



La física de

l' **SCALEXTRIC**



Alumnes: Oriol Gasa
Jordi Ribó
Sergi Tuset

Tutora: Montse Ayala

Centre: IES Joan Brudieu
Curs: 2008-2009



Índex

1.- INTRODUCCIÓ:	3
2.- HIPÒTESI:	4
2.1.- LA FORÇA DE FRICCIÓ CINÈTICA:	4
2.2.- LA VELOCITAT MÀXIMA EN LA RECTA:	5
2.3.- LA VELOCITAT MÀXIMA EN LA CORBA:	5
3.- FONAMENTACIÓ TEÒRICA:	6
3.1.- LLEIS DE NEWTON:	6
3.2.- EL PES:	6
3.3.- LA FORÇA DE FRICCIÓ:	7
3.4.- LA VELOCITAT MÀXIMA EN LA RECTA:	8
3.5.- LA VELOCITAT MÀXIMA EN LA CORBA:	8
4.- EXPERIMENTACIÓ:	9
4.1.- VEHICLES UTILITZATS:	9
4.2.- PROGRAMES D'ANÀLISI DE VÍDEO:	10
4.3.- PROCEDIMENTS REALITZATS:	13
4.3.1.- DETERMINACIÓ DE LES MASSES DOBLE I TRIPLE:	13
4.3.2.- LA FORÇA DE FRICCIÓ CINÈTICA:	13
4.3.2.1.- Anàlisi de vídeo:	13
4.3.2.2.- Experiment pràctic:	14
4.3.3.- LA VELOCITAT MÀXIMA EN LA RECTA:	15
4.3.4.- LA VELOCITAT MÀXIMA EN LA CORBA:	16
5.- RESULTATS:	18
6.- CONCLUSIONS:	18
6.1.- LA FORÇA DE FRICCIÓ CINÈTICA:	18
6.2.- LA VELOCITAT MÀXIMA EN LA RECTA:	19
6.3.- LA VELOCITAT MÀXIMA EN LA CORBA:	19
7.- BIBLIOGRAFIA:	22
7.1.- ARTICLES DE PÀGINES I LLOCS WEB:	22
7.2.- LLIBRES:	23



1.- Introducció:

A partir d'un circuit d'*Scalextric* convencional, hem volgut estudiar el comportament de tres vehicles diferents tenint en compte les mateixes condicions (utilitzant el mateix recorregut) en un tram recte i en una corba.

Per començar la recerca que volíem dur a terme, ens formulàrem la pregunta: “**Quines variables intervenen en el comportament d'un vehicle d'*Scalextric*?**”, i vàrem pensar en les variables que hi influïen i vam decidir estudiar:

- La força de fricció cinètica.
- El pes del vehicle.
- El peralt en les corbes.

A partir de les variables estudiades, deduirem les velocitats màximes en cada tram (una recta i una corba).

Per realitzar la recerca, vam decidir utilitzar noves aplicacions informàtiques que ens proporcionava el laboratori de física (programes d'anàlisi de vídeo digital, que fins al moment no havien estat mai utilitzats per realitzar un treball de recerca al Institut), concretament els programes: *Multilab* i *Tracker*.

A més, per poder comparar els seus resultats, decidírem realitzar experiments pràctics utilitzant sensors i material del laboratori de física.



2.- Hipòtesi:

La pregunta que ens vam formular per poder començar a treballar fou la següent:

“Quines variables intervenen en el comportament d'un vehicle d'*Scalextric*?”

- Pressió exercida sobre el gatell del comandament (regula l'entrada de corrent elèctric al circuit).
- Fricció dels pneumàtics sobre la superfície de la pista.
- Aerodinàmica (Fricció amb l'aire).
- Pes del vehicle.
- Distància entre el imant i el rail metàl·lic de la pista.
- Guia del vehicle .
- Centre de masses o de gravetat.
- Peralt de la corba.
- Radi de la corba.

De les variables anteriors, hem estudiat:

2.1.- La força de fricció cinètica:

Pensem que en l'*Scalextric* el coeficient de fricció cinètic (μ_c) és molt elevat, perquè hem de tenir en compte la rugositat de la pista, la dels pneumàtics i l'atracció magnètica de l'imant del vehicle sobre la guia metàl·lica.

Una manera de comprovar-ho, a simple vista, es deixar anar el gatell del comandament, aleshores, el corrent elèctric deixa de circular i el vehicle s'atura a l'instant.

Creiem que a mesura que s'augmenta el pes del vehicle, la força de fricció serà major (ja que la força de fricció depèn del pes, segons, $F_f = \mu \cdot N$) però el coeficient de fricció (μ), es mantindrà constant.



Entre els tres vehicles que analitzarem, creiem que:

- El vehicle A tindrà major fricció que els altres dos si ens guiem pel gravat dels pneumàtics i pel pes.
- El vehicle B tindrà una fricció més propera a la del vehicle C ja que tenen característiques semblants, excepte en la tracció i en el gravat dels pneumàtics.
- El vehicle C desenvoluparà una fricció menor que els anteriors ja que és el més lleuger i té els pneumàtics llisos (*slicks*).

Per calcular el coeficient de fricció cinètic, emprarem dos experiments (anàlisi de vídeo i pràctic). Creiem que els resultats seran semblants.

A partir de les variables estudiades anteriorment, hem analitzat:

2.2.- La velocitat màxima en la recta:

Considerem que la velocitat màxima de cada vehicle dependrà de les seves característiques tècniques i del seu pes (a més pes, menys velocitat).

El vehicle que creiem que assolirà una velocitat més gran serà el C, en canvi, el més lent serà l'A. El vehicle B tindrà una velocitat semblant a la del C, però menor.

2.3.- La velocitat màxima en la corba:

Opinem que la velocitat en la corba varia força entre la peraltada i la plana.

El peralt ajuda a mantenir el vehicle dins de la trajectòria anant a més velocitat i el pes permet agafar la corba a més velocitat seguint la seva trajectòria, ja que li dona més estabilitat.

Pensem que les velocitats teòriques i les experimentals no diferiran gaire en tots els casos.



3.- Fonamentació teòrica:

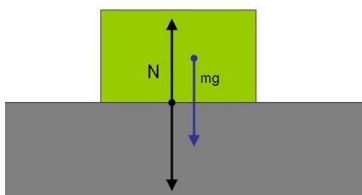
3.1.- Lleis de Newton:

La **mecànica clàssica** és una teoria del moviment basada en les idees de massa i força, i les lleis que relacionen aquests conceptes amb les magnituds cinemàtiques (posició, velocitat i acceleració). Les relacions fonamentals de la mecànica clàssica estan recollides en les Lleis de Newton, on es relacionen l'acceleració d'un cos amb la seva massa i amb les forces que hi actuen.

- **1a Llei de Newton, o “Llei de la inèrcia”:** Tot cos continua en el seu estat inicial de repòs o moviment amb velocitat uniforme al no ser que actui sobre ell una força externa neta o no equilibrada.
- **2a Llei de Newton:** L'acceleració d'un objecte es inversament proporcional a la seva massa i directament proporcional a la força externa que actua sobre l'objecte

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad (N)$$
- **3a Llei de Newton, o “Principi d'acció - reacció”:** Les forces actuen sempre per parells. Si un objecte A exerceix una força sobre un objecte B, B exercirà una força igual de signe contrari sobre A.

3.2.- El pes:



El **pes** és la força d'atracció que exerceix la Terra sobre la massa dels objectes. Es considera respecte a la força de la gravetat terrestre, de la intensitat del camp gravitatori, de la posició en la qual es troba el cos i de la massa. La força és constant a la superfície de la Terra, i reacciona com un moviment d'acceleració ($g = 9,81\text{N/kg} = 9,81\text{m/s}^2$).

$$P = m \cdot g$$

La massa dels cossos, és la quantitat de matèria que el forma, i no depèn ni del camp gravitatori, ni de la posició.

El **centre de masses o de gravetat** és el punt d'aplicació de forces gravitatòries que actuen sobre la distribució de masses d'un cos.



3.3.- La força de fricció:

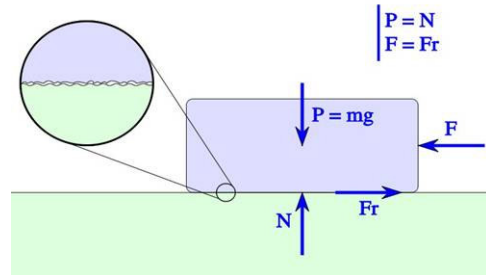
La **força de fricció** (F_f) entre dues superfícies en contacte és la força que actua en direcció contrària al moviment d'una superfície sobre l'altra a causa dels enllaços que es formen i es trenquen entre les molècules de les dues superfícies.

Aquesta força és independent de l'àrea de contacte i és simplement proporcional a la **força normal** (N) exercida pel terra sobre l'objecte, per tant, el **coeficient de fricció** (μ) depèn de la naturalesa de les superfícies.

$$F_f = \mu \cdot N = \mu \cdot m \cdot g \quad (N)$$

La força de fricció es pot classificar en:

- **Força de fricció estàtica** és la força que s'oposa a l'inici del moviment d'una superfície contra una altra.
- **Força de fricció cinètica** és la força que s'oposa al moviment quan aquest ja està iniciat.
- **Força de fricció per rodament** és la força necessària per mantenir una roda girant a velocitat constant sobre una superfície horitzontal.



Des d'un punt de vista històric, Leonardo da Vinci, a finals del segle XV, fou el primer que definí el fregament com a força, tot i que, des de la prehistòria ja s'havien utilitzat les seves propietats per a fer foc.

Al segle XVII, Guillaume Amontons, físic francès, va redescobrir les lleis de fregament estudiant el lliscament sec entre dues superfícies planes. Les seves deduccions són les que s'estudien en els llibres de física general: *“La força de fregament s'oposa al moviment, és proporcional a la força que s'exerceix i no depèn de l'àrea de contacte.”*

Més tard, el físic francès Coulomb va afegir una propietat més: *“una vegada començat el moviment, la força de fregament és independent de la velocitat.”*



3.4.- La velocitat màxima en la recta:

La **velocitat mitjana** és el quocient entre la distància total recorreguda i el temps invertit en realitzar el desplaçament.

$$v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t} (m/s)$$

La **velocitat instantània** és la velocitat d'una partícula en un instant, és a dir, en un temps específic, i si la partícula es mou en una dimensió, es defineix com a:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} (m/s)$$

i si es mou en el pla, es defineix com a:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x \vec{i} + \Delta y \vec{j}}{\Delta t} (m/s)$$

és a dir,

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{dx}{dt} \vec{i} + \frac{dy}{dt} \vec{j} (m/s)$$

3.5.- La velocitat màxima en la corba:

En els revolts, hi sol haver peralt, el qual augmenta l'estabilitat dels vehicles, que com que no estan units al centre de la corba, es veuen afectats pel principi d'inèrcia i tenen tendència a sortir del revolt.



Si un vehicle circula per una corba plana, el pes i la normal s'anul·len i la força resultant (força centrípeta F_c) és la força de fricció F_f . El vehicle té tendència a moure's en línia recta, per tant, el vehicle intenta sortir cap enfora del revolt, i així, el fregament actua en sentit contrari, és a dir, cap a centre de la corba.

Si no hi ha peralt, a una determinada velocitat, la força de fricció pot no proporcionar al vehicle la força centrípeta suficient, llavors, les rodes patinarien, i fins i tot, el vehicle podria arribar a sortir de la trajectòria i bolcar, per tant, el peralt millora l'estabilitat del vehicle.



4.- Experimentació:

4.1.- Funcionament de l'Scalextric: (Vegi's pàg. 8 Annexos)

4.2.- Material utilitzat: (Vegi's pàg. 11 Annexos)

4.2.1.- Vehicles utilitzats:

▪ **Vehicle A:** Característiques:

- **Model:** Volkswagen Touareg
- **Tracció:** 4x4
- **Longitud:** 13,0cm
- **Amplada:** 6,0cm
- **Alçada:** 5,5cm
- **Gravat dels pneumàtics:** tacs (*studded*)
- **Massa (g):**



♦ **Massa original:**

Mesura 1	Mesura 2	Mesura 3	Mitjana
111,8	111,6	111,2	111,5

♦ **Massa doble:**

Mesura 1	Mesura 2	Mitjana
223,0	222,4	222,7

♦ **Massa triple:**

Mesura 1	Mitjana
337,0	337,0

▪ **Vehicle B:** Característiques:

- **Model:** Citroën Xsara WRC
- **Tracció:** 4x4
- **Longitud:** 13,0cm
- **Amplada:** 5,8cm
- **Alçada:** 4,0cm
- **Gravat dels pneumàtics:** ratllat
- **Massa (g):**



♦ **Massa original:**

Mesura 1	Mesura 2	Mesura 3	Mitjana
87,9	88,1	88,0	88,0

♦ **Massa doble:**

Mesura 1	Mesura 2	Mitjana
177,7	177,1	177,4



♦ **Massa triple:**

Mesura 1	Mesura 2	Mitjana
262,9	262,4	262,7

▪ **Vehicle C:** Característiques:

- **Model:** Seat León WTCC 2006
- **Tracció:** Posterior
- **Longitud:** 13,5cm
- **Amplada:** 6,0cm
- **Alçada:** 3,8cm
- **Gravat dels pneumàtics:** llisos (*slick*)
- **Massa (g):**



♦ **Massa original:**

Mesura 1	Mesura 2	Mesura 3	Mitjana
85,9	85,8	85,6	85,8

♦ **Massa doble:**

Mesura 1	Mesura 2	Mitjana
169,3	168,8	169,1

♦ **Massa triple:**

Mesura 1	Mesura 2	Mitjana
256,9	256,4	256,7

4.2.- Programes d'anàlisi de vídeo:

- **Tracker:**

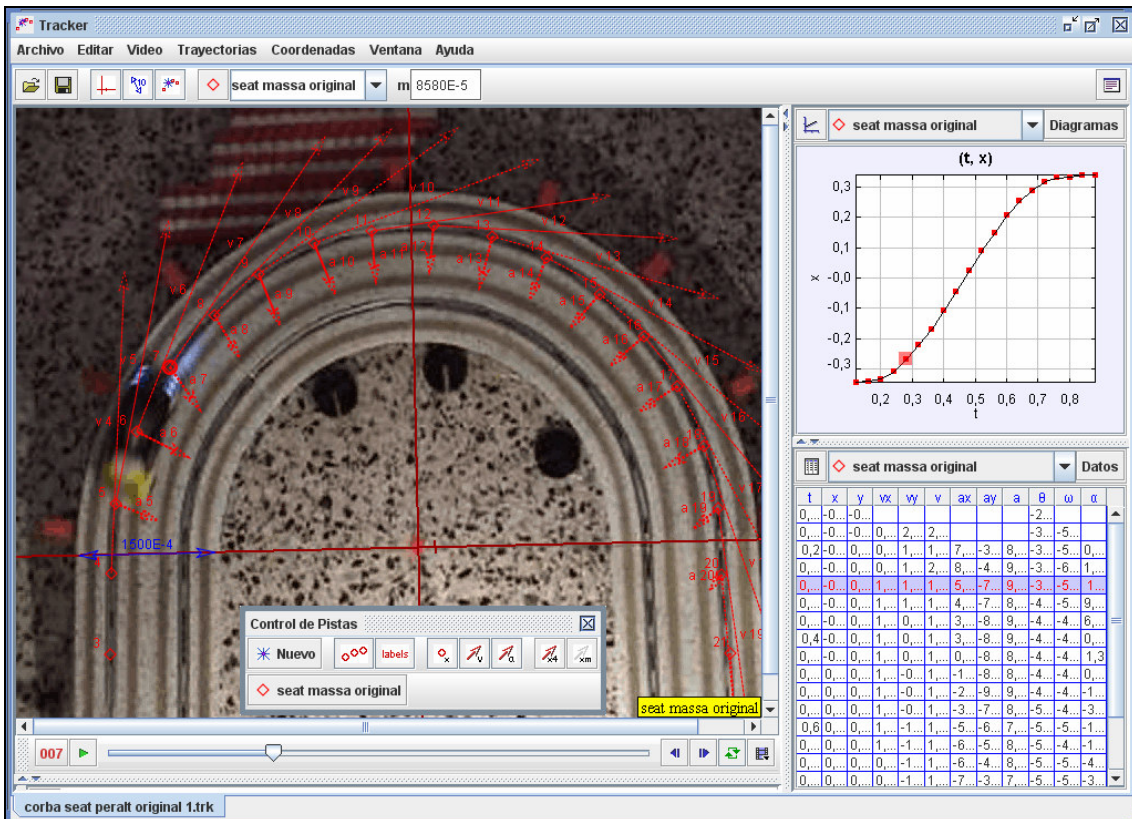
El *Tracker* és un programa d'anàlisi de vídeo que permet, a partir d'un arxiu de vídeo digital (determinant l'escala i els eixos de coordenades), trobar la posició en cada fotograma, d'un mòbil, i així calcular les magnituds del moviment circular (θ , ω , α), a més de les magnituds del moviment rectilini (r , v , a , i les seves components, respectivament).

Per iniciar l'anàlisi de vídeo, primer, vam determinar l'amplada de la pista com a escala de referència, i ajustarem els eixos de manera que l'origen de coordenades coincidís amb el centre de la corba (punt marcat amb vermell), tal i com es pot observar a la imatge.

Els resultats amb el *Tracker* els vàrem obtenir després de marcar un mateix punt (les llums davanteres del vehicle) en cada fotograma.



El programa ens proporcionava una taula amb totes les magnituds esmentades anteriorment entre altres, de manera que exportant-la a l'Excel, podíem tractar les dades i elaborar els gràfics necessaris. A més, el programa ens permetia veure els vectors de velocitat i d'acceleració.



– **Multilab:**

El *Multilab* és un programa d'anàlisi de vídeo que permet, a partir d'un arxiu de vídeo digital (determinant l'escala i els eixos de coordenades), trobar la posició en cada fotograma, d'un mòbil.

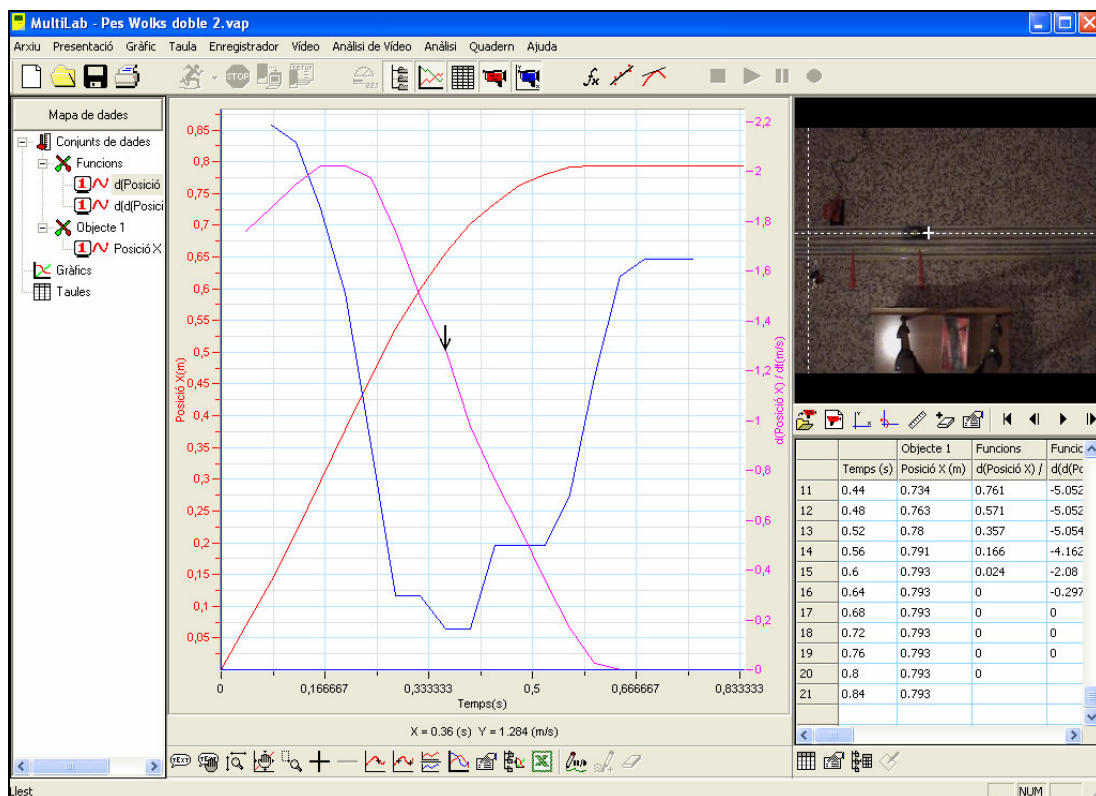
El programa proporciona una taula i un gràfic (posició – temps) i mitjançant els quals es pot obtenir diferents magnituds (per derivació, ajust lineal, ...).





Per a iniciar l'anàlisi del vídeo, vam haver de configurar cada experiment, com s'observa a la imatge, ajustant els eixos al carril per on passaven els vehicles, situant l'origen de coordenades al punt del primer fotograma on marcaríem amb el cursor, per tal que la posició inicial fos 0, o la més propera a 0, i donant una escala mètrica de referència.

Els resultats amb el *Multilab*, els obtenírem després de col·locar un cursor en cada fotograma, fent-los coincidir sempre en un mateix punt (les llums davanteres del vehicle). El programa ens donava el gràfic *posició-temps*, i derivant-lo vam obtenir els gràfics *velocitat-temps* i *acceleració-temps*. Juntament amb els gràfics, vàrem extreure les diferents taules de dades que ens donaven els valors numèrics de cada magnitud en cada instant, per després tractar les dades mitjançant l'*Excel*.



– **Microsoft Excel:**

L'*Excel* és un programa de full de càlcul, que hem utilitzat per tractar les dades obtingudes amb els programes d'anàlisi de vídeo (Tracker i Multilab) i obtenir-ne taules i gràfics.



4.3.- Procediments realitzats:

En tots els experiments (realitzats en tres ocasions per a que fossin més precisos) hem utilitzat els tres vehicles i els hem variat la massa (original, doble i triple) per analitzar-ne el comportament.

En la recerca del nostre treball, hem estudiat les variables següents:

4.3.1.- Determinació de les masses doble i triple:

L'experiment va consistir en què el vehicle pesés el doble i el triple, i així, analitzar-ne el coeficient de fricció cinètic (μ_c) i la velocitat màxima en la corba i en la recta.

Primer vam calcular el doble i el triple de la massa dels vehicles amb la calculadora.

Després vam col·locar el vehicle a la balança i vam anar afegint-hi pesos fins que vam aconseguir el pes aproximat (al doble i al triple). Per a les masses inferiors a 300g, vam realitzar la mesura amb dues balances, mentre que per a les masses superiors, la realitzàrem amb una, ja que la massa màxima mesurable d'una balança era de 300g.



Finalment, per fixar-los als vehicles vam utilitzar cinta adhesiva i els col·locàrem a la part superior i central del vehicle, com s'observa en la imatge.

El pesos sobresortien del vehicle, fet que disminuïa l'estabilitat ja que el centre de masses o de gravetat s'allunyava de la pista.

4.3.2.- La força de fricció cinètica:

4.3.2.1.- Anàlisi de vídeo:

L'experiment fou realitzat mitjançant l'anàlisi de vídeo digital, concretament amb el programa *Multilab*.

Vam agafar trams rectes de pista d'*Scalextric* que mesuraven en total 3,15m, el vehicle estava situat a l'inici de la recta, i la càmera, amb la què gravàvem, estava col·locada a



1,3m del final de la pista, paral·lela a ella uns 25cm, i amb una altura de 2m. Aquesta enregistra 1,40m de la pista.

Els vehicles estaven en repòs i, aleshores, premeiem el comandament al màxim i així del cotxe accelerava durant 1,1m fins a assolir una velocitat alta, i en el moment en què travessaven el punt determinat (a 1,1m de l'inici de la pista), deixàvem anar el gatell del comandament, i llavors, es tallava el pas de corrent. Sense energia elèctrica, els vehicles perdien la velocitat i quedaven aturats.

Per calcular μ_c hem utilitzat les següents fórmules: (Dedució pàg. 13 Annexos)

$$\begin{cases} |F_f| = \mu_c \cdot |N| \\ \mu_c = \frac{|F_f|}{|N|} \end{cases}$$

4.3.2.2.- Experiment pràctic:

L'experiment consistia en lligar un vehicle a un contrapès, i mitjançant la força que exercia aquest, recórrer una distancia.

Primer, vam col·locar al cantell de la taula una politja, i davant seu, vàrem situar-hi dos trams de pista d'*Scalextric*. Amb l'ajut d'un nivell i d'unes falques anivellàrem la pista, per tal que quedés del tot plana, per aconseguir més precisió en l'experiment.

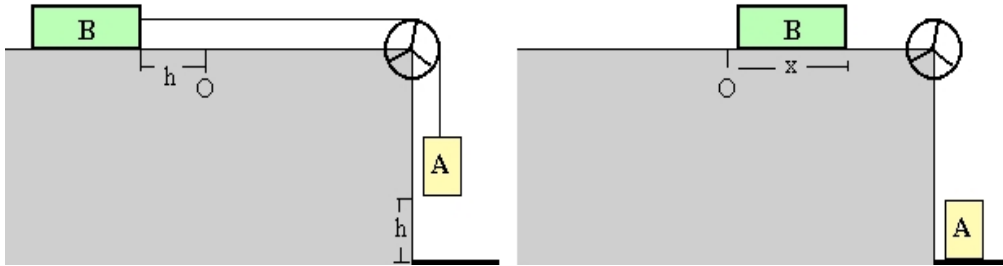


Després, vàrem marcar amb un retolador permanent sobre el rail de la pista el punt de sortida del vehicle (bloc B), a 56cm de la politja. A continuació, unírem el portapesos (bloc A) amb el vehicle mitjançant un fil de 0,45mm de diàmetre i 80cm de longitud.

Per mesurar l'alçada del portapesos (h) respecte la superfície en la què xocaria, vam col·locar el vehicle en la posició de sortida, posàrem els pesos al portapesos, i mentre un aguantava el cotxe perquè el pes no el fes moure, un altre mesurava la distància entre els pesos i la superfície.



Un cop realitzat, quan el contrapès ja no oscil·lava, vàrem deixar anar el vehicle. La tensió que exercia el contrapès sobre el vehicle, el feien avançar llarg de la pista, quan el contrapès va arribar a la superfície, deixà de produir treball, el vehicle va seguir en moviment fins que s'aturà a causa de la fricció. Quan s'havia aturat, mesuràrem la posició final en la què havia quedat per després de calcular la distància recorreguda (Δx).



Per calcular el coeficient de fricció cinètic (μ_c) vam utilitzar les següents fórmules: (Deducció pàg. 14 Annexos)

$$\mu_c = \frac{m_A \cdot h}{(m_A + m_B) \Delta x + m_B \cdot h}$$

A partir de les variables estudiades anteriorment, hem analitzat:

4.3.3.- La velocitat màxima en la recta:



La pista mesurava 3,15m llargada, en la qual hi trobàvem tres trams: el primer tram (1,60m) on el vehicle accelerava, i el segon, d'1,40m de llargada on el vehicle es movia amb MRU (considerant negligible el fregament i considerant que el vehicle havia adquirit la seva velocitat màxima), que era l'enregistrat per la càmera, i el tercer, de 0,15m, on el vehicle frenava.

Els vehicles partien del repòs, i acceleraven (prement al màxim gatell el comandament), fins al final de la pista on hi vàrem col·locar unes proteccions d'escuma per evitar danys als vehicles.



Per poder fixar una escala exacta al programa, vam marcar un tram de recta (0,35m) amb dues peces vermelles.

La col·locació de tots els elements de gravació, era igual que a l'experiment de la fricció, com s'observa en la imatge (pàgina anterior).

Els vídeos obtinguts, els vam analitzar amb el Multilab, i tenint la gràfica posició – temps, ajustant-la a una recta, obtenírem la fórmula de la funció, i al mateix temps, derivant-la, la velocitat del vehicle.

A partir de la fórmula de l'ajust lineal, obtenim la velocitat (v):

$$v = \frac{dx}{dt} \text{ (m / s)}$$

4.3.4.- La velocitat màxima en la corba:

L'experiment va consistir en fer passar el vehicle per una corba de 180°, amb peralt o sense, a la màxima velocitat possible sense que sortís del revolt.

El mètode que vàrem utilitzar per calcular les magnituds de les corbes fou mitjançant l'anàlisi de vídeo digital amb un programa diferent al utilitzat anteriorment, *Tracker*.

Per realitzar l'enregistrament, vam muntar 10 trams de recta de 35cm de llargada cada un, 5 a l'entrada i 5, a la sortida de la corba de 180° (formada per 4 trams de corba).

Per muntar el peralt, vàrem agafar vuit peces de peralt regulable, en el seu angle més gran, i les vam anar col·locant alternativament al llarg de la corba.

Com que la part interior de la corba s'aixecava, vàrem fixar-la al terra amb cinta adhesiva i amb un pes de 100g sobre d'ella perquè no s'aixequés.

Per calcular el radi de la corba, a partir de la seva longitud d'arc:

$$L = 2 \cdot \pi \cdot r$$

$$2,16 = 2 \cdot \pi \cdot r$$

$$r = \frac{2,16}{2 \cdot \pi} = \frac{1,08}{\pi} = 0,344m$$

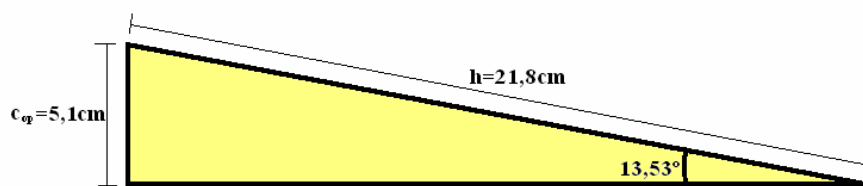


Per calcular l'angle del peralt mesurarem amb una cinta mètrica: la llargada de la pista des del terra fins a la part exterior de la pista i l'altura de la part exterior de la pista amb el terra. Així:

$$\sin \varphi = \frac{c_{oposat}}{h} = \frac{5,1}{21,8} = 0,234$$

$$\arcsin 0,234 = 13,53^\circ \cdot \frac{\pi \text{ rad}}{180^\circ} = 0,236 \text{ rad}$$

$$\cos \varphi = \sqrt{1 - \sin^2 \varphi} = \sqrt{1 - \left(\frac{5,1}{21,8}\right)^2} = 0,972$$



Al centre de la circumferència hi vam col·locar un punt vermell per facilitar la situació dels eixos en el moment d'analitzar mitjançant el programa.

La càmera estava situada a una alçada de 1,65m i enregistrava la corba i una petita part de la recta d'entrada i de sortida.



En acabar els enregistraments de la corba plana, col·locàrem un peralt de $13,53^\circ$, i vam repetir les mateixes filmacions anteriors, però ara, amb la corba peraltada.

Quan acabàrem d'enregistrar els vídeos, els vam analitzar mitjançant el programa *Tracker*, que ens proporcionà les magnituds que necessitàvem per realitzar l'estudi de velocitats en el moviment circular.



Per calcular la velocitat màxima teòrica, hem utilitzat les següents fórmules: (Deducció pàg. 15 Annexos)

- **Sense peralt:** calculem la velocitat màxima.

$$v_{\max} = \sqrt{\mu_c \cdot r \cdot g}$$

- **Amb peralt:** calculem la velocitat màxima.

$$v_{\max} = \sqrt{r \cdot g \frac{\sin \varphi + \mu_c \cdot \cos \varphi}{\cos \varphi - \mu_c \cdot \sin \varphi}}$$

Per calcular la velocitat màxima experimental, vam fer la mitjana entre totes les velocitats instantànies obtingudes en el pas de la corba:

$$v_m = \frac{\sum_n v}{n} \quad (m/s)$$

5.- Resultats: (Vegi's pàg. 17 Annexos)

6.- Conclusions:

6.1.- La força de fricció cinètica:

Després de realitzar l'experimentació, hem observat que:

- El coeficient de fricció cinètic disminueix en tots els vehicles si augmentem la massa en els dos experiments (anàlisi de vídeo i pràctic), resultat que contradiu la nostra hipòtesi.

Creiem que aquesta variació és atribuïble al fet que com més pes hi afegim sobre el vehicle, les rodes s'adhereixen més a la superfície de la pista, i en conseqüència, es disminueix el bloqueig de les rodes provocat pel motor (al interior de motor trobem dos pols oposats, i separats per la bobina, aquests generen un camp magnètic que provoca que quan el motor no rep energia elèctrica no es mou de manera uniforme).



- El coeficient de fricció cinètic varia entre els dos experiments realitzats (en les mateixes condicions): a l'experiment d'anàlisi de vídeo, el coeficient de fricció és més gran que a l'experiment pràctic, fet que contradiu les nostres hipòtesis. Pensem que aquesta variació és deguda a que en l'experiment pràctic, el vehicle parteix del repòs, i a l'aplicar-li una força brusca (la tensió del contrapès que hi pengem), les rodes no giren (a causa del camp magnètic explicat anteriorment), per tant, les rodes llisquen sobre la superfície de la pista provocant la disminució del coeficient de fricció.
- Segons com havíem formulat en la hipòtesi, el vehicle que té més coeficient de fregament és el vehicle A, mentre que els altres dos, tenen uns valors similars.

6.2.- La velocitat màxima en la recta:

Després de l'experimentació, hem comprovat que, al variar el pes, varia la velocitat màxima del vehicle, (a més pes, menys velocitat), per tant, aquest resultat confirma la nostra hipòtesi.

Pensem que aquest fet és causat per la dificultat que té el motor per poder accelerar amb un pes superior al original, ja que la força de fricció és major, a major pes ($F_f = \mu \cdot N = \mu \cdot m \cdot g$) i aquesta s'oposa al moviment. El corrent que fa moure el vehicle és constant, i per tant, la força resultant del vehicle disminueix amb el pes.

6.3.- La velocitat màxima en la corba:

En acabar els nostres experiments, arribem a la conclusió que:

- **Corba sense peralt:** Hem observat que, en tots els vehicles, a l'augmentar la seva massa, la velocitat d'aquest disminueix (com passa en la recta).
- **Corba amb peralt:** Havent analitzat els resultats, concloem que cada vehicle es comporta diferent, i per aquesta raó exposem les conclusions per separat:
 - **Vehicle A:** La reacció del vehicle és diferent que en la corba sense peralt, en la massa original, assoleix una velocitat més alta que en la massa doble i triple, però en canvi, en la massa triple, la velocitat és major que en la massa doble.



Això pot ésser degut a les seves característiques tècniques, (no està preparat per funcionar amb tant pes a sobre) i en ocasions, el seu funcionament no era l'adequat. Malgrat que en els tres experiments preïem el gatell del comandament al màxim i l'espai d'acceleració era el mateix, la velocitat màxima era diferent.

- Vehicles B i C: Ens hem adonat que, si augmentem la massa dels vehicles, les seves velocitats són menors. Aquest fet contradiu la nostra hipòtesi. Creiem que és degut al desplaçament del centre de masses. Al col·locar els pesos per variar la massa, augmentaven l'alçada del vehicle (ja que els col·locàvem en la part superior del vehicle), i aquest perdia estabilitat perquè el centre de masses estava més separat de la pista.
- **Comparació entre corba amb peralt i sense peralt:**
 - En la massa original, els vehicles assoleixen major velocitat quan la corba és plana.
 - En la massa doble, les velocitats són semblants, per tant, es demostra que en aquest cas, el peralt no influeix.
 - En la massa triple, les velocitats més grans són les de la corba peraltada.

Per tant per aconseguir una major velocitat màxima influeix el peralt i la massa, com més massa té el vehicle, més peralt necessita per poder recórrer el tram en un temps menor.

Aquest fet podria ser causat pel desplaçament del centre de gravetat, com més massa té el vehicle, més distanciat de la pista està el centre de masses. Per tant, en la corba plana, com més massa, l'estabilitat del vehicle és menor, i per tant, té més tendència a sortir de la trajectòria, tombant-se; en canvi, en la corba peraltada, la inclinació del peralt ajuda a que el vehicle no tendeixi tant a tombar-se cap enfora quan el vehicle té més massa, és a dir, quan el centre de masses està més separat de la pista, i per tant, el vehicle pot assolir més velocitat en el pas per corba.

- **Comparació entre velocitats teòriques i experimentals:** Les velocitats teòriques calculades a partir dels coeficients de fricció obtinguts mitjançant l'anàlisi de vídeo, s'aproximen més a les velocitats experimentals, que els obtinguts amb l'experiment pràctic. Aquest fet és degut a la diferència entre els



coeficients de fricció utilitzats (diferència explicada anteriorment en la conclusió de la fricció).

La diferència entre les velocitats teòriques i les experimentals, creiem que és causada per la força que exerceix la guia del vehicle sobre la pista i pel desplaçament del centre de masses (en la velocitat teòrica es considera un cos de massa puntual i de centre de masses proper a la pista, en canvi, en la velocitat experimental, el centre de masses està més distanciat de la pista, ja que els pesos sobresurten del vehicle).

Aquesta diferència contradia la nostra hipòtesi.

A partir de les conclusions, responem les següents qüestions:

- **Quin vehicle tindrà menys fricció? I quin en tindrà més?**
Els vehicles que tenen menys fricció són els B i C (tenen uns coeficients de fricció semblants). El vehicle amb més fricció és l'A.
- **Seran semblants els resultats dels experiments de la fricció?**
No, són diferents.
- **Quin serà el vehicle més ràpid? I quin serà el més lent?**
El vehicle més ràpid és el C. El vehicle més lent és l'A.
- **Quin vehicle assolirà més velocitat en la corba? I quin n'assolirà menys?**
En la corba sense peralt el vehicle més ràpid és el B, mentre que en la peraltada, és el C. El vehicle més lent en tots els casos és l'A .
- **Influirà el peralt en la velocitat màxima de la corba?**
Sí, influenciarà amb la massa del vehicle.
- **Les velocitats teòriques i les experimentals en la corba diferiran gaire?**
Sí, difereixen força.
- **Influirà el pes en la velocitat?**
Sí, a més pes, menys velocitat.



7.- Bibliografia:

7.1.- Articles de pàgines i llocs web:

- BROWN, Douglas. *Tracker Video Analysis and Modeling Tool* [en línia]. 2008. Disponible des d'Internet a:
<<http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker>> [consulta: 20-11-2008]
- FRANCO, Ángel. *La fuerza centrífuga y la estabilidad de un vehículo* [en línia]. Actualització 3-10-2006. Disponible des d'Internet a:
<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/dinamica/circular/din_circular.htm>
[consulta: 17-10-2008]
- FRANCO, Ángel. *El rozamiento por deslizamiento* [en línia]. Actualització 3-10-2006. Disponible des d'Internet a:
<<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/dinamica/rozamiento/general/rozamiento.htm>> [consulta: 17-10-2008]
- FRANCO, Ángel. *La fuerza centrífuga y la estabilidad de un vehículo* [en línia]. Actualització 3-10-2006. Disponible des d'Internet a:
<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/dinamica/circular/din_circular.htm>
[consulta: 17-10-2008]
- VIQUIPÈDIA. *Fricció* [en línia]. Actualització 5-9-2008. Disponible des d'Internet a: <<http://ca.wikipedia.org/wiki/Fricci%C3%B3>> [consulta: 17-10-2008]
- VIQUIPÈDIA. *Microsoft Excel* [en línia]. Actualització 15-11-2008. Disponible des d'Internet a: <http://ca.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Excel> [consulta: 20-12-2008]
- WIKIPEDIA. *Centro de gravedad* [en línia]. Actualització 1-11-2008. Disponible des d'Internet a: <http://es.wikipedia.org/wiki/Centro_de_gravedad> [consulta: 22-12-2008]
- WIKIPEDIA. *Delga* [en línia]. Actualització 22-8-2008. Disponible des d'Internet a: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Delga>> [consulta: 22-12-2008]
- WIKIPEDIA. *Escobilla (electricidad)* [en línia]. Actualització 22-8-2008. Disponible des d'Internet a:
<[http://es.wikipedia.org/wiki/Escobilla_\(electricidad\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Escobilla_(electricidad))> [consulta: 22-12-2008]



- WIKIPEDIA. *Fricción* [en línia]. Actualització 13-10-2008. Disponible des d'Internet a: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Fricci%C3%B3n>> [consulta: 17-10-2008]
- WIKIPEDIA. *Motor de corriente continua* [en línia]. Actualització 17-12-2008. Disponible des d'Internet a: <http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_corriente_continua> [consulta: 22-12-2008]
- WIKIPEDIA. *Reostato* [en línia]. Actualització 5-11-2008. Disponible des d'Internet a: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Reostato>> [consulta: 22-12-2008]
- WIKIPEDIA. *Resistor* [en línia]. Actualització 18-12-2008. Disponible des d'Internet a: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Resistor>> [consulta: 22-12-2008]
- WIKIPEDIA. *Slot (modelismo)* [en línia]. Actualització 9-12-2008. Disponible des d'Internet a: <[http://es.wikipedia.org/wiki/Slot_\(modelismo\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Slot_(modelismo))> [consulta: 22-12-2008]

7.2.- Llibres:

- JOSEPH, Joan [et al.]. «Bloc 2. Sistemes electrotècnics: Unitat 4. Electromagnetisme i corrent altern: 4.3 Acció d'un camp magnètic sobre un conductor recorregut per un corrent elèctric; Unitat 5. Màquines elèctriques: 5.2 Generadors elèctrics, 5.3 Motors elèctrics». *Tecnología Industrial 2 · Batxillerat*. 1a ed. Aravaca (Madrid): Mc Graw Hill, 2008. p. 100, 124-144. ISBN 978-84-481-6157-6.
- MASJUAN, M. D. [et al.]. «3. Dinàmica: 7. Fregament entre sòlids». *1 Física Batxillerat*. 3a ed. Barcelona: Casals, 2005. p.70-74. ISBN 84-218-2785-5.
- MERCADÉ, Joan [et al.]. «3. Dinàmica 1: 3.2. Les lleis de Newton; 3.3. Alguns exemples d'aplicació de les lleis de Newton; 3.5. Dinàmica del moviment circular». *Física 2 Batxillerat*. Sèrie Astrolabi. Madrid: Mc Graw Hill, 2003. p.74-86 i 89-97. ISBN 84-481-2157-0.
- TIPLER, Paul A. «Parte 1 Mecánica: capítulo 2 Movimiento en una dimensión; capítulo 3 Movimiento en dos y tres dimensiones; capítulo 4 Leyes de Newton I; capítulo 5 Leyes de Newton II». *Física*. v.1. 3a ed. Bilbao: Reverté, 1995. p. 20-135. ISBN 84-291-4367-X.