

**La volta perfecta
al Circuit de
Catalunya,
Montmeló**

M'agradaria agrair la col·laboració dels administradors públics del Circuit de Montmeló, així com també el recolzament que he trobat per part del tutor del meu treball.

Índex de continguts

1. <u>Introducció</u>	5
2. <u>Característiques del Circuit de Catalunya</u>	7
3. <u>Estudi físic minuciós del Circuit de Catalunya</u>	9
3.1. <u>Plantejament</u>	9
3.2. <u>Consideracions</u>	10
4. <u>Tractament i càlculs</u>	18
4.1. <u>Revolt Elf (número 1): S2</u>	18
4.1.1. <u>Característiques del Revolt Elf (número 1)</u>	19
4.1.2. <u>Càlculs</u>	19
4.2. <u>Final de recta principal: S1</u>	21
4.2.1. <u>Càlculs</u>	22
4.3. <u>Revolt número 2: S4</u>	23
4.3.1. <u>Característiques del Revolt número 2: S4</u>	24
4.3.2. <u>Càlculs</u>	24
4.4. <u>Petit tram en recta: S3</u>	26
4.4.1. <u>Càlculs</u>	26
4.5. <u>Revolt Renault (número 3): S6</u>	28
4.5.1. <u>Característiques del Revolt Renault (número 3): S6</u>	28
4.5.2. <u>Càlculs</u>	29
4.6. <u>Moderat tram en recta: S5</u>	30
4.7. <u>Revolt Renault (número 4): S7</u>	32
4.7.1. <u>Característiques del Revolt Renault (número 4): S7</u>	32
4.7.2. <u>Càlculs</u>	33
4.8. <u>Revolt Renault (número 5): S8</u>	34
4.9. <u>Tram en recta: S9</u>	34
4.10. <u>Revolt Repsol (número 6): S10</u>	35
4.11. <u>Revolt Repsol (número 7): S11</u>	35
4.12. <u>Revolt Repsol (número 8): S12</u>	35
4.13. <u>Moderat tram en recta: S13</u>	35
4.14. <u>Revolt Seat (número 9): S14</u>	36
4.15. <u>Moderat tram en recta: S15</u>	36
4.16. <u>Revolt número 10: S16</u>	36
4.17. <u>Petit tram en recta: S17</u>	36
4.18. <u>Revolt número 11: S18</u>	37
4.19. <u>Petit tram en recta: S19</u>	37
4.20. <u>Revolt número 12: S20</u>	37
4.21. <u>Moderat tram en recta: S21</u>	37
4.22. <u>Revolt Campsa (número 12): S22</u>	38
4.23. <u>Petit tram en recta: S23</u>	38
4.24. <u>Petit tram en recta: S24</u>	38
4.25. <u>Tram en recta: S25</u>	38
4.26. <u>Revolt La Caixa (número 13): S26</u>	39
4.27. <u>Petit tram en recta: S27</u>	39
4.28. <u>Revolt número 14: S28</u>	39
4.29. <u>Revolt número 15: S29</u>	39
4.30. <u>Revolt Banc de Sabadell (número 16): S30</u>	40
4.31. <u>Revolt Banc de Sabadell (número 17): S31</u>	40
4.32. <u>Moderat tram en recta: S32</u>	40
4.33. <u>Revolt Europcar (número 18): S33</u>	40

4.34. <u>Petit tram en recta: S34</u>	41
4.35. <u>Revolt número 19: S35</u>	41
4.36. <u>Petit tram en recta: S36</u>	41
4.37. <u>Revolt número 20: S37</u>	41
4.38. <u>Petit tram en recta: S38</u>	42
4.39. <u>Revolt New Holland (número 21): S39</u>	42
4.40. <u>Tram en recta final: S40</u>	42
5. <u>Conclusions</u>	43
6. <u>Bibliografia</u>	45

1. Introducció

Essent un dels esports amb més fans arreu del món, la Fórmula 1 és, a més d'un espectacle, la realització d'un treball rere el qual hi ha milers de persones, des dels encarregats de la coordinació i organització del Gran Premi que pertoca, passant per tots els mecànics i enginyers de totes les escuderies, i acabant pels famosos pilots, sense oblidar els milions de seguidors que segueixen setmana rere setmana aquestes curses, ja sigui des de les grades dels circuits, com des dels diferents medis de comunicació que apropen, cada vegada més, la Fórmula 1 a les nostres vides.

Jo sóc un d'aquests individus que sent atracció per tot aquest món del motor, i per l'ambient que l'envolta. Són per tant, aquesta i altres raons tals com: el meu freqüent interès pels fenòmens físics que m'envolten; les ganes de comprendre, físicament, el món en el que estem submergits; i de conèixer sota quins fonaments i lleis físiques es basen aquests il·lustres enginyers de la Fórmula 1 per extreure'n del cotxe el màxim rendiment possible, algunes de les raons que m'han portat a decidir-me a l'hora de dur a terme la realització d'aquest treball.

El treball es basarà en l'estudi físic minuciós del Circuit de Catalunya, Montmeló. L'objectiu final, com transmet el títol que dona nom al projecte, és la consecució de la volta perfecta al Circuit de Catalunya dintre d'un fórmula 1 estandarditzat en tots els sentits de la paraula (pes, velocitat, força motriu, aerodinàmica, neumàtics, acceleració, frenada, i qualsevol factor que pugui determinar en l'assoliment del mínim de temps possible en la realització d'una volta sencera al Circuit de Catalunya, Montmeló).

Per què el Circuit de Catalunya?

Doncs perquè, a part de la proximitat (fet que facilita la realització del treball ja que l'obtenció d'informació rebuda és més a l'abast), el Circuit de Catalunya és un dels Circuits amb més expectació del ampli recorregut de circuits que completen una temporada de la Fórmula 1.

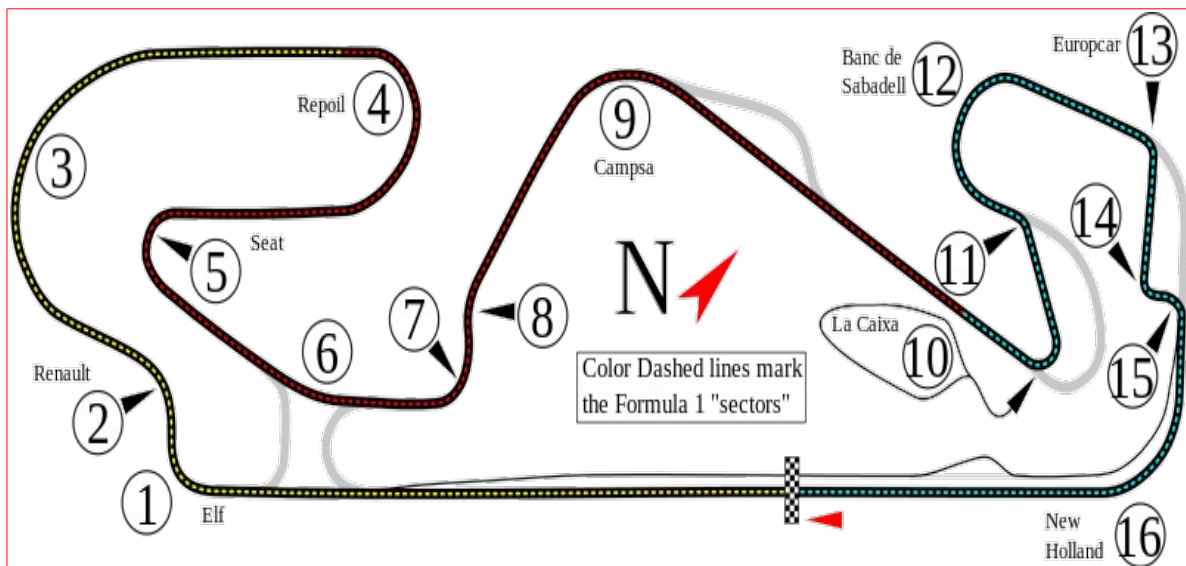
I aquesta gran expectació té al darrere una justificació prou raonable si comencem a descriure les característiques que fan d'aquest circuit un circuit especial, del que tots els anys s'espera un Gran Premi memorable.

Per què la Fórmula 1?

Aquesta va ser una de les preguntes que va sorgir des del primer moment a l'hora de decantar-me en l'elecció del tema del projecte. Tot i que sóc fanàtic del motor en general, vaig considerar la hipòtesis (perquè no deixa de ser només una hipòtesis), de que al motociclisme, el talent del pilot, determina molt més que a la F1 el resultat de la cursa, i això és una distorsió si tenim en compte que m'interessa establir la volta perfecta a partir del màxim aprofitament de l'objecte mòbil corresponent, en aquest cas un fórmula 1, i no a partir del talent del pilot.

2. Característiques del Circuit de Catalunya

El Circuit de Catalunya té un total de 16 corbes, 9 cap a la dreta i 7 cap a l'esquerra. Ubicat



a Montmeló, en un petit turó que es troba a uns 125 metres per sobre del nivell del mar, es caracteritza per ser un circuit molt complet, degut a la gran varietat en la tipologia de corbes, els freqüents canvis de ritme, frenades al límit, i una recta principal que no te res a envejar a cap altra que puguem trobar a qualsevol altre circuit de la temporada. En completar una volta sencera, els cotxes de Fórmula 1 han de recórrer un total de 4655 metres, uns 70 menys que si parlem d'una cursa de Moto GP.

Cada volta al circuit és, pels pilots, tot un repte, ja que corba rere corba es troben una nova situació a superar amb la major eficàcia possible. A cada volta recorren uns 2786 metres en recta i uns 1869 metres en corba, dades que demostren l'equilibri de circumstàncies característic del circuit.

Les majors preocupacions de les escuderies al Gran Premi del Circuit de Catalunya, són: la degradació dels neumàtics (degut a l'exigència de les corbes tant a l'entrada, com als revolts i a la sortida d'aquests); aconseguir una carga aerodinàmica elevada ; i altres inconvenients com el patiment dels frens al agafar temperatures massa elevades degut a les frenades exigents, com la frenada del final de la recta principal.

Pel que fa al plantejament del projecte, cal esmentar que l'estudi serà tractat havent dut a terme una segmentació explícita dels diferents sectors del circuit. Així doncs, anirem tractant, corba per corba i recta per recta, totes les parts del circuit, fins aconseguir l'objectiu final del projecte: “la volta perfecta”.

3. Estudi físic minuciós del Circuit de Catalunya

3.1. Plantejament

A la Fórmula 1 d'avui en dia, el factor més important per aconseguir el màxim rendiment del cotxe és l'aerodinàmica. De fet, és obvi que l'ésser humà és capaç de fer motors amb una força motriu més elevada, i per tant, amb una capacitat d'acceleració més grossa. Però el secret es troba en l'equilibri, ja que un fórmula 1 amb un motor molt més potent potser acabaria enlairant-se, sortint de la pista a tots els revolts, o simplement derrapant freqüentment degut a que la força de fricció no seria prou elevada com perquè la transmissió entre motor, neumàtic i asfalt fos la òptima.

Ara bé, l'estudi teòric de l'aerodinàmica és un estudi molt complex, i el seu tractament pràctic encara més. De fet, si pretenguéssim fer un estudi físic aerodinàmic del Circuit de Catalunya amb la finalitat d'extreure'n el màxim profit al nostre cotxe, estaríem posant-nos al nivell dels enginyers aeronàutics que s'encarreguen d'aquesta tasca. Així doncs, nosaltres, en principi, voldrem aconseguir la volta perfecta al Circuit de Catalunya amb un fórmula 1, menyspreant l'efecte sòl produït majoritàriament pels alerons del cotxe, així com també per altres mecanismes que aconseguixen el màxim rendiment possible quant a la carga aerodinàmica, amb l'objectiu d'aconseguir un pes aparent elevadíssim a l'entrada dels revolts. D'aquesta manera, es pretén poder agafar la corba a velocitats molt més elevades, sense patir el risc d'escapar-se tangencialment en algun punt d'aquesta, assolint així, alhora, temps més baixos per ser campions.

Tret d'això, haurem d'establir algunes consideracions que ens permetran tractar físicament el circuit com si tenguéssim en compte l'aerodinàmica, encara que no ho tractarem fent ús d'aquesta.

Caldrà tenir presents algunes **dades generals** que utilitzarem per realitzar el projecte:

- 1) Coeficient de fricció entre els neumàtics i l'asfalt: 2,1 (valor estandarditzat)
- 2) Massa estàndard d'un fórmula 1 (amb el pilot): 600 kg
- 3) Acceleració de la gravetat: $9,8 \text{ m/seg}^2$
- 4) Amplitud mínima del circuit: 11 m
- 5) Amplitud màxima del circuit: 12 m

3.2. Consideracions:

- ✗ Peralt a les corbes: el considerarem nul, ja que els circuits de F1 estan pensats per no tenir cap mena de peralt, i per tant, les corbes són gairebé del tot planes.
- ✗ El coeficient de fricció, trobat a Internet, té un valor de 2,1. Ara bé, empíricament, nosaltres hem calculat que el coeficient de fricció té un valor de 3,6225. En realitat, aquest últim valor es tracta de una extrapolació de la realitat, ja que és un valor calculat empíricament, a través d'un càlcul previ de la desacceleració màxima de un fórmula 1 a partir de la pura observació de l'actuació del cotxe en diferents sectors del circuit. Veiem doncs, el càlcul i la seva explicació.

Estudi empíric de la desacceleració màxima de un fórmula 1:

Agafem diferents transicions entre sectors, on creiem que el cotxe frena al límit, per tal de calcular la desacceleració màxima del cotxe.

- Sectors 1-2

- Velocitat final (V): 145,7 km/h; 40,472 m/seg
- Velocitat inicial (V₀): 319,95 km/h; 88,875 m/seg

De la fórmula següent:

$$2 \cdot a \cdot X = V^2 - V_0^2$$

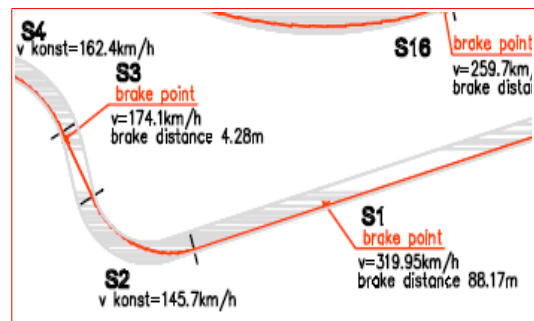
aïllem la a:

$$a = \frac{V^2 - V_0^2}{2 \cdot X}$$

- Essent el desplaçament en frenada

de 88,17 m, $a_1 = -35,5039 \text{ m/seg}^2$

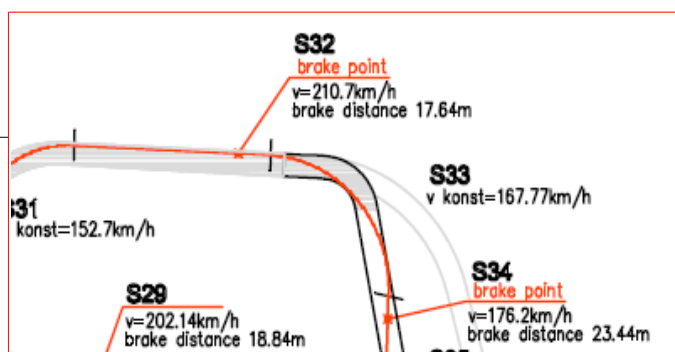
a (m/seg ²)	acceleració
X	desplaçament



- Sectors 32-33

- Velocitat final (V): 167,7 km/h; 46,583 m/seg
- Velocitat inicial (V₀): 210,7 km/h; 58,527 m/seg
- Desplaçament en frenada: 17,64 m

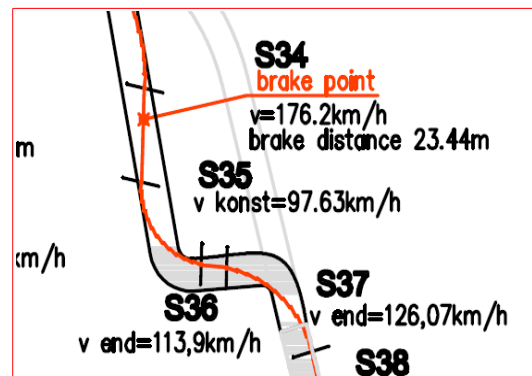
$a_2 = -35,5866 \text{ m/seg}^2$



• Sectors 34-35

- Velocitat final (V): 97,63 km/h; 27,119 m/seg
- Velocitat inicial (V₀): km/h; 48,944 m/seg
- Desplaçament en frenada: 23,44 m

$a_3 = -35,4116 \text{ m/seg}^2$



Com podem observar, les desacceleracions calculades a cada transició entre sectors, coincideixen considerablement. Així doncs, podem afirmar que la desacceleració màxima de un fórmula 1 és una mitjana aritmètica de les 3 desacceleracions que hem calculat. La desacceleració màxima d'un fórmula 1 és, per tant:

$a = (|a_1 + a_2 + a_3|) / 3 = 35,5007 \text{ m/seg}^2$ (en realitat: $-35,5007 \text{ m/seg}^2$)

El valor, en realitat és negatiu, ja que parlem de desacceleració màxima, però per calcular la mitjana aritmètica hem hagut de fer ús de valors absoluts de les desacceleracions, és a dir, sense signe.

Així doncs, per calcular el valor empíric de la força de fricció del que parlàvem abans: (F_f= Força de fricció; m= massa; a= acceleració; u= coeficient de fricció; g= acceleració de la gravetat;

N= força normal)

F=m·a

F_f= m·a

$F_f = m \cdot a$
 $u \cdot N = m \cdot a$
 $u \cdot m \cdot g = m \cdot a$
 $u = a / g = 3,6225$

Expliquem ara el càlcul realitzat al marc anterior: agafant el valor absolut de la desacceleració, i havent

fet desaparèixer la massa de la fórmula, el valor del coeficient aconseguit és un valor que passa a tenir interioritzat l'efecte sòl produït pels alerons i mecanismes aerodinàmics del cotxe. Així doncs, tot i tractar-se d'una extrapolació, aquest valor ens permetrà determinar les velocitats màximes en corba i la elaboració d'altres càlculs, com si estiguéssim considerant la aerodinàmica, però sense entrar dintre d'aquesta.

En realitat, el problema es troba en que els alerons fan que el cotxe (que no deixa mai de tenir una massa de 600 kg), en moments determinats (inici de corbes, sortida d'aquestes,...), no pesi tan sols 5880 Newtons ($P = m \cdot g = 600 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/seg}^2$), sinó que pesi molt més. Podríem dir que els alerons, en entrar en contacte amb l'aire a velocitats elevades, fan que l'acceleració de la gravetat en el cotxe augmenti aparentment (fan que aquest s'enganxi amb més força al terra, per tal de poder agafar amb més velocitat la corba. Al augmentar el seu pes, augmenta la seva normal, i en conseqüència també la força de fricció, que sabem que és la determinant de la velocitat a la que es pot recórrer la corba, essent així la força centrípeta, sempre que la corba no estigui peraltada, ja que aleshores la força centrípeta estaria composta per una component de la força de fricció i una component de la força normal. Però, com ja vam esmentar, les corbes del circuit van ser creades sense peralt, de manera intencionada, i per tant, a les nostres corbes la força centrípeta serà, sempre, la força de fricció)

✕ Per aconseguir dur a terme el projecte amb la màxima exactitud possible, calcularem empíricament, almenys, tres coeficients de fricció diferents, per tal d'englobar així tot tipus de corbes (ràpides, moderades i lentes), ja que la carga aerodinàmica varia depenent de la velocitat a la que el cotxe realitza la corba, i per tant, el pes aparent no és el mateix a totes les corbes. De fet, sabem que fins i tot varia durant la corba, ja que a moltes d'aquestes el cotxe accelera i encara el vent amb angles diferents, però com ja vam dir, pretendre tal exactitud seria capficar-s'hi massa.

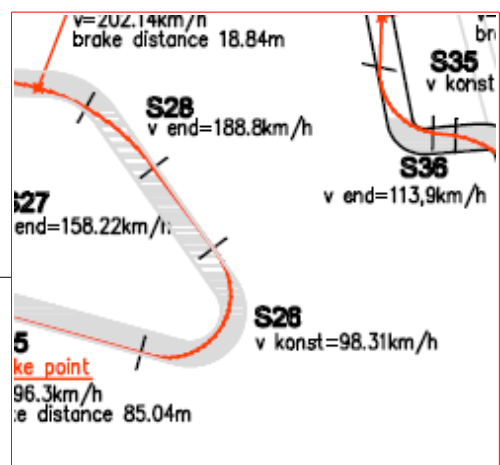
Calculem doncs el coeficient de fricció que farem servir al tractar les corbes lentes (de fins a 150 km/h). Lògicament, l'extraurem a partir de càlculs sobre un sector, on el cotxe realitzi la traçada del revolt a poca velocitat.

Sector exemple (corba lenta; fins a 150 km/h): Sector 26

r (radi de la corba) = 20,25 m

v (velocitat constant a la que executa la corba) = 98,31 km/h; 27,3083 m/seg

$F_f = u \cdot m \cdot g$



$$F_f = m \cdot (V^2/r)$$

$$u = \sqrt{g \cdot r} = \sqrt{V^2/r}$$

Aïllem u: $u = (V^2/(r \cdot g)) = 3,75785$

Sector exemple (corba moderada): S 10

r (radi de la corba) = 54,54 m

v (velocitat constant) = 165,7 km/h; 46,028 m/seg

$$u = (V^2/(r \cdot g)) = 3,97388$$

Sector exemple (corba ràpida; + de 200 km/h): S 22

r (radi de la corba) = 102,1 m

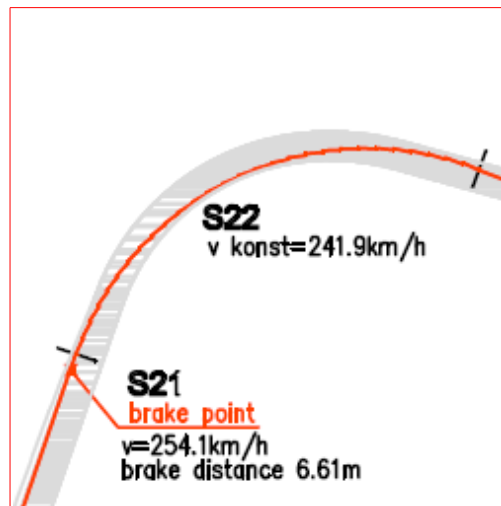
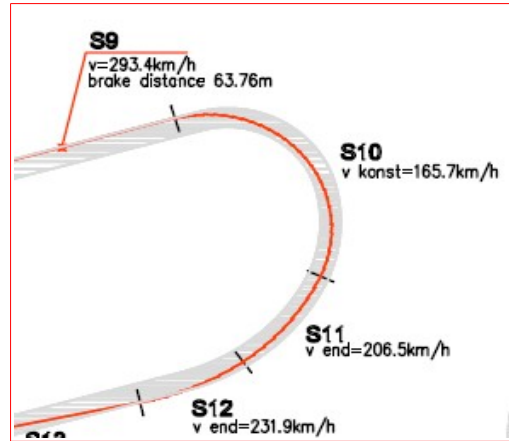
(velocitat constant) = 241,9 km/h; 67,194 m/seg

$$u = (V^2/(r \cdot g)) = 4,51248$$

Com podem veure fàcilment si ens fixem en la línia vermella de la imatge (traçada del F1), en aquesta corba el cotxe aprofita

al màxim l'amplitud del circuit. D'aquesta manera, el cotxe realitza una corba de radi més elevat, assolint així la capacitat de poder atacar la corba a més velocitat i traçar-la a una velocitat constant més elevada. Com aquesta corba ens trobarem amb moltes

altres, on el fórmula 1 comença a girar en l'extrem exterior de la corba, aprofitant així els 11,5 metres d'amplada del circuit, i a la sortida d'aquesta torna a aprofitar al màxim els 11,5 metres d'amplada, passant per sobre el piano. Fixant-nos en l'exemple, aquesta corba del S 22 és una corba composta per dos radis, el primer tram de corba té un radi de 87,77 m, i el segon tram té un radi de 100 metres (dades extretes d'un fitxer adjunt, facilitat pels administradors tècnics del Circuit de Catalunya). Ara bé, si ens fixem en la traçada del cotxe, podem veure com realitza un arc de circumferència homogeni, en el sentit que traça la corba com si només existís un radi. Per l'interès del pilot i l'escuderia, la traçada ideal serà la que aconseguixi un radi més gran en la corba homogenia, a fi d'aconseguir la màxima velocitat.



Aquest radi serà, per tant, un radi aproximat a els 100 m en aquest cas (102,1 m exactament). Recordem, que tot això succeeix gracies a la capacitat del pilot d'aprofitar al màxim l'amplada del circuit.

Així doncs, per les corbes com aquesta, durem a terme un estudi geomètric proporcional a través dels plànols facilitats pels administradors tècnics del circuit, mitjançant els quals calcularem el radi de les corbes traçades pels pilots, a través de la fórmula següent, on: R és el radi de la corba; C és la longitud de la corda i F és la longitud de la fletxa.

$$R = \frac{C^2}{8F}$$

La longitud de la corda i la longitud de la fletxa la trobarem, a partir d'una mesura a escala sobre els plànols mencionats, tot comparant-la amb altres mesures a escala de les que si en tenim el total coneixement.

- ✗ Per els trams rectes, podríem fer servir el coeficient de fricció calculat a través de les desacceleracions màximes, però considerem més oportú extreure'l a partir de l'estudi del moviment del fórmula 1 durant un tram en recta.

Recta principal (Estudi tram en recta): Sector 1

El teorema de la conservació de l'energia afirma que: el treball fet per les forces no conservatives és sempre igual a la variació de l'energia mecànica. En el nostre estudi, l'única força no conservativa és la força de fricció, tenint en compte que el pes és conservatiu, tot i que sabem que la força de la gravetat disminueix de manera inversa però proporcional al quadrat de la distància al centre de la terra.

Essent:

W_{ff}: treball fet per la força de fricció ($u \cdot N \cdot \text{desplaçament} \cdot \cos$ de l'angle que forma amb el desplaçament) *La N no és igual al pes ja que hi ha desnivell; ΔE_m : variació de l'energia mecànica; ΔE_c : variació de l'energia cinètica; ΔE_p : variació de l'energia potencial; h: altura final (112,60 m); h₀: altura inicial (113,60 m); V : velocitat final (145,7 km/h; 40,472 m/seg); V₀: velocitat inicial (319,95 km/h; 88,875 m/seg); ΔX : desplaçament (88,17 m)

Càlcul de la N:

$$\partial(\text{Angle del plà inclinat}) = \arcsin\left(\frac{113,6m - 112,6m}{88,17m}\right) = 0,65$$

$$N = Py = pes \cdot \cos(\vartheta) = m \cdot g \cdot \cos(\vartheta) = 5879,62 \text{ Newtons}$$

$$W_{ff} = \uparrow Em$$

$$W_{ff} = \uparrow Ec + \uparrow Ep$$

$$u \cdot m \cdot g \cdot \cos(0,65) \cdot \uparrow X \cdot \cos(180) = \left(\frac{m \cdot V^2}{2} - \frac{m \cdot V_0^2}{2} \right) + (m \cdot g \cdot h - m \cdot g \cdot h_0)$$

La fórmula anterior es basa en el principi que demostra que el treball fet per la força de fricció (força de fricció · desplaçament · cosinus de l'angle que formen el vector de la força amb el sentit del desplaçament), és igual a la variació d'energia cinètica (una meitat de la massa per la velocitat final al quadrat, menys una meitat de la massa per la velocitat inicial al quadrat), més la variació d'energia potencial (massa · gravetat · altura final – massa · gravetat · altura inicial)

Factor comú, massa (per tal d'eliminar-la):

$$u \cdot m \cdot g \cdot \cos(0,65) \cdot \uparrow X \cdot \cos(180) = m \cdot \left(\frac{V^2}{2} - \frac{V_0^2}{2} + g \cdot h - g \cdot h_0 \right)$$

Aillem u:

$$u = \frac{\left(\frac{V^2}{2} - \frac{V_0^2}{2} + g \cdot h - g \cdot h_0 \right)}{g \cdot \cos(0,65) \cdot \uparrow X \cdot \cos(180)} = 3,63443$$

Havent dut a terme aquestes consideracions, iniciem el tractament físic del Circuit de Catalunya

4. Tractament i càlculs

4.1. Revolt Elf (número 1): S2

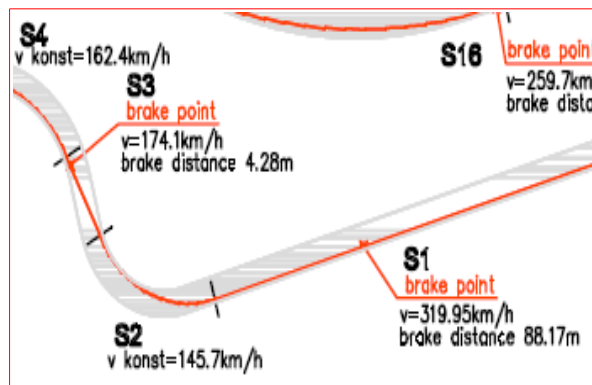
Per tal de poder comparar, després de la realització del treball, la nostra volta amb la millor volta feta amb un fórmula 1 al circuit dels últims anys, la nostra volta serà una volta

en la que es passarà per la línia de meta en marxa, com si es tractés de qualsevol volta intermèdia de la cursa.

Començarem a tractar el nostre estudi del circuit, doncs, a partir del primer revolt, ja que la velocitat màxima a la que puguem iniciar aquest, determinarà la longitud de la frenada en recta abans d'iniciar la corba, el temps de frenada, la desacceleració del cotxe, i fins i tot les forces gravitacionals patides pel pilot en l'entrada a la corba.

4.1.1. Característiques del Revolt Elf (número 1)

Radi de la corba	41 m
Direcció de la corba	Dreta
Inici de la corba	685 m de la meta
Recorregut de la corba a velocitat constant	74,30 m



4.1.2.

Càlculs

Com ja sabem gràcies a la taula de característiques de la corba, el revolt Elf té un recorregut de 74,30 metres, durant els quals els pilots giren a una velocitat constant. Aquesta velocitat és una velocitat limitada únicament per la força centrípeta i l'efecte que aquesta produeix sobre el cotxe, que sembla ser xuclat des de l'exterior. Així doncs, serà aquesta força, i no cap altre, la que determinarà la velocitat màxima a la que el cotxe pot realitzar el gir sense sortir tangencialment en un punt d'aquest, i aprofitant al màxim la rapidesa del cotxe.

Aquest revolt s'inicia uns 685 metres després de la sortida, i per tant, es troba al S2 (dels 685 m als 759,3 m).

Calculem però, el radi amb el que realment tracen la corba els pilots, que aconseguen una traçada ideal:

$$R = \frac{C^2}{8F} = \frac{(68,254 \text{ m})^2}{8 \cdot 11,813 \text{ m}} = 49,295 \text{ m}$$

Tenint en compte, per últim, que el desnivell en aquesta corba es pot desconsiderar, ja que únicament passa dels 112,60 m d'altitud (punt més baix del circuit), als 112,90 metres d'altitud, en 80 metres de recorregut, iniciem els càlculs.

Càlcul de la velocitat màxima a la que es pot traçar la corba:

Força centrípeta:

$$F_f = u \cdot N = 3,75785 \cdot 600 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/seg}^2 = 22096,158 \text{ Newtons}$$

$$F_f = \frac{m \cdot V^2}{R}$$

Aïllem v:

$$V = \sqrt{\frac{F_f \cdot R}{m}} = 42,607 \text{ m/seg} = 153,39 \text{ km/h}$$

Com veiem, hem utilitzat el coeficient de fricció de l'exemple de les corbes lentes (entre 0 i 150 km/h), ja que sabem que els cotxes a la cursa solen realitzar aquesta corba a uns 145,7 km/h.

Temps que transcorre mentre es realitza la corba:

$$\uparrow X = V \cdot t$$

Aïllem t:

$$t_{s2} = \frac{\uparrow X}{V} = \frac{74,30 \text{ m}}{42,607 \text{ m/seg}} = 1,744 \text{ seg}$$

Calculem, per acabar, el pes aparent aconseguit degut a l'efecte sòl produït pels alerons, utilitzant el valor del coeficient de fricció trobat per Internet (u=2,1):

$$F_f = \frac{m \cdot V^2}{R}$$

$$u \cdot m \cdot g = m \cdot \left(\frac{V^2}{R}\right)$$

Aïllem g:

$$g = \frac{V^2}{R \cdot u} = 17,536 \text{ m/seg}^2$$

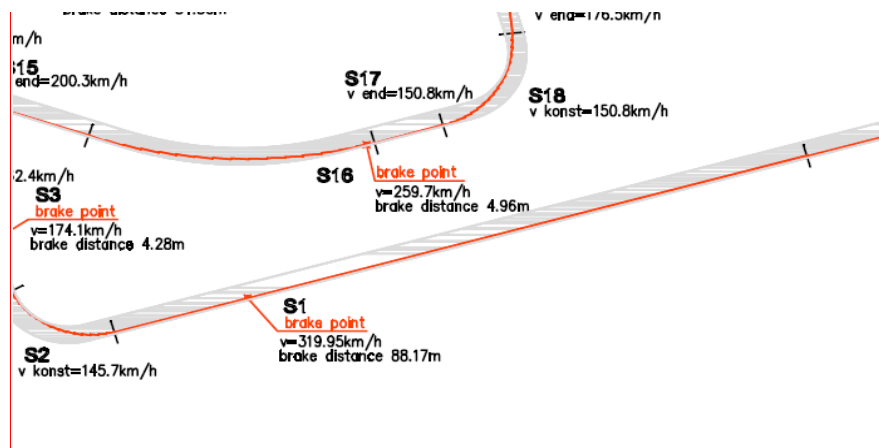
El pes aparent és, per tant:

$pes\ aparent = 600\ kg \cdot 17,536\ m/seg^2 = 10521,823\ Newtons$ que ve a ser el pes que té un objecte de 1073,655 kg

Una vegada estudiat el S2, ja podem estudiar el S1 :

4.2. Final de recta principal: S1

Inici de la recta	0 m
Final de la recta	685 m
Velocitat inicial (V ₀)	307,09 km/h; 85,302 m/seg
Velocitat Final (V)	153,39 km/h; 42,607 m/seg



4.2.1. Càlculs
sabem

Com ja sabem gràcies a un fitxer adjunt rebut dels administradors tècnics del circuit, el cotxe passa per línia de meta a uns 307,09 km/h, i accelerant. Aquesta acceleració la mantindrà, evidentment, fins al punt més aprop de l'inici de corba possible, per aprofitar al màxim la velocitat del cotxe. Calculem doncs, la velocitat en el punt en que el cotxe ha de començar a frenar cotxe, que sabem que és 88,17 m abans de començar la corba:

Tenim dos maneres de calcular la velocitat a la que inicia la frenada: a partir de la desacceleració màxima calculada empíricament amb prèvia observació de l'actuació dels cotxes durant diferents frenades al límit del circuit, o a partir de l'aplicació del teorema de la conservació de l'energia mecànica quan actuen forces no conservatives com la força de fricció. Nosaltres hem cregut més precis calcular la velocitat a la que inicia la corba a partir d'aquest últim teorema, que sembla no ésser tant empíric com el primer tractament. Així doncs, sense deixar de tenir en compte el desnivell que hi ha en aquests 88,17 m, per

petit que sigui, aïllem la V_0 (velocitat inicial), de la fórmula desenvolupada en l'apartat anterior anomenat "Recta principal (Estudi tram en recta): S1" (agafant el coeficient de fricció dels trams en recta= 3,63443)

$$\frac{V_0^2}{2} = \frac{V^2}{2} + gh - gh_0 - (u \cdot g \cdot \cos(0,65) \cdot \uparrow X \cdot \cos(180))$$

$$V_0 = \sqrt{2 \cdot \left(\left(\frac{V^2}{2} + gh - gh_0 \right) - (u \cdot g \cdot \cos(0,65) \cdot \uparrow X \cdot \cos(180)) \right)} = 89,867 \text{ m/seg} ; 323,52 \text{ km/h}$$

Així doncs, sabem que el cotxe anirà accelerant al llarg dels primers 596,83 m del primer sector (685 m - 88,17 m), amb una acceleració de:

$$a = \frac{(V^2 - V_0^2)}{2 \cdot \uparrow X} = 0,670 \text{ m/seg}^2$$

I que acabarà frenant durant els últims 88,17 m amb una desacceleració de:

$$a = \frac{(V^2 - V_0^2)}{2 \cdot \uparrow X} = -35,504 \text{ m/seg}^2 \text{ com podem veure, un valor molt aproximat a la desacceleració màxima calculada a les primeres planes del projecte, lògicament.}$$

Sumem el temps que transcorre mentre accelera a $0,670 \text{ m/seg}^2$ durant els primers 596,83 m, i el temps que transcorre mentre frena a $-35,504 \text{ m/seg}^2$, i obtindrem el temps que tarda en realitzar el primer sector:

Mentre accelera a $0,670 \text{ m/seg}^2$:

$$t_1 = \frac{V - V_0}{a} = 6,812 \text{ seg}$$

Mentre frena a $-35,504 \text{ m/seg}^2$:

$$t_2 = \frac{V - V_0}{a} = 1,391 \text{ seg}$$

$$t_1 + t_2 = 8,203 \text{ seg} = t_{S1}$$

Sumem ara, el temps transcorregut fins el punt on ens trobem en els càlculs del projecte (S1 i S2):

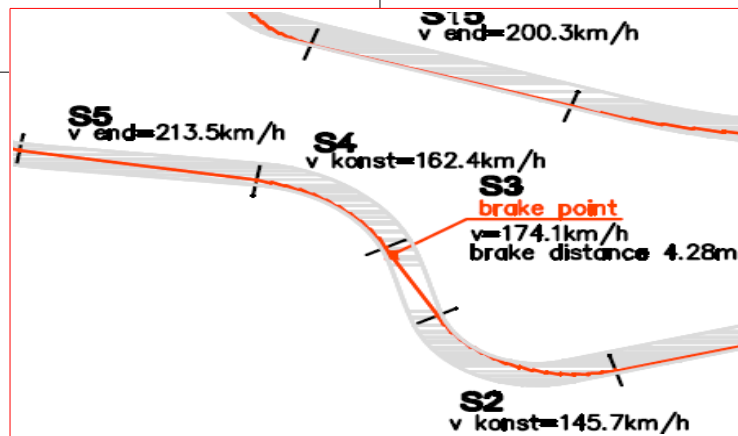
$$t_{S1} + t_{S2} = 9,947 \text{ seg}$$

4.3. Revolt número 2: S4

Abans d'estudiar el S3 (petit tram en recta), cal estudiar el S4 que és el revolt número 2, i ha de determinar la velocitat final a la que el nostre cotxe ha d'acabar el S3 i iniciar el S4. Estudiem, doncs, el S4.

4.3.1. Característiques del Revolt número 2: S4

Radi de la corba	60 m
Direcció de la corba	Esquerra
Inici de la corba	797,43 m de la meta
Recorregut de la corba a velocitat constant	58,60 m



4.3.2.

Com podem veure, aquesta

Càlculs

veure, aquesta les corbes on el

pilot realitzi una traçada que impliqui una variació del radi de la corba. Així doncs, a aquesta corba li donarem el valor del radi extret dels fitxers adjunts originals (R=60 m). Sabem, també, que el recorregut de la corba és de 58,60 m, i que el transcorre a velocitat constant. Tenint en compte, per últim, que hem d'agafar el valor del coeficient de fricció de les corbes moderades (entre 150 i 200 km/h), calcularem la velocitat màxima a la que es pot iniciar i realitzar el revolt, a través de la força centrípeta.

Abans però, cal calcular la força normal, que variarà degut al desnivell que hi ha durant el recorregut en corba, que és un desnivell de 2,05 m (115,75 m-113,70 m).

Càlcul de la N:

$$\partial(\text{Angle del plà inclinat}) = \arcsin\left(\frac{115,75\text{ m} - 113,70\text{ m}}{58,60\text{ m}}\right) = 2,005$$

$$N = Py = pes \cdot \cos(\partial) = m \cdot g \cdot \cos(\partial) = 5876,4001 \text{ Newtons}$$

$$Ff = u \cdot N = 3,97388 \cdot N = 23352,1090 \text{ Newtons}$$

$$Ff = \frac{m \cdot V^2}{R}$$

Aïllem v:

$$V = \sqrt{\frac{Ff \cdot R}{m}} = 48,324 \text{ m/seg} = 173,97 \text{ km/h}$$

Calculem ara el temps que transcorre en el recorregut de la corba:

$$\uparrow X = V \cdot t$$

$$t_{S4} = \frac{\uparrow X}{V} = \frac{58,60 \text{ m}}{48,324 \text{ m/seg}} = 1,213 \text{ seg}$$

Finalment, calculem el pes aparent aconseguit gràcies als alerons, utilitzant el valor de 2,1 per el coeficient de fricció:

$$Ff = \frac{m \cdot V^2}{R}$$

$$u \cdot m \cdot g = m \cdot \left(\frac{V^2}{R}\right)$$

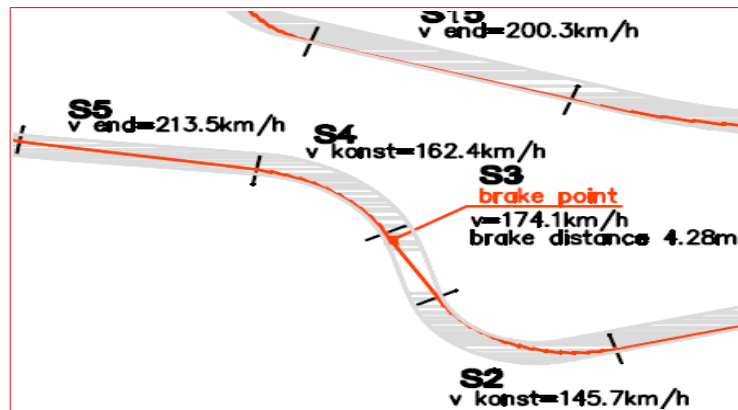
$$g = \frac{V^2}{R \cdot u} = 18,533 \text{ m/seg}^2$$

pes aparent = $600 \text{ kg} \cdot 18,533 \text{ m/seg}^2 = 11120,043 \text{ Newtons}$ que ve a ser el pes que tindria un objecte de 1134,70 kg de massa.

Havent treballat el S4, ara podem estudiar el S3:

4.4. Petit tram en recta: S3

Inici de la recta	759,3 m
Final de la recta	797,73 m
Velocitat inicial (V_0)	153,39 km/h; 42,607 m/seg
Velocitat final (V)	173,97 km/h; 48,324 m/seg



4.4.1.

Com ja sabem, recta és de

D'aquests 38,43 m és fàcilment deduïble que transcorrerà tots els que pugui accelerant, apurant al màxim l'inici de frenada per entrar en el revolt número 2 (S4), a la velocitat determinada anteriorment (173,97 km/h). Partint de 153,39 km/h, i sabent, mitjançant càlculs a través de l'estudi dels fitxers adjunts originals, que l'acceleració màxima d'un fórmula 1, entre els 100 i els 200 km/h, és de 10,24 m/seg², calculem el valor de la velocitat que pot agafar abans d'iniciar la frenada (4,28 m abans del revolt segons les dades extretes del fitxer):

Càlculs

la distància en 38,43 m.

$$V = \sqrt{2 \cdot a \cdot X + V_0^2} = \sqrt{2 \cdot 10,24 \cdot 34,15 + (42,607^2)} = 50,151 \text{ m/seg} ; 180,54 \text{ km/h}$$

Per tant, deixarà d'accelerar quan ja porti 34,15 metres en recta, i vagi a una velocitat de 180,54 km/h, però no començarà a frenar fins uns metres després. Calculem doncs, a quina distància de la corba comença a frenar, després d'haver aixecat el peu de l'accelerador, essent a la desacceleració màxima (- 35,5007 m/seg²)

$$\uparrow X = \frac{V^2 - V_0^2}{2 \cdot a} = \frac{48,324^2 - 50,151^2}{2 \cdot -35,5007} = 2,534 \text{ m}$$

Calculem ara, el temps que transcorre en recórrer el S3, sumant el temps accelerant, el temps a velocitat constant, i el temps en frenada. Posteriorment, sumarem el temps transcorregut en el S3 amb el conjunt de temps transcorreguts durant els altres tres sectors estudiats (S1-S2-S4), amb la finalitat d'anar calculant el temps de la nostra volta perfecta.

Accelerant:

$$t_1 = \frac{V - V_0}{a} = \frac{50,151 - 42,607}{10,24} = 0,737 \text{ seg}$$

Constant: $t_2 = \frac{\uparrow X}{V} = \frac{4,28 - 2,534}{50,151} = 0,035 \text{ seg}$

Frenant:

$$t_3 = \frac{V - V_0}{a} = \frac{48,324 - 50,151}{-35,5007} = 0,08 \text{ seg}$$

$$t_1 + t_2 + t_3 = 0,852 \text{ seg} = t_{S3}$$

Sumem els temps dels 4 primers sectors:

$$t_{S1} + t_{S2} + t_{S3} + t_{S4} = 12,012 \text{ seg} \text{ en haver recorregut } 856,03 \text{ m des de la meta.}$$

Ara estudiarem el S6 (corba ràpida i accelerant), abans d'estudiar el Sector 5 (tram de moderada distància en recta).

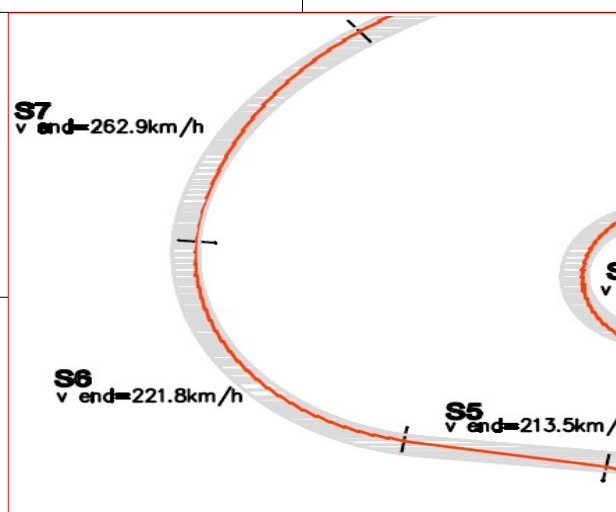
4.5. Revolt Renault (número 3): S6

El revolt Renault, és una successió de tres corbes en pujada i cap a la dreta, de radi cada vegada més elevat. El sector 6 (S6), és la primera d'aquestes corbes, la de radi menor (105 m). Sabem que els cotxes comencen el recorregut d'aquesta corba accelerant, i el nostre estudi no passarà per alt aquesta informació, però com a tota corba, hi ha una velocitat límit de realització, que haurem de calcular.

4.5.1. Característiques del Revolt Renault (número 3): S6

Radi de la corba	105 m
Direcció de la corba	Dreta
Inici de la corba	941,11 m de la meta
Recorregut de la corba	156,42 m

At havia de començar a sector 3, i per saber podria assolir des de fins l'entrada al S4,



que frenar el cotxe al la velocitat que la sortida del S2 hem fet ús d'una

acceleració extreta a partir dels fitxers adjunts originals. Sabem que un fórmula 1, accelera més ràpid dels 0 als 100 km/h, que dels 200 als 300 km/h. De fet, sabem que l'acceleració del fórmula 1 minva així com augmenta la velocitat a la que es mou, com passa amb tots els cotxes. Però el fórmula 1, tot i no ser el cotxe més ràpid que hi ha al planeta terra, si que és el cotxe amb el que es pot fer més ràpid una volta a un circuit degut a la seva acceleració i aerodinàmica, que el fan un cotxe peculiar i diferent als altres. Per fer-nos una idea, un cotxe de fórmula 1 accelera dels 0 als 100 km/h en 2,6 segons, però això no és tot. El que realment sorprèn, és que accelera dels 0 als 200 km/h en 5,2 segons, el que implica que l'acceleració és la mateixa dels 0 als 100 km/h que dels 100 als 200 km/h, i això és degut a l'avantatge que té el fórmula 1 respecte als altres cotxes de carreres degut als alerons, que permeten que el pilot pugui continuar accelerant a la mateixa velocitat, sense que les rodes patinin, gràcies al pes aparent aconseguit a altes velocitats. Ara bé, no tot són avantatges quan parlem d'aerodinàmica, ja que cal tenir en compte, que per contra, el fórmula 1 té dificultats en l'acceleració a partir dels 200 km/h. De fet, gràcies a la informació extreta a partir d'un reportatge d'Antena 3 en la prèvia a la retransmissió del Gran Premi Italià de Monza del passat diumenge 8 de setembre, sabem que un fórmula 1 tarda uns 11,65 segons en arribar als 300 km/h, partint de 0 km/h.

Per tal de resoldre circumstàncies com l'esmentada al principi d'aquest apartat, determinarem ara tres acceleracions diferents, extretes a partir del reportatge mencionat anteriorment.

$$\text{Acceleració dels 0 als 100 km/h (27,778 m/seg): } a = \frac{V - V_0}{t} = 10,684 \text{ m/seg}^2$$

$$\text{Acceleració dels 100 als 200 km/h (55,556 m/seg): } a = 10,684 \text{ m/seg}^2$$

$$\text{Acceleració dels 200 als 300 km/h (83,333 m/seg): } a = 4,409 \text{ m/seg}^2$$

Per calcular la velocitat màxima a la que pot recórrer la corba, primer hem de calcular la Normal, que varia degut al desnivell de 5,95 m que hi ha.

$$\partial(\text{Angle del plà inclinat}) = \arcsin\left(\frac{125,45 \text{ m} - 119,50 \text{ m}}{156,42 \text{ m}}\right) = 2,18$$

Agafant el coeficient de fricció de les corbes ràpides (+ de 200 km/h):

$$F_f = u \cdot N = u \cdot P_y = U \cdot \text{pes} \cdot \cos(\partial) = u \cdot m \cdot g \cdot \cos(\partial) = 26514,18 \text{ Newtons}$$

Calculem, ara si, la velocitat màxima:

$$V = \sqrt{\frac{F_f \cdot R}{m}} = 68,117 \text{ m/seg} = 245,22 \text{ km/h}$$

Sabent, doncs, que després d'haver accelerat tot el que hagi pogut durant el S5, encara pot accelerar fins els 245,22 km/h, calcularem quin tram de corba el passa accelerant fins assolir aquesta velocitat. Abans, però, necessitarem saber, a quina velocitat inicia el revolt, que dependrà de l'acceleració mantinguda durant el S5.

4.6. Moderat tram en recta: S5

Com sabem que surt a una velocitat de 173,97 km/h de la corba, farem servir una mitjana entre les acceleracions calculades anteriorment, ja que es troba en el punt de pas entre els 200 i els 300 km/h, just el punt on el cotxe passa d'accelerar a 10,684 m/seg² a 4,409 m/seg². L'acceleració, per tant, durant el S5 serà de 7,5465 m/seg².

Inici de la recta	856,03 m
Final de la recta	941,11 m
Velocitat inicial (V ₀)	173,97 km/h; 48,324 m/seg
Velocitat final (V)	216,58 km/h; 60,161 m/seg
Desnivell	(119,5 - 115,725) m = 3,775

Calculem la força de fricció, amb la variació de força normal que pertoca degut al desnivell, i agafant el coeficient de fricció dels trams en recta:

$$\partial(\text{Angle del plà inclinat}) = \arcsin\left(\frac{119,50\text{ m} - 115,725\text{ m}}{85,08\text{ m}}\right) = 2,543$$

$$F_f = u \cdot N = u \cdot P_y = u \cdot \text{pes} \cdot \cos(\partial) = u \cdot m \cdot g \cdot \cos(\partial) = 21349,402 \text{ Newtons}$$

Calculem, ara si, la velocitat que assoleix a final de recta:

$$V = \sqrt{2 \cdot a \cdot X + V_0^2} = \sqrt{2 \cdot 7,5465 \cdot 85,08 + (48,324^2)} = 60,161 \text{ m/seg}; 216,58 \text{ km/h}$$

Calculem el temps que transcorre durant el S5 (moderat tram en recta):

$$t_{S5} = \frac{V - V_0}{a} = 1,57 \text{ seg}$$

Tornem ara, doncs, al **Revolt Renault (número 3): S6**

Havent superat ja, els 200 km/h, farem servir l'acceleració de 4,409 m/seg², per determinar els metres i temps en corba que necessita el cotxe per assolir els 245,22 km/h.

$$\uparrow X = \frac{V^2 - V_0^2}{2 \cdot a} = 115,738 \text{ m} \quad \text{Són els metres del S6 durant els quals el cotxe accelera. Així}$$

doncs, durant els següents $(156,42 - 115,738) \text{ m} = 40,682 \text{ m}$, el cotxe mantindrà una velocitat constant de 245,22 km/h

Calculem el temps durant el S6, i a continuació sumem tots els temps transcorreguts fins el punt on hem estudiat (S1-S6, incloent-los):

S6:

$$\text{Accelerant: } t_1 = \frac{V - V_0}{a} = \frac{68,117 - 60,161}{4,409} = 1,804 \text{ seg}$$

$$\text{A velocitat constant: } t_2 = \frac{\uparrow X}{V} = \frac{40,682}{68,117} = 0,597 \text{ seg}$$

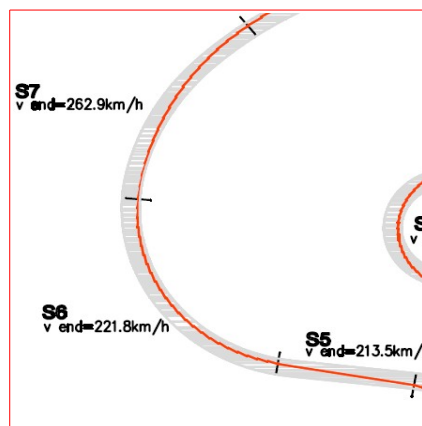
$$t_{S1} + t_{S2} + t_{S3} + t_{S4} + t_{S5} + t_{S6} = 15,983 \text{ seg} \quad \text{a } 1097,53 \text{ m de la sortida.}$$

4.7. Revolt Renault (número 4): S7

El revolt número 7, és la segona corba de l'anomenat revolt Renault. Amb un radi de 140 m, i essent considerada una corba ràpida (+ 200 km/h), iniciarem el seu tractament, tot just després de mencionar les seves característiques i adjuntar una imatge de la traçada durant el S7.

4.7.1. Característiques del Revolt Renault (número 4): S7

Radi de la corba	140 m
Direcció de la corba	Dreta
Inici de la corba	1097,53 m de la meta
Recorregut de la corba	141,35 m



4.7.2. Càlculs

Com podem veure en aquesta corba, els pilots si duen a terme una traçada determinada per tal d'augmentar el radi i poder assolir velocitats més elevades. Calculem doncs, el radi real:

$$R = \frac{C^2}{8F} = \frac{(137,820 \text{ m})^2}{8 \cdot 13,126 \text{ m}} = 180,885 \text{ m}$$

Per calcular la velocitat màxima a la que poden realitzar la corba, abans haurem de calcular la N, que varia degut al desnivell:

$$\partial (\text{Angle del plà inclinat}) = \arcsin\left(\frac{127,60 \text{ m} - 125,45 \text{ m}}{141,35 \text{ m}}\right) = 0,87$$

Agafant el coeficient de fricció de les corbes ràpides (+ de 200 km/h):

$$Ff = u \cdot N = u \cdot Py = u \cdot pes \cdot \cos(\partial) = 4,51248 \cdot 600 \cdot 9,8 \cdot \cos(0,87) = 26530,32363 \text{ Newtons}$$

Calculem, ara si, la velocitat màxima:

$$V = \sqrt{\frac{Ff \cdot R}{m}} = \sqrt{\frac{26530,32363 \cdot 180,885}{600}} = 89,433 \text{ m/seg} = 321,96 \text{ km/h}$$

Així doncs, al acabar el S6 a 245,22 km/h (68,117 m/seg), començarà a accelerar, fins a assolir la velocitat de 321,96 km/h, o bé fins quedar-se sense més espai per assolir-la ja que comença el S8.

Velocitat que té el cotxe accelerant a 4,409 m/seg², a final de corba:

$$V = \sqrt{2 \cdot a \cdot X + V_0^2} = \sqrt{2 \cdot 4,409 \cdot 141,35 + (68,117^2)} = 76,723 \text{ m/seg} ; 276,20 \text{ km/h}$$

Temps transcorregut durant el S7:

$$t_{S7} = \frac{V - V_0}{a} = \frac{76,723 - 68,117}{4,409} = 1,952 \text{ seg}$$

Arribats a aquest punt, i havent exposat els càlculs i metodologia necessària per resoldre tots els tipus de circumstàncies possibles (trams en recta accelerant, en frenada, a velocitat constant abans d'iniciar una frenada; trams en corba (lentes, moderades i ràpides) a velocitat constant o accelerant, a partir d'ara, per tal que l'extensió del treball sigui assequible, anirem donant els resultats dels 33 sectors que queden, sense explicar pas per pas els càlculs que portem a terme per trobar aquestes conclusions, passos que serien

repetitius del que hem fet fins ara. (El circuit el podeu trobar als annexos: pàgines 46,47,48).

4.8. Revolt Renault (número 5): S8

Velocitat inicial: 76,723 m/seg ;276,20 km/h

Velocitat final: 81,91 m/seg; 294,874 km/h

Acceleració: 4,409 m/seg²

Desplaçament: 93,30 m (1332,18 m des de la línia de sortida)

Temps acumulat des de la línia de sortida al acabar el S8: 19,111 seg

4.9. Tram en recta: S9

Velocitat inicial: 81,91 m/seg; 294,874 km/h

Velocitat final: 46,014 m/seg; 165,65 km/h

Acceleració: 4,409 m/seg²

Desacceleració: -35,5007 m/seg²

Desplaçament: 203,03 m (1535,21 m des de la línia de sortida)

Temps acumulat des de la línia de sortida al acabar el S9: 21,861 seg

4.10. Revolt Repsol (número 6): S10

Velocitat (constant): 46,024 m/seg; 165,65 km/h

Desplaçament: 152,27 m (1687,48 m des de la línia de sortida)

Temps acumulat des de la línia de sortida al acabar el S10: 25,171 seg

4.11. Revolt Repsol (número 7): S11

Velocitat inicial: 46,024 m/seg; 165,65 km/h

Velocitat final: 57,35 m/seg; 206,26 km/h

Desplaçament: 66,12 m (1753,6 m des de la línia de sortida)

Temps acumulat des de la línia de sortida al acabar el S11: 26,441 seg

4.12. Revolt Repsol (número 8): S12

Velocitat inicial: 57,35 m/seg; 206,26 km/h

Velocitat final: 64,41 m/seg; 231,88 km/h

Desplaçament: 61,24 m (1814,84 des de la línia de sortida)

Temps acumulat des de la línia de sortida al acabar el S12: 27,441 seg

4.13. Moderat tram en recta: S13

Velocitat inicial: 64,41 m/seg; 231,88 km/h

Velocitat final: 34,239 m/seg; 123,26 km/h

Acceleració: 4,409 m/seg²

Desacceleració: -35,5007 m/seg²

Desplaçament: 136,36 m (1951,2 des de la línia de sortida)

Temps acumulat des de la línia de sortida al acabar el S13: 29,681 seg

4.14. Revolt Seat (número 9): S14

Velocitat (constant): 34,239 m/seg; 123,26 km/h

Desplaçament: 111,20 m (2062,4 des de la línia de sortida)

Temps acumulat des de la línia de sortida al acabar el S14: 32,931 seg

4.15. Moderat tram en recta: S15

Velocitat inicial: 34,239 m/seg; 123,26 km/h

Velocitat final: 55,64 m/seg; 200,32 km/h

Acceleració: 10,684 m/seg²

Desplaçament: 97,13 m (2159,53 m des de la línia de sortida)

Temps acumulat des de la línia de sortida al acabar el S15: 35,061 seg

4.16. Revolt número 10: S16

Velocitat inicial: 55,64 m/seg; 200,32 km/h

Velocitat final: 69,66 m/seg; 250,79 km/h

Desplaçament: 178,04 m (2337,57 m des de la línia de sortida)

Temps acumulat des de la línia de sortida al acabar el S16: 37,801 seg

4.17. Petit tram en recta: S17

Velocitat inicial: 69,66 m/seg; 250,79 km/h

Velocitat final: 41,901 m/seg; 150,84 km/h

Desacceleració: -35,5007 m/seg²

Desplaçament: 43,63 m (2381,2 m des de la línia de sortida)

Temps acumulat des de la línia de sortida al acabar el S17: 38,581 seg

4.18. Revolt número 11: S18

Velocitat (constant): 41,901 m/seg; 150,84 km/h

Desplaçament: 81,06 m (2462,26 m des de la línia de sortida)

Temps acumulat des de la línia de sortida al acabar el S18: 40,521 seg

4.19. Petit tram en recta: S19

Velocitat inicial: 41,901 m/seg; 150,84 km/h

Velocitat final: 49,017 m/seg; 176,46 km/h

Acceleració: 10,684 m/seg²

Desplaçament: 32,06 m (2494,32 m des de la línia de sortida)

Temps acumulat des de la línia de sortida al acabar el S19: 41.221 seg

4.20. Revolt número 12: S20

Velocitat inicial: 49,017 m/seg; 176,46 km/h

Velocitat final: 62,869 m/seg; 226,33 km/h

Desplaçament: 97,50 m (2591,82 m des de la línia de sortida)

Temps acumulat des de la línia de sortida al acabar el S20: 42,951 seg

4.21. Moderat tram en recta: S21

Velocitat inicial: 62,869 m/seg; 226,33 km/h

Velocitat final: 67,1806 m/seg; 241,85 km/h

Desplaçament: 97,39 m (2689,21 m des de la línia de sortida)

Temps acumulat des de la línia de sortida al acabar el S21: 44,401 seg

4.22. Revolt Campsa (número 12): S22

Velocitat (constant): 67,1806 m/seg; 241,85 km/h

Desplaçament: 192,79 m (2882 m des de la línia de sortida)

Temps acumulat des de la línia de sortida al acabar el S22: 47,271 seg

4.23. Petit tram en recta: S23

Velocitat inicial: 67,1806 m/seg; 241,85 km/h

Velocitat final: 71,753 m/seg; 258,31 km/h

Desplaçament: 62,86 m (2944,86 m des de la línia de sortida)

Temps acumulat des de la línia de sortida al acabar el S23: 48,171 seg

4.24. Petit tram en recta: S24

Velocitat inicial: 71,753 m/seg; 258,31 km/h

Velocitat final: 73,564 m/seg; 264,83 km/h

Desplaçament: 30,84 m (2975,7 m des de la línia de sortida)

Temps acumulat des de la línia de sortida al acabar el S24: 48,591 seg

4.25. Tram en recta: S25

Velocitat inicial: 73,564 m/seg; 264,83 km/h

Velocitat final: 27,308 m/seg; 98,31 km/h

Desplaçament: 349,55 m (3325,25 m des de la línia de sortida)

Temps acumulat des de la línia de sortida al acabar el S25: 53,501 seg

4.26. Revolt La Caixa (número 13): S26

Velocitat (constant): 27,308 m/seg; 98,31 km/h

Desplaçament: 74,19 m (3399,44 m des de la línia de sortida)

Temps acumulat des de la línia de sortida al acabar el S26: 56,221 seg

4.27. Petit tram en recta: S27

Velocitat inicial: 27,308 m/seg; 98,31 km/h

Velocitat final: 43,95 m/seg; 158,22 km/h

Desplaçament: 50,95 m (3450,39 m des de la línia de sortida)

Temps acumulat des de la línia de sortida al acabar el S27: 57,641 seg

4.28. Revolt número 14: S28

Velocitat inicial: 43,95 m/seg; 158,22 km/h

Velocitat final: 52,444 m/seg; 188,80 km/h

Desplaçament: 42,78 m (3493,17 m des de la línia de sortida)

Temps acumulat des de la línia de sortida al acabar el S28: 58,531 seg

4.29. Revolt número 15: S29

Velocitat inicial: 52,444 m/seg; 188,80 km/h

Velocitat final: 42,6 m/seg; 153,36 km/h

Desplaçament: 42,70 m (3535,87 m des de la línia de sortida)

Temps acumulat des de la línia de sortida al acabar el S29: 59,351 seg

4.30. Revolt Banc de Sabadell (número 16): S30

Velocitat inicial: 42,6 m/seg; 153,36 km/h

Velocitat final: 42,4028 m/seg; 152,65 km/h

Desplaçament: 89,11 m (3624,98 m des de la línia de sortida)

Temps acumulat des de la línia de sortida al acabar el S30: 61,441 seg

4.31. Revolt Banc de Sabadell (número 17): S31

Velocitat (constant): 42,4028 m/seg; 152,65 km/h

Desplaçament: 95,86 m (3720,84 m des de la línia de sortida)

Temps acumulat des de la línia de sortida al acabar el S31: 63,701 seg

4.32. Moderat tram en recta: S32

Velocitat inicial: 42,4028 m/seg; 152,65 km/h

Velocitat final: 46,6028 m/seg; 167,77 km/h

Desplaçament: 108,01 m (3828,85 m des de la línia de sortida)

Temps acumulat des de la línia de sortida al acabar el S32: 65,811 seg

4.33. Revolt Europcar (número 18): S33

Velocitat (constant): 46,6028 m/seg; 167,77 km/h

Desplaçament: 107,31 m (3936,16 m des de la línia de sortida)

Temps acumulat des de la línia de sortida al acabar el S33: 68,111 seg

4.34. Petit tram en recta: S34

Velocitat inicial: 46,6028 m/seg; 167,77 km/h

Velocitat final: 27,0444 m/seg; 97,36 km/h

Desplaçament: 34,96 m (3971,12 m des de la línia de sortida)

Temps acumulat des de la línia de sortida al acabar el S34: 68,971 seg

4.35. Revolt número 19: S35

Velocitat (constant): 27,0444 m/seg; 97,36 km/h

Desplaçament: 43,42 m (4014,54 m des de la línia de sortida)

Temps acumulat des de la línia de sortida al acabar el S35: 70,581 seg

4.36. Petit tram en recta: S36

Velocitat inicial: 27,0444 m/seg; 97,36 km/h

Velocitat final: 31,6389 m/seg; 113,9 km/h

Desplaçament: 10,53 m (4025,07 m des de la línia de sortida)

Temps acumulat des de la línia de sortida al acabar el S36: 70,941 seg

4.37. Revolt número 20: S37

Velocitat inicial: 31,6389 m/seg; 113,9 km/h

Velocitat final: 35,019 m/seg; 126,07 km/h

Desplaçament: 52,84 m (4077,91 m des de la línia de sortida)

Temps acumulat des de la línia de sortida al acabar el S37: 72,461 seg

4.38. Petit tram en recta: S38

Velocitat inicial: 35,019 m/seg; 126,07 km/h

Velocitat final: 42,0806 m/seg; 151,49 km/h

Desplaçament: 24,09 m (4102 m des de la línia de sortida)

Temps acumulat des de la línia de sortida al acabar el S38: 73,081 seg

4.39. Revolt New Holland (número 21): S39

Velocitat inicial: 42,0806 m/seg; 151,49 km/h

Velocitat final: 68,1694 m/seg; 245,41 km/h

Desplaçament: 186,77 m (4288,77 m des de la línia de sortida)

Temps acumulat des de la línia de sortida al acabar el S39: 76,381 seg

4.40. Tram en recta final: S40

Velocitat inicial: 68,1694 m/seg; 245,41 km/h

Velocitat final: 85,3028 m/seg; 307,09 km/h

Desplaçament: 313,18 m (4602,55 m des de la línia de sortida)

Temps acumulat des de la línia de sortida al acabar el S40: 80,461 seg

5. Conclusions

Una vegada finalitzat l'estudi complet, sector a sector del circuit, considerant tots els factors que influencien en l'assoliment del nostre objectiu, determinem les conclusions a les que hem arribat:

Després d'haver recorregut una traçada per volta de 4602,55 m, el nostre cotxe (estandarditzat en tots els sentits), haurà aconseguit un temps per volta de 80,461 seg (1:20,461). Si comparem el nostre temps amb el de la millor volta feta a la

història al Circuit de Catalunya, protagonitzada per Kimi Räikkönen l'any 2008 (1:21,670), podem apreciar que som 1,209 segons per volta més ràpids, el que en fórmula 1 és una diferència molt gran.

Calculem, per acabar, la velocitat mitjana a la que realitza la volta el nostre cotxe:

$$V = \frac{\uparrow X \text{ total}}{\text{temps total}} = \frac{4602,55 \text{ m}}{80,461 \text{ seg}} = 57,2022 \text{ m/seg} ; 205,93 \text{ km/h}$$

Personalment, la realització d'aquest treball penso m'ha estat realment profitosa, en el sentit que he après a aplicar de manera pràctica, molts dels coneixements físics que hem anat aprenent a l'institut. Dit d'altra manera, he transportat tot allò que coneixia de manera teòrica i que havíem demostrat matemàticament, a un problema pràctic. I al resoldre aquest problema, he pogut verificar empíricament les lleis o teoremes en què m'he basat per dur a terme el projecte. A més a més, a mesura que anava avançant, m'he anat trobant amb tot un seguit d'obstacles, obstacles que he superat fent ús de l'enginy, de consideracions basades en fonaments empírics però alhora raonats.

Com ja vaig esmentar a la introducció, el món del motor sempre m'ha atret especialment, i ara, després d'haver acabat el treball, conec més aquest món que m'apassiona, i valoro encara més el treball que, com ja vaig defensar a l'encapçalament del projecte, realitza tot el personal que participa de manera directa als diferents Grans Premis de la temporada. He pogut apreciar, des dels ulls d'un jove aprenent, la dificultat implícita en les curses, el que realment hi ha al darrere d'aquestes màquines tant perfectes, tan rendibles, i en definitiva, tan estudiades. Perquè ara sí, puc dir, que tots els factors, per insignificant que ens sembli la seva presència, influeixen en el rendiment del cotxe en cursa. I és que, sé, que si tingués prou coneixements matemàtics i físics com per tenir en compte encara més variables, la complexitat del treball esdevindria, encara, més elevada. Però no vull dir amb això que la dificultat d'aquest, encara que present, hagi estat un problema a l'hora del desenvolupament del treball. Perquè per mi, el que sí ha estat és tot un repte, una lluita per assolir els objectius plantejats des de l'inici.

6. Bibliografia

Informació tècnica del Circuit:

- <http://www.f1aldia.com/4260/estudio-del-circuito-de-montmelo/>
- <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Catalunya.svg>
- <http://www.circuitcat.com/es/visitaguiada/index.php#>

Força centrípeta:

- <http://www.buenastareas.com/ensayos/Fuerza-Centr%C3%ADpeta-y-Centrifuga/5543511.html>
- <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/cf.html>

Aerodinàmica:

- <http://f1pastandpresent.blogspot.com.es/2008/05/para-comenzar-entender-la-frmula-uno.html>

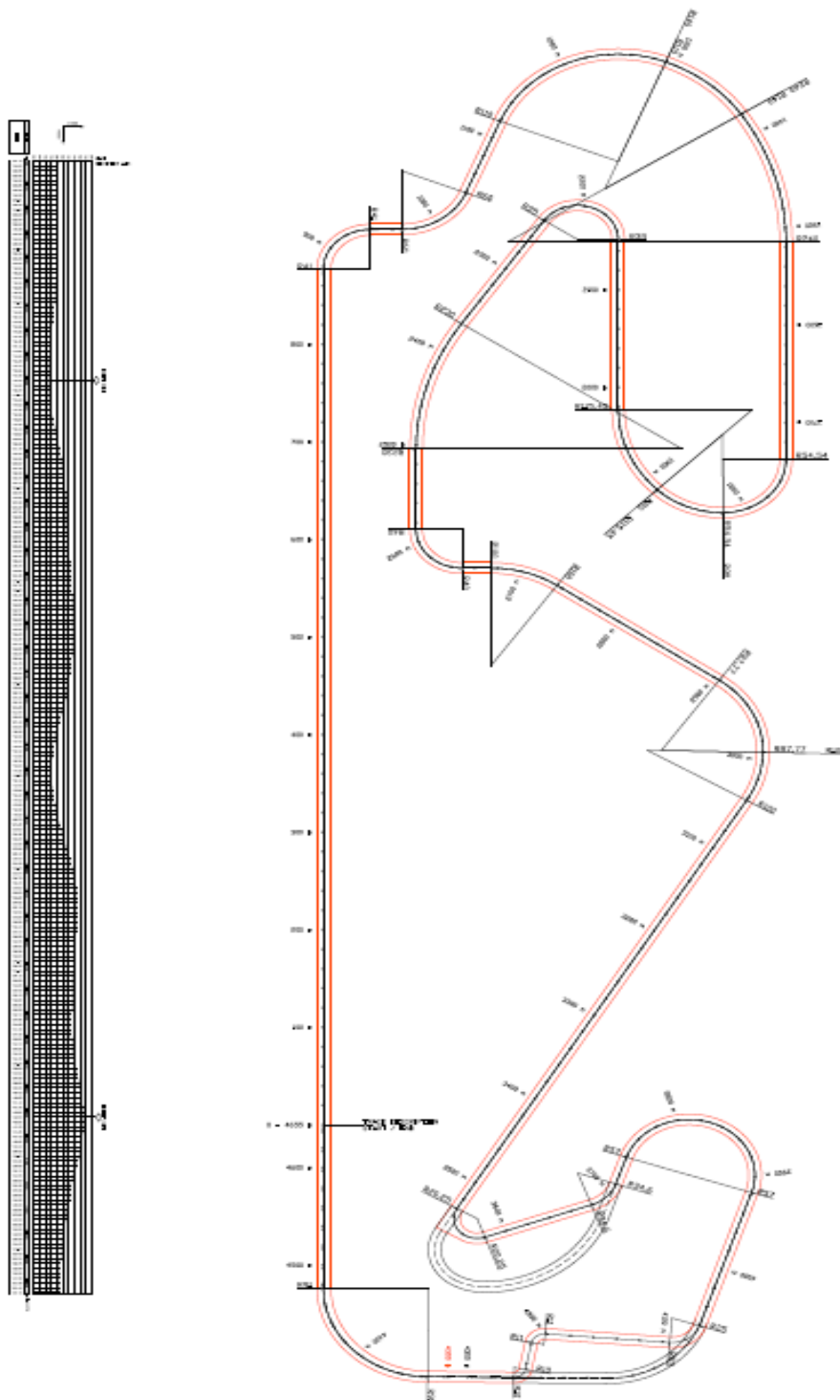
- http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:6GhDIVyfQtsJ:https://poliformat.upv.es/access/content/group/ALU_5698_2006/08.%2520ExCmenes%2520de%2520Cursos%2520Anteriores/Curso%25202005-2006/Final%2520de%2520Junio/Examen%2520jul06_Problemas-resuelto.doc+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=es

Per l'estudi geomètric proporcional per tal de determinar els radis de les corbes segons la traçada:

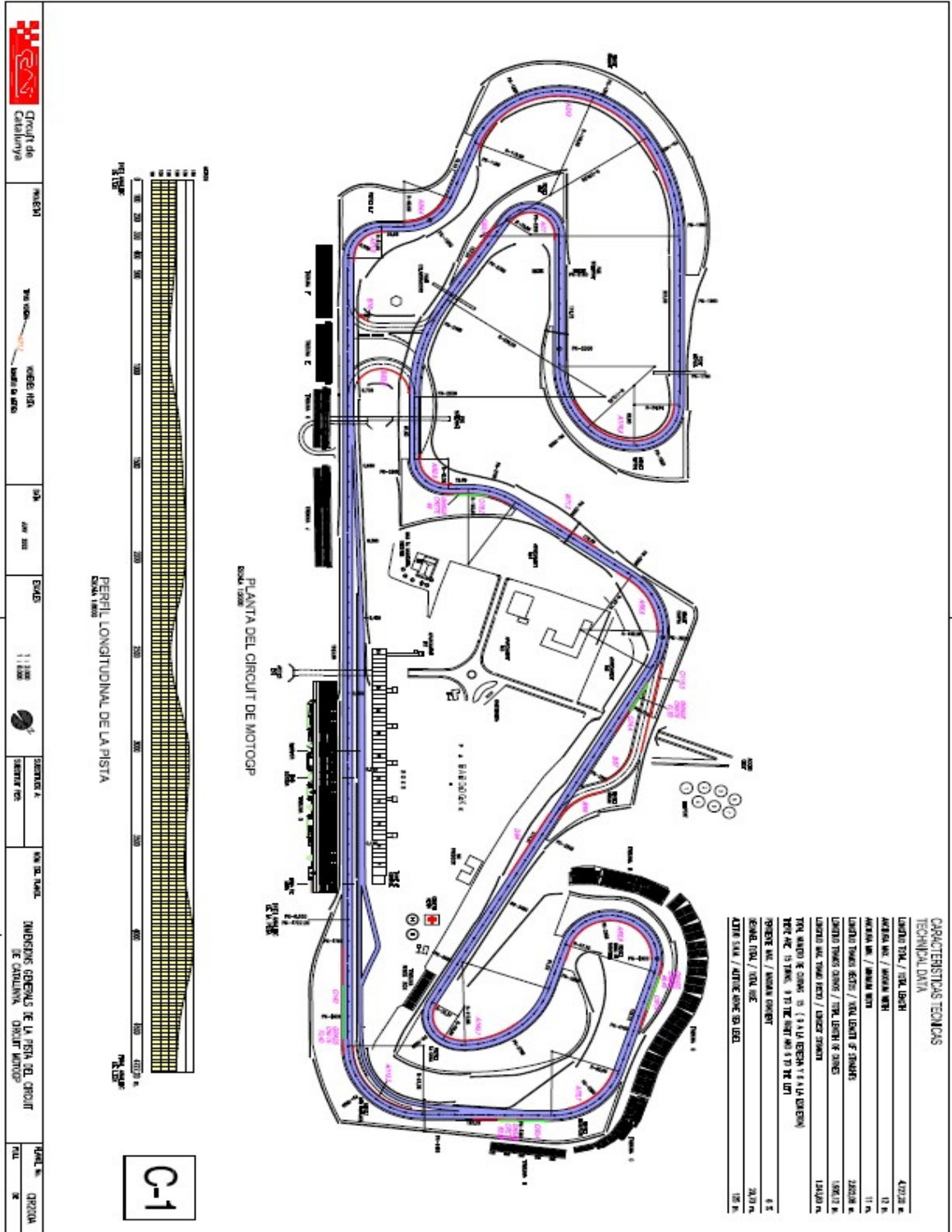
- <http://www.cartesia.org/foro/viewtopic.php?t=15811>

ANNEXOS: (Els PDF originals els trobareu adjunts al CD)

Annex 1 (Mides del Circuit, desnivell i radi de les corbes)



Annex 2 (Mides del Circuit, desnivells, nomenclatura dels sectors, habitatges,...)



Annex 3 (Circuit homologat)

