

Memòria del treball

1. Circuit teòric

1.1. Traçat

Aquest era el traçat de l'antic circuit de Montjuïc que adaptarem per tal que s'hi puguin assolir velocitats superiors. Els noms que hi apareixen situen el circuit en el mapa de Barcelona. No els he tret per tal que recordin el circuit inicial. Més endavant aquests noms seran substituïts per noms de possibles espònsors, conservant-ne algun en memòria de l'antic circuit.



1.2. Adaptació

Per adaptar aquest circuit haurem d'estudiar les velocitats que s'assoleixen en zones similars dels altres circuits del mundial i intentar, mitjançant càlculs, que s'hi puguin assolir velocitats similars.

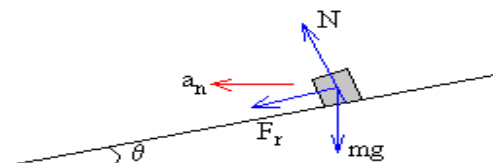
La deducció teòrica per fer-ne els càlculs és la següent:

En primer lloc observarem les corbes que farem peraltades, és a dir inclinades, per tal de donar major energia cinètica al cotxe per tal que pugui girar amb més facilitat, i, per tant, a més velocitat.

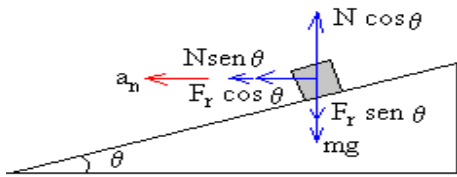
1.2.1. Càlcul de les corbes

Les forces que actuen sobre el cotxe són el pes (mg), el fregament (F_f) i la normal (N).

Un cop trobat el sistema de referència cal començar a operar.



Agafarem com a eix principal el del pes, i descomposarem la normal i la força de fregament segons aquest, amb la qual cosa obtindrem el que es representa en el següent dibuix:



En aquest podem observar clarament els eixos que seguirem a l'hora de treballar amb les dades.

D'aquesta manera trobem que a l'eix d'ordenades hi ha una situació d'equilibri que seria:

$$N \cos \alpha = F_f \sin \alpha + mg$$

A l'eix d'abscisses hi hem d'aplicar la segona llei de Newton associada al moviment circular:

La R és el radi de curvatura que surt de la circumferència que es pot associar a cada corba.

$$N \sin \alpha + F_f \cos \alpha = mv^2/R$$

Així, sabent que la força de fregament és proporcional a la força normal $F_f = \mu N$ arribem a aquest sistema d'equacions

$$\text{Eix y: } N(\cos \alpha - \mu \sin \alpha) = mg$$

$$\text{Eix x: } N(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) = mv^2/R$$

i d'aquest en deduïm la velocitat màxima a la que pot circular el vehicle amb seguretat:

$$v = \sqrt{Rg \frac{\sin \alpha + \mu \cos \alpha}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha}}$$

Sabent això, modificarem l'angle i l'amplada de la calçada per tal d'aconseguir velocitats molt altes sense arribar a valors que ens facin perdre seguretat.

L'angle serà modificat en un màxim de 15° a les corbes més fortes, mentre que l'amplada de la calçada podrà ser més variable.

El primer que hem de fer un cop plantejat això és trobar gràficament els radis de corbatura. Això ho farem amb una mica de paciència provant diferents

combinacions amb el compàs, ja que el que m'interessa no és una precisió exacta en el dibuix del circuit de Montjuïc, sinó que el circuit quedi ben definit, encara que hi hagi petites diferències. Aquests radis els introduïrem a la simulació d'una pàgina [web](#) que funciona amb el programa hyperphysics, juntament amb els valors del peralt i del fregament i el programa ens donarà el resultat, de manera que no caldrà que fem tots els càlculs manualment.

Els resultats obtinguts són els següents:

Quadre de temps de corba

Corba	Inclinació del peralt	Radi de curvatura	Velocitat màxima assolible	Distància recorreguda	Temps de recorregut
1	15°	35.86 m	88 Km/h =24.4m/s	56 m	2.291s
2	12°	51.23 m	100 Km/h =27.7m/s	56 m	2.016s
3	8°	266.39 m	211.9 Km/h =58.9m/s	147 m	2.497s
4	10°	240.78 m	208 Km/h =57.7 m/s	97 m	1.679s
5	12°	61.48 m	109.6 Km/h =30.4 m/s	71 m	2.332s
6	12°	61.48 m	109.6 Km/h =30.4m/s	111 m	3.645s
7	15°	35.86 m	88 Km/h = 24.4m/s	97 m	3.968s
8	12°	107.58 m	145 Km/h =40.27m/s	229 m	5.685s
9	15°	30.73 m	82.22 Km/h=22.83m/s	97 m	4.247s
10	2°	671.109 m	303.33 Km/h=84.3m/s	629 m	7.465s
11	5°	204.91 m	178.25 Km/h=49.5m/s	301 m	6.079s
12	5°	179.30 m	164.74 Km/h=45.8m/s	450 m	9.834s
13	5°	199.795 m	173.90 Km/h=48.3m/s	280 m	5.796s
14	12°	133.19 m	161.40 Km/h=44.8m/s	244 m	5.442s
15	12°	133.19 m	161.40 Km/h=44.8m/s	97 m	2.164s

Ara ja tenim totes les dades necessàries pel que fa a les corbes. El següent pas serà calcular quina velocitat es pot assolir a les rectes tenint en compte la massa de la gasolina que tenim en cada moment.

1.2.2. Càlcul dels temps de recta

Treball

Per calcular el temps de recta ho farem a partir del teorema del treball i l'energia, que diu que el treball net fet sobre un cos és igual a l'increment de la seva energia cinètica.

$$W = \Delta E_c$$

Aquest treball serà la diferència del treball del motor menys el treball fet per les forces de fregament.

$$W = W_m - W_f$$

El treball resultant és igual a la variació de l'energia cinètica del cotxe, de la qual extraurem la velocitat final de recta, gràcies a la qual acabarem trobant el temps que triga en recórrer aquesta recta, que és el que ens interessa finalment.

$$W = \Delta E_c = 1/2 mv^2$$

Tot això ho desenvoluparem segons el protocol següent:

El primer que hem de fer és igualar les dues fórmules de la següent manera:

$$\Delta E_c = W$$

$$\Delta E_c = 1/2mv^2 - 1/2mv_0^2$$

$$W = W_m - W_f$$

$$1/2mv^2 - 1/2mv_0^2 = W_m - W_f$$

El treball del motor l'obtindrem de multiplicar el consum per metre per la distància, és a dir el consum del tram, per el poder calorífic de la gasolina que és de $3,4 \times 10^7$ KJ/L (C) pel rendiment del cotxe, que considerarem que és del 40%.

$$W_m = \text{consum} \times d \times C$$

El treball fet per les forces de fregament serà el resultat de multiplicar el coeficient de fregament per la normal (que en aquest cas serà igual al pes) i per la distància recorreguda.

$$W_f = \mu \cdot N \cdot d$$

D'aquí n'aïllarem la velocitat final de la recta.

Velocitat

Amb aquesta velocitat calcularem l'acceleració mitjana mitjançant la fórmula:

$$V^2 = V_0^2 + 2ax$$

$$a = (V^2 - V_0^2) / 2x$$

Temps

Finalment, només ens falta calcular el temps de recta substituint els valors obtinguts a la fórmula següent:

$$V = V_0 + at$$

$$t = (V - V_0) / a$$

El que farem primer lloc un cop sabem com calcular el temps de recorregut de les rectes, serà calcular la volta ràpida. Per fer això considerarem que la massa de gasolina que porta és la mínima, amb la qual només podrà fer aquesta volta. Aquesta volta ràpida només seria assolible en entrenaments, ja que en cursa sempre es porta un carregament de combustible superior. Considerant que porta 2.5 L (1.875 Kg) de carburant el temps de la volta ràpida serà:

Quadre de temps de recta

Recta n°	Distància (m)	Disminució de la massa	Acceleració (m/s ²)	Velocitat (m/s)	Temps (s)
1	209 m	0	1.3900269	34.3301924	7.11191124
2	138 m	0.27 Kg	0.71008545	31.106085	4.6871925
3	199 m	1.26 Kg	-0.51128117	43.4809083	4.45978254
4	281 m	1.59 Kg	0.33504964	46.8863059	6.12736819

Nota: La disminució de la massa és la total des del principi de la volta. Aquesta es calcula de la següent manera:

1.2.3. Càlcul de disminució de massa

Agafem la distància que es recorre fins al tram i la multipliquem pel consum per metre. D'aquesta manera obtindrem el consum en litres fins a l'inici del tram. Aquest valor el multipliquem per la densitat de la gasolina (0.75) i obtindrem la massa de gasolina consumida en Kg fins al punt estudiat.

1.2.4. Càlcul de temps de cursa

A continuació veurem el quadre de càlculs de la velocitat de recta per a la volta ràpida. Aquest quadre està fet amb un full de càlcul de Microsoft Excel, per tal de facilitar els càlculs i per evitar possibles errors a l'hora d'introduir les xifres a la calculadora, ja que aquí és el propi programa el que va fent els càlculs d'una cosa i altra només introduint-hi les dades i la fórmula adient.

Volta ràpida			1r sumand	2n sumand	3r sumand	Suma	
V.inicial (m/s)	Distància (m)	Massa (kg)	Ec inicial (J)	Wm (J)	Wf (J)		Velocitat (m/s)
24.4444444	209	601.875	179819.444	1762288	1232760.38	1178.56211	34.3301924
27.7777778	138	601.605	232100.694	1163616	813610.602	967.588521	31.106085
45.7611111	199	600.615	628867.716	1677968	1171319.37	1890.58938	43.4809083
44.8333333	281	600.285	603294.762	2369392	1653064.83	2198.32568	46.8863059

El temps total de la volta ràpida és de 87.53s , al que hem de sumar 1 seg., temps aproximat perdut en les apurades de frenada. En total la volta ràpida serà assolible en 88.53segons, és a dir 1: 28:53 minuts.

Ara, tenint en compte el recorregut total de cursa que s'acostuma a fer a la Fórmula 1 decidirem el nombre de voltes.

En general, en el campionat les curses tenen un recorregut total d'entre 305 i 310 km, excepte en el gran premi de Mònaco on només en recorren 260. En base a això decidirem el nombre de voltes per tal que la distància de cursa sigui similar a la resta de grans premis.

El nombre final de voltes decidit és de 74, amb la qual cosa recorrerà una distància total de 280,534 Km.

A partir d'aquest moment entra en joc la densitat de la gasolina ja que es va produint una disminució de carburant molt significativa per volta. El valor de la

densitat que considerarem és el de la gasolina normal, que és 0,75. Hem agafat aquest valor ja que ens és impossible disposar del de la gasolina que posa cada equip, ja que és diferent en cada cas i és un secret d'equip. Tot i això, la gasolina que s'utilitza actualment a la fórmula 1 és la sense plom de 98 octans lleugerament modificada. Anteriorment s'utilitzava querosè (com els avions), però els gasos que desprenia eren molt contaminants i, fins i tot, deixava una olor especial al circuit, per la qual cosa es va decidir posar-ne d'aquest tipus.

Tot seguit calcularem el temps de cursa en sec, però per fer això primer cal decidir la situació del box i el nombre de parades, ja que és a partir d'aquí que se'ns modificaran totes les dades.

Aturades

L'entrada al box es farà des de la corba 11, i la tornada a pista serà a la corba 12. Aquest dibuixarà una línia recta entre les dues corbes i recorrerà una distància de 717 m. La velocitat màxima assolible en aquest tram serà de 100 Km/h. Tenint en compte aquesta velocitat i que les mangueres carreguen 8.3 L de carburant per segon calcularem el temps que perd al box.

Estudiarem dues estratègies:

El primer que hem de tenir en compte és el carburant total que necessitarà per fer la cursa, que, tenint en compte el consum mig serà de 180L (amb volta de reconeixement i de celebració incloses). Convé que no en sobri gaire, ja que és massa innecessària que ens perjudica amb el temps.

La primera estratègia serà a dues parades. Sortirà amb 50 L i en carregarà 65 més a cadascuna de les parades. Les parades es faran a la volta 20 la primera i a la volta 48. Tenint en compte la velocitat permesa al box es perdran 25.8 s a cada parada, als quals hem de sumar el temps que necessita per carregar aquest carburant que carregant 65L és de 7.83 segons. En aquest cas la despesa total de temps perdut al box és de 33.63 segons.

Ara caldrà calcular el temps de cursa volta a volta. Això ho farem amb un [full de càlcul d'excel](#). El resultat final que ens donarà aquest càlcul serà de 1h 48min 58.2seg

La [segona estratègia](#) serà a tres aturades. Sortirà amb 30 litres de carburant i en carregarà 50 més a cada aturada. El temps que trigarà per carregar aquest carburant serà de 6 segons, als que hem de sumar els 25.8 segons que es perden per la restricció de velocitat.

El càlcul d'aquesta volta també el farem amb un full de càlcul. El resultat final serà de 1h 49min 19.8s , per la qual cosa la estratègia seria la que més s'adiria a aquest circuit en aquestes condicions seria la primera, ja que s'hi guanya una mica més de mig minut.

Aquí s'acaba la part teòrica. La conclusió a la que he arribat fins ara és que les estratègies de parada són molt importants, i que, en aquest circuit, tenint en compte les seves característiques, val més seguir una estratègia a dues aturades. Penso que això és així perquè és un circuit curt i no gaire ràpid, ja que no hi ha rectes gaire llargues, i és per això que val més anar més carregat de combustible i fer menys parades, ja que influeix més la despesa de temps en aturades que no pas la reducció de la massa. Segurament, si fos un circuit més ràpid i amb més rectes la cosa hagués estat diferent.

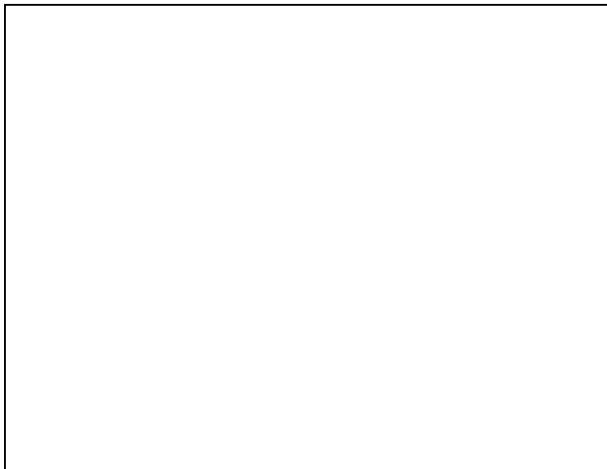
Cal tenir en compte, però, que aquestes xifres són teòriques, i que a la realitat tot és molt més complex i hi ha molts altres factors que influeixen, com per exemple el fet d'haver de fer avançaments o, sobretot, les possibles errades del pilot.

A continuació passarem a la construcció de la maqueta.

2. Procés d'elaboració de la maqueta

El primer que s'ha de fer abans de començar a construir la maqueta és fer-ne el plànol per evitar possibles errors. Farem un plànol a escala 1:2500, que és la mida de la qual serà la maqueta.

En els plànol cal incloure tota la infraestructura del circuit (grades, box, serveis..), ja que també formen part del disseny del circuit.



Un cop enllestit el plànol passarem a decidir el material. Penso que el material més idoni per cobrir les nostres necessitats ha de ser fàcil de manipular i de tallar, per la qual cosa he escollit el cartró ploma. La maqueta anirà disposada sobre una fullola del mateix material, per tal de donar-li una base sòlida. Les grades i els edificis també estaran fets d'aquest material.

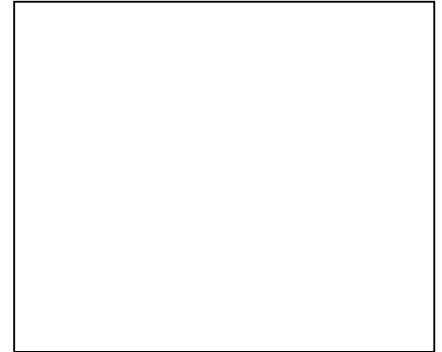
Ara ja podem començar a fer la maqueta. Els passos a seguir són els següents.



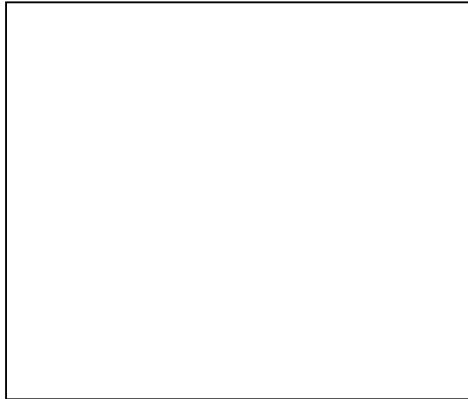
Primer de tot cal fer el plànol de la mida de la maqueta. Un cop tenim aquest plànol el retallem i el farem servir de plantilla per dibuixar el circuit sobre el cartró ploma. Ho fem així i no directament sobre el cartró ploma perquè és més fàcil fer el plànol en paper. Un cop dibuixat començarem a retallar el cartró ploma. Caldrà llimar-ne els

contorns amb paper de vidre, ja que el tall no queda net del tot.

Tot seguit, amb el circuit retallat, calcularem l'alçada que hem d'aixecar les corbes segons els peraltes previstos. Abans d'enganxar-ho, però, cobrirem el circuit amb paper de vidre, per tal de donar-li una semblança a l'asfalt. A més a més ho pintarem pel damunt amb esprai negre, ja que el color del paper de vidre no és del tot el de l'asfalt, i pintat de negre s'hi assembla molt més. Ja tenim enllestida la part del circuit. Ara caldrà fer-ne tota la infraestructura.



Haurem de fer tres edificis (box, serveis i oficines) i les grades. Per fer els edificis primer haurem de dibuixar-ne totes les parts sobre el cartró ploma (aquest cop sí que ho podem fer directament), i després els retallarem amb el cúter. Tot seguit en llimarem els cantons amb paper de vidre fins a deixar-ho ben polit i llest per enganxar.



A continuació enganxarem tots els fragments amb un adhesiu instantani i fort, i ho pintarem amb esprai, ja que amb pintura és molt difícil que quedi bé.

Un cop tot sec hi pintarem portes i finestres. Això ho farem amb pintures a l'oli pel simple fet d'utilitzar materials que ja tinguem.

Quan estigui definitivament acabat i sec ho enganxarem en les posicions prèviament decidides.

Tot seguit farem les grades. Com que han de ser molt petites i el cartró ploma és difícil de manipular en trossos petits, perquè es trenca i es doblega, el que farem serà fer retalls i enganxar-los un damunt l'altre com si fos una piràmide. Enganxarem les grades als llocs corresponents i ja tindrem la maqueta pràcticament acabada.

Nota: les grades són de mides simbòliques, ja que hauríem de fer un estudi previ del públic esperat per tal d'estimar les places necessàries.

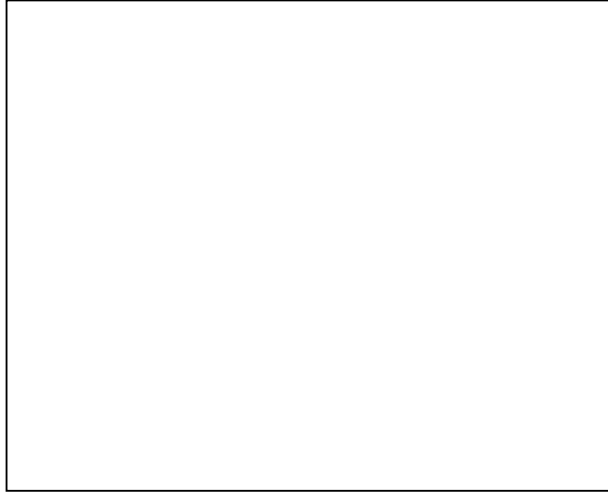
També caldrà preveure l'evacuació dels pilots i els cotxes accidentats, per la qual cosa posarem una calçada envoltant tot el circuit.

Afegirem també un aparcament per als camions, que situarem darrera el box.

Només queden els últims retocs, que seran la gespa i la grava. Envoltarem tot el circuit de grava per si hi ha sortides de pista, i més enllà hi posarem gespa pel públic. La grava serà suro, i la gespa la farem pintant aquest suro amb esprai verd. Al voltant dels edificis hi enganxarem pedretes per simular un empedrat.

Cal posar, també, un aparcament per als visitants, i hem de preveure les evacuacions de pilots i cotxes, per la qual cosa posarem una calçada envoltant tota la pista.

La maqueta ja està enllestida, i amb això finalitza el treball.



Conclusió

Dur a terme aquest treball no ha estat fàcil, però el resultat ha valgut la pena i n'estic molt orgullosa. La part teòrica ha estat bastant difícil, ja que no sabia per on començar ni com fer-ho. Tantes idees que vaig desestimar abans de trobar-ne una que em semblés prou convincent! Però ara ja està, finalment he trobat un resultat possible i satisfactori. Penso que les hores d'esforç han valgut molt la pena, ja que he après a plantejar-me el problema i resoldre'l aplicant tota la física que sé, que tot i no ser gaire, ja ha estat suficient.

La idea de fer els càlculs per energies va ser el que més em va ajudar. A partir d'aquí va caler desenvolupar-ho fins a obtenir els resultats que necessitava. He après a fer càlculs que no sabia, i a treballar amb simulacions via internet (amb una de les quals vaig fer tots els càlculs a les corbes). A més a més he après

també a fer fulls de càlcul amb excel, buscant les fórmules que havia d'introduir i com ho havia de fer, i he hagut de practicar el dibuix de plànols i les escales.

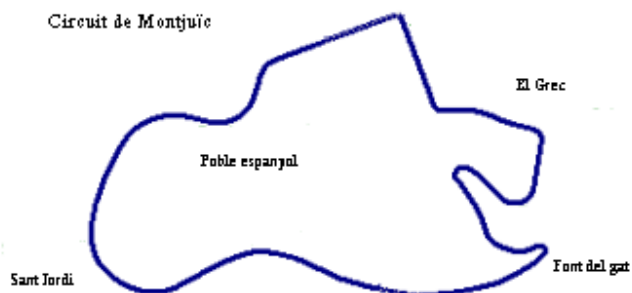
La maqueta, tot i semblar la part més fàcil també m'ha donat algun mal de cap, ja que no ha estat tan senzill com semblava. He hagut de dedicar-hi bastants hores i molta paciència, ja que he hagut de repetir-ne alguns trossos per que no havien quedat prou bé. Penso que, finalment, ha quedat prou bé.

El que penso que ha estat millor és el fet que vaig començar aquest treball al juliol, i vaig estar-hi treballant durant l'estiu. Si no ho hagués fet el treball seria una cosa completament diferent. Penso que un treball de recerca requereix una constància, ja que per tal de poder resoldre'l correctament cal pensar-hi molt, i tenir-lo sempre al cap. No ens en podem oblidar i deixar-lo per més endavant, ja que llavors el que s'havia pensat al principi es perd i s'ha de començar de nou.

Annex

1.Noms: Cal donar un nom al circuit, que jo penso que podria ser Montjuïc en honor al seu traçat, però també podrien sortir-ne molts d'altres, ja que el seu traçat dibuixa el que recorda un felí.

Personalment, en quant als noms de les corbes, jo conservaria els més característics com són la de la font del gat, la de la Sant Jordi, la del Poble Espanyol i la del Grec. Les altres corbes podrien dur el nom d'algun patrocinador, que podria ser, per exemple, l'empresa constructora del circuit, o el nom de l'arquitecte encarregat del projecte.



2. Quadre de dades:

Aquestes són les dades que hem necessitat a l'hora de dur a terme el projecte. Aquestes han estat extretes de diverses fonts, les més importants de les quals són les retransmissions televisades de les curses de fórmula 1 i les pàgines web que s'especifiquen a la bibliografia.

Dada	Valor
Pes d'un F1	Mín 600 Kg amb conductor
μ determinada en sec	1
Peralts màxims aplicats	15°
Potència	900CV
Velocitat punta	340Km/h
Amplitud (valor Renault)	180 cm màx.
Llargada (Renault)	460 cm.
Alçada (Renault)	95 cm
Distància circuit	3791 m
Distància circuit Alemanya	4574 m
Distància circuit Monza	5793 m
Mitjana de litres que entren per segon	8.29L
Consum mig per metre	6.20×10^{-4}
Densitat gasolina	0.75
Tipus de gasolina	Sense plom 98 modificada
Nombre de voltes per cursa	74
Distància total de cursa	280.534 Km
Consum per volta	2.35L
Capacitat del dipòsit	100L

Equip/circuit	Litres carburant	Temps de parada	Estimació voltes
Renault Alemanya	48		19
Ferrari Monza	53	6.9	23
Ferrari Monza	46	6.3	12
Renault Monza	79	9.1	20
Ferrari Monza	82	9.3	21
Williams Monza	73	8.6	18

Altres vies de recerca

A partir d'aquest punt es poden fer moltes més coses. Una d'elles seria fer tot el procés en mullat, establint un coeficient de fregament inferior, que podria ser, per exemple, de 0.8.

També es podria mirar els factors sonors, tals com la contaminació acústica que produeix un F1, i comparar-los amb els permesos i els que són nocius.

Considero que podria ser molt interessant mirar d'estudiar el desgast de pneumàtics, la variació de les pressions, l'escalfor..

Aquest treball també es pot continuar des del punt de vista d'economia, agafant aquest circuit com a empresa, o des del dret, veient tots els passos legals que s'han de seguir per fer possible una estructura com aquesta.

En fi, totes aquestes i moltes altres més són les vies de recerca que neixen amb aquest treball, ja que d'un dubte resolt sempre en surten molts més.

Agraïments

El mèrit d'aquest treball no és només meu, i és per això que incloc aquest apartat, ja que em sento amb l'obligació d'agrair l'ajuda a tots els qui hi han col·laborat.

Primer de tot haig de donar les gràcies a la Dolors Ribera, per haver-me donat un vot de confiança a l'hora de tutorar aquest treball tot i no creure en el possible desenvolupament de la idea, i per donar-me un cop de ma a l'hora de tirar endavant. Gràcies pels comentaris i les rectificacions.

Gràcies també al Sergi Horrillo per fer-hi un cop d'ull i donar alguna idea per treure'ns del forat.

Vull agrair també la col·laboració als tutors del programa "comsoc", que em van fer algun suggeriment des de la seva tutoria d'internet.

Finalment dono les gràcies a tots aquells que m'han ajudat i m'han donat suport durant tot el procés, i a tots aquells que pacientment l'han llegit en busca de millores.