

Sumari

SUMARI	1
A. DETERMINAR LA RELACIÓ DE LA TRANSMISSIÓ SECUNDARIA	3
A.1. L'objectiu	3
A.2. Les limitacions de l'estudi	3
A.3. L'estudi.....	4
A.3.1. Algoritme del programa	8
A.4. Transmissió utilitzada.....	12
A.4.1. Paràmetres d'entrada de la transmissió utilitzada	12
A.4.2. Resultats de la transmissió utilitzada	13
A.5. Transmissió optimitzada	16
A.5.1. Paràmetres d'entrada de la transmissió optimitzada	16
A.5.2. Resultats de la transmissió optimitzada.....	17
A.6. Conclusions.....	20
B. LA SELECCIÓ DELS RODAMENTS	21
B.1. Rodaments del diferencial	21
B.2. Altres rodaments.....	24
C. PLÀNOLS	27



A. Determinar la relació de la transmissió secundària

La relació final d'un Formula Student és la relació de desmultiplicació entre la corona i el pinyó, és a dir, el quocient entre el nombre de dents de la corona i el del pinyó. Aquest és un paràmetre amb el que és fàcil "jugar" ja que canviant les dents del pinyó o de la corona es varia la relació. Aquesta relació permetrà ajustar el moment òptim per al canvi de marxa segons la velocitat final que es vol obtenir.

Les limitacions en quan a pressupost d'EsquadraBCN també han influït alhora de prendre una decisió per escollir la relació final: no s'ha pogut adquirir un pinyó i una corona nous i s'han utilitzat els que portava de sèrie la motocicleta. Tot i això a continuació és mostraran els estudis realitzats per a trobar una relació final òptima i els resultats que s'han obtingut amb la relació utilitzada.

La prova d'acceleració servirà com a punt de partida. Com s'ha comentat en el capítol 4, els circuits d'sprint i de resistència són revirats i per tant les velocitats màximes seran baixes. En la prova d'acceleració és on s'obté la màxima velocitat punta i, per tant, és on convé ajustar el moment de canvi de marxa. Es pot afirmar, doncs, que si el monoplaça està ben ajustat per a la prova d'acceleració també ho estarà per a les altres.

A l'hora de determinar la relació final també convé tenir en compte quin comportament dinàmic tindrà el monoplaça, per exemple, comprovar si les rodes patinaran en el moment de la sortida és vital per a fer un bon temps. Això ha portat a realitzar un estudi detallat sobre el comportament dinàmic del monoplaça en la prova d'acceleració.

A.1. L'objectiu

L'objectiu principal és aconseguir fer la prova d'acceleració amb un temps inferior als 4,5 s. Per aconseguir-ho es realitzarà un model matemàtic que simularà aquesta prova. Seguint aquest model s'ajustarà la relació final i les revolucions del motor per al canvi de marxa.

A.2. Les limitacions de l'estudi

El model té les següents limitacions:



- Es parteix d'unes corbes de parell i potència del motor aproximades que estan basades en l'estudi d'altres equips de la Formula Student amb el mateix model de motor.
- Es considera que el BCN-001 té un sistema de sortida com el que munten els fórmules convencionals. És a dir, amb el cotxe en posició de sortida es limiten les revolucions i s'acciona l'accelerador totalment, quan es dona la sortida es treu la limitació. Aquest sistema permet estar treballant amb el motor a plena càrrega en tot moment.
- No es considera pèrdua de temps durant el procés de canvi de marxa.

A.3. L'estudi

A continuació, es detallarà l'estudi realitzat sobre el comportament dinàmic del vehicle i els resultats obtinguts.

L'estudi dinàmic del BCN-001 requereix d'un anàlisi de les forces que actuen sobre el cotxe durant la prova, per això s'ha realitzat el diagrama del cos lliure del monoplaça (Fig. A.1).



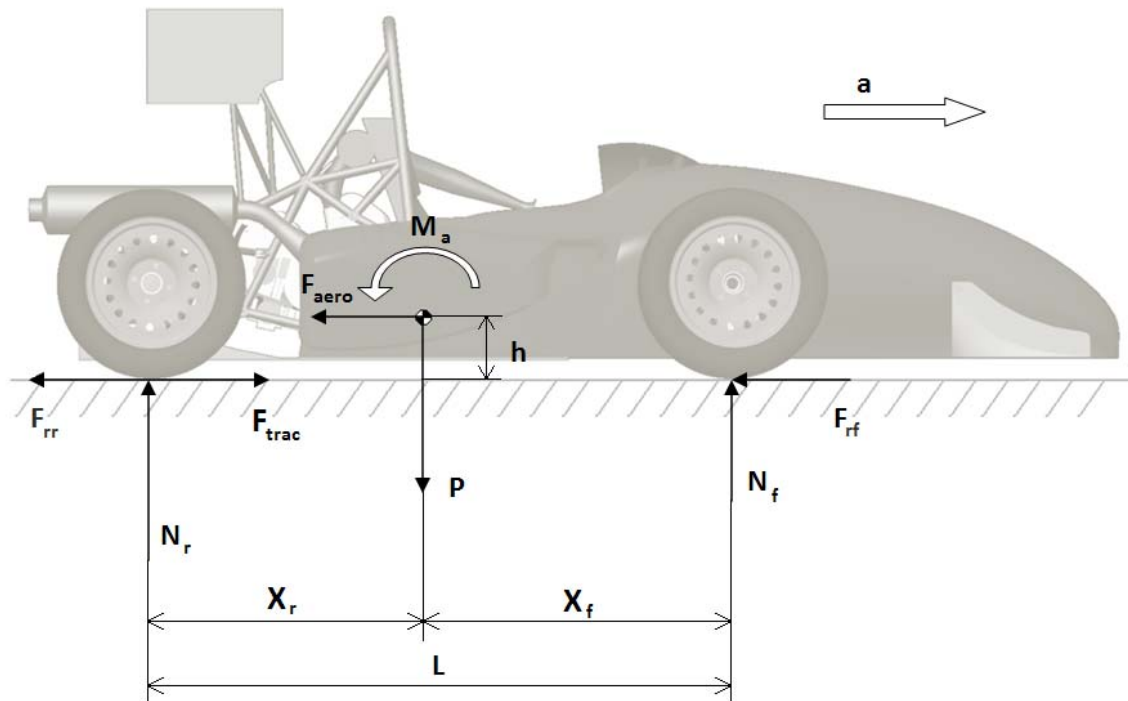


Fig. A.1. Diagrama del cos lliure.

On:

- X_r : distància del centre de gravetat al eix posterior (mm).
- X_f : distància del centre de gravetat al eix davanter (mm).
- L : batalla (mm)
- h : altura del centre de gravetat (mm).
- P : pes total (N).
- N_r : força de reacció del terra sobre les rodes posteriors (N).
- N_f : força de reacció del terra sobre les rodes davanteres (N).
- F_{trac} : força de tracció de les rodes posteriors (N).
- F_{rf} : Resistència al rodament de les rodes davanteres (N).
- F_{rr} : Resistència al rodament de les rodes posteriors (N).
- F_{aero} : resistència aerodinàmica (N).
- M_a : moment provocat per l'acceleració (Nm).
- a : acceleració (m/s^2).

La força de tracció s'obté de la següent expressió:



$$F_{trac} = \eta_{trans} \frac{\Gamma_m(P_r S_r F_r)}{r_p} \quad (\text{Equació A.1})$$

On η_{trans} és el rendiment de la transmissió, Γ_m és el parell del motor en Nm, r_p és el radi dinàmic del pneumàtic en m i P_r , S_r , F_r són les relacions de desmultiplicació primària, secundària (canvi de marxa) i final, respectivament.

La resistència al rodament de les rodes s'obté amb la següent expressió:

$$F_{ri} = f N_i \quad (\text{Equació A.2})$$

On f és el coeficient de rodament entre l'asfalt i el pneumàtic. El coeficient en aquest cas s'ha considerat de 0,013. L'única diferència entre els pneumàtics posteriors i davanters és en l'amplada, el compost i el diàmetre són els mateixos, així doncs s'ha considerat el mateix coeficient per les quatre rodes.

Cal observar que les dades referents a pneumàtics no s'han trobat enlloc i tampoc s'ha considerat estudiar-los per a calcular-ne el coeficient de rodolament ja que aquest treball quedava fora de l'abast del projecte.

La resistència aerodinàmica s'obté de la següent expressió:

$$F_{aero} = \frac{1}{2} \rho v^2 S C_x \quad (\text{Equació A.3})$$

On ρ és la densitat de l'aire 1,225 kg/m³, v és la velocitat en m/s, S és l'àrea frontal en m² i C_x és el coeficient aerodinàmic de resistència.

Els valors dels paràmetres aerodinàmics de l'àrea frontal i del coeficient aerodinàmic han estat proporcionats per Jorge Paganetto¹ encarregat de l'aerodinàmica del BCN-001.

El moment que provoca l'acceleració del vehicle s'obté amb la següent expressió:

¹ Paganetto, Jorge. *Aerodinàmica del Fórmula Student BCN-001*. Projecte Formula Student 2007. Barcelona, 2007.



$$M_a = Mah \quad (\text{Equació A.4})$$

On M és la massa reduïda del vehicle en kg i és igual a:

$$M = (1 + \varepsilon)m \quad (\text{Equació A.5})$$

On ε és el factor de massa².

Per a simplificar el model es suposarà que la posició del centre de gravetat no varia. En realitat, quan el monoplaça accelera o frena hi ha una translació de masses entre l'eix davanter i el posterior que fan treballar a la suspensió. Aquests moviments de la suspensió fan variar la posició del centre de gravetat. En el cas del BCN-001, considerar el cotxe com un sòlid rígid no comporta errors de consideració ja que els recorreguts de la suspensió són molt petits (recorreguts màxim 25 mm³).

Per altra banda, compararem la força de tracció a les rodes posteriors amb l'adherència del pneumàtic. La força d'adherència es calcula:

$$F_{adh} = \mu N_r \quad (\text{Equació A.6})$$

On μ és el coeficient d'adherència entre el pneumàtic i l'asfalt. Les condicions exactes de rugositat de l'asfalt no es coneixen i per tant s'ha realitzat una aproximació.

Per a calcular N_r s'han igualat el moments respecte del punt de contacte entre la roda davantera i el terra. S'obté la següent equació:

$$N_r = \frac{mgX_f + Mah + F_{aero}h}{L} \quad (\text{Equació A.7})$$

L'acceleració s'obtindrà d'aplicar el teorema de l'energia:

² Liesa Mestres, Francisco. *Vehículos I*. CPDA-ETSEIB. Barcelona, 2005.

³ Isal, Marc. *Suspensió, direcció i frens del Fórmula Student BCN-001*. Projecte Formula Student 2007. Barcelona, 2007.



$$F_{trac} - (F_{rr} + F_{rf} + F_{aero}) = Ma \quad (\text{Equació A.8})$$

$$a = \frac{F_{trac} - F_{aero} - fmg}{M} \quad (\text{Equació A.9})$$

Amb l'estimació d'una corba de potencia (Fig. A.2) i aplicant les equacions anteriors amb l'ajuda d'un full de càlcul s'ha pogut realitzar un estudi del comportament del vehicle en la prova d'acceleració.

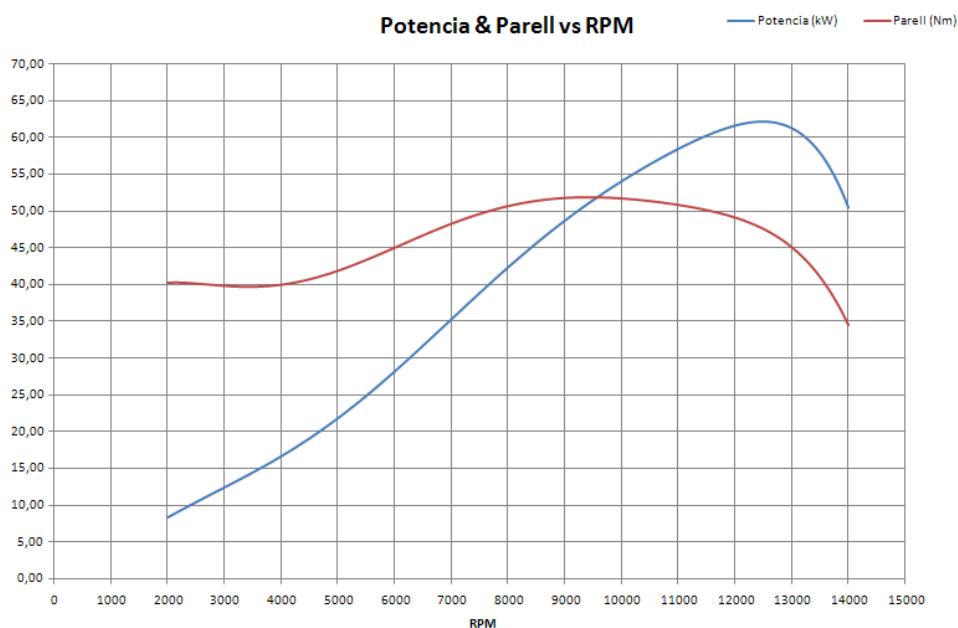


Fig. A.2. Gràfic estimat del parell i la potencia en funció de les revolucions del motor.

Les corbes de potència i parell s'han estimat ja que no ha estat possible calibrar el motor amb les noves condicions d'admissió i d'escapament. Es poden observar els següents punts característics de les corbes:

- Potència màxima: 62 kW a 12.500 rpm.
- Parell màxim: 52 Nm a 9.400 rpm.

A.3.1. Algoritme del programa

```
Function Parell(rpm)
'Coeficients del parell_1:'
a1 = 20.63986
a2 = 0.027472606
a3 = -0.000014222572
a4 = 3.3978845E-09
a5 = -3.9542185E-13
a6 = 2.2216599E-17
a7 = -4.867561E-22
```




```

a8 = 0
a9 = 0
a10 = 0
a11 = 0
a12 = 0
a13 = 0
a14 = 0
a15 = 0
a16 = 0
a17 = 0
a18 = 0
a19 = 0
a20 = 0
    par = a1 + a2 * rpm + a3 * rpm ^ 2 + a4 * rpm ^ 3 + a5 * rpm ^ 4 + a6 *
rpm ^ 5 + a7 * rpm ^ 6 + _
    a8 * rpm ^ 7 + a9 * rpm ^ 8 + a10 * rpm ^ 9 + a11 * rpm ^ 10 + a12 *
rpm ^ 11 + a13 * rpm ^ 12 + _
    a14 * rpm ^ 13 + a15 * rpm ^ 14 + a16 * rpm ^ 15 + a17 * rpm ^ 16 + a18
* rpm ^ 17 + a19 * rpm ^ 18 + _
    a20 * rpm ^ 19
Parell = par
End Function

Function F_aero(Cx, rho, Af, v)
ra = 0.5 * Cx * rho * Af * v ^ 2
F_aero = ra
End Function

Function Distancia(x0, v0, t, a)
x = x0 + v0 * t + 0.5 * a * t ^ 2
Distancia = x
End Function

Function Velocitat(v0, a, t)
v = v0 + a * t
Velocitat = v
End Function

Function Tot(x, v, shift, xmax, N1, N2, N3, NF, NP, m, D, rend, Fa, e, f,
mu, h, l, b1)

g = 9.81
Dw = (D * 25.400005639)
Dim b(1 To 1, 1 To 6)

'Coeficients del parell_1:'
a1 = 20.63986
a2 = 0.027472606
a3 = -0.000014222572
a4 = 3.3978845E-09
a5 = -3.9542185E-13
a6 = 2.2216599E-17
a7 = -4.867561E-22
a8 = 0
a9 = 0
a10 = 0
a11 = 0

```



```

a12 = 0
a13 = 0
a14 = 0
a15 = 0
a16 = 0
a17 = 0
a18 = 0
a19 = 0
a20 = 0

```

```

If (x < xmax) Then
  If shift > 8000 Then
    'velocitat de canvi de cada marxa (m/s)'
    V1MAX = ((shift * Dw) / (N1 * NP * NF)) * ((WorksheetFunction.Pi) /
60000)
    V2MAX = ((shift * Dw) / (N2 * NP * NF)) * ((WorksheetFunction.Pi) /
60000)
    V3MAX = ((shift * Dw) / (N3 * NP * NF)) * ((WorksheetFunction.Pi) /
60000)

    If v < V1MAX Then
      rpm = ((v * NP * N1 * NF * 60000) / (Dw *
WorksheetFunction.Pi))
      'Amb la velocitat calculem les rpm del motor'

      If rpm < 4000 Then
        'rpm ralenti'
        rpm = 4000
      End If
      b(1, 2) = rpm

      Te = a1 + a2 * rpm + a3 * rpm ^ 2 + a4 * rpm ^ 3 + a5 * rpm ^ 4
+ a6 * rpm ^ 5 + a7 * rpm ^ 6 + _
      a8 * rpm ^ 7 + a9 * rpm ^ 8 + a10 * rpm ^ 9 + a11 * rpm ^ 10 +
a12 * rpm ^ 11 + a13 * rpm ^ 12 + _
      a14 * rpm ^ 13 + a15 * rpm ^ 14 + a16 * rpm ^ 15 + a17 * rpm ^
16 + a18 * rpm ^ 17 + a19 * rpm ^ 18 + _
      a20 * rpm ^ 19
      'Parell (Nm)'
      b(1, 4) = Te
      Ft = (N1 * NP * NF * Te * rend) / (Dw / (2 * 1000))
      'Força de tracció (N)'
      b(1, 5) = Ft
      acc = (Ft - Fa - f * (1 + e) * m * g) / ((1 + e) * m)
      'Acceleració (m/s2)'
      b(1, 1) = acc
      Nr = (m * g * b1 + ((1 + e) * m * acc + Fa) * h) / l
      FadH = mu * Nr
      'Adherència del pneumàtic (N)'
      b(1, 6) = FadH
      b(1, 3) = "1a"

    ElseIf v < V2MAX Then
      rpm = ((v * NP * N2 * NF * 60000) / (Dw *
WorksheetFunction.Pi))
      'Amb la velocitat calculem les rpm del motor'
      b(1, 2) = rpm

```



```

    Te = a1 + a2 * rpm + a3 * rpm ^ 2 + a4 * rpm ^ 3 + a5 * rpm ^ 4
+ a6 * rpm ^ 5 + a7 * rpm ^ 6 + _
    a8 * rpm ^ 7 + a9 * rpm ^ 8 + a10 * rpm ^ 9 + a11 * rpm ^ 10 +
a12 * rpm ^ 11 + a13 * rpm ^ 12 + _
    a14 * rpm ^ 13 + a15 * rpm ^ 14 + a16 * rpm ^ 15 + a17 * rpm ^
16 + a18 * rpm ^ 17 + a19 * rpm ^ 18 + _
    a20 * rpm ^ 19
    'Parell (Nm)'
    b(1, 4) = Te
    Ft = (N2 * NP * NF * Te * rend) / (Dw / (2 * 1000))
    'Força de tracció (N)'
    b(1, 5) = Ft
    acc = (Ft - Fa - f * (1 + e) * m * g) / ((1 + e) * m)
    'Acceleració (m/s2)'
    b(1, 1) = acc
    Nr = (m * g * b1 + ((1 + e) * m * acc + Fa) * h) / l
    FadH = mu * Nr
    'Adherència del pneumàtic'
    b(1, 6) = FadH
    b(1, 3) = "2a"

Else
    rpm = ((v * NP * N3 * NF * 60000) / (Dw *
WorksheetFunction.Pi))
    'Amb la velocitat calculem les rpm del motor'
    b(1, 2) = rpm
    Te = a1 + a2 * rpm + a3 * rpm ^ 2 + a4 * rpm ^ 3 + a5 * rpm ^ 4
+ a6 * rpm ^ 5 + a7 * rpm ^ 6 + _
    a8 * rpm ^ 7 + a9 * rpm ^ 8 + a10 * rpm ^ 9 + a11 * rpm ^ 10 +
a12 * rpm ^ 11 + a13 * rpm ^ 12 + _
    a14 * rpm ^ 13 + a15 * rpm ^ 14 + a16 * rpm ^ 15 + a17 * rpm ^
16 + a18 * rpm ^ 17 + a19 * rpm ^ 18 + _
    a20 * rpm ^ 19
    'Parell (Nm)'
    b(1, 4) = Te
    Ft = (N3 * NP * NF * Te * rend) / (Dw / (2 * 1000))
    'Força de tracció (N)'
    b(1, 5) = Ft
    acc = (Ft - Fa - f * (1 + e) * m * g) / ((1 + e) * m)
    'Acceleració (m/s2)'
    b(1, 1) = acc
    Nr = (m * g * b1 + ((1 + e) * m * acc + Fa) * h) / l
    FadH = mu * Nr
    'Adherència del pneumàtic'
    b(1, 6) = FadH
    b(1, 3) = "3a"

End If
End If
End If
Tot = b

End Function

```



A.4. Transmissió utilitzada

A.4.1. Paràmetres d'entrada de la transmissió utilitzada

Els paràmetres d'entrada són el següents:

Paràmetres	Valor	Unitats	Descripció
W_1	275,500	kg	Massa estàtica del cotxe
W_2	75,000	kg	Massa del pilot
W_t	350,500	kg	Massa total
W_{df}	45,0	%	Percentatge de massa a l'eix davanter
W_{dr}	55,0	%	Percentatge de massa a l'eix posterior
W_{fs}	157,725	kg	Massa eix davanter
W_{rs}	192,775	kg	Massa eix posterior
L	1.600	mm	Batalla
X_f	880	mm	Distància eix davanter al CdG
X_r	720	mm	Distància eix posterior al CdG
h	250	mm	Alçada CdG
μ	1,500	NA	Coefficient d'adherència
ϵ	0,250	NA	Factor de massa
f	0,015	NA	Coefficient de rodament
C_x	0,990	NA	Coefficient aerodinàmic
S	0,634	m ²	Àrea frontal
ρ	1,225	kg/m ³	Densitat aire
η_{trans}	0,900	NA	Rendiment transmissió
S_{r1}	2,846	NA	Relació 1 ^a
S_{r2}	1,947	NA	Relació 2 ^a
S_{r3}	1,556	NA	Relació 3 ^a
S_{r4}	1,333	NA	Relació 4 ^a
S_{r5}	1,190	NA	Relació 5 ^a
S_{r6}	1,083	NA	Relació 6 ^a
$N_{Pinyó}$	16	dents	Dents del pinyó (14 - 16)
N_{Corona}	48	dents	Dents de la corona (37 - 55)
F_r	3,000	NA	Relació final
P_r	1,955	NA	Reducció primària
d	13,000	in	Diàmetre llanda
D	21,000	in	Diàmetre dinàmic pneumàtic
RPM_f	11.000	rpm	Rpm per al canvi de marxa
RPM_i	4.000	rpm	Rpm inicials

Taula A.1. Paràmetres d'entrada.

Per a escollir un rpm de canvi de marxa s'han de mirar els punts de màxim parell i màxima potència del motor, el canvi de marxa s'ha d'efectuar entre aquests. Per aquest cas, el punt



de màxim parell és a 9.400 rpm i la potència màxima a 12.500 rpm. Es fixa el canvi a 11.000 rpm ja que a partir d'aquest punt encara que la potència creix el parell decreix bruscament.

Les rpm inicials es fixen a 4.000 rpm perquè és el punt a partir del qual el parell comença a créixer.

A.4.2. Resultats de la transmissió utilitzada

Els resultats obtinguts és mostren en forma de gràfics:

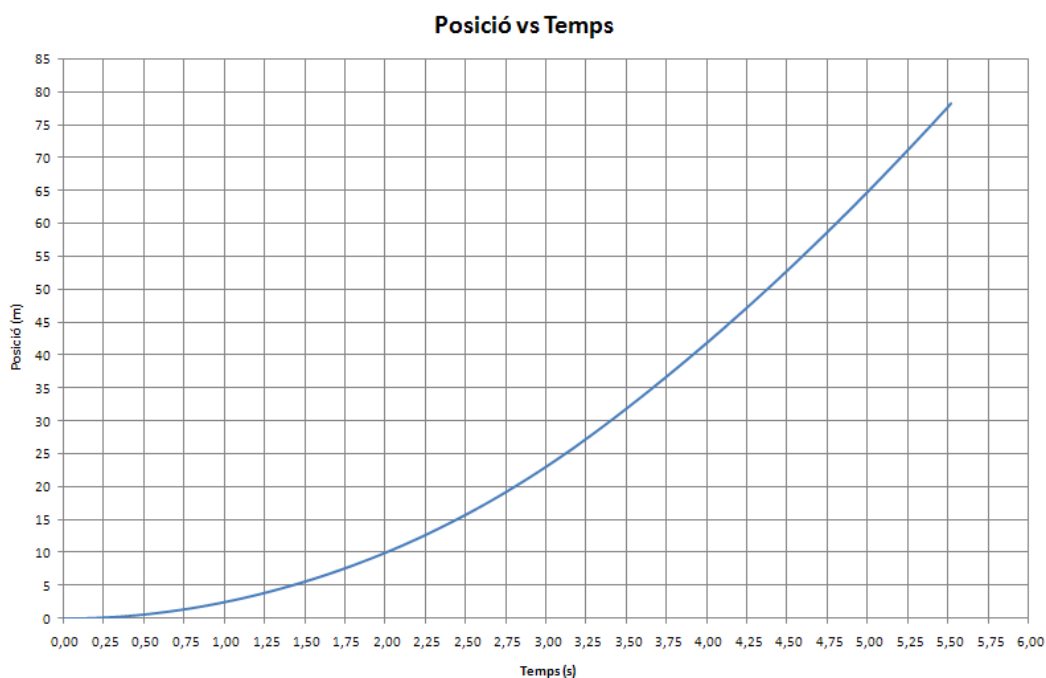


Fig. A.3. Gràfic de la posició en funció del temps.



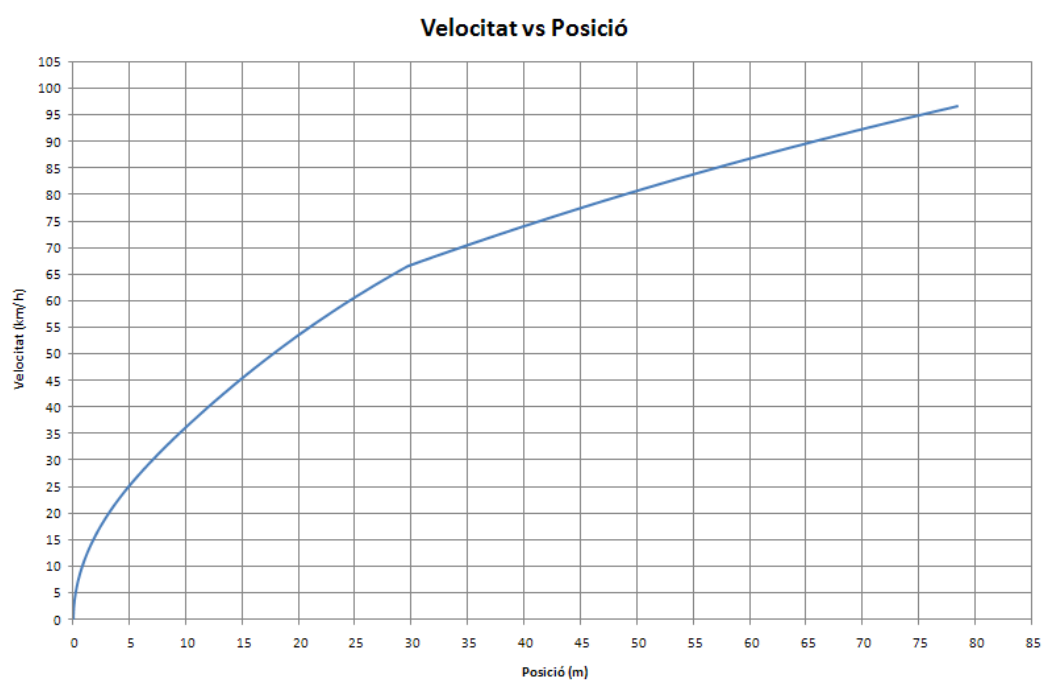


Fig. A.4. Gràfic de la velocitat en funció de la posició.

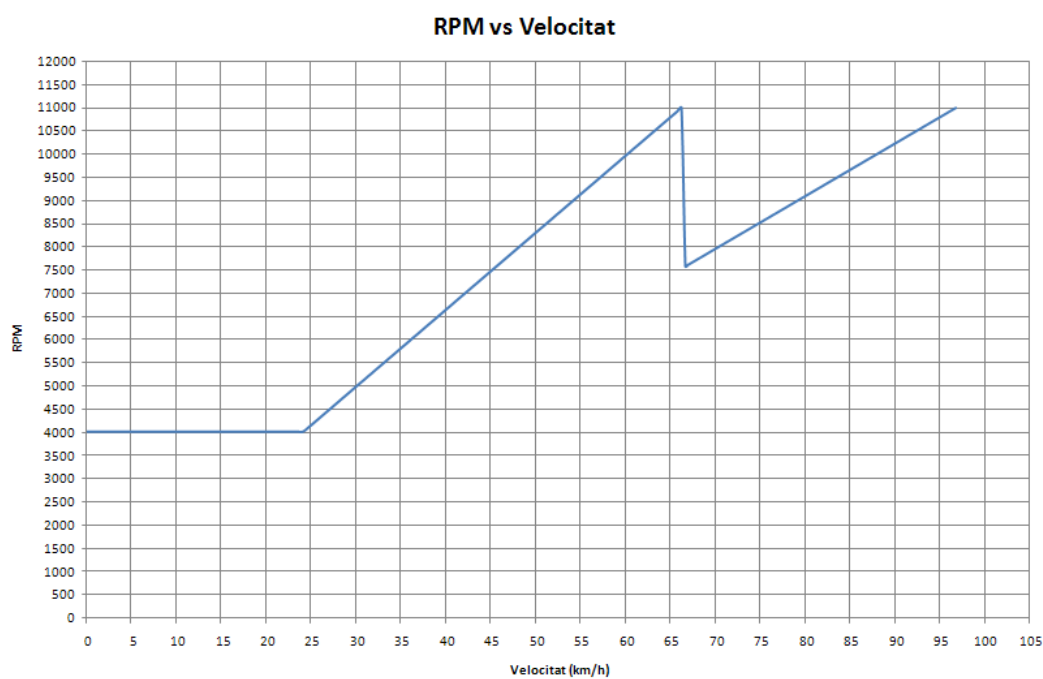


Fig. A.5. Gràfic de les RPM en funció de la velocitat.



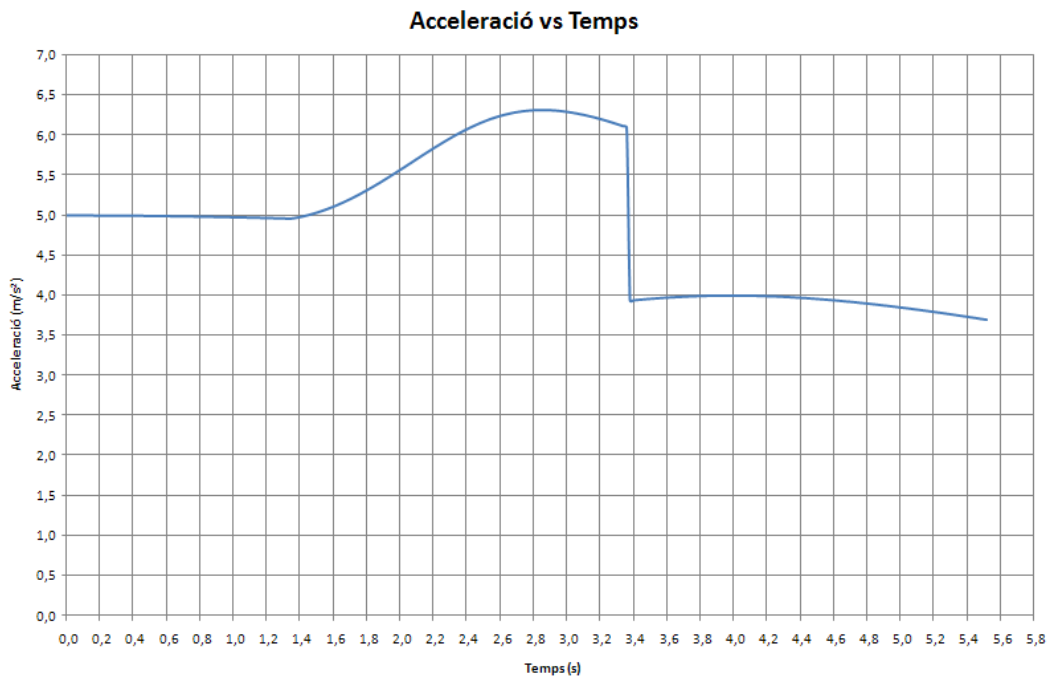


Fig. A.6. Gràfic de l'acceleració en funció del temps.

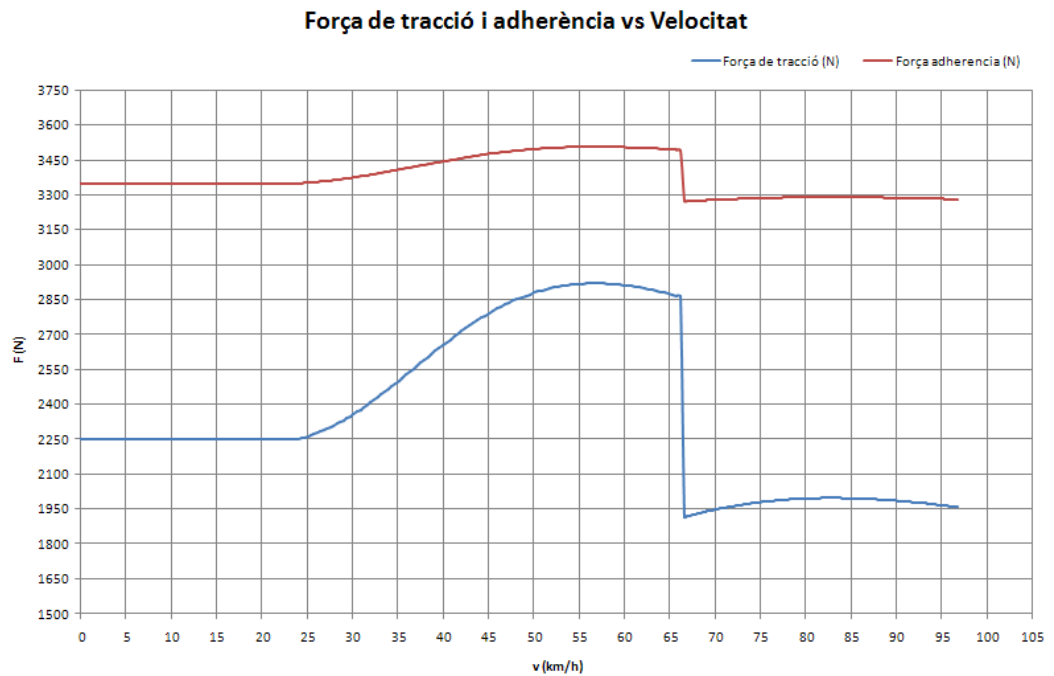


Fig. A.7. Gràfic de la força de tracció i adherència en funció de la velocitat.

D'aquests gràfics s'observa que:



- El temps estimat per a recorre la distancia de 75 m és de 5,39 s.
- La velocitat final i màxima és de 95 km/h.
- Es realitza un sol canvi de marxa en tot el recorregut.
- La força de tracció és menor que la d'adherència per tant les rodes no patinaran.

A.5. Transmissió optimitzada

A.5.1. Paràmetres d'entrada de la transmissió optimitzada

En aquest cas s'ha variat la relació final i s'han augmentat les revolucions de canvi de marxa per a poder reduir el temps total invertit.

Els paràmetres d'entrada són el següents:

Paràmetres	Valor	Unitats	Descripció
W_1	275,500	kg	Massa estàtica del cotxe
W_2	75,000	kg	Massa del pilot
W_t	350,500	kg	Massa total
W_{df}	45,0	%	Percentatge de massa a l'eix davanter
W_{dr}	55,0	%	Percentatge de massa a l'eix posterior
W_{fs}	157,725	kg	Massa eix davanter
W_{rs}	192,775	kg	Massa eix posterior
L	1.600	mm	Batalla
X_f	880	mm	Distancia eix davanter al CdG
X_r	720	mm	Distancia eix posterior al CdG
h	250	mm	Alçada CdG
μ	1,500	NA	Coeficient d'adherència
ϵ	0,250	NA	Factor de massa
f	0,015	NA	Coeficient de rodament
C_x	0,990	NA	Coeficient aerodinàmic
S	0,634	m ²	Àrea frontal
ρ	1,225	kg/m ³	Densitat aire
η_{trans}	0,900	NA	Rendiment transmissió
S_{r1}	2,846	NA	Relació 1 ^a
S_{r2}	1,947	NA	Relació 2 ^a
S_{r3}	1,556	NA	Relació 3 ^a
S_{r4}	1,333	NA	Relació 4 ^a
S_{r5}	1,190	NA	Relació 5 ^a
S_{r6}	1,083	NA	Relació 6 ^a
$N_{pinyó}$	14	dents	Dents del pinyó (14 - 16)



N_{Corona}	55	dents	Dents de la corona (37 - 55)
F_r	3,929	NA	Relació final
P_r	1,955	NA	Reducció primària
d	13,000	in	Diàmetre llanda
D	21,000	in	Diàmetre dinàmic pneumàtic
RPM_f	12.500	rpm	Rpm per al canvi de marxa
RPM_i	4.000	rpm	Rpm inicials

Taula A.2. Paràmetres d'entrada.

A.5.2. Resultats de la transmissió optimitzada

Els resultats obtinguts és mostren en forma de gràfics:

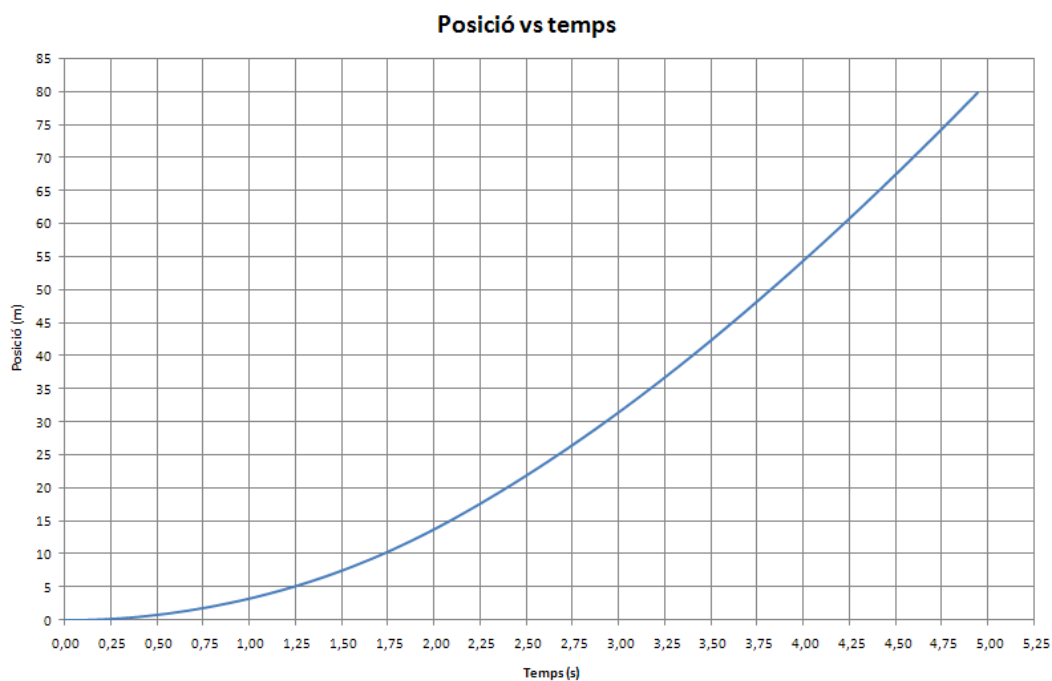


Fig. A.8. Gràfic de la posició en funció del temps.



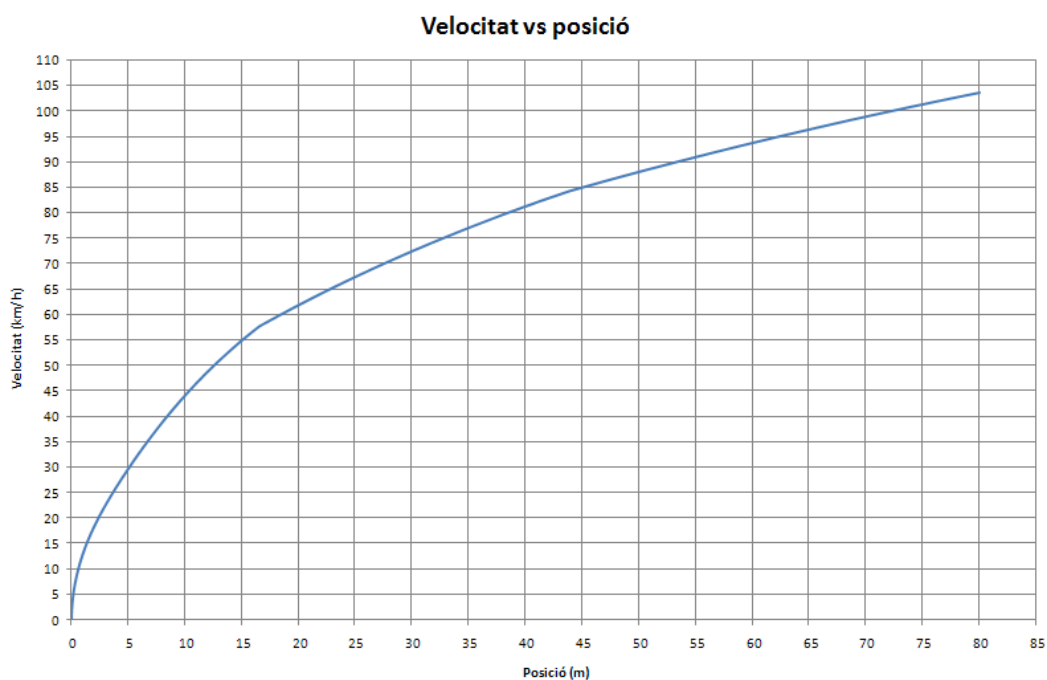


Fig. A.9. Gràfic de la velocitat en funció de la posició.

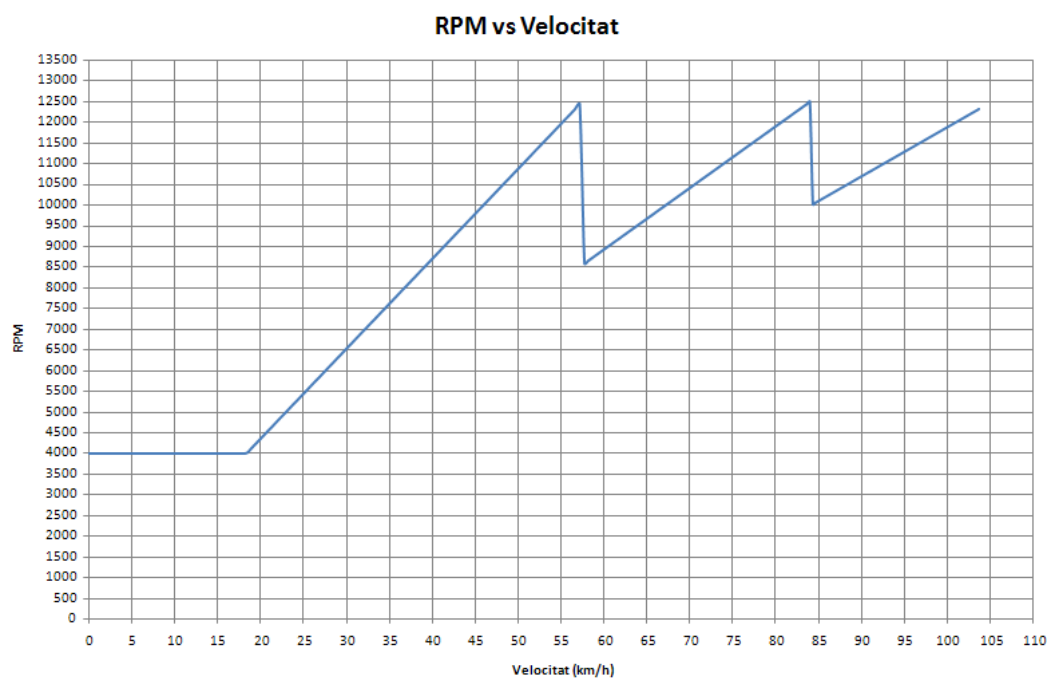


Fig. A.10. Gràfic de les RPM en funció de la velocitat.



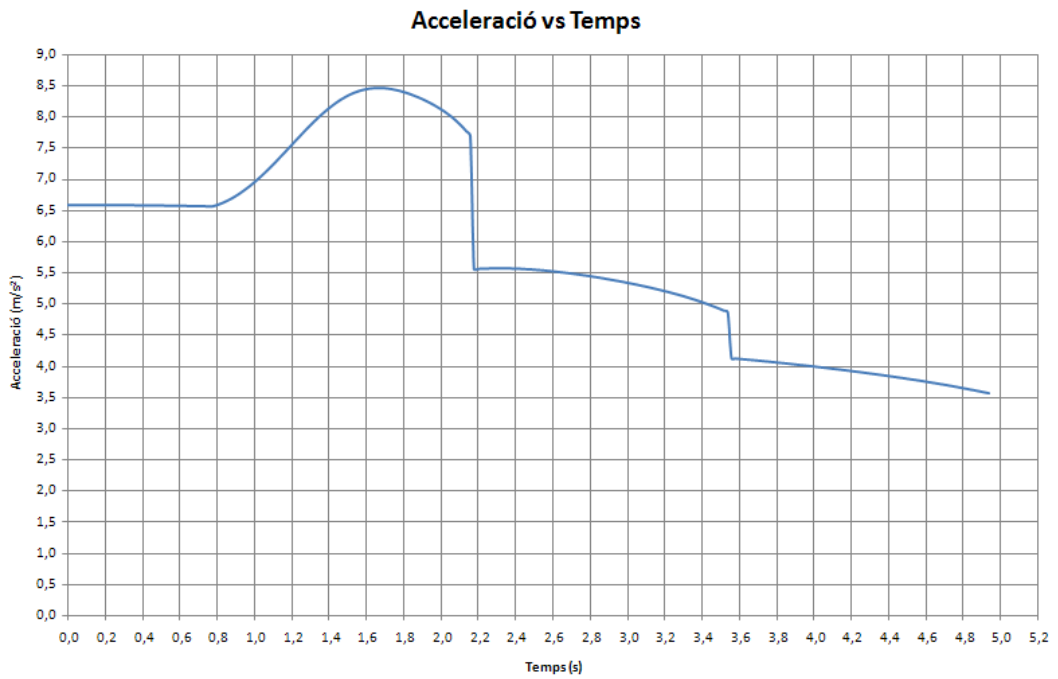


Fig. A.11. Gràfic de l'acceleració en funció del temps.

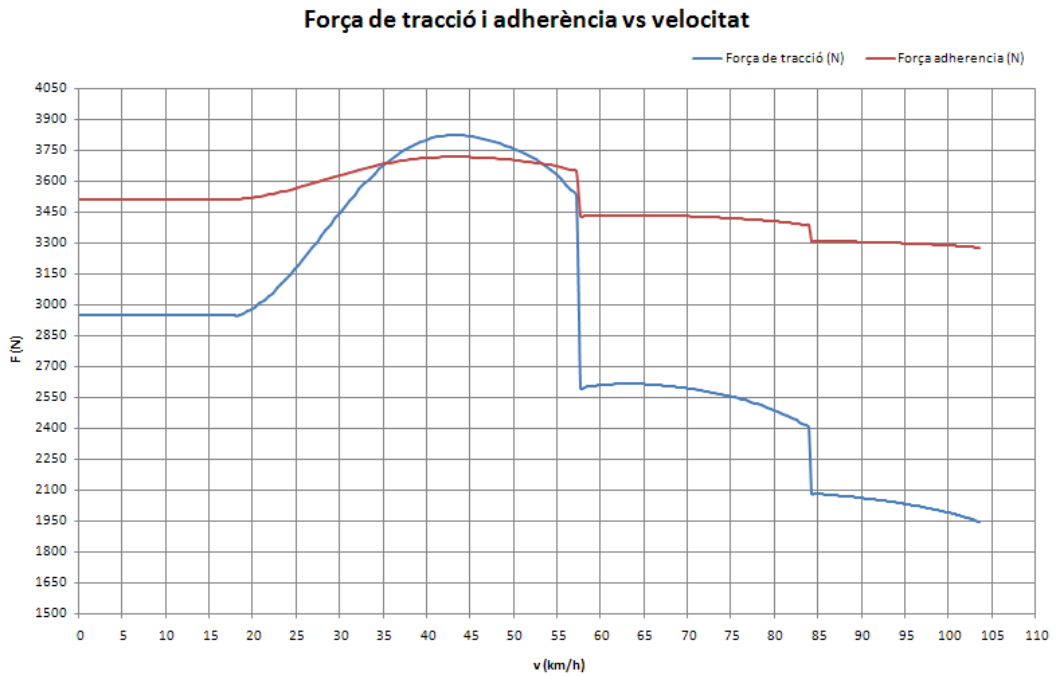


Fig. A.12. Gràfic de la força de tracció i adherència en funció de la velocitat.

D'aquests gràfics s'observa que:



- El temps estimat per a recorre la distancia de 75 m és de 4,76 s. S'ha reduït el en més de mig segon el temps de l'anterior proposta.
- La velocitat final i màxima és de 101 km/h.
- Es realitzen dos canvis de marxa en el recorregut.
- Amb la primera marxa posada hi ha un tram de recorregut que la força d'adherència és inferior a la de tracció i, per tant, el cotxe patinaria.

A.6. Conclusions

La principal conclusió que es pot extreure d'aquest estudi és que la relació utilitzada no és la òptima. Tanmateix també s'observa que optimitzant la relació tampoc s'arriba a complir amb l'objectiu establert al principi de baixar del 4,5 s per a realitzar la prova. Així doncs, caldrà revisar paràmetres donats com el pes total del cotxe o el repartiment de masses que són els que major influència tenen sobre la capacitat d'acceleració del vehicle.

En quant a la relació optimitzada cal observar que hi ha un tram en què les rodes posteriors patinarien, això implica que el temps total calculat per a realitzar la prova és fals i en realitat seria major. La utilització de un control de tracció seria una bona solució per evitar aquesta pèrdua de temps. També es podria pensar en algun dispositiu aerodinàmic, per exemple, un alerons o un difusor, per augmentar la *down force* a les rodes posteriors i evitar així la pèrdua d'adherència. Aquesta última proposta és complicada de portar a terme ja que les velocitats del vehicle són relativament baixes (entre 35 i 55 km/h).



B. La selecció dels rodaments

B.1. Rodaments del diferencial

El diferencial amb el plat muntat està forçat a girar quan li arriba potencia del motor. La unitat necessita uns rodaments que li permetin el gir mentre està retinguda per l'estructura posterior. Aquests rodaments suportaran majoritàriament forces en direcció radial provocades per la cadena, les axials les absorbeixen els trapezis de la suspensió posterior.

Tipos de rodamientos - diseño y características

Tipos de rodamientos - diseño y características	Diseño					Características									Rodamiento adecuado para				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
<p>La matriz no ofrece más que una orientación aproximada de modo que cada caso requiere una selección más calificada según la información dada en las páginas anteriores o la información más detallada de los textos que preceden a cada sección de tablas.</p> <p>Símbolos +++ excelente - pobre ++ bueno - inadecuado + aceptable + simple efecto ↔ doble efecto</p>	<p>1 Agujero cónico 2 Placas de protección u obturación 3 Autoalineable 4 No desmontable 5 Desmontable</p>					<p>6 Carga puramente radial 7 Carga puramente axial 8 Carga combinada 9 Momentos 10 Alta velocidad 11 Alta precisión de funcionamiento 12 Alta rigidez 13 Funcionamiento silencioso 14 Baja fricción 15 Compensación por desalineación en funcionamiento</p>									<p>16 Compensación por errores de alineación (inicial) 17 Disposiciones de rodamiento fijo 18 Disposiciones de rodamiento libre 19 Desplazamiento axial posible en el rodamiento</p>				
Rodamientos rígidos de bolas	a					+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
Rodamientos de bolas con contacto angular	b			a, b	c	++	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
Rodamientos de bolas a rótula						+	-	-	-	+++	++	-	++	+++	+++	+++	+	+	+
Rodamientos de rodillos cilíndricos						++	-	-	-	++	++	++	++	++	-	-	-	-	+++
Illos de rodillos				a	b	+++	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+
Rodamientos de agujas	a	c				++	-	-	-	+	+	++	+	-	-	-	-	-	+++
Rodamientos de rodillos cónicos						++	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+++
Rodamientos de rodillos a rótula						+++	+	+	+	+	+	+	+	+	+++	+++	++	+	+
Rodamientos CARB						+++	-	-	-	+	+	++	+	+	+++	+++	-	-	+++
Illos de rodillos						+++	-	-	-	+	+	+++	+	+	+++	+++	-	-	+++
Rodamientos axiales de bolas						-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	++
Rodamientos axiales de rodillos						-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	++
Rodamientos axiales de rodillos a rótula						-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	++

Fig. B.1. Matriu de selecció de rodaments d'SKF.

Els rodaments han estat subministrats per SKF⁴ i s'han seguit els passos de selecció proposats en la mateixa empresa. Mitjançant la matriu de selecció d'SKF (Fig. B.1) s'ha escollit el tipus de rodament. Aquesta matriu és orientativa i dóna una idea de les

⁴ [http://www.skf.com, 2 abril del 2007].



característiques de cada tipus de rodament. Seguidament, segons els diàmetres interiors i la càrrega suportada per cada costat del diferencial s'han seleccionat el model de rodament.

El primer pas és calcular les càrregues que rep cada rodament. La força radial suportada per cada rodament serà el resultat d'aplicar l'equilibri entre forces i moments:

$$F + F_2 = F_1 \quad (\text{Equació B.1})$$

$$F_1 \cdot X_1 = F_2 \cdot X_2 \quad (\text{Equació B.2})$$

On F és la força màxima de la cadena en N, X_1 i X_2 són les distàncies entre els rodaments 1 i 2, respectivament, i el pla mig de la corona en mm i F_1 i F_2 són les reaccions en cada rodament en N. X_1 i X_2 són paràmetres de disseny i el seu valor és de 74,5 mm i 190,5 mm, respectivament.

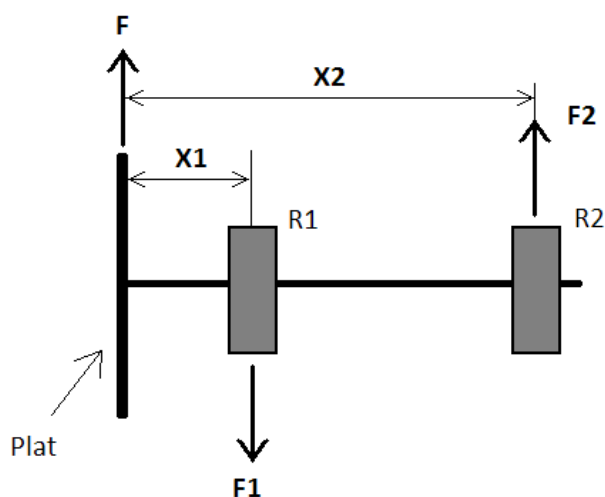


Fig. B.2. Diagrama de forces dels rodaments.

Per a calcular la força màxima de la cadena s'usen les indicacions del Niemann⁵.

$$F = U + U_f \quad (\text{Equació B.3})$$

On U és la força tangencial i U_f és la força centrífuga, ambdues en N.

⁵ Niemann, G. *Tratado teórico-práctico d'elementos de máquinas*. Labor. 1973.



$$U = \frac{P_m \cdot \eta_{trans}}{v} \quad (\text{Equació B.4})$$

$$U_f = G \cdot v^2 \quad (\text{Equació B.5})$$

$$v_{cadena} = \frac{t \cdot N_{Pinyó} \cdot rpm}{60 \cdot 10^3 \cdot P_r \cdot S_{r1} \cdot F_r} \quad (\text{Equació B.6})$$

$$v_{cadena} = \frac{15,9 \cdot 16 \cdot 9400}{60 \cdot 10^3 \cdot 1,955 \cdot 2,846 \cdot 3} = 2,38 \text{ m/s}$$

$$U = \frac{51000 \cdot 0,9}{2,38} = 19285,7 \text{ N}$$

$$U_f = 1 \cdot 2,38^2 = 5,7 \text{ N}$$

On P_m és la potència del motor en W, t és el pas de la cadena en mm i v_{cadena} és la velocitat mitjana de la cadena en m/s.

La màxima força de la cadena es troba en el punt de parell màxim del motor, 51 kW i 9.400 rpm. El resultat de la força màxima serà de 19.291 N.

Una vegada obtinguda la força apliquem les equacions (Equació B.1) i (Equació B.2) obtenim:

$$F1 = 31.646 \text{ N}$$

$$F2 = 12.376 \text{ N}$$

L'elecció dels rodaments també ve condicionada per el diàmetre de l'eix a on van col·locats. Cal dir que en el costat esquerre s'ha mecanitzat un casquet ja que pel diàmetre original no existeixen rodaments. El diàmetre interior del rodament esquerre és de 50 mm i el del costat dret és de 40 mm.

Els rodaments escollits són de rodets cònics d'una sola filera i pel rodament 1 s'ha usat el 32010 XQ i pel rodament 2 el 32008 XQ. En les següents figures es presenten les característiques de cadascun dels rodaments:

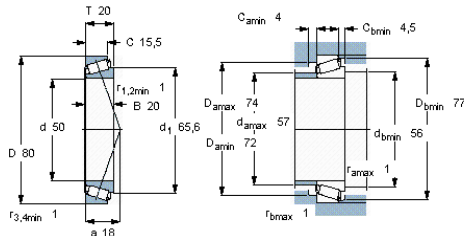


SKF

[PDF](#) [CAD](#) [IMP](#) [Imprimir](#) [Cerrar](#)

Rodamientos de rodillos cónicos, de una hilera									
Dimensiones principales			Capacidades de carga		Carga límite de fatiga	Velocidades	Velocidad	Masa	Designación
d	D	T	C	C ₀	P _u	Velocidad de referencia	límite	kg	
mm			kN		kN	rpm			-
50	80	20	60,5	88	9,65	6000	8000	0,37	32010 X/Q

Tolerancias , ver también el texto
Ajustes recomendados
Tolerancias del eje y del alojamiento



Factores de cálculo
e 0,43
Y 1,4
Y₀ 0,8

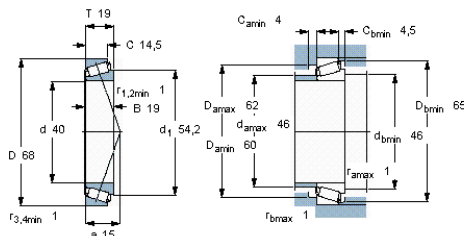
Fig. B.3. Características del rodament 32010 XQ d'SKF.

SKF

[PDF](#) [CAD](#) [IMP](#) [Imprimir](#) [Cerrar](#)

Rodamientos de rodillos cónicos, de una hilera									
Dimensiones principales			Capacidades de carga		Carga límite de fatiga	Velocidades	Velocidad	Masa	Designación
d	D	T	C	C ₀	P _u	Velocidad de referencia	límite	kg	
mm			kN		kN	rpm			-
40	68	19	52,8	71	7,65	7000	9500	0,27	32008 X/Q

Tolerancias , ver también el texto
Ajustes recomendados
Tolerancias del eje y del alojamiento



Factores de cálculo
e 0,37
Y 1,6
Y₀ 0,9

Fig. B.4. Características del rodament 32008 XQ d'SKF.

B.2. Altres rodaments

Els altres rodaments que trobem en la transmissió tenen la funció de guiar els obturadors perquè no es facin mal bé. L'elecció d'aquests rodaments es basa únicament per l'espai disponible, és a dir, el diàmetre interior i exterior. Les característiques d'aquests rodaments es presenten a continuació.



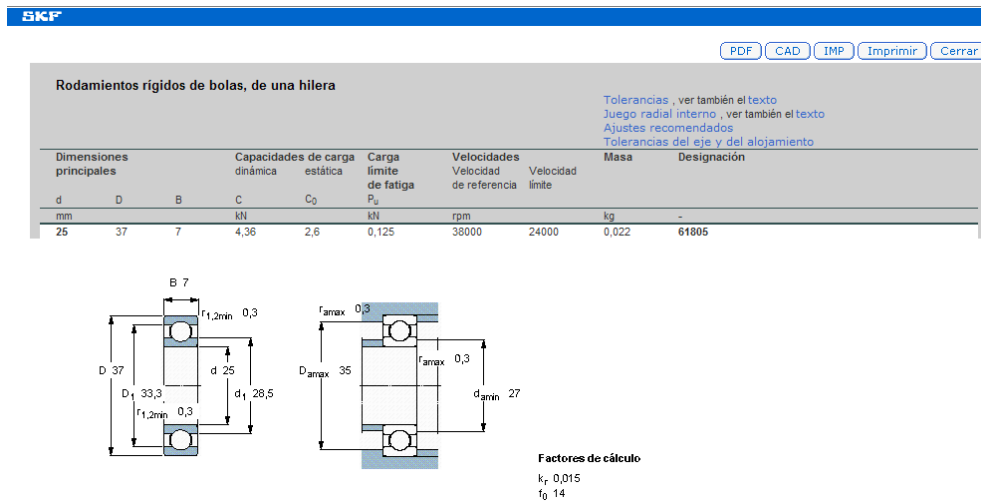


Fig. B.5. Característiques del rodament 61805 d'SKF.

El rodament 61805 es col·loca entre sortida a palier dreta i l'estructura posterior del xassís. Serveix per guiar l'obturador i evitar que la sortida de palier esquerre pugui sortir enfora. Aquesta última funció és només per precaució perquè teòricament no ha de passar.

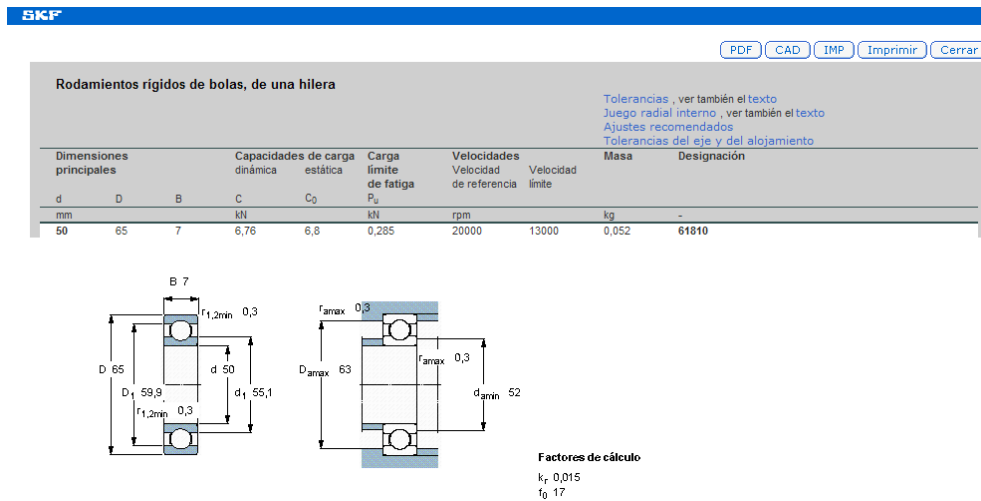


Fig. B.6. Característiques del rodament 61810 d'SKF.

El rodament 61810 es col·loca entre la subjecció del plat i l'estructura posterior del xassís. I té les mateixes funcions que en l'anterior.

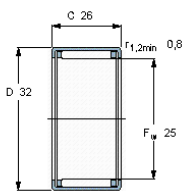


PDF CAD IMP Imprimir Cerrar

Rodamientos de agujas, casquillos de agujas

Tolerancias, ver también el texto
Tolerancias del eje y del alojamiento, ver también el texto
Ejes y alojamientos, ver el texto

Dimensiones principales		Capacidades de carga		Carga límite de fatiga	Velocidades	Velocidad	Masa	Designación
F_w	D	C	C	C_0	Velocidad de referencia	límite	kg	
mm			kN		rpm			
25	32	26	24,2	45	9500	11000	0,044	HK 2526



Accesorios adecuados

Aro interior IR	IR 20x25x26.5
Aro interior LR	LR 20x25x26.5
Obturación G	G 25x32x4
Obturación SD	-

Fig. B.7. Característiques del rodament HK2526 d'SKF.

El rodament d'agulles HK2526 es col·loca entre la subjecció del plat i la sortida a palier esquerre i té la funció de guiar l'obturador perquè no es faci mal bé.

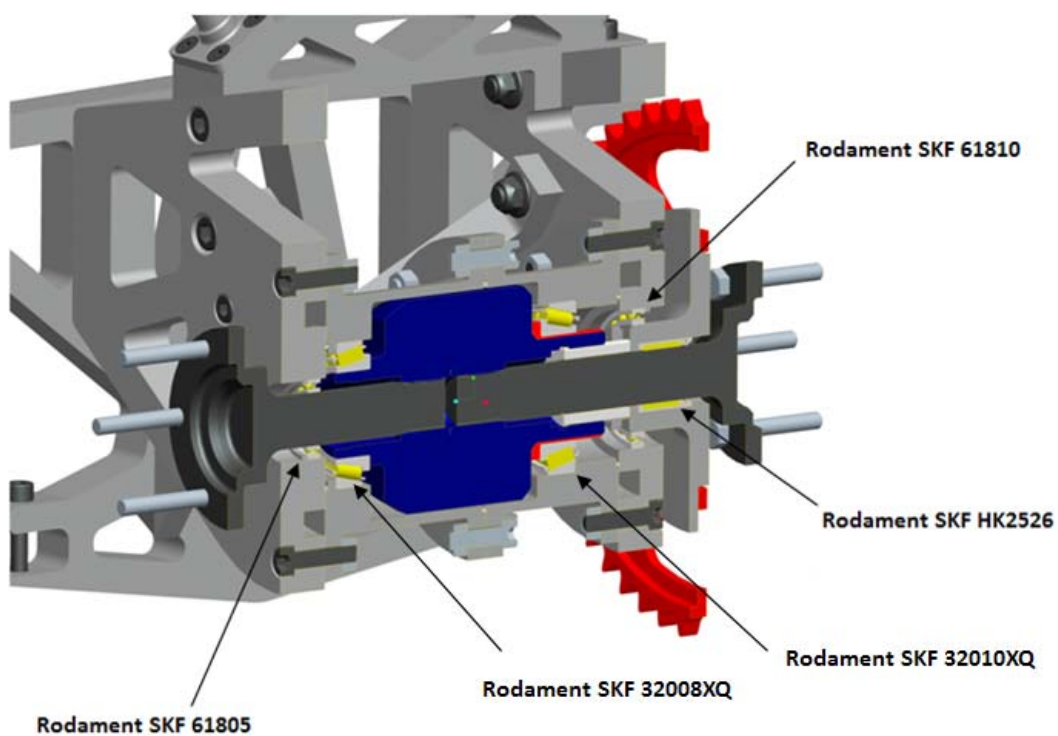


Fig. B.8. Col·locació dels rodaments.



C. Plànols

