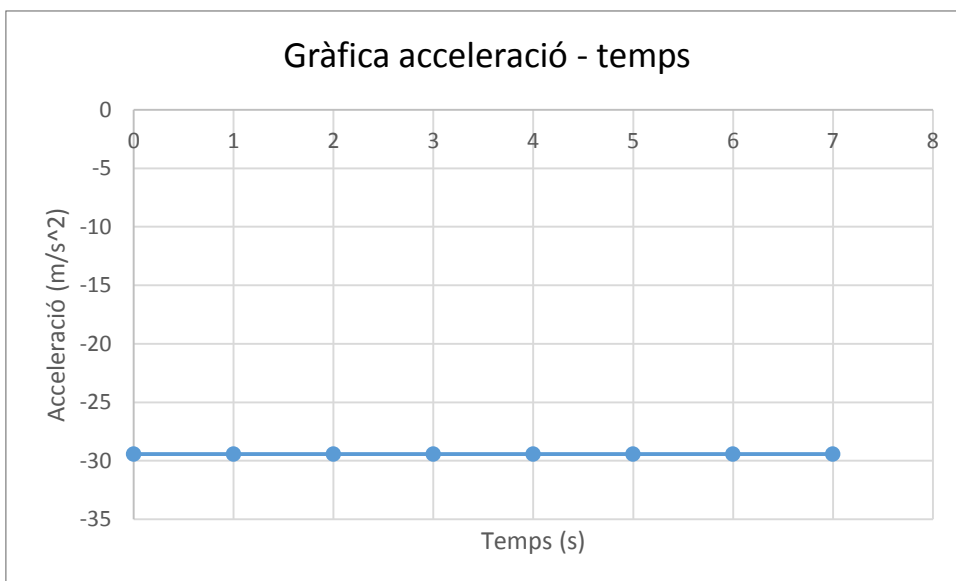
- **Gràfiques**



La gràfica posició-temps té forma de paràbola, ja que la força dels frens que actua sobre la vagoneta fa que cada vegada recorri menys espai en unitat de temps fins a arribar a una velocitat pràcticament nul·la, on la vagoneta no recorre cap espai en unitat de temps.

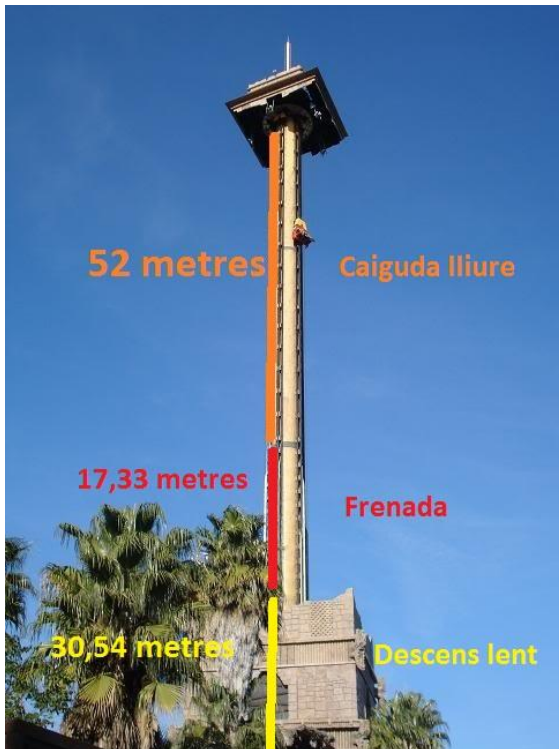


Al observar la gràfica velocitat-temps, es pot veure que és una recta descendent, ja que la velocitat va disminuint progressivament fins a aturar-se, pel fet de que la góndola duu una acceleració constant.



Finalment, la gràfica acceleració-temps és una recta horitzontal ja que durant tot el moviment és una acceleració constant i està situada per sota de l'eix d'abscisses, pel motiu de que és una acceleració negativa, al tractar-se de la fase de frenada de la vagoneta.

- **Espai recorregut en cada fase**



L'imatge de l'esquerra representa l'espai recorregut en cada fase per la vagoneta.

- La primera fase, es l'ascensió dels 100 metres totals de recorregut.

- La segona fase, és la més extensa, en ella descens des del punt més alt, fins uns 52, 13 metres d'altura.

- La tercera fase, l'etapa de frenada és la més breu, dura des de que els frens comencen a actuar fins que aconseguen parar la vagoneta, en un tram de 17,33 metres.

- I per últim, en la quarta fase, on la vagoneta va descendint lentament fins a arribar al nivell de terra durant uns 30 metres.

- **Hipòtesis**

Com que el nostre cos, pot resistir una força de 5G, és a dir el seu pes cinc vegades, si fem que la desacceleració dels frens sigui d'aquesta magnitud, enlloc de 3G, al augmentar la força de frenada també ho pot fer la velocitat inicial en la frenada (velocitat final de la caiguda lliure). Així que si s'augmenta la velocitat final de la caiguda lliure, també s'hauria d'augmentar l'alçada d'aquesta fase ja que l'acceleració és la mateixa. Per això, la meua hipòtesis consisteix en comprovar si l'espai recorregut màxim que pot fer la vagoneta és de 75 metres, sense que els passatgers pateixin una força gravitatòria major a la que poden suportar.

Primer es calcula l'acceleració que pot experimentar la vagoneta amb una força de 5G a través d'un factor de conversió.

$$5G's \cdot \frac{9,81 \text{ m/s}^2}{1 \text{ G's}} = 49,05 \text{ m/s}^2$$

A continuació, a partir de la fórmula  $a = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2y}$ , s'aïlla la velocitat inicial i es substitueixen els valors de la fase de desacceleració per així poder saber la velocitat final de la fase de caiguda lliure. On la velocitat final és 0, i l'espai recorregut es el mateix, 17,33 metres.

$$a = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2y}$$

$$v_i = \sqrt{a2y}$$

$$v_i = \sqrt{(49,05 \cdot 2 \cdot 17,33)}$$

$$v_i = \sqrt{(49,05 \cdot 2 \cdot 17,33)}$$

$$v_i = 41,23 \text{ m/s}$$

Un cop se sap la velocitat final de la fase de caiguda lliure, en l'equació  $a = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2y}$  s'aïlla la posició final, es substitueixen els valors i es calcula l'espai recorregut. La velocitat inicial és 0 ja que comença d'un estat en repòs i l'acceleració és la gravetat.

$$a = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2y}$$

$$y = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2a}$$

$$y = \frac{41,23^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$y = 86,6 \text{ m}$$

I s'obté que l'espai recorregut màxim que pot tenir la fase de caiguda lliure és de 86,6m

- **Conclusió**

A diferència dels 75 metres suposats en la hipòtesis, l'espai recorregut màxim que pot tenir la caiguda lliure és de 86,6 metres. L'atracció en la realitat té uns 52 metres de caiguda lliure, això es degut que si tingués uns 86,6 metres, es

necessitarien uns frens més potents de 5G a diferència dels actuals de 3G, també una infraestructura més alta, i tindria una major probabilitat de tancar-se a causa de fenòmens meteorològics i de vent. A més a més, seria una atracció molt més extrema amb un públic més reduït. La diferència entre la hipòtesis de 75 metres i la real de 86,6m es deguda a que esperava que existís una diferència bastant gran, però no tant com la que realment existeix.

### 3.2. Dragon Khan

El Dragon Khan és una de les atraccions més importants i més famoses d'Europa. Aquesta muntanya russa, el dia de la seva inauguració va superar el rècord del món d'inversions, amb un total de 8 inversions al llarg de tot el recorregut i també el rècord d'altura vertical amb un dels seus loops de 36 metres. Encara que actualment ha perdut el parell de títols, segueix estant dins del ranking dels 10 loopings més alts del món.



- **Descripció**

Aquesta muntanya russa consisteix en 1.285 metres de recorregut realitzats en tan sols 1 minut i 45 segons. El circuit del tren comença amb un petit revolt a la dreta conegut com a pre-baixada o pre-drop per a eliminar la tensió de la corda al pujar la vagoneta. A continuació, s'eleva fins al cim de 45,1 metres assolint una gran energia potencial, que després transforma en cinètica al baixar per un pendent de 49 metres (baixa més que la altura del sòl). A continuació, adquireix una gran velocitat que li serveix per a realitzar un looping (tram de la atracció on la vagoneta queda boca a baix) de 36 metres d'altura i unes 3 inversions més entre les quals està un Diving Loop (el rail va recte cap a dalt i quan comença a descendir fa un gir sobre el rail de 180°) i un Zero-G roll (on la vagoneta fa un gir de 360° sobre el rail), arriba als frens de seguretat a meitat de recorregut i finalment realitza unes 4 inversions més per a retornar al punt

d'inici. El que interessa estudiar d'aquesta atracció és la conservació d'energia en la primera baixada i la velocitat amb la que es realitza el looping.

- **Dades tècniques**

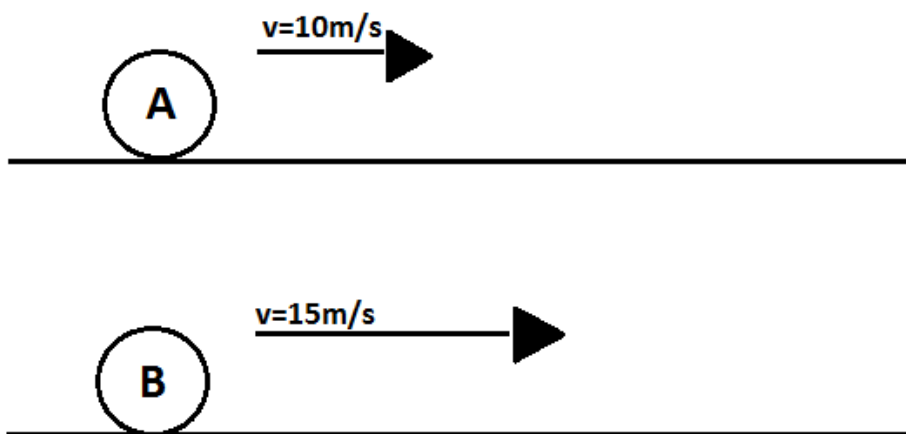
Data d'inauguració	2 de Maig de 1995
Zona del parc	Xina
Disseny	B&M – Bolliger and Mabillard
Tipus	Twisted sit – down steel coaster
Estat actual	Oberta
Altura i caiguda màxima	45,1m/49m
Longitud del recorregut	1.285 m
Velocitat màxima	110km/h
Inclinació màxima	26°/45°
Duració del recorregut	1 minut 45 segons
Número d'inversions	8
Sistema de pujada	Cadena
Nº màxim de vagonetes simultànies	3
Capacitat per viatge	28 (4x7)
Volum de passatgers	1.300 persones/ hora
Altura min. I màx.	140cm / 195 cm
Foto / Video On Ride	Sí / Sí
Tipus frenada	Frens pneumàtics
Altres	Tanca amb vent superior a 50 km/h



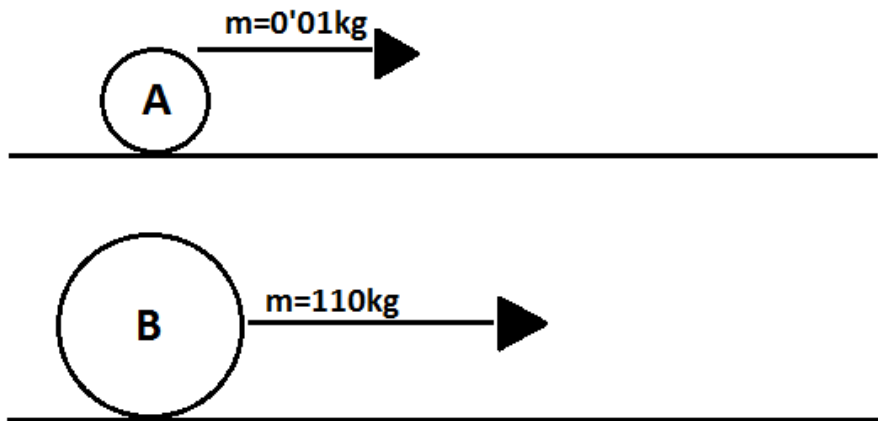
- Teoria

### Energia cinètica

L'energia cinètica és aquella energia que posseeix un cos degut al seu moviment. Per a que un cos tingui energia cinètica es necessari aplicar-li una força. Com major sigui el temps en el que actua aquesta força, major serà la velocitat del cos i per tant, la seva energia cinètica també ho serà. Aquesta energia depèn de la velocitat que duu el cos i també de la seva velocitat. La velocitat fa variar l'energia cinètica ja que per exemple, si tenim dues pilotes de futbol que van a 10 i 15 m/s respectivament amb masses idèntiques, direm que el cos B tindrà una major energia cinètica que el primer cos A ja que duu una major velocitat.



El mateix passa amb la massa del cos en moviment, com més massa tingui el cos, més energia cinètica tindrà. Un exemple on es pot veure la influència de la massa, és el cas d'una bitlla de 10 grams i un camió de 110 kilograms acostant-se cap a nosaltres. Quan els dos es dirigeixen a la mateixa velocitat, no farem res per evitar la col·lisió amb la bitlla, en canvi, amb el camió intentaríem evitar la col·lisió ja que tindríem un impacte major que no amb la bitlla de massa inferior si xoquéssim amb ell.



Quan un cos té una velocitat i una massa, també té una energia cinètica que es pot calcular amb la fórmula següent:

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

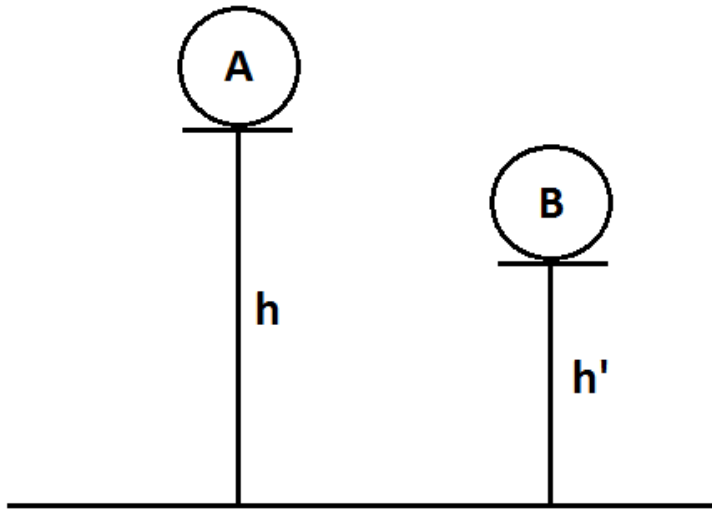
Segons el Sistema Internacional (SI) la massa  $m$  es mesura en kilograms (kg) i la  $v$  que és la velocitat en metres partit segon (m/s). De forma que l'energia cinètica resultant  $E_c$  es mesura em Joules (J).

Un exemple de cos amb energia cinètica són les aspes d'un molí en moviment i un cotxe desplaçant-se per una carretera sense desnivell.

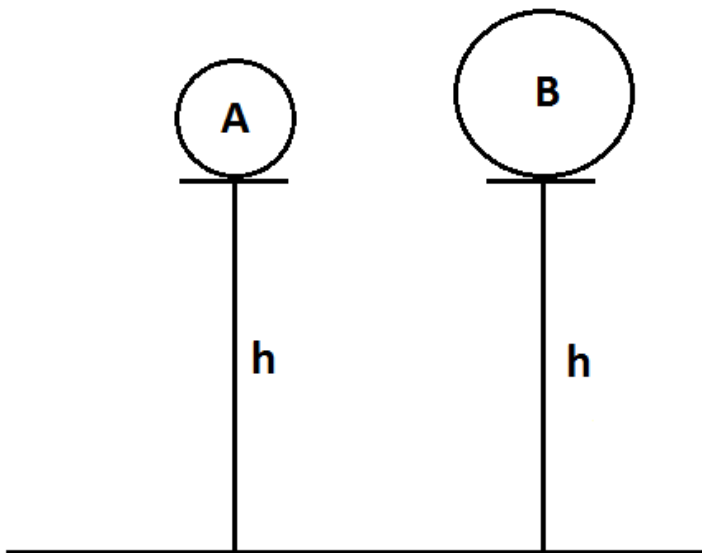
### Energia Potencial Gravitatòria

L'energia potencial gravitatòria és aquella energia que posseeix qualsevol cos que té una massa, es troba a una certa alçada respecte un punt de referència i té una força gravitatòria. Depenen de la quantitat de massa, d'alçada a la que es troba i el planeta en el que està, el cos tindrà més o menys energia potencial.

L'alçada influeix, ja que si per exemple es tenen dos llibres idèntics en diferents prestatges, el que estigui en el prestatge més alt, tindrà un major impacte en arribar al terra, i consegüentment, una major energia potencial.



En el cas de la massa passa el mateix, si es cauen dues tasses de 5kg i 10kg d'una taula, la tassa que pesi més serà la que tindrà un major impacte al caure i una major energia potencial.



D'altra banda, encara que la força gravitatòria varia segons la distància que es troba el cos respecte el centre del planeta en el que es troba, prop de la superfície de la Terra la diferència de la força gravitatòria és tan petita que pot

ser negligida, de tal forma que la gravetat en la superfície de la Terra és considerada com una constant de  $9,81 \text{ m/s}^2$ .

En els casos on la variació de la força gravitatòria és insignificant, s'aplica la fórmula d'energia potencial següent:

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

On segons el Sistema Internacional,  $m$  que és la massa es mesura en kilograms (kg),  $g$  que correspon a la gravetat en metres per segon al quadrat ( $\text{m/s}^2$ ) i  $h$  que és altura, en metres (m). L'energia potencial gravitatòria es mesura en Joules (J).

Un exemple de cos amb energia potencial és una bicicleta en el cim d'una pendent o l'aigua d'una presa.

### Energia Mecànica

L'energia mecànica és un tipus d'energia on intervé tant la posició dels cossos respecte un punt de referència com el moviment d'aquests. Això vol dir que l'energia mecànica és la sumatòria de l'energia potencial i l'energia cinètica d'un cos i l'equació és la següent:

$$E_m = E_c + E_p$$

On totes les energies:  $E_m$  (Energia mecànica),  $E_c$  (Energia cinètica) i  $E_p$  (Energia potencial) es mesuren en Joules (J).

### Conservació d'energia

El principi de conservació d'energia exposa que l'energia ni es crea ni es destrueix, sinó que es transforma d'una forma a una altre. En aquestes transformacions, l'energia es manté constant, és a dir, l'energia total és la mateixa abans i després de les transformacions que ha experimentat el cos.

En el cas de la conservació d'energia mecànica d'un cos ( que és la que s'estudia en aquesta atracció) si es menyspreen les forces no conservatives (força de fregament i altres d'externes) i es suposa un moviment realitzat en

condicions ideals (sense alteracions meteorològiques o d'altres tipus) la suma inicial i final de l'energia cinètica i potencial es manté constant. En aquest cas s'aplica aquesta fórmula:

$$\Delta Em = 0$$

$$Em_i = Em_f$$

On  $Em_i$  es energia mecànica inicial i  $Em_f$  energia mecànica final, i ambdues es mesuren en Joules (J).

En canvi, quan no hi ha conservació d'energia i en el sistema afecten forces no conservatives, l'increment d'energia mecànica és igual al treball realitzat per aquesta força no conservativa.

$$\Delta Em = w$$

### Forces en els loopings

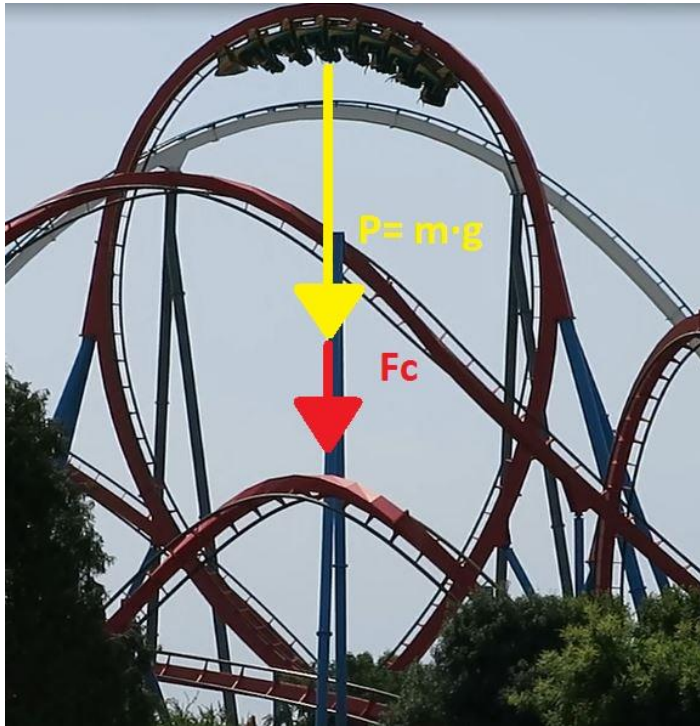
Les forces que actuen en els loopings són el pes de la vagoneta, la força centrífuga i la força de fregament que és la força que apareix a causa del contacte de la vagoneta amb les impureses de les vies que impedeixen el lliure moviment de les vagonetes. La fórmula de la força de fregament és igual a la força normal per el coeficient de fregament ( $F_f = N \cdot \mu$ ). Encara que aquesta força actua en el Dragon Khan, com afecta mínimament al sistema, es negligeix.

El pes és la força que serveix per a mesurar la força d'atracció que fa la Terra sobre els cossos que es troben a la seva superfície i es representa per la fórmula  $P = m \cdot g$  on el pes  $P$  es mesura en Newtons (N), la massa  $m$  en Kg (g) i la gravetat  $g$  en metres per segon al quadrat ( $m/s^2$ ).

La força centrípeta és la força que actua sobre els cossos (la vagoneta) que porten una trajectòria curvilínia (el looping) i està dirigida cap al centre de curvatura de la trajectòria. Aquesta força és representa amb l'equació següent:

$$F_c = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

On la velocitat lineal  $v$  es mesura en metres per segon (m/s) i el radi  $R$  en metres (m).



- **Càlculs**

Temps de pujada

Per a calcular el temps de pujada, s'ha cronometrat el temps que triga en pujar la vagoneta fins el punt més alt 5 vegades, i a continuació s'ha calculat la mitjana aritmètica.

Temps de pujada	
1 <sup>a</sup>	36,8s
2 <sup>a</sup>	37,1s
3 <sup>a</sup>	36,9s
4 <sup>a</sup>	37,1s
5 <sup>a</sup>	37,2s
<b>Mitjana aritmètica</b>	37, 03s

### Velocitat de la pujada

Per calcular la velocitat constant que triga en pujar la vagoneta fins a la cima, s'aïlla en l'equació de moviment rectilini uniforme  $y_f = y_i + v \cdot t$  la velocitat, seguidament es substitueixen els valors i es calcula la velocitat. La posició final és 45 metres d'alçada segons varies fonts d'internets i la inicial és 0, ja que es pren com a eix X el nivell del terra. El temps de pujada s'ha calculat en el punt anterior.

$$y_f = y_i + v \cdot t$$

$$v = \frac{y_f - y_i}{t}$$

$$v = \frac{45}{37,03}$$

$$v = \frac{1,21m}{s}$$

La vagoneta puja fins al punt més alt de l'atracció amb una velocitat constant de 1,21 m/s, que equival a uns 4,35 km/h.

### Velocitat final de la baixada

La baixada inicial que s'estudia té una alçada de 49 metres. Per calcular la velocitat màxima final, s'utilitza el principi de conservació de l'energia tenint en compte que a l'inici la vagoneta es troba en repòs amb una gran energia potencial, i al finalitzar la baixada es troba a una alçada de 0 metres i energia potencial nul·la, però amb molta velocitat i una elevada energia cinètica.

Per això, al aplicar la fórmula de conservació d'energia mecànica es substitueix l'energia mecànica inicial per l'energia potencial de la vagoneta, i l'energia mecànica final per l'energia cinètica.

$$\Delta Em$$

$$Emi = Emf$$

$$Ec + Ep = Ec + Ep$$

$$0 + m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + 0$$

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

A continuació s'elimina la massa de la vagoneta ja que es troba en les dues bandes de l'equació, s'aïlla la velocitat i es substitueixen els valors. La gravetat és  $9,81 \text{ m/s}^2$  i l'alçada 49 metres segons informació extreta d'Internet.

$$g \cdot h = \frac{1}{2} \cdot v^2$$

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

$$v = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 49}$$

$$v = 31 \text{ m/s}$$

La velocitat que absorbeix la vagoneta al finalitzar la baixada és de 31 m/s, que en unitat de km/h equival a uns 111,6 km/h. Aquesta velocitat és la més gran en tot el recorregut perquè és el únic punt on l'energia potencial és 0 i l'energia cinètica consegüentment és la més gran amb una velocitat màxima.

### Velocitat mínima per a realitzar el looping

En aquest apartat, a partir de les forces que actuen en el looping, es pot calcular la velocitat mínima que ha de portar la vagoneta en el punt més alt del looping per a tal que la vagoneta pugui dur a terme el gir sencer, sense que la vagoneta retrocedeixi o quedi parada amb els passatgers boca avall. Perquè la vagoneta pugui realitzar-lo, la força centrípeta ha de ser igual o més gran al pes. De forma que per a calcular la velocitat mínima de gir s'iguali la força centrípeta amb el pes. Acte seguit, s'elimina la massa de les fórmules, ja que es troba en les dues bandes de l'equació i s'aïlla la velocitat.

$$F_c = P$$

$$m \cdot \frac{v^2}{R} = m \cdot g$$

$$\frac{v^2}{R} = g$$



$$v = \sqrt{g \cdot R}$$

Després, es substitueixen les dades i s'obté la velocitat mínima de gir. Com que l'alçada màxima es de 36 metres (que equival al diàmetre de la circumferència) es divideix l'alçada entre dos i s'obté el radi de 18 metres. La gravetat, és considerada com una constant que val  $9,81 \text{ m/s}^2$ .

$$v = \sqrt{9,81 \cdot 18}$$

$$v = 13,29 \text{ m/s}$$

Finalment, s'arriba a que la velocitat mínima de gir que ha de dur la vagoneta per a poder realitzar el looping i seguir el seu recorregut és de  $13,29 \text{ m/s}$ , que equival a uns  $47,84 \text{ km/h}$ .

Aquest looping estudiat és el que necessita de més energia mecànica perquè és el més alt de tota l'atracció. Es troba a continuació del primer descens perquè al inici, just després del descens, és el tram del recorregut on hi ha un màxim d'energia mecànica acumulada, que al llarg del trajecte va perdent a causa de la força de fregament de l'aire i de les vies, reduint també així, la velocitat. Per això, al ser el looping més alt que necessita més energia mecànica, està situat en el tram on hi ha un màxim d'energia. Aquest és el motiu per el qual al inici del recorregut de les muntanyes russes sol haver-hi un descens que acumula una gran energia cinètica que s'utilitza per a poder realitzar tot el recorregut, i també és el motiu, per el qual en totes les muntanyes russes, el següent looping es sempre més petit a l'anterior, per compensar les pèrdues d'energia.

- **Hipòtesis**

L'alçada mínima per poder realitzar la baixada, com el sentit comú diu, ha de ser menor que no pas l'alçada real que té la baixada de l'atracció. Com l'alçada real de l'atracció és de 49 metres, els dissenyadors de l'atracció han d'haver deixat un marge d'alçada per que així, la vagoneta acumuli més energia cinètica de la necessària al final de la baixada, i pugui realitzar també el recorregut sencer, quan factors adversos, com la força del vent, intervinguin en

l'atracció i creïn una despesa d'energia extra. De forma que la meva hipòtesis de l'alçada mínima per a que pugui funcionar l'atracció és de 40 metres i que els dissenyadors van deixar un marge d'alçada de 9 metres.

A partir de la conservació d'energia mecànica de la vagoneta, es pot verificar aquesta hipòtesis.

S'agafa com a punt inicial la cima de la primera pujada, on l'energia mecànica és únicament potencial ja que es troba en repòs i a una certa alçada respecte el terra (que és la que s'ha de verificar), de forma que té energia potencial però no cinètica.

Com a energia mecànica final s'agafa l'energia que té la vagoneta en el punt més alt del looping. En aquest punt final, la vagoneta té energia cinètica ja que duu una certa velocitat (amb una mínima de velocitat de 13,29 m/s calculada en el punt anterior) i també té energia potencial perquè es troba a una alçada de 36 metres. Per això en el punt final, la vagoneta té com a energia mecànica la suma de l'energia potencial més l'energia cinètica.

A partir d'aquest fet, es pot aplicar l'equació de la conservació d'energia mecànica i substituir-la per l'energia cinètica i potencial que actuen en el punt inicial i final.

$$\Delta Em = 0$$

$$Em_i = Em_f$$

$$Ec + Ep = Ec + Ep$$

$$0 + Ep = Ec + Ep$$

$$m \cdot g \cdot h_i = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + m \cdot g \cdot h_f$$

A continuació, es treu factor comú de la massa en l'energia mecànica final i s'elimina de l'equació ja que es troba a les dues bandes de l'equació.

$$m \cdot g \cdot h_i = m \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot v^2 + g \cdot h_f \right)$$

$$g \cdot h_i = \frac{1}{2} \cdot v^2 + g \cdot h_f$$

Després, s'aïlla l'altura inicial perquè és la dada que ens interessa estudiar, es substitueixen els valors, i finalment es realitzen els càlculs. La gravetat es substitueix per la constant de 9,81 m/s<sup>2</sup>, la velocitat final es substitueix per la velocitat mínima de gir calcula anteriorment de 13,29 m/s i l'alçada final pel diàmetre del looping de 36 metres.

$$h_i = \frac{g \cdot h_f + \frac{1}{2} \cdot v_f^2}{g}$$

$$h_i = \frac{9,81 \cdot 36 + \frac{1}{2} \cdot 13,29^2}{9,81}$$

$$h_i = 45 \text{ m}$$

- Conclusió

L'alçada mínima des de la qual ha de baixar la vagoneta per poder realitzar el looping és de 45 metres, 4 metres menys que l'alçada real de l'atracció (49 metres). Aquesta diferència com s'ha dit a la formulació de l'hipòtesis és deguda a factors adversos que poden causar una despesa d'energia extra. En la hipòtesis s'han formulat 9 metres de diferència quan en realitat només hi ha 4 metres, això es deu a que he pensat que els dissenyadors van preparar l'atracció per a que pogués funcionar quan hi haguessin grans forces externes quan ells en realitat la van preparar per a petites forces, ja que sinó, els dies que no hi ha vent ni cap factor advers, l'atracció duria una velocitat massa elevada i perillosa.

### 3.3. Autos de Xoc

Els autos de xoc són una atracció, en la qual dins d'una pista rectangular o circular, hi ha varis automòbils elèctrics que obtenen l'energia del sostre o bé de la superfície de la pista i s'encenen i apaguen per un operador de l'atracció. La diversió d'aquesta atracció roman que un cop pujat el públic ha pujat als cotxes, pot conduir i xocar-se els uns contra els altres sense perill de fer-se cap mal greu, ja que els cotxes estan rodejats per un para-xocs de goma per la part inferior del vehicle. L' inventor d'aquesta atracció coneguda mundialment és Víctor Levand.

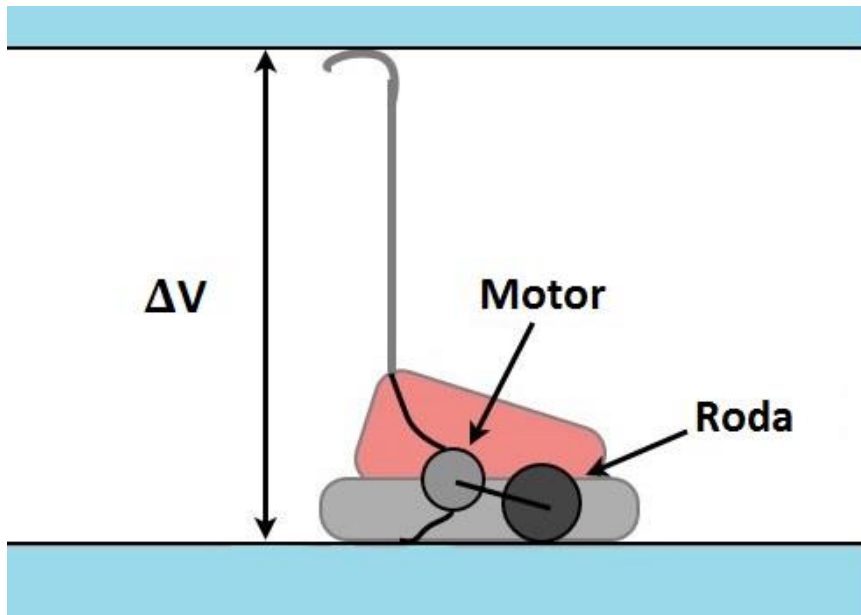


- **Funcionament**

Els autos de xoc poden rebre l'energia de dues formes:

- Xarxa metàl·lica:

La forma habitualment coneguda i més antiga utilitza un sostre de xarxa metàl·lica i la superfície del terra com a conductors amb polaritats d'alimentació independent. El vehicle té un pal que toca al sostre i uns contactes a sota d'ell, a través dels quals els arriba el potencial i els hi permet formar un circuit electrònic complet.



- Tires de metall:

El mètode més modern utilitza unes tires de metall en la superfície del terra, separades unes de les altres per material aïllant i amb càrregues diferents. Aquest segon mètode no necessita de la xarxa del sostre ja que en el terra estan les dues càrregues diferents. Els cotxes tenen un conjunt de raspalls a la part inferior que sempre fan contacte amb dues tires mínim en cada moment( ja que el cotxe és més gran que no pas la separació que hi ha entre elles), de forma que el fregament del raspall amb les tires de polaritat diferent fa que es creï una fricció i un circuit elèctric complet a causa de la diferència de potencial de les tires, que permet el funcionament del vehicle.



- **Teoria**

En aquesta atracció s'estudia els dos tipus de xoc que té la dinàmica; el xoc elàstic i el xoc inelàstic.

Xoc elàstic

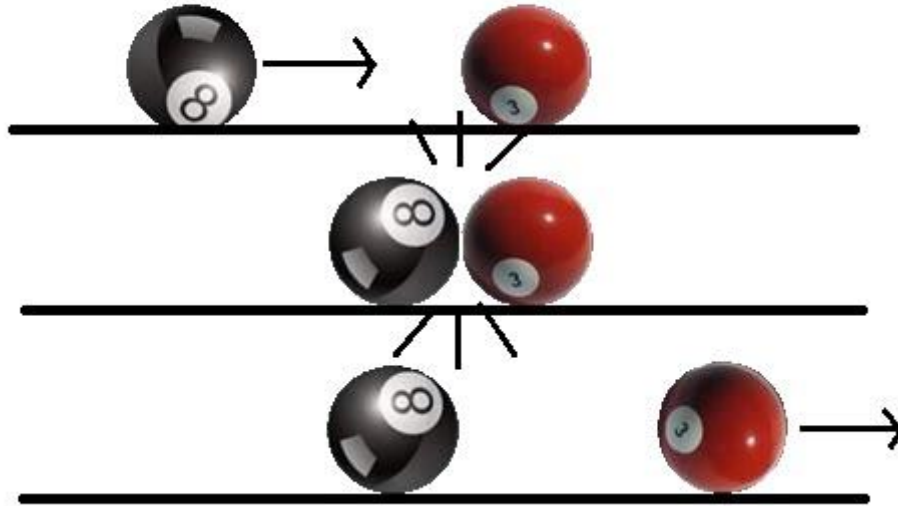
El xoc elàstic consisteix en una col·lisió entre dos o més cossos en la que aquests no pateixen cap deformació permanent a causa de l'impacte. Es conserva tant l'energia cinètica del sistema com el moment lineal del sistema (producte de la massa per la velocitat) ja que no hi ha un canvi en la massa dels cossos després de l'impacte (ja que no experimenten cap deformació permanent) i encara que després del xoc es moguin amb diferent velocitat (almenys en el sentit), la suma dels seus moments lineals es manté constant. Per això, al haver-hi conservació de moviment lineal ( $\Delta p = 0$ ), l'equació del xoc elàstic es pot representar de la següent manera:

$$\Delta p = 0$$

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m'_1 \cdot v'_1 + m'_2 \cdot v'_2$$

On  $m_1$  i  $m_2$  és la massa de cadascun dels dos cossos abans del xoc i  $m'_1$  i  $m'_2$  la massa dels cossos després del xoc. Totes les masses tenen com a unitat en el S.I. kilograms (kg). Després,  $v_1$  i  $v_2$  és la velocitat que deuen els cossos abans del xoc i  $v'_1$  i  $v'_2$  la velocitat que porten després del xoc. La velocitat té com a unitat metres per segon (m/s).

Un exemple de xoc elàstic es quan dos boles de billar xoquen frontalment, si una de les boles està en repòs, després de la col·lisió, la que has llançat queda en repòs i l'altra es mou amb una velocitat igual a la primera.



### Xoc inelàstic

El xoc inelàstic és un tipus de col·lisió en que l'energia cinètica no es conserva. Per això, els cossos poden augmentar la seva temperatura o bé deformar-se a causa de l'energia cinètica que no es conserva i es transforma en calor o bé, es perd en la deformació. Tot i així, el moviment lineal sí es conserva. Les dues masses queden unides després del xoc, de forma que la massa final és més gran que la inicial, i es pot dir que experimenten una deformació. A partir del fet que hi ha conservació de moviment lineal i que les masses queden unides després del xoc, es pot formular la seva equació.

$$\Delta p = 0$$

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = (m_1 + m_2) \cdot v_f$$

On  $m_1$  i  $m_2$  és la massa de cadascun dels dos cossos que es mesuren en kilograms (kg);  $v_1$  i  $v_2$  és la velocitat que duen els cossos abans del xoc i  $v_f$  és la velocitat que porten els dos cossos al quedar units, després del xoc. La velocitat té com a unitat metres per segon (m/s).

Un exemple de xoc inelàstic es quan dos cotxes xoquen frontalment, i queden completament units i deformats.



- **Càlculs**

#### Estudi de xoc elàstic

Per a estudiar la conservació del moviment lineal dels autos de xoc en un xoc elàstic, s'han col·locat dos autos de xoc en la mateixa línia de referència. Un en estat de repòs i l'altre s'ha accelerat fins a arribar a la seva velocitat màxima. Just abans de xocar, s'ha deixat anar l'accelerador perquè sinó, aquest seguiria movent-se amb la seva velocitat constant i no es podria comprovar si s'ha conservat després del xoc.

Després, amb un programa anomenat Tracker, s'han pogut calcular les velocitats que portava cada cotxe, abans i després de la col·lisió, que han estat les següents:

	Velocitat inicial	Velocitat final
Cotxe 1	0,97	0
Cotxe 2	0	0,86

Com es pot veure, la conservació de l'energia cinètica no ha estat total ja que la velocitat inicial del primer cotxe en comparació amb el segon cotxe és més elevada, encara així s'ha conservat gran part de l'energia.

Per a saber l'energia que s'ha perdut realment en el xoc, a partir de la conservació del moviment lineal, es pot calcular la velocitat final teòrica i d'allà, l'energia cinètica.



### Velocitat final teòrica

Per calcular la velocitat final teòrica, s'agafa la fórmula de moviment lineal, es substitueixen els valors en l'equació de xoc elàstic corresponents i es calcula la velocitat final teòrica. Es substitueixen les masses per la de cada conductor, (ja que no es sap el pes dels cotxes, però al ser el mateix no influeix) la velocitat inicial, en el cotxe 1 es substitueix per la calculada amb el programa i en la del cotxe 2, al estar en repòs per zero. Finalment, en la velocitat final, al cotxe 1 se la substitueix per un valor de zero i s'aïlla la velocitat final del cotxe dos, ja que és la que es vol calcular.

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m'_1 \cdot v'_1 + m'_2 \cdot v'_2$$

$$v'_2 = \frac{(m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2) - (m'_1 \cdot v'_1)}{m'_2}$$

$$v'_2 = \frac{(57 \cdot 0,97 + 62 \cdot 0) - (57 \cdot 0)}{62}$$

$$v'_2 = \frac{57 \cdot 0,97}{62}$$

$$v_2 = 0,89$$

I s'obté que la velocitat final teòrica que hauria d'haver assolit el segon cotxe és de 0,89 m/s. Un cop se sap la velocitat final ideal es calcula l'energia cinètica final ideal i teòrica per poder comparar l'energia que s'ha perdut en el xoc.

### Energia cinètica teòrica i real

Sabent que l'equació de l'energia cinètica és la següent:

$$Ec = \frac{1}{2}mv^2$$

Es calcula l'energia cinètica teòrica final, que és de 24,55 Joules.

$$Ec = \frac{1}{2} \cdot 62 \cdot 0,89^2 = 24,55 \text{ Joules}$$

I a continuació, l'energia cinètica real final de 22,92 Joules.

$$Ec = \frac{1}{2} \cdot 62 \cdot 0,86^2 = 22,92 \text{ Joules}$$

Per a calcular l'energia cinètica perduda es resta l'energia cinètica real de la teòrica i s'obté que s'han perdut 1,63 Joules, que és un 6,6 % d'e l'energia cinètica total.

$$\%Energia\ cinètica\ perduda = \frac{1,63}{24,55} \cdot 100 = 6,6\%$$

Sabent això, es pot deduir que no es tracta d'un xoc completament elàstic, ja que no es conserva tota l'energia, encara que tampoc es pot considerar inelàstic pur, ja que la pèrdua d'energia és mínima i els dos cossos no queden units després del xoc.

### Estudi de xoc inelàstic

Per a calcular un xoc inelàstic en els autos de xoc, s'han col·locat dos vehicles en una mateixa línia de referència i s'ha accelerat als dos cotxes al seu màxim de velocitat fins a xocar en un punt mig (deixant de polsar l'accelerador, just abans del xoc).

En la teoria, els dos cotxes van a la mateixa velocitat i en sentit contrari on un pesa 5 kilograms més. A continuació del xoc, els dos vehicles haurien de quedar units i anar en el sentit del vehicle que pesa més a una velocitat inferior que la inicial. És a dir, realitzar un xoc inelàstic pur.

Després, amb un programa d'ordinador, al igual que en l'experiment del primer xoc, s'extreuen les velocitats inicials i finals que duen els cotxes, que són les següents:

	Velocitat inicial	Velocitat final
Cotxe 1	0,97	-0,106
Cotxe 2	-0,096	0,067

Com es pot observar, encara que no hi hagi conservació d'energia i es pugui considerar un xoc inelàstic, no s'ha perdut tanta energia com en un xoc inelàstic pur, a més a més que no queden units després del xoc. Per això, no

es pot aplicar la fórmula de xoc inelàstic, però si la de xoc elàstic per a calcular l'energia perduda en la col·lisió.

Al igual que en l'estudi del xoc elàstic, per a calcular la despesa d'energia, primer s'ha de calcular la velocitat final teòrica, de forma que és el valor que s'ha d'aïllar en l'equació per a poder realitzar els càlculs. Les masses, es substitueixen per les dels conductors i les velocitats, per les extrems del Tracker.

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m'_1 \cdot v'_1 + m'_2 \cdot v'_2$$

$$v'_2 = \frac{(m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2) - (m'_1 \cdot v'_1)}{m'_2}$$

$$v'_2 = \frac{(57 \cdot 0,97 + 62 \cdot -0,096) - (57 \cdot -0,106)}{62}$$

$$v'_2 = \frac{104,63 + 6,04}{62}$$

$$v'_2 = \frac{110,672}{62}$$

$$v'_2 = 1,79$$

I s'obté que la velocitat final teòrica que hauria d'haver assolit el segon cotxe és de 1,79 m/s si no hagués perdut energia durant el xoc. Un cop se sap la velocitat final ideal sense pèrdua d'energia, es calcula l'energia cinètica final amb la velocitat que s'hauria d'haver assolit sense pèrdua d'energia i també l'energia cinètica final amb la velocitat real assolida pel segon cotxe, per poder comparar l'energia que s'ha perdut en el xoc.

### Energia cinètica teòrica i real

Sabent que l'equació de l'energia cinètica és la següent:

$$Ec = \frac{1}{2}mv^2$$

Es calcula l'energia cinètica final sense pèrdua d'energia, que és de 99,33 Joules.

$$Ec = \frac{1}{2} \cdot 62 \cdot 1,79^2 = 99,33 \text{ Joules}$$

I a continuació, l'energia cinètica real final amb pèrdua d'energia de 22,92 Joules.

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot 62 \cdot 0,067^2 = 0,139 \text{ Joules}$$

Per a calcular l'energia cinètica perduda és resta l'energia cinètica real de la teòrica i s'obté que s'han perdut 99,19 Joules. És a dir, que s'ha perdut el 99,85% de l'energia cinètica inicial.

$$\% \text{Energia cinètica perduda} = \frac{99,19}{99,33} \cdot 100 = 99,85\%$$

Sabent això, es pot deduir que es tracta d'un xoc inelàstic, encara que no completament, ja que no es perd tota l'energia cinètica, encara que tampoc es pot considerar elàstic, ja que la pèrdua d'energia és molt gran, i encara que els dos cossos no romanguin units després de la col·lisió, se separen una distància molt petita.

- **Hipòtesis**

En aquesta atracció, la meua hipòtesis consisteix en encasellar els dos experiments en xoc elàstic, xoc inelàstic o xoc parcialment inelàstic a partir del coeficient de restitució i el tant per cent de xoc elàstic. (Ja que abans d'estudiar els experiments, els havia encasellat en xoc elàstic i inelàstic).

El coeficient de restitució (K), és un número que avalua la pèrdua de l'energia cinètica d'un cos segons l'elasticitat dels materials i les forces de restitució (forces que modifiquen l'energia cinètica total).

La fórmula per a calcular el coeficient de restitució és la següent:

$$K = - \frac{v_{2(f)} - v_{1(f)}}{v_{2(o)} - v_{1(o)}}$$

On  $v_{2(f)}$  i  $v_{1(f)}$  són les velocitats que duen els dos cossos després de la col·lisió, i on  $v_{2(o)}$  i  $v_{1(o)}$  són les velocitats dels cossos 1 i 2 abans del xoc.

Segons el coeficient de restitució, pot ser un xoc perfectament elàstic on es conserva tant el moviment lineal com l'energia cinètica i té un coeficient de restitució igual a la unitat. ( $K = 1$ )

També pot ser un xoc semi inelàstic, on es conserva el moviment lineal però no l'energia cinètica. Després de la col·lisió, els dos cossos estan lliures amb les seves respectives velocitats, però s'ha perdut part de l'energia cinètica en el xoc. En aquest xoc el coeficient de restitució és més gran que zero, però més petit que la unitat. ( $0 < K < 1$ )

O bé un xoc perfectament inelàstic, on no es conserva ni el moviment lineal ni l'energia cinètica, de forma que tota l'energia es perd en la deformació dels cossos i en temperatura, i els cossos queden perfectament units després de la col·lisió. El coeficient de restitució d'aquest xoc és igual a zero. ( $K = 0$ )

### Xoc 1

Per aplicar aquesta fórmula s'han de tenir presents les velocitats inicials i finals que són les següents:

	Velocitat inicial	Velocitat final
Cotxe 1	0,97	0
Cotxe 2	0	0,86

$$K = -\frac{v_{2(f)} - v_{1(f)}}{v_{2(o)} - v_{1(o)}}$$

$$K = -\frac{0,86 - 0}{0 - 0,97}$$

$$K = 0,88$$

- **Conclusió**

I s'obté que és un xoc semi elàstic, ja que es perd el 6,6% de l'energia cinètica, amb la qual cosa, és un 94,4% xoc elàstic, cosa que es pot comprovar amb el

seu coeficient de 0,88, que no arriba al 1 pertanyent a un xoc perfectament elàstic, però que s'hi aproxima molt.

### Xoc 2

Per a calcular el coeficient del segon xoc experimental, s'utilitzaran com a valors de les velocitats, els calculats per el programa, que eren els següents:

	Velocitat inicial	Velocitat final
Cotxe 1	0,97	-0,106
Cotxe 2	-0,096	0,067

$$K = -\frac{v_{2(f)} - v_{1(f)}}{v_{2(o)} - v_{1(o)}}$$

$$K = -\frac{0,067 + 0,106}{-0,096 - 0,97}$$

$$K = -\frac{0,173}{-1,066}$$

$$K = 0,16$$

- **Conclusió**

I s'obté que és un xoc semi inelàstic, ja que es perd el 99,85% de l'energia cinètica, amb la qual cosa, és un 0,15% xoc elàstic. Per això, el seu coeficient és de 0,16 ja que no arriba al 0 pertanyent a un xoc perfectament inelàstic, però que s'hi aproxima molt.

### 3.4. Kon-Tiki Wave

El Kon-Tiki Wave, és una atracció coneguda generalment amb el nom de vaixell pirata, i que es pot trobar a quasi qualsevol parc temàtic existent. És una atracció que té alta possibilitat de causar mareig i és més extrema en els seients més allunyats del centre del vaixell. Aquesta atracció del recinte de Port Aventura, inicialment era de 85° d'inclinació, que després van canviar a 75°, per a fer-la més familiar. L'atracció està basada en una història real d'una balsa anomenada Kon-Tiki datada de 1947 que va sofrir un naufragi en el seu trajecte a Tahití a causa d'una tempesta. L'atracció de Port Aventura, té 9 files per imitar a la autèntica que tenia 9 troncs de la selva.



- **Descripció**

Aquesta atracció consisteix en una barca que penja de quatre punts de subjecció. La barca fa un moviment d'oscil·lació d'una banda a l'altra a causa del seu pes i de la tensió que exerceixen els quatre punts de subjecció (dos a cada banda), però que per a poder realitzar els càlculs, s'agafa només un punt de subjecció per a cada banda.

El funcionament d'aquesta atracció consisteix en un moviment oscil·latori, on el vaixell comença arran de terra i un motor que el posa en moviment, el fa anar oscil·lant amb una acceleració constant fins a arribar a l'alçada màxima, on deixa d'accelerar per a anar amb una velocitat constant. En aquest moment, ja es pot considerar l'atracció com a pèndol, ja que realitza el mateix moviment que un pèndol simple, on les forces que actuen són el pes i la tensió. Però al actuar també una força de fregament, el vaixell es va aturant en cada oscil·lació i reduint l'altura màxima a la que arriba, fins a aturar-se. Si en canvi, no hi hagués aquesta força de fregament i consideréssim unes condicions ideals, l'atracció duria sempre una velocitat constant i mai s'aturaria.

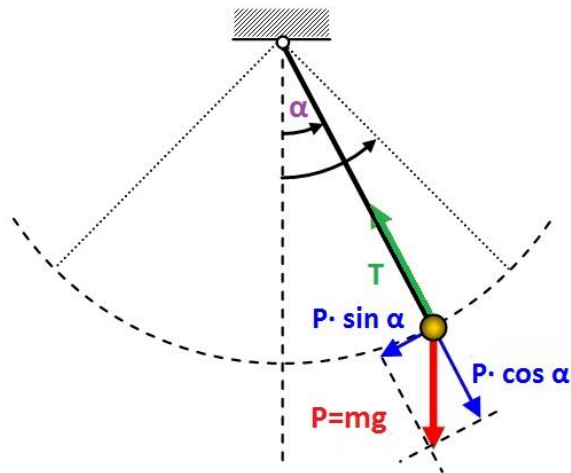
- **Dades tècniques**

Àrea	Polinèsia
Inauguració	01-05-1995
Fabricant	Huss Rides
Duració	150 segons
Capacitat	45 persones (5persones/ fila)
Inclinació	75°
Sistema seguretat	Barres hidràuliques automàtiques
Restriccions	Alçada mínima 1,30m

- **Teoria**

En el moviment d'un pèndol simple, les forces que actuen són la tensió i el pes.





La tensió és una força interna aplicada a un objecte, que consisteix en tibar o produir una tensió a aquest, i en ocasions, l'elongació del objecte si és allargat. En el vaixell pirata, la tensió es realitzada pels eixos de l'atracció, que transmeten la força de tensió del punts de suport del vaixell fins al eix central de l'atracció.

En aquesta atracció, com que es tenen diversos punts de suport, la tensió està repartida entre ells, per a fer més estable l'estructura de vaixell que té una gran massa i consegüentment, un gran pes. Tot i així, per poder calcular la tensió, la situarem en un sol punt. La tensió que s'exerceix en el vaixell és igual a la component del pes Y. Com que la tensió és igual al pes Y (ja que el pes es pot descompondre per propietats trigonomètriques dels triangles rectangles en component X i component Y), la seva fórmula és igual al pes per el cosinus de l'angle (que formen la posició del cable quan el vaixell està en repòs i el cable quan el vaixell està en moviment a la seva altura màxima). De forma que la fórmula de la tensió resulta en la següent:

$$T = m \cdot g \cdot \cos \alpha$$

On  $m$  és la massa i es mesura en kilograms (kg), la gravetat ( $g$ ), es considera com una constant de valor  $9,81 \text{ m/s}^2$  i la tensió ( $T$ ), al ser una força, es mesura en Newtons (N).

L'altra força que actua en aquesta atracció és el pes. El pes és la força amb la que la terra atrau als objectes i que juntament amb la tensió, produeix el

moviment oscil·latori del pèndol. Es descompon en pes horitzontal (X) i en pes vertical (Y) quan l'atracció és troba en el punt màxim, ja que el vaixell no està alineat amb el terra, i forma un angle  $\alpha$  respecte a la posició a la que està en repòs. Com que la tensió es troba en el mateix eix però en sentit contrari, el pes és negatiu.

I la fórmula del pes s'obté a partir de la segona llei de Newton ( $F = m \cdot a$ ) i de les lleis trigonomètriques, quedant la fórmula del pes Y igual que la de la tensió, però amb signe negatiu ja que és una força recuperadora (que tendeix a recuperar) ja que va en sentit contrari a la tensió.

$$\text{Pes } Y = -m \cdot g \cdot \cos \alpha$$

$$\text{Pes } X = -m \cdot g \cdot \sin \alpha$$



- **Càlculs**

### Tensió

A partir de dades extretes d'Internet s'ha pogut saber que l'angle que forma la tensió quan es troba en la seva alçada màxima es de 75°. Després, per calcular la tensió, també es necessita saber la massa, que encara que varia dependent de les persones que hi pugen, és aproximadament d'uns 9.000kg.

A partir d'aquestes dades i de la fórmula de la tensió que s'ha explicat en l'apartat anterior de la teoria, es substitueixen els valors on la massa són 90.000kg, l'angle 75° i la gravetat 9,81 m/s<sup>2</sup> i es calcula la tensió.

$$T = m \cdot g \cdot \cos \alpha$$

$$T = 9000 \cdot 9,81 \cdot \cos 75^\circ$$

$$T = 22851,13 \text{ N}$$

l s'obté que la tensió en l'alçada màxima a la que arriba el vaixell és de 22851,13 N. Com que la tensió és una força elevada ja que ha de suportar tota l'estructura de l'atracció, no hi ha una única barra que faci de subjecció, sinó que hi ha quatre per a repartir aquesta força i fer l'atracció més segura, com ja s'ha explicat anteriorment, de forma que aquest valor de la tensió és la suma de les tensions que suporten cada punt de subjecció.

### Pes

Per a calcular el pes, s'aplica la fórmula d'aquesta força i es substitueixen els valors de la gravetat i de la massa de 9.000 kilograms.

$$P = m \cdot g$$

$$P = 9.000 \cdot 9,81$$

$$P = 88290 \text{ N}$$

l s'obté que el pes del vaixell és de 88290 Newtons quan aquest està en repòs. Després, per a calcular el pes quan es troba en el punt màxim, es realitza el mateix procediment juntament amb el sinus i cosinus de l'angle de 75°.

$$Pes Y = -m \cdot g \cdot \cos \alpha$$

$$Pes Y = -9000 \cdot 9,81 \cdot \cos 75^\circ$$

$$Pes Y = -22851,13N$$

$$Pes X = -m \cdot g \cdot \sin \alpha$$

$$Pes X = -9000 \cdot 9,81 \cdot \sin 75^\circ$$

$$Pes X = -85281,59N$$

l s'obté que la component del pes Y com ja s'ha explicat, és igual a la tensió per en sentit contrari, de forma que s'anul·len, de forma que s'arriba a la conclusió que la component X del pes és la que crea el moviment oscil·latori.

- **Hipòtesis**

En la hipòtesis d'aquesta atracció, el que vull comprovar és la llargada de la barra de subjecció, ja que segons diferents fonts d'internet diu que mesura uns 16 metres, però al crear-me una petita incertesa he decidit comprovar-ho.

Per a calcular la longitud del pèndol simple, primer s'ha d'aïllar la longitud del pèndol en l'equació de període del pèndol simple.

$$T = 2\pi \sqrt{l/g}$$
$$l = \frac{T^2 \cdot g}{4\pi^2}$$

On  $T$  que és el període del pèndol, és mesura en segons (s),  $l$  és la longitud mesurada en metres (m) i  $g$  és la gravetat que com ja s'ha comentat és  $9,81 \text{ m/s}^2$ . Finalment tenim el símbol pi,  $\pi$  que és un nombre real irracional.

Un cop tenim la longitud calculada ens adonem que ens falta el període d'oscil·lació del pèndol, amb la qual cosa, a partir d'un vídeo que vaig gravar en el parc, es pot cronometrar el temps que triga el vaixell en pujar fins al punt més alt fins que torna a passar per ell, amb l'ajuda d'un cronòmetre varies vegades i fer la mitjana aritmètica.

Temps de pujada	
1 <sup>a</sup>	7,49s
2 <sup>a</sup>	7,46s
3 <sup>a</sup>	7,48s
4 <sup>a</sup>	7,49s
5 <sup>a</sup>	7,54s
<b>Mitjana aritmètica</b>	7,50s

Un cop calculada la mitjana aritmètica del període es pot saber la longitud de la barra, substituint les dades en la fórmula anterior per els valors corresponents:

$$l = \frac{T^2 \cdot g}{4\pi^2}$$

$$l = \frac{7,50^2 \cdot 9,81}{4\pi^2}$$

$$l = 14m$$

- **Conclusió**

S'obté que la longitud del cable és igual a 14 metres. La diferència de longituds respecte a la pàgina d'internet pot ser a causa, d'un error de càlcul alhora de cronometrar el temps, o bé que quan ells apliquessin aquesta fórmula, fos abans de que es canviés l'angle d'inclinació, ja que al reduir l'angle, també es redueix el recorregut i si la velocitat és manté igual, el període d'oscil·lació disminueix. Amb la qual cosa, com es pot observar en la fórmula, la longitud i el període són directament proporcionals, així que al augmentar el període també augmentaria la longitud de la barra de subjecció.

### 3.5. Shambhala: Expedició al Himalaia

Shambhala és muntanya russa de tipus hypercoaster situada al Parc temàtic de Port Aventura. Una hypercoaster, es un tipus de muntanya russa amb una alçada major de 200 peus (61metres), poques voltes, amb elements invertits i una pujada inicial. Aquesta atracció té tres records europeus des del dia de la inauguració. És la muntanya russa més alta de tota Europa amb 76 metres d'alçada juntament amb la baixada també més alta, d'uns 78 metres. Tanmateix, té el rècord de la muntanya russa hypercoaster més ràpida, ja que en la primera baixada assoleix uns 134 km/h. Es va inaugurar el 12 de maig de 2012, a les 12 per a persones socials (com el president del moment, Artur Mas) i tres hores després per a tot el públic.



- **Descripció**

La muntanya russa Shambhala està situada a la zona de la Xina i arriba fins a la zona de la Polinèsia i de Mèxic al llarg del seu trajecte, també es creua en varis trams amb l'atracció Dragon Khan. El recorregut de 1564 metres comença amb un gir a la dreta de 90 graus, just al sortir de l'estació de càrrega, per iniciar una pujada de 76 metres. A continuació segueix per una baixada de 78 metres (amb una inclinació de 76°) i entra en un túnel, on al sortir d'ell fa un lleuger gir a l'esquerra per anar a un camelback de 55 metres. Després, realitza una doble hèlix anomenada ampersand, única en el món que també destaca per la seva gran alçada. Al sortir de l' ampersand, realitza un spedhill seguit d'un nou pujol, seguidament ens trobem amb un splash artificial, que dona lloc

al final del recorregut amb un gir de 180°, per encarar-se cap a la plataforma, una últim pujol i torna a l'estació.

➤ **Vocabulari tècnic:**

- Camelback: conjunt de pujols que es van fent lleugerament més petites, provocant forces G negatives.
- Ampersand: doble hèlix amb una forma única de “&”.
- Spedhill: camelback de baixa alçada que dona sensació de velocitat.
- Splash: Tram del recorregut de la muntanya russa que passa per sobre d'un llac (natural o artificial), on no arriba a mullar als passatgers.

• **Dades tècniques**

Data d'inauguració	12 de Maig del 2012
Zona del parc	Xina
Disseny	B&M – Bolliger and Mabillard
Tipus	Hypercoaster V-shaped
Estat actual	Oberta
Altura i caiguda màxima	76m i 78m
Longitud del recorregut	1564 metres
Duració del recorregut	3 min
Velocitat màxima	134km/h
Nº inversions	0
Nº camelbacks	5
Nº màxim de vagonetes simultànies	3
Capacitat per viatge	32 passatgers
Volum de passatgers	1680 persones/ hora
Altura min. I màx.	76m / 78m
Foto / Video On Ride	Sí / Sí
Tipus frenada	Magnètica i Pneumàtica
Sistema de pujada	Cadena
Màxima i mínima força G	3,8 G's / -0,5G

- **Teoria**

Aquesta muntanya russa hypercoaster té una gran baixada inicial, la més alta d' Europa. A partir de la conservació de l'energia, com en el Dragon Khan, es pot calcular la velocitat màxima al realitzar la primera baixada, i comprovar així que la velocitat màxima que assoleix són els 134 km/h del seu rècord. També es calcularà l'acceleració que realitza.

### Conservació d'energia

El principi de conservació d'energia, com ja s'ha explicat anteriorment, consisteix que l'energia ni es crea ni es destrueix, sinó que es transforma d'una forma a una altre. De forma que l'energia total és la mateixa abans i després de les transformacions que ha experimentat el cos.

En aquesta atracció, s'estudia la conservació d'energia mecànica (suma de l'energia cinètica més potencial) de la vagoneta, menyspreant les forces no conservatives i suposant unes condicions ideals. En aquest cas s'aplica aquesta fórmula:

$$\Delta Em = 0$$

$$Em_i = Em_f$$

On  $Em_i$  és energia mecànica inicial i  $Em_f$  energia mecànica final, i ambdues es mesuren en Joules (J).

### Energia cinètica

L'energia cinètica és aquella energia que posseeix un cos amb massa i que duu una velocitat. L'equació d'aquesta energia és la següent:

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

Segons el Sistema Internacional (SI) la massa  $m$  es mesura en kilograms (kg) i la  $v$  que és la velocitat en metres partit segon (m/s). De forma que l'energia cinètica resultant  $Ec$  es mesura en Joules (J).



## Energia Potencial Gravitatòria

L'energia potencial gravitatòria és aquella energia que posseeix qualsevol cos que té una massa, es troba a una certa alçada respecte un punt de referència i té una força gravitatòria. Depenen de la quantitat de massa, d'alçada a la que es troba i el planeta en el que està, el cos tindrà més o menys energia potencial.

Com que la variació de la força gravitatòria es considera tant insignificant, la gravetat és considerada una constant i s'aplica la fórmula d'energia potencial següent:

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

On segons el Sistema Internacional,  $m$  que és la massa es mesura en kilograms (kg),  $g$  que correspon a la gravetat en metres per segon al quadrat ( $m/s^2$ ) i  $h$  que és l'altura, en metres (m). L'energia potencial gravitatòria es mesura en Joules (J).

## Acceleració Baixada

Finalment, a partir de la velocitat final calculada mitjançant les energies, es pot calcular l'acceleració aplicant la fórmula de MRUA següent:

$$a = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2y}$$

On  $a$  és l'acceleració, mesurada en metres per segon al quadrat ( $m/s^2$ ),  $v_f$  la velocitat final que té la vagoneta al arribar al punt final i  $v_i$  la velocitat inicial que té la vagoneta al començar a desaccelerar, on ambdues es mesuren en metres per segon (m/s) i  $y$  la posició final, mesurada en metres (m).

- **Càlculs**

### Temps de pujada

Per a calcular el temps de pujada de la vagoneta fins a la primera baixada, s'ha cronometrat el temps de pujada fins al punt més alt i seguidament s'ha fet la mitjana aritmètica.

Temps de pujada	
1 <sup>a</sup>	32,53s
2 <sup>a</sup>	33,09s
3 <sup>a</sup>	33,61s
4 <sup>a</sup>	32,93s
5 <sup>a</sup>	33,12s
<b>Mitjana aritmètica</b>	33,05s

### Velocitat de la pujada

Després de calcular la mitjana aritmètica del temps de pujada de la vagoneta fins al punt màxim, s'aïlla la velocitat en l'equació del moviment rectilini uniforme  $y_f = y_i + v \cdot t$  i seguidament es substitueix els valors i es calcula la velocitat. La posició final és de 76 metres d'alçada segons diverses fonts d'internet i la inicial 0, ja que es pren com a eix el nivell del terra. Com a temps de pujada s'utilitza la mitjana aritmètica calculada en el punt anterior.

$$y_f = y_i + v \cdot t$$

$$v = \frac{y_f - y_i}{t}$$

$$v = \frac{76}{33,05}$$

$$v = \frac{2,29m}{s}$$

La vagoneta puja fins al punt més alt de l'atracció amb una velocitat constant de 2,29 metres per segon que equival a uns 8,27 km/h.

### Velocitat final

La baixada principal que s'estudia és de 76 metres de pujada i 78 metres de baixada. Per calcular-la s'utilitza el principi de conservació de l'energia tenint present, que en el punt inicial, la vagoneta es troba en repòs amb una gran energia potencial, i al finalitzar, la baixada es troba a una alçada de 0 metres i energia potencial nul·la, però amb molta velocitat i consegüentment una elevada energia cinètica.

A continuació ja es pot aplicar la fórmula de conservació d'energia on l'energia final és igual a l'energia inicial.

$$\Delta Em$$

$$Em_i = Em_f$$

$$Ec_i + Ep_i = Ec_f + Ep_f$$

$$0 + Ep_i = Ec_f + 0$$

$$Ep_i = Ec_f$$

$$m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_f^2$$

S'elimina la massa ja que es troba a les dues bandes de l'equació, s'aïlla la velocitat final i es substitueixen els valors.

$$gh = \frac{1}{2} v_f^2$$

$$v_2 = \sqrt{2gh}$$

$$v_2 = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 78}$$

$$v_2 = 39,11 \text{ m/s}$$

La velocitat que adquireix el tren en la baixada és de 39,11m/s. Això equival a uns 140, 83 km/h. L'atracció adquireix més velocitat que la que es diu de 134 km/h que equival a 37,22 m/s, això es deu a factors externs com el fregament que hem negligit.

Després, a partir de la velocitat final que hem calculat en el punt anterior, es calcularà l'acceleració amb la fórmula de MRUA:

$$a = \frac{vf^2 - vi^2}{2x}$$

Es substitueix la velocitat inicial per 37,22 m/s que és la velocitat assolida segons la pàgina oficial del parc temàtic Port Aventura i d'inicial nul·la ja que comença en repòs. Finalment, se sap l'alçada que són 78 metres, però no la distància de la baixada i com que no està indicada per internet, mitjançant el programa noLimits Rollercoaster s'ha pogut saber que és de 110m.

$$a = \frac{37,22^2 - 0}{2 \cdot 110}$$

$$a = 6,29m/s^2$$

I s'obté que l'acceleració que assoleix la vagoneta és de 6,29 metres per segon al quadrat.

- **Hipòtesis**

Com que per internet es pot trobar l'informació que aquesta atracció assoleix una força gravitatòria de -0,5 G he decidit calcular en quins punts de l'atracció no té gravetat a partir d'un programa de simulació anomenat noLimits Rollercoaster, on aquest, t'indica en cada punt de l'atracció, la velocitat i acceleració que porta la vagoneta i a partir d'això, he pogut extreure els punts amb gravetat 0 o inferior i comprovar si es veritat que assoleix una força gravitatòria de -0,5G.

En aquest simulador, al iniciar-lo, la vagoneta inicia el recorregut i en cada punt calcula una sèrie de variables, en les quals està, la força gravitatòria de la vagoneta i els trams en els que el simulador ha calculat una força gravitatòria igual o inferior a 0 han estat els següents:

➤ Tram 1

En el primer tram, la vagoneta descens amb una força gravitatòria inicialment nul·la, arriba a  $-0,2G$  fins a tornar a una força nul·la i a continuació positiva.



➤ Tram 2

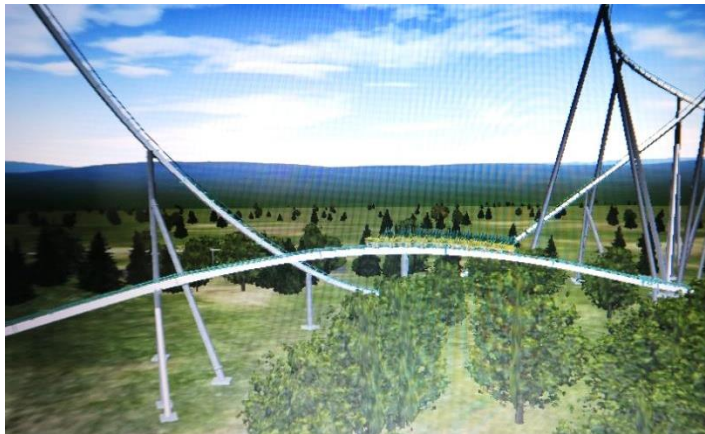
En aquesta pujada, s'inicia i acaba amb una força  $0G$ , (al igual que en tots els altres trams) i assoleix una força de  $-0,4G$  al entremig del recorregut entre les dues imatges.





➤ Tram 3

En el tercer tram arriba a una força negativa de  $-0,2G$  a causa del primer camelback.



➤ Tram 4

El quart tram no assoleix una força gravitatòria negativa però sí una nul·la de 0G al arribar a la cima.



➤ Tram 5

El cinquè tram és el que assoleix una major força negativa de -1,2G durant el speedhill.





➤ Tram 6

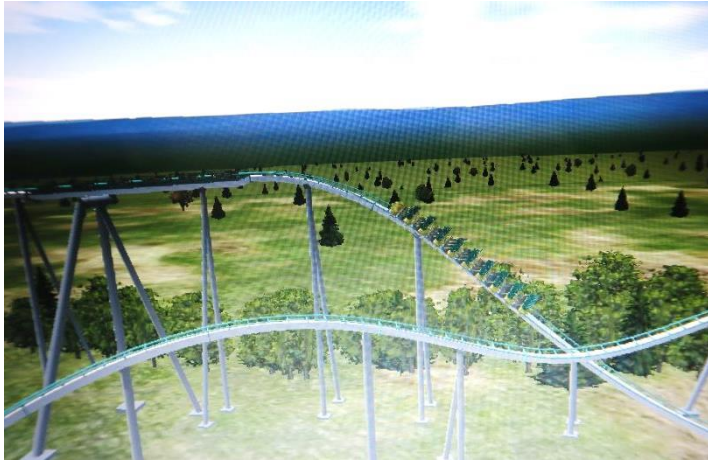
Després, en el sisè, assoleix una força de  $-1G$  en la següent baixada del spedhill.



➤ Tram 7

En el setè tram, arriba fins a una força molt gran, però no la màxima de tot el recorregut, amb una força de  $-1,1G$ .





➤ Tram 8

Per anar acabant el recorregut, en una de les últimes baixades, assoleix una força de  $-0,2G$ .





➤ Tram 9

I finalment, al tornar a l'estació, realitza una petita pujada amb una força gravitatòria de  $-0,2G$ .



• **Conclusió**

A varies fonts d'Internet, s'explica que durant el trajecte, la vagoneta arriba a una força gravitatòria màxima de  $-0,5G$  i això es ben cert, però també és cert que el programa indica trams que arriben fins a una força de  $-1,2G$ . Aquesta força més gran de la suposada es deu a que la que he analitzat, és de l'eix vertical, però en ocasions la vagoneta no es troba perpendicular al eix, i la seva inclinació permet descompondre-la en l'eix X (paral·lel al terra) i eix Y (paral·lel a la força gravitatòria), de forma que les fonts d'internet et presenten la força màxima que pot assolir, ja descomposta simulant que la vagoneta estigui paral·lela a l'eix X. Encara que això realment no succeeix en aquesta atracció.

## 4. Anàlisi de l'enquesta

Un dels objectius d'aquest treball és analitzar els gustos de les persones sobre els moviments i les atraccions que agraden més, segons el sexe, la seva edat, i si està lligat en part a les emocions i personalitat de les persones. Per això, s'ha realitzat una enquesta a persones de diferents edats i sexes que vagin als parcs d'atraccions, més que per a treure grans conclusions, per a saciar la curiositat.

A continuació, s'analitzarà cadascuna de les respostes de les enquestes, juntament amb la seva taula de respostes i el seu gràfic expressat en percentatges.

A l'enquesta han contestat 105 persones, repartides de la següent manera:

Franja d'edat de 10 a 16 anys: 10 homes i 23 dones.

Franja d'edat de 17 a 25 anys: 19 homes i 39 dones.

Franja d'edat de 25 a 35 anys: 1 dona.

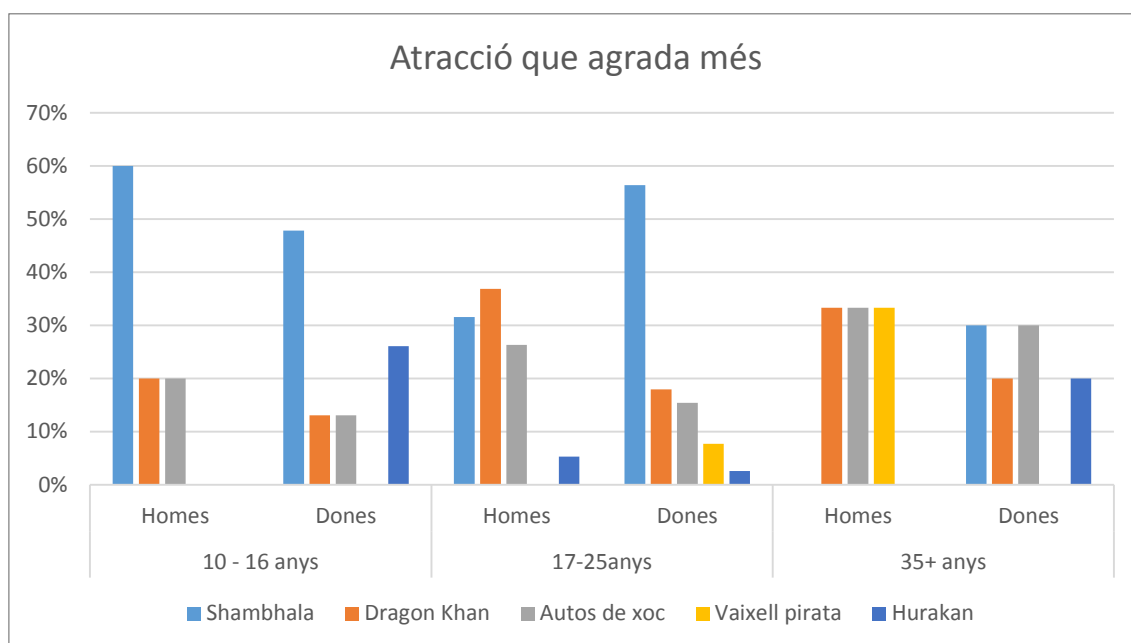
Franja d'edat de més de 35 anys: 3 homes i 10 dones.

Degut que a la tercera franja d'edat només hi ha una resposta, aquesta franja s'ha considerat no vàlida per a l'anàlisi de les respostes.

## Pregunta 1: Quina atracció t'agrada més?

	10 - 16 anys		17-25 anys		35+ anys	
	Homes	Dones	Homes	Dones	Homes	Dones
Shambhala	6	11	6	22	0	3
Dragon Khan	2	3	7	7	1	2
Autos de xoc	2	3	5	6	1	3
Vaixell pirata	0	0	0	3	1	0
Hurakan	0	6	1	1	0	2
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>23</b>	<b>19</b>	<b>39</b>	<b>3</b>	<b>10</b>

Gràfica en percentatges:



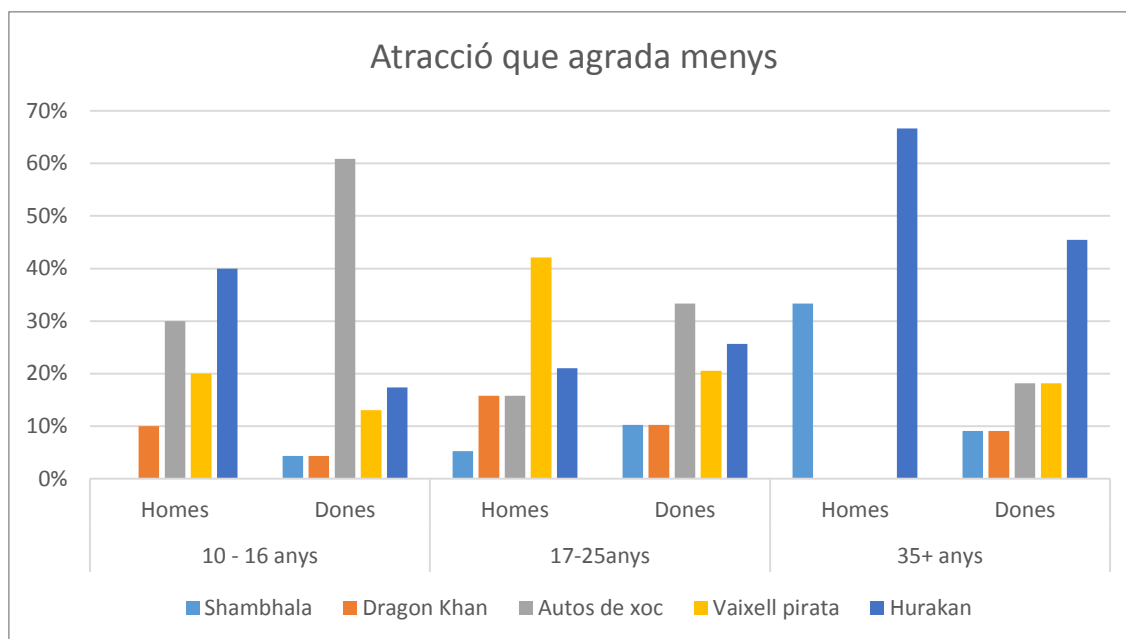
Comentari:

En aquesta gràfica, el que destaca és que l'atracció que agrada més entre els joves és el Shambhala indiferentment del sexe, i en els adults els gustos són més variats.

## Pregunta 2: Quina atracció t'agrada menys?

	10 - 16 anys		17-25 anys		35+ anys	
	Homes	Dones	Homes	Dones	Homes	Dones
Shambhala	0	1	1	4	1	1
Dragon Khan	1	1	3	4	0	1
Autos de xoc	3	14	3	13	0	2
Vaixell pirata	2	3	8	8	0	2
Hurakan	4	4	4	10	2	5
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>23</b>	<b>19</b>	<b>39</b>	<b>3</b>	<b>11</b>

Gràfica en percentatges:



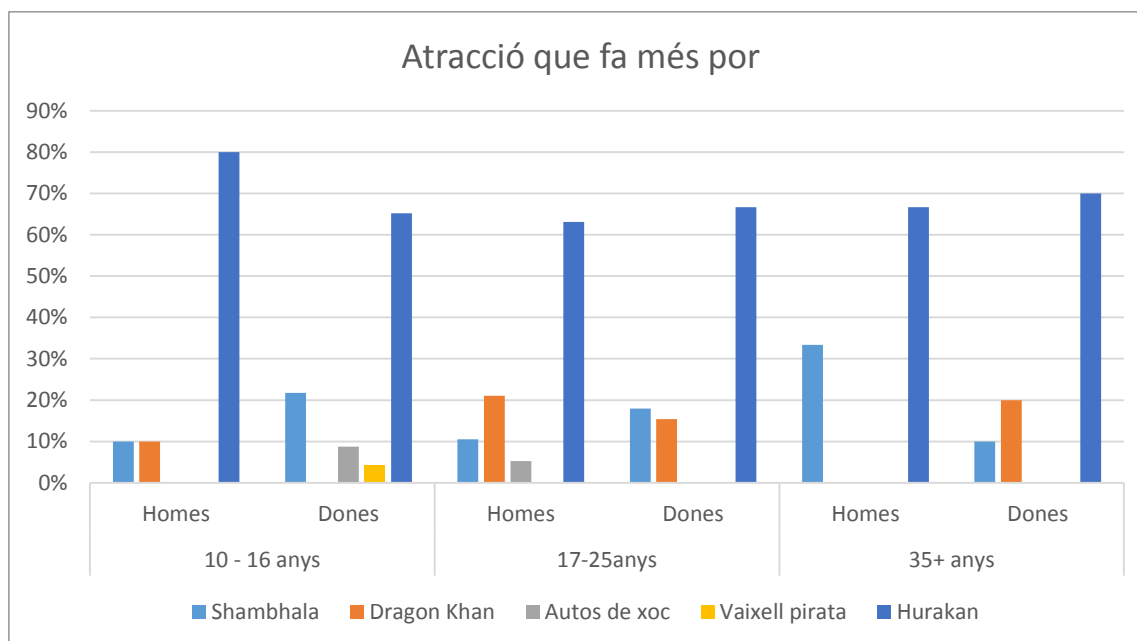
Comentari:

En aquesta gràfica, es pot observar que en els més joves els hi desagraden els autos de xoc, sobretot a les dones, i en canvi en els adults, l'atracció que més els hi desagrada és l'Hurakan Condor.

### Pregunta 3: Quina atracció et fa més por?

	10 - 16 anys		17-25 anys		35+ anys	
	Homes	Dones	Homes	Dones	Homes	Dones
Shambhala	1	5	2	7	1	1
Dragon Khan	1	0	4	6	0	2
Autos de xoc	0	2	1	0	0	0
Vaixell pirata	0	1	0	0	0	0
Hurakan	8	15	12	26	2	7
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>23</b>	<b>19</b>	<b>39</b>	<b>3</b>	<b>11</b>

Gràfica en percentatges:



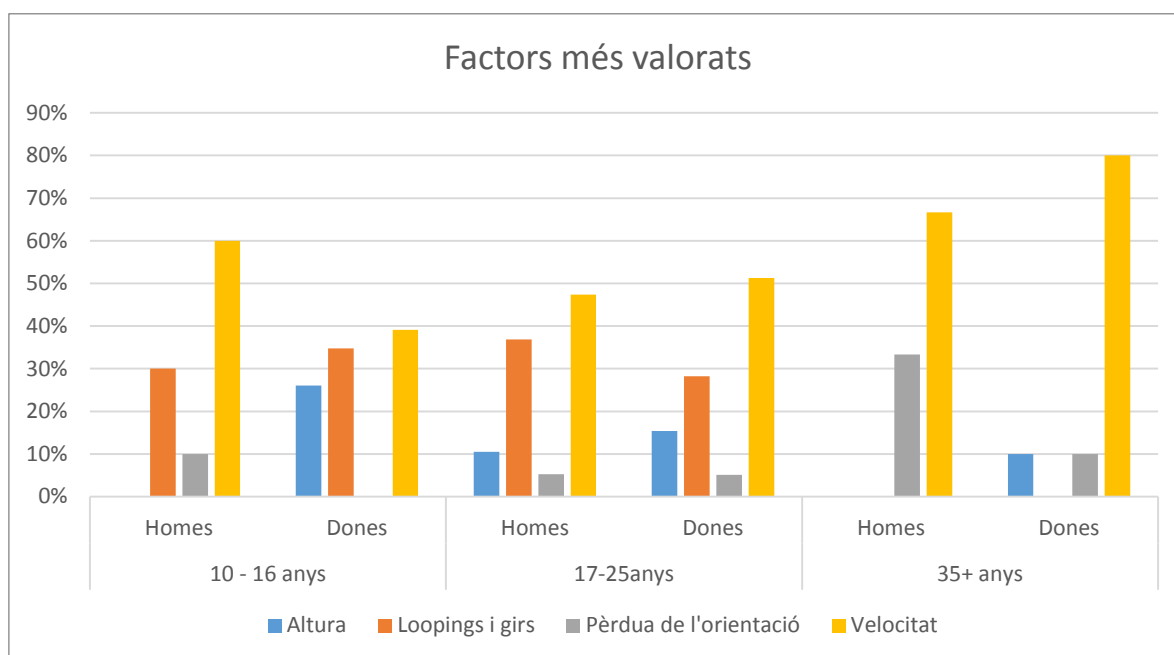
Comentari:

L'atracció que fa més por a la gent per unanimitat a totes les franges d'edat i sexes és l'Hurakan Condor (la caiguda lliure) i en segon lloc es troba el Shambhala amb el Dragon Khan.

#### Pregunta 4: Quin factor valora més de les atraccions?

	10-16 anys		17-25 anys		35+ anys	
	Homes	Dones	Homes	Dones	Homes	Dones
Altura	0	6	2	6	0	1
Loopings i girs	3	8	7	11	0	0
Pèrdua de l'orientació	1	0	1	2	1	1
Velocitat	6	9	9	20	2	8
Total	10	23	19	39	3	10

Gràfica en percentatges:



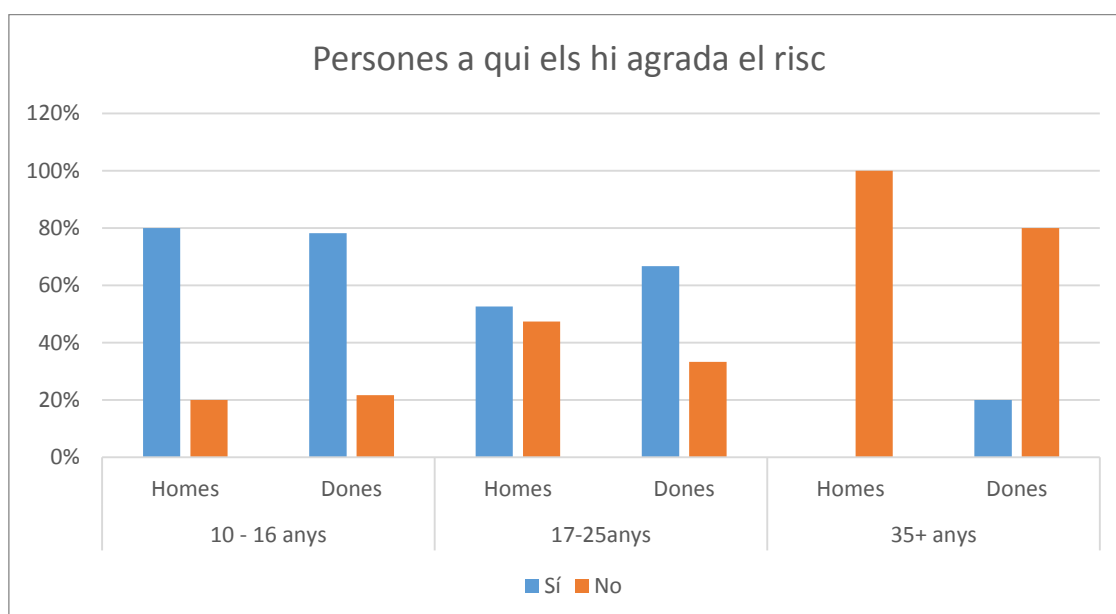
Comentari:

El factor més valorat en totes les franges estudiades és la velocitat, encara que als més joves també els hi agraden els loopings i girs. Després, com a factor que a ningú agrada es troba la pèrdua d'orientació, i com a segon lloc l'altura.

Pregunta 5: Et consideres una persona que li agrada el risc?

	10-16 anys		17-25 anys		35+ anys	
	Homes	Dones	Homes	Dones	Homes	Dones
Sí	8	18	10	26	0	2
No	2	5	9	13	3	8
Total	10	23	19	39	3	10

Gràfica en percentatges:



Comentari:

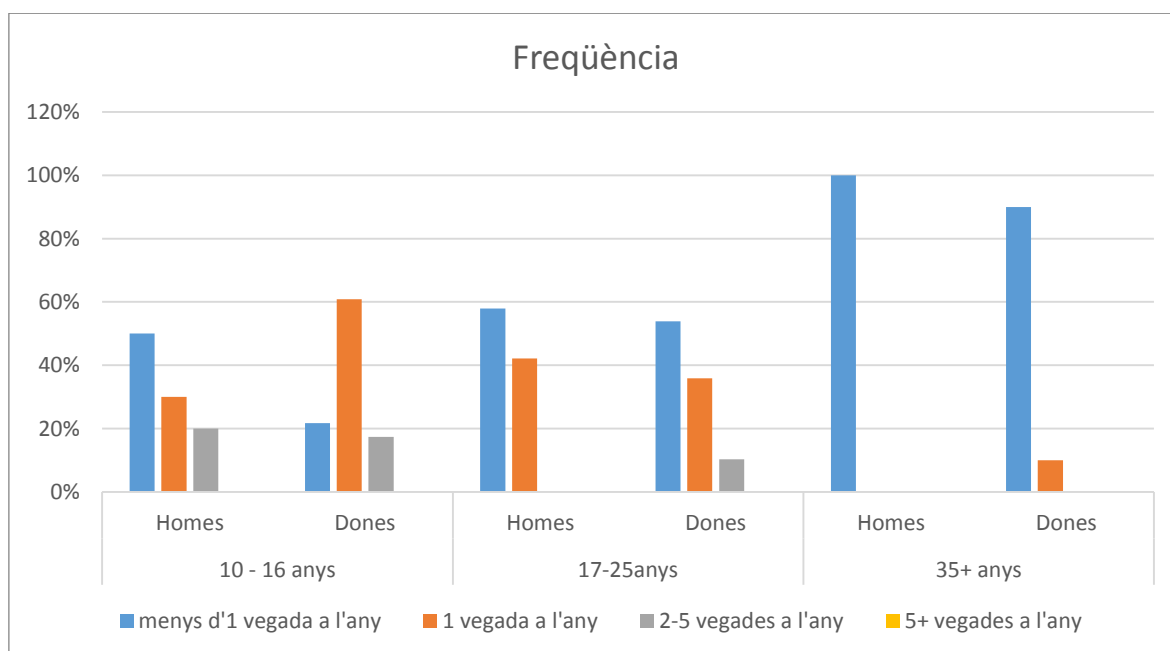
D'aquesta gràfica es pot deduir que a mesura que la gent és fa més gran els hi agrada cada cop menys el risc.



### Pregunta 6: Cada quant vas a un parc d'atraccions?

	10-16 anys		17-25anys		35+ anys	
	Homes	Dones	Homes	Dones	Homes	Dones
menys d'1 vegada l'any	5	5	11	21	3	9
1 vegada a l'any	3	14	8	14	0	1
2-5 vegades a l'any	2	4	0	4	0	0
5+ vegades a l'any	0	0	0	0	0	0
Total	10	23	19	39	3	10

Gràfica en percentatges:

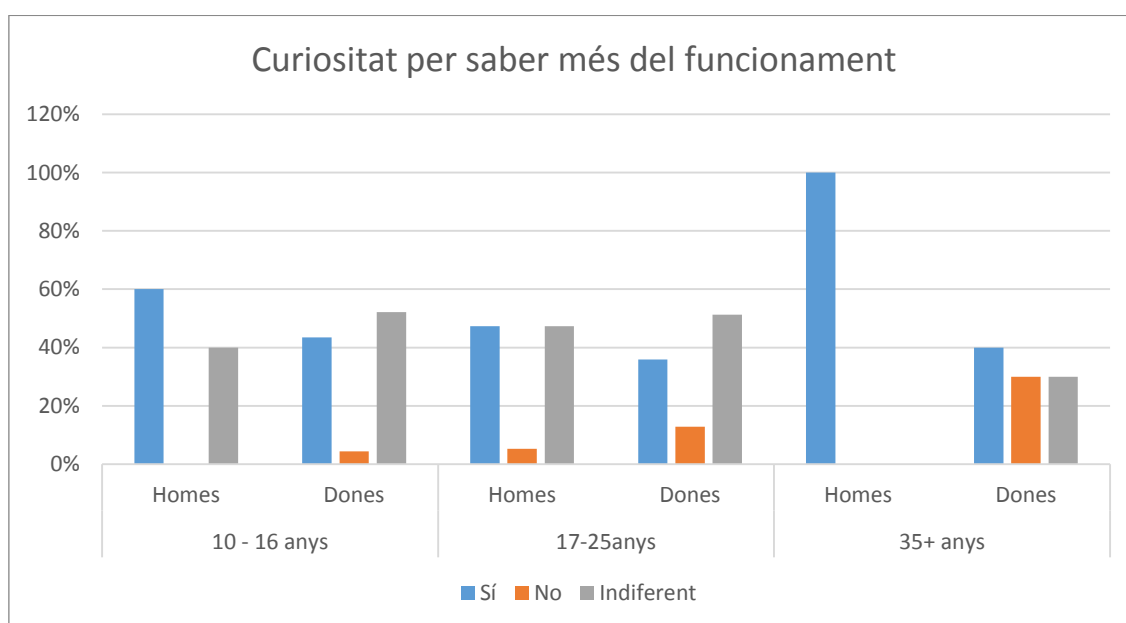


Comentari:

Com es pot observar, la major afició als parcs d'atraccions és dels més joves, encara que sense ser gaire elevada, i els més adults no tenen costum d'anar a parcs d'atraccions. Es pot suposar, que els adults van per acompanyar als més joves. Un altre factor seria que degut a que els hi agrada menys el risc, tenen menys interès per anar a un parc d'atraccions.

Pregunta 7: Tens curiositat per saber més sobre el funcionament de les atraccions?

	10-16 anys		17-25anys		35+ anys	
	Homes	Dones	Homes	Dones	Homes	Dones
Sí	6	10	9	14	3	4
No	0	1	1	5	0	3
Indiferent	4	12	9	20	0	3
Total	10	23	19	39	3	10



**Comentari:**

En aquesta gràfica, es pot deduir, que les dones, tenen menys interès pel funcionament de les atraccions en comparació amb els homes. També que a la resta de la població, els hi resulta tant indiferent com acceptable, el adquirir nous coneixements sobre la matèria.

## 5. Conclusions

### 5.1. Explicació dels resultats obtinguts en funció dels objectius inicials

Pel que fa als meus objectius, he pogut posar en pràctica tots els meus coneixements de física adquirits a primer de batxillerat i també he sabut identificar els fonaments i les lleis de cada atracció, de forma que em sento molt satisfeta per això.

La realització de diferents variables (com són la velocitat, altura, acceleració, etc) encara que en alguna atracció m'ha resultat complicat a causa de petits errors de càlculs o altres factors, els he sabut resoldre, així que també he assolit el meu segon objectiu que era calcular les variables.

Després, en quant a resoldre curiositats i hipòtesis d'algunes de les atraccions, també l'he pogut realitzar satisfactòriament, encara que és un dels punts que més m'ha costat resoldre en la majoria de les atraccions, en especial del Shambhala. Si no fos pel descobriment del programa NoLimits Rollercoaster, m'hagués estat molt complicat analitzar-ho a partir de les dades que vaig extreure al calcular-ho amb una aplicació del mòbil al pujar en ella, ja que, a causa que el mòbil es movia, els resultats eren incoherents i em va crear un gran temor i incertesa el com ho podria calcular, fins que em van parlar d'aquest simulador. Després un cop superat com ho podria calcular, em vaig enfrontar amb el fet que el programa no permet fer captures de pantalla, així que vaig haver de fotografiar-les amb una càmera i editar-les per dissimular els píxels.

De forma que no era un punt a assolir el utilitzar un simulador de muntanyes russes, però gràcies al problema de les dades incoherents he après a utilitzar un nou programa molt interessant i que utilitzaré en el futur per a calcular altres curiositats del meu interès.

D'altra banda, aquest simulador serveix únicament per a muntanyes russes i no el vaig poder utilitzar en la caiguda lliure, de tal forma que les meves gràfiques no són del tot correctes. Això es deu que durant la baixada el mòbil es movia, i només dura tres segons, això em va ser difícil guiar-me alhora de realitzar els gràfics, que amb uns pocs punts aprofitables, van fer que les línies i paràboles hagin quedat massa rectes i perfectes per a ser realitzades a partir d'un càlcul experimental.

Finalment, he pogut saciar la meva curiositat personal sobre les preferències de la població envers les atraccions i si els hi interessa saber del funcionament de les atraccions tant com m'interessa a mi. I ara sé, que a la majoria el funcionament de les atraccions els hi és indiferent, o bé no els interessa estudiar el món des del punt de la vista de la física/mecànica.

Aquest punt m'ha semblat en especial, molt interessant i de gran satisfacció personal, perquè ara sé que no és un fet molt habitual que a la gent li fascini el funcionament de les coses tant com em fascina a mi. La idea d'aquest treball va sortir arrel d'una idea que considero molt increïble, que consisteix que la física pot estudiar absolutament TOT i tot TÉ FÍSICA, i ara que he acabat al treball, puc dir aquesta afirmació encara més convençuda i satisfeta d'haver-ho pogut demostrar dins d'un apartat del gran ventall que té la física en el nostre món.

## **5.2. Valoració i opinió personal**

Aquest treball, a més a més, d'haver-me ajudat a complir uns objectius del meu interès, m'ha aportat altres coneixements no prevists en un inici.

Gràcies a les enquestes he après a utilitzar millor el programa Excel, que tantíssimes vegades vaig tenir problemes amb les pràctiques de primer de batxillerat. També he après amb aquest treball coses tant importants com buscar informació per internet, quines pàgines són de fiar i quines no, a redactar, i sintetitzar. I finalment, com a valors de caire més personal, m'ha ensenyat a organitzar-me, a ser més responsable amb el meu temps, la constància i m'ha aportat la maduresa per a realitzar correctament un treball tant important acadèmicament com aquest. De forma que, aquest treball que al principi només era una petita idea més al meu cap, ha anat agafant forma fins a convertir-se en el treball que actualment és, i m'ha aportat moltíssimes coses, algunes esperades i d'altres no tant, de forma que em sento molt feliç i orgullosa de poder dir, que tot l'esforç i dedicació ficats en ell, ja sigui per mi com per altres persones, ha donat el seu fruit.

## 6. Bibliografia

<https://tibifans.wordpress.com/category/nivell-1/piratta/>  
[http://www.ins-europa.org/treball\\_recerca/pdfs/Guia%20del%20Treball%20de%20Recerca%20de%20Batxillerat%2013-14.pdf](http://www.ins-europa.org/treball_recerca/pdfs/Guia%20del%20Treball%20de%20Recerca%20de%20Batxillerat%2013-14.pdf)  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_cin%C3%A9tica](https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_cin%C3%A9tica)  
[http://newton.cnice.mec.es/materiales\\_didacticos/energia/cinetica.html](http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/energia/cinetica.html)  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_potencial#C.C3.A1lculo\\_simplificado](https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_potencial#C.C3.A1lculo_simplificado)  
[http://newton.cnice.mec.es/materiales\\_didacticos/energia/conservacion.htm](http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/energia/conservacion.htm)  
<http://definicion.de/energia-mecanica/>  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Fuerza\\_centr%C3%ADpeta](https://es.wikipedia.org/wiki/Fuerza_centr%C3%ADpeta)  
<http://usuaris.tinet.cat/juditaf/forca-de-fregament/forca-de-fregament.htm>  
<http://fisicatraccion.weebly.com/kon-tiki-wave.html>  
<http://fisicatraccion.weebly.com/loopings.html>  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Shambhala:\\_Expedici%C3%B3n\\_al\\_Himalaya](https://es.wikipedia.org/wiki/Shambhala:_Expedici%C3%B3n_al_Himalaya)  
<http://www.bmwfaq.com/threads/modo-de-funcionamiento-coches-de-choque-sin-catenaria-ni-pantografo-como-funcionan.624106/>  
<http://www.aulafacil.com/cursos/l10243/bachillerato/fisica/dinamica-iii/choques-elasticos-y-choques-inelasticos>  
<http://es.slideshare.net/McQueenOfGaga/choques-elasticos-e-inelasticos-2>  
<http://study.com/academy/lesson/elastic-and-inelastic-collisions-difference-and-principles.html>  
<https://es.wikipedia.org/wiki/Hypercoaster>  
<http://www.fisicapractica.com/tipos-choque.php>  
<https://es.answers.yahoo.com/question/index?qid=20090214180646AAg5StJ>  
<http://www.fisicapractica.com/coeficiente-restitucion.php>  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Choque\\_\(f%C3%ADsica\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Choque_(f%C3%ADsica))  
<https://mx.answers.yahoo.com/question/index?qid=20090914231708AAvL1HA>  
<https://sites.google.com/site/timesolar/fuerza/ley-de-hooke/inelstico>

[http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/1000/1152/html/22\\_c  
hoques\\_elsticos\\_e\\_inelsticos.html](http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/1000/1152/html/22_c<br/>hoques_elsticos_e_inelsticos.html)

[https://es.wikipedia.org/wiki/Choque\\_\(f%C3%ADsica\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Choque_(f%C3%ADsica))

<https://answers.yahoo.com/question/index?qid=20090917215450AA6WCbH>

<http://fisicayquimicaenflash.es/dinamica/dinamica01b.htm>

<http://www.profesorenlinea.cl/fisica/EnergiaCinetica.htm>

[http://www.rrfisica.cat/num/num5/article\\_num=20&pos=9&total=9&art=71.html](http://www.rrfisica.cat/num/num5/article_num=20&pos=9&total=9&art=71.html)

[https://es.wikipedia.org/wiki/Choque\\_inel%C3%A1stico](https://es.wikipedia.org/wiki/Choque_inel%C3%A1stico)

<http://ideasecundaria.blogspot.com.es/2013/05/en-un-choque-frontal-contr-un-vehiculo.html>

<http://www.educaplus.org/play-246-Choque-inel%C3%A1stico.html>

<http://physics.about.com/od/physicsmtop/g/PerfectlyInelasticCollision.htm>

<http://study.com/academy/lesson/elastic-and-inelastic-collisions-difference-and-principles.html>

## 7. Agraïments

Vull agrair de tot cor a totes aquelles persones que m'han ajudat i recolzat durant tots aquests mesos de treball.

- En primer lloc, gràcies a la meva tutora Sònia per anar-me guiant al llarg de tot el projecte i per acceptar ser la meva tutora.
- Moltíssimes gràcies a la meva mare qui m'ha ajudat moltíssim i m'ha estat donant ànims des del principi, per calmar-me en els moments que estava estressada, que no han estat pocs i per ensenyar-me a utilitzar l'Excel.
- També mil gràcies a Christian Guerrero per acompanyar-me fins al parc d'atraccions, ajudar-me a prendre dades, gravar tots els vídeos, i també per mostrar-me recolzament i ensenyar-me de l'existència del programa noLimits Rollercoaster.
- Gràcies també a Javi Vázquez per ajudar-me a fer els gràfics de la caiguda lliure i a Meritxell Vidal per ajudar-me a realitzar la presentació.
- Als meus avis que em van acollir a casa seva, a canvi de veure'm asseguda en la butaca treballant dues setmanes i per tota l'atenció que em van donar.
- A les 105 persones que van realitzar la meva enquesta.
- Als meus companys de 2n de Batxillerat, en especial al meu company Joel.
- A tota la meva família, amics i a tots els que han fet possible la realització del Treball.

Gràcies