
ÍNDICE

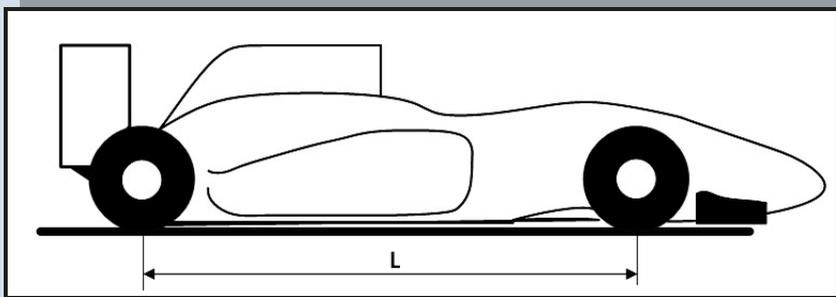
| | |
|---|-----|
| TEMA 1: VEHÍCULOS AUTOMÓVILES: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS. BASTIDOR Y CARROCERÍA..... | 1 |
| TEMA 2: VEHÍCULOS AUTOMÓVILES: NEUMÁTICOS..... | 11 |
| TEMA 3: VEHÍCULOS AUTOMÓVILES: DINÁMICA LONGITUDINAL | 21 |
| TEMA 4: VEHÍCULOS AUTOMÓVILES: SISTEMA DE FRENOS | 55 |
| TEMA 5: VEHÍCULOS AUTOMÓVILES: DINÁMICA LATERAL | 61 |
| TEMA 6: VEHÍCULOS AUTOMÓVILES: DINÁMICA VERTICAL | 69 |
| TEMA 7: VEHÍCULOS AUTOMÓVILES: PROBLEMAS GENERALES | 77 |
| TEMA 8: FERROCARRILES: LA VÍA | 89 |
| TEMA 9: FERROCARRILES: RESISTENCIAS AL MOVIMIENTO | 97 |
| TEMA 10: FERROCARRILES: TEORÍA DEL DESCARRILAMIENTO | 103 |
| TEMA 11: FERROCARRILES: TRACCIÓN..... | 109 |
| TEMA 12: FERROCARRILES: FRENADO..... | 117 |
| TEMA 13: FERROCARRILES: CIRCULACIÓN EN CURVA | 129 |
| TEMA 14: FERROCARRILES: PROBLEMAS GENERALES..... | 133 |

TEMA 3

VEHÍCULOS AUTOMÓVILES: DINÁMICA LONGITUDINAL

3.1 PROBLEMA

Un vehículo de Formula 1 de 600 kg describe un círculo de radio constante de 120 m a una velocidad constante. El coeficiente de adherencia entre el neumático de competición y la calzada es de 1,6.

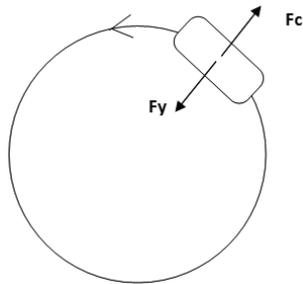


Determinar la velocidad de paso por curva así como la aceleración centrífuga en los siguientes casos:

1. El vehículo no dispone de alerones.
2. El coche de Formula 1 dispone de alerones de una sección frontal de $1,4 \text{ m}^2$ y un coeficiente de sustentación de 1,2.
3. ¿Qué conclusiones obtiene de los cálculos anteriores?
4. Suponer que el Formula 1 tiene una batalla (L) de 3,1 m y que el centro del alerón trasero está a una distancia de 650 mm. Tomando como valor de la fuerza de sustentación la obtenida en el apartado b) calcular la reacción en cada uno de los ejes del vehículo. Considere que el reparto de pesos entre ejes es 40/60%.
5. Determine nuevamente las reacciones en cada uno de los ejes del vehículo si el alerón trasero es flexible y se desplaza 350 mm hacia el exterior del vehículo. Comente el resultado obtenido.

APARTADO 1

Cuando el vehículo toma la curva se ve sometido a una fuerza centrífuga (F_c) la cual, para mantener el vehículo en la trazada, debe ser equilibrada por la reacción lateral de los neumáticos (F_y), tal y como se muestra en la siguiente figura.



Donde la fuerza centrífuga es:

$$F_c = m \frac{V^2}{R}$$

Y la fuerza lateral es:

$$F_y = \mu \cdot m \cdot g$$

Igualando:

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

Despejando se obtiene la velocidad de paso por curva:

$$V = \sqrt{\mu \cdot g \cdot R} = \sqrt{1,6 \cdot 9,8 \cdot 120} = 43,38 \text{ m/s} = 156,16 \text{ km/h}$$

La aceleración centrífuga a la que se ve sometido es:

$$a = \frac{V^2}{R} = \frac{43,38^2}{120} = 15,68 \text{ m/s}^2 = 1,6 \text{ g}$$

APARTADO 2

En este caso el Formula 1 dispone de alerones que generan una fuerza de sustentación. Dicha fuerza se obtiene de:

$$F_z = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_L \cdot A_f \cdot V^2$$

Donde ρ es la densidad del aire ($1,225 \text{ kg/m}^3$), C_L es el coeficiente de sustentación, A_f es la superficie frontal y V la velocidad del vehículo. Por otro lado, del equilibrio de fuerzas se tiene:

$$m \frac{V^2}{R} = \mu \cdot (m \cdot g + F_z)$$

Sustituyendo la expresión de la fuerza vertical en la ecuación anterior se tiene:

$$m \frac{V^2}{R} = \mu \cdot \left(m \cdot g + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_L \cdot A_f \cdot V^2 \right)$$

Despejando la velocidad V :

$$V = \sqrt{\frac{\mu \cdot m \cdot g}{m - \frac{\mu \cdot \rho \cdot C_L \cdot A_f}{2}}} = \sqrt{\frac{1,6 \cdot 600 \cdot 9,8}{600 - \frac{1,6 \cdot 1,225 \cdot 1,21 \cdot 4}{2}}} = 52,97 \text{ m/s} = 190,68 \text{ km/h}$$

La aceleración a la que se ve sometido el vehículo es:

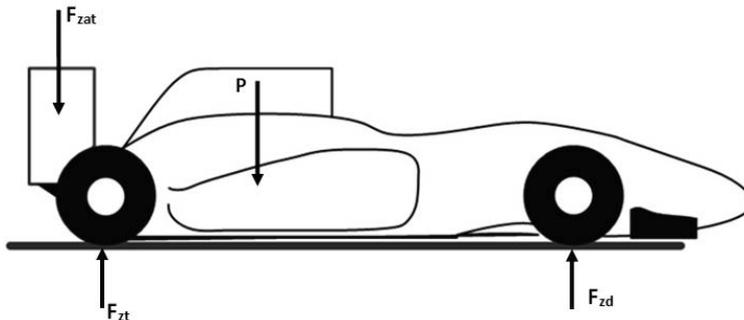
$$a = \frac{V^2}{R} = \frac{52,97^2}{120} = 23,38 \text{ m/s}^2 = 2,3 \text{ g}$$

APARTADO 3

Por tanto, se ha producido un incremento del 22% de la velocidad de paso por curva y del 44% de la aceleración lateral. El alerón trasero ha permitido incrementar la velocidad de paso por curva de forma sustancial. Sin embargo, tal y como se verá en el próximo apartado lo más importante es conseguir el reparto óptimo de fuerzas de sustentación en los alerones delantero y trasero para que el vehículo tenga una elevada adherencia en el eje delantero, que es el eje directriz, y en el trasero, que es el que proporciona tracción.

APARTADO 4

Las reacciones se calculan tomando momentos en cada uno de los ejes del vehículo.



$$\sum M = 0; \quad F_{zat} \cdot d_{at} + F_{zd} \cdot L - P \cdot l_2 = 0$$

$$\sum F = 0; \quad F_{zat} + P = F_{zd} + F_{zt}$$

Se obtiene de la primera ecuación:

$$F_{zd} = P \cdot \frac{l_2}{L} - F_{zat} \cdot \frac{d_{at}}{L}$$

De la segunda ecuación se tiene:

$$F_{zt} = (F_{zat} + P) - \left(P \cdot \frac{l_2}{L} - F_{zat} \cdot \frac{d_{at}}{L} \right)$$

Por tanto:

$$F_{zt} = F_{zat} \cdot \left(1 + \frac{d_{at}}{L} \right) + P \cdot \left(1 - \frac{l_2}{L} \right)$$

Sustituyendo valores y sabiendo que el valor de F debido a la carga aerodinámica proporcionada por el alerón trasero es:

$$F_{zat} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_L \cdot A_f \cdot V^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,2251,2 \cdot 1,452,97^2 = 2887,2 \text{ N}$$

se tiene la reacción en el eje trasero:

$$F_{zt} = 2887,2 \cdot \left(1 + \frac{0,65}{3,1} \right) + 6009,8(1 - 0,4) = 7020,58 \text{ N}$$

y en el eje delantero:

$$F_{zd} = 6009,8 \cdot 0,4 - 2887,2 \cdot \frac{0,65}{3,1} = 1746,62 \text{ N}$$

APARTADO 5

Si el alerón trasero se desplaza una distancia de 35 mm hacia atrás las fuerzas verticales sobre cada uno de los ejes del vehículo son:

$$F_{zt} = 2887,2 \cdot \left(1 + \frac{0,65 + 0,35}{3,1} \right) + 6009,8(1 - 0,4) = 7346,55 \text{ N}$$

$$F_{zd} = 6009,8 \cdot 0,4 - 2887,2 \cdot \left(\frac{0,65 + 0,35}{3,1} \right) = -335,3 \text{ N}$$

Por tanto, al desplazarse el alerón trasero el vehículo de Formula 1 experimenta una mayor carga vertical en el eje trasero siendo esto beneficioso ya que permite transmitir mayores esfuerzos de tracción pues el eje trasero es el eje tractor. Sin embargo, el vehículo está desequilibrado y sería necesario disponer de un alerón delantero que mantenga el vehículo con un reparto equilibrado de fuerzas verticales.

3.2 PROBLEMA

Un fabricante de vehículos acaba de terminar de construir el último modelo que desea lanzar al mercado. Para comprobar que el vehículo cumplirá con los requisitos establecidos por los ensayos de homologación el fabricante decide llevar a cabo diferentes ensayos sobre dicho vehículo. Las características del vehículo son las siguientes:

| <u>MOTOR</u> | |
|-------------------------------|---|
| Situación | Delantero transversal |
| Número de cilindros | 4 en línea |
| Cilindrada | 1896 cm ³ |
| Distribución | Árbol de levas en culata |
| Alimentación | Inyección directa Diesel con inyector bomba turbocompresor de geometría variable e intercooler. |
| Relación de compresión | 18:1 |
| Potencia máxima | 105 CV a 4000 rpm |
| Par máximo | 34,3 kg·m a 1960 rpm |
| Rendimiento del motor | 95% |
| <u>TRANSMISIÓN</u> | |
| Tipo | Tracción delantera |
| Embrague | Monodisco en seco |
| Grupo final | 3,24:1 |
| Relación de cambio | 1ª 3,82:1 2ª 2,11:1 3ª 1,35:1 4ª 0,97:1 5ª 0,78:1 |
| Rendimiento de la transmisión | 90% |
| <u>BASTIDOR</u> | |
| Suspensión delantera | Independiente tipo McPherson con resorte helicoidal |
| Barra estabilizadora | Diámetro 22 mm |
| Frenos | Doble circuito en diagonal de 280 mm de diámetro. |
| Dirección | Cremallera asistida |
| Giros/Diámetro de volante | 3/37 cm |
| Diámetro de giro | 10,9 m |

| | |
|------------------------------------|--|
| Neumáticos | 195/65 R15 91V Considerar una deformación bajo carga de 18 mm y un deslizamiento del 3% |
| Llantas | 6x15 pulgadas |
| CARROCERÍA | |
| Coefficiente Cx | 0,31 |
| Peso oficial | 1285 kg |
| Reparto de pesos delantero/trasero | 63/37 % |
| Dimensiones | 173/144/251/151 (Ancho/Alto/Batalla/Vía) en cm. Altura del centro de gravedad=(1/3)·Altura vehículo |
| <u>FRENOS</u> | |
| Servofreno | Dispone de servofreno. |
| Relación fuerzas de frenado | La relación entre las fuerzas de frenado delanteras y las traseras cuando el compensador no actúa es de 1,9. |
| Compensador | Dispone de un compensador tal que cuando actúa la relación entre la fuerza de frenado trasera y la delantera es del 10%. |

Nota:

$$\gamma_m = 1,05 + 0,0025 \cdot \xi^{r^2} \quad \text{Gravedad: } g=9,8 \text{ m/s}^2 \quad f_r = 0,008 + 0,002 \cdot \left(\frac{V(\text{km/h})}{100} \right)^{2,5}$$

Se pide:

1. Determinar el radio nominal, radio efectivo y radio bajo carga del neumático.
2. Determinar la resistencia a la rodadura a una velocidad de 90 km/h.
3. Determinar la resistencia aerodinámica si el vehículo circula a una velocidad de 90 km/h. Considerar un coeficiente de corrección del área frontal de 0,82.
4. Determinar la resistencia gravitatoria si el vehículo asciende por una pendiente del 30%.
5. Determinar la velocidad máxima del vehículo en km/h. Utilice la expresión de f_r proporcionada en el enunciado.
6. Determinar la rampa máxima que es capaz de ascender el vehículo, en %, si circula sobre un pavimento con coeficiente de adherencia de 0,8. Considerar un $f_r=0,008$ y que la simplificación $\cos(\theta)=1$ es válida.
7. Determinar la aceleración máxima del vehículo cuando circula a 90 km/h sobre calzada horizontal con coeficiente de adherencia 0,8 en quinta velocidad.

APARTADO 1

Según los valores proporcionados el neumático es 195/65 R15. Por tanto, la relación nominal de aspecto (R_{NA}) es 65%, el diámetro de la llanta (D_{ll}) es de 15 pulgadas y la anchura del neumático (b) son 195 mm.

El radio nominal del neumático es:

$$r_n = \frac{15}{2} \cdot 25,4 + 195 \cdot 0,65 = 317,25 \text{ mm} = 0,31725 \text{ m}$$

El radio efectivo es:

$$r_e = r_n (1 - s) = 0,31725 \cdot 0,97 = 0,30773 \text{ m}$$

El radio bajo carga es:

$$r_c = r_n - Def = 0,31725 - 0,018 = 0,299 \text{ m}$$

APARTADO 2

La resistencia a la rodadura se obtiene aplicando la siguiente expresión:

$$R_r = P \cdot f_r = 1285 \cdot 9,8 \left(0,008 + 0,002 \cdot \left(\frac{90}{100} \right)^{2,5} \right) = 120,097 \text{ N}$$

APARTADO 3

Para determinar la resistencia aerodinámica es preciso calcular primeramente la velocidad del vehículo en unidades correctas.

$$V = 90 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1}{3,6} = 25 \text{ m/s}$$

$$R_a = \frac{1}{2} \rho C_x A_f V^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,225 \cdot 0,311 \cdot 73 \cdot 1,44 \cdot 0,82 \cdot 25^2 = 242,42 \text{ N}$$

APARTADO 4

La resistencia gravitatoria se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$R_g = P \cdot \text{sen} \theta = 1285 \cdot 9,8 \cdot \text{sen} 16,7 = 3618,73 \text{ N}$$

APARTADO 5

Para determinar la velocidad máxima se recurre a la última relación de transmisión:

$$\xi_5 = \frac{n_m}{n_r} = \frac{n_m}{\left(\frac{V_{\max} \cdot 60}{r_e \cdot 2 \cdot \pi}\right)} = \frac{n_m \cdot r \cdot (1-i) \cdot \pi}{V_{\max} \cdot 30}$$

donde:

- ξ_5 : Es la relación de transmisión de quinta marcha entre el motor y las ruedas. Esta relación es el producto de la relación de transmisión de la caja de cambios en quinta marcha (ξ'_5) y la relación de transmisión del diferencial (ξ_c), también denominado grupo final o cónico.
- n_m : Son las revoluciones del motor en r.p.m.
- n_r : Son las revoluciones de la rueda en r.p.m.
- V_{\max} : Es la velocidad máxima que puede proporcionar la cadena cinemática en m/s
- r_e : Es el radio efectivo del neumático en m.
- r : Es el radio nominal del neumático en m.
- i : Es el deslizamiento en %.

Sustituyendo valores se determina la velocidad máxima que la cadena cinemática puede proveer.

$$V_{\max} = \frac{4000 \cdot 0,30773 \cdot \pi}{30 \cdot \xi'_5 \cdot \xi_c} = \frac{4000 \cdot 0,30773 \cdot \pi}{30 \cdot 0,783,24} = 51 \text{ m/s} = 183,62 \text{ km/h}$$

Esta velocidad es la máxima que permite la cadena cinemática del vehículo, sin embargo, hay que comprobar si el motor del vehículo dispone de potencia suficiente para vencer las resistencias cuando circula a la velocidad máxima obtenida. Cabe destacar que la velocidad máxima se debe determinar sobre pavimento horizontal, y por tanto, no se considera la resistencia gravitatoria.

$$H = \frac{F \cdot V_{\max}}{\eta}$$

donde:

- H es la potencia expresada en W.
- F es la fuerza tractora que en el caso analizado corresponde a la resistencia al avance expresada en N.
- V_{\max} es la máxima velocidad de circulación del vehículo expresada en m/s.
- η es el rendimiento de la transmisión.

$$H = \frac{\left(\frac{1}{2} \rho C_x A_f V_{\max}^2 + P \cdot f_r\right) V_{\max}}{\eta} = \frac{\left(\frac{1}{2} \cdot 1,225 \cdot 0,311 \cdot 731,44 \cdot 0,8251^2 + 1285 \cdot 9,8 \cdot f_r\right) \cdot 51}{0,9} = 69299,95 \text{ W}$$

Donde el valor de f_r se ha obtenido para la velocidad máxima del vehículo:

$$f_r = 0,008 + 0,002 \left(\frac{183,62}{100} \right)^{2,5} = 0,017 \text{ N}$$

$$H = 69299,95 \text{ W} \cdot \frac{1 \text{ CV}}{735} = 94,5 \text{ CV} < 105 \text{ CV}$$

Al ser la potencia obtenida inferior a la que puede proporcionar el vehículo, se confirma que la velocidad máxima a la que puede circular son 184 km/h.

APARTADO 6

Para determinar la rampa máxima es necesario, en primer lugar, identificar el tipo de tracción del vehículo. En el presente problema el vehículo es de tracción delantera. Por tanto, la fuerza tractora máxima adherente es:

$$F_{adh,d} = \frac{\mu \cdot P \cdot (l_2 + h \cdot f_r)}{L + \mu h}$$

donde:

- μ es el coeficiente de adherencia.
- P es el peso del vehículo expresado en N.
- l_2 es la distancia entre el centro de gravedad del vehículo y el eje trasero expresado en m.
- h es la altura del centro de gravedad del vehículo expresada en m.
- f_r es el coeficiente de resistencia a la rodadura.
- L es la batalla del vehículo expresada en m.

Por tanto, introduciendo valores se determina la fuerza tractora limitada por la adherencia:

$$F_{adh,d} = \frac{0,8 \cdot 12859,81 (1,58 + 0,48 \cdot 0,008)}{2,51 + 0,8 \cdot 0,48} = 5513,56 \text{ N}$$

Por otra parte, la fuerza tractora proporcionada por la cadena cinemática se obtiene a partir de la primera relación de transmisión, ya que el objetivo es determinar la rampa máxima.

$$\xi_1 = \frac{n_m}{n_r} = \frac{M_r}{M_m} = \frac{F_{cc} \cdot r_c}{\eta \cdot M_m^{\max}}$$

donde:

- ξ_1 es la relación de transmisión en primera marcha.
- F_{cc} es la fuerza que proporciona la cadena cinemática en N.
- r_c es el radio bajo carga del neumático expresado en m.
- η es el rendimiento de la transmisión.
- $M_{m,\max}$ es el par motor máximo que el motor puede proporcionar y se expresa en N·m.

Sustituyendo los valores numéricos se determina la fuerza entregada por la cadena cinemática.

$$F_{cc} = \frac{\xi_1 \cdot \eta \cdot M_m^{\max}}{r_c} = \frac{3,82 \cdot 3,24 \cdot 0,934 \cdot 39,8}{0,299} = 12522,74 \text{ N}$$

La fuerza transmitida a la calzada es la mínima entre la máxima adherente y la proporcionada por la cadena cinemática. Esta fuerza transmitida se invierte en vencer las resistencias al movimiento.

$$5513,56 = \sum R = R_a + R_g + R_r \approx R_g + R_r$$

Obsérvese que se desprecia la resistencia aerodinámica ya que el vehículo circula a muy baja velocidad.

$$\theta = \arcsin\left(\frac{5513,56 - 12859,8 \cdot 0,008}{12859,8}\right) = 24,46^\circ = 47,6\%$$

APARTADO 7

Para determinar la aceleración se aplicará la ecuación de Newton:

$$F - R = \gamma \cdot m \cdot a$$

Donde el coeficiente de masas rotativas (γ) se obtiene a partir del valor de la relación de transmisión de la caja de cambios:

$$\gamma_m = 1.05 + 0.0025 \cdot \xi_j^2 = 1.05 + 0.0025 \cdot 0,78^2 = 1.051$$

Además, la fuerza (F) es la fuerza transmitida a la calzada, a saber, la mínima entre la fuerza máxima adherente y la que puede transmitir la cadena cinemática. La fuerza máxima adherente es:

$$F_{cc} = \frac{\xi_5 \cdot \eta \cdot M_m}{r_e} = \frac{0,78 \cdot 3,24 \cdot 0,9 \cdot M_m}{0,30773}$$

Siendo necesario determinar el par motor que proporciona el motor cuando el vehículo circula en quinta marcha a 90 km/h. Se sabe que el par motor es función de las revoluciones del motor. Por tanto, es necesario determinar primero las revoluciones a las que gira el motor cuando se circula a 90 km/h en quinta marcha.

$$n_m = \frac{\xi_5 \cdot V \cdot 30}{r_e \cdot \pi} = \frac{0,78 \cdot 3,24 \cdot 25 \cdot 30}{0,30773 \cdot \pi} = 1960,5 \text{ rpm}$$

Aunque no se proporciona la curva de par motor sí se sabe que a 1960 rpm el par motor es 34,3 kg·m , según las especificaciones del fabricante.

$$F_{cc} = \frac{\xi_s \cdot \eta \cdot M_m}{r_e} = \frac{0,783,24 \cdot 0,934,39,8}{0,30773} = 2484,45 \text{ N}$$

Por otra parte, la fuerza máxima adherente en quinta marcha es:

$$F_{adh,d} = \frac{\mu \cdot P [l_2 + h \cdot f_r]}{L + \mu h} = \frac{0,8 \cdot 1285 \cdot 9,81 (1,58 + 0,48 \cdot 0,0095)}{2,51 + 0,8 \cdot 0,48} = 5516,12 \text{ N}$$

Escogiendo la menor entre la motriz y la adherente y utilizando los cálculos de resistencia a los avances realizados anteriormente, se tiene:

$$a = \frac{2484,45 - 242,42 - 120,097}{1,051 \cdot 1285} = 1,57 \text{ m/s}^2$$

3.3 PROBLEMA

Se dispone de la siguiente ficha técnica del fabricante:

| <u>MOTOR</u> | |
|---------------------------|---|
| Situación | Delantero transversal |
| Número de cilindros | 4 en línea |
| Cilindrada | 1598 cm ³ |
| Distribución | Doble árbol de levas en culata |
| Alimentación | Inyección directa Diesel con conducto común y con turbocompresor de geometría variable e intercooler. |
| Relación de compresión | 16,2:1 |
| Potencia máxima | 120 CV a 4000 rpm |
| Par máximo | 250 N·m a 1500-3200 rpm |
| <u>TRANSMISIÓN</u> | |
| Tipo | Tracción delantera |
| Embrague | Monodisco en seco |
| Grupo final | 3,2:1 |

| | |
|------------------------------------|---|
| Desarrollos (km/h) | 1ª 8,4 2ª 16,4 3ª 26,9 4ª 39 5ª 50,9 |
| Rendimiento de la transmisión | 90% |
| Diferencial | Corona tiene 53 dientes. Piñón de ataque tiene 15 dientes |
| <u>BASTIDOR</u> | |
| Suspensión delantera | Independiente tipo McPherson con resorte helicoidal |
| Barra estabilizadora | Diámetro 22 mm |
| Frenos | Doble circuito en diagonal de 280 mm de diámetro. |
| Dirección | Cremallera asistida |
| Giros/Diámetro de volante | 3/37 cm |
| Diámetro de giro | 10,9 m |
| Neumáticos | 195/65 R15 91H Considerar una deformación bajo carga de 18 mm y un deslizamiento del 3% |
| Llantas | 6x15 pulgadas |
| CARROCERÍA | |
| Coefficiente Cx | 0,28 |
| Peso oficial | 1450 kg |
| Reparto de pesos delantero/trasero | 55/45 % |
| Dimensiones | 1816/1459/2636/1530 (Ancho/Alto/Batalla/Vía) en mm. Área frontal: 2,1 m ² . Altura del centro de gravedad=(1/3)·Altura vehículo |
| <u>FRENOS</u> | |
| Servofreno | Dispone de servofreno. |
| Relación fuerzas de frenado | La relación entre las fuerzas de frenado delanteras y las traseras cuando el compensador no actúa es de 1,9. |
| Compensador | Dispone de un compensador tal que modifica la relación entre la fuerza de frenado trasera y la delantera. |

Nota:

$$\gamma_m = 1,05 + 0,0025 \cdot \xi^{2,5} \quad \text{Gravedad: } g=9,8 \text{ m/s}^2 \quad f_r = 0,015 + 0,01 \cdot \left(\frac{V(\text{km/h})}{100} \right)^{2,5}$$

Se pide:

1. Determine las relaciones de transmisión de la caja de cambios para todas las marchas. Considerar un índice de deslizamiento del 3%.
2. Determine la velocidad máxima del vehículo considerando que $f_r=0,015$.
3. Determine cuál es la rampa máxima que puede ascender el vehículo si circula en segunda marcha a 50 km/h sobre un pavimento con coeficiente de adherencia de 0,4. Tómese un deslizamiento del 10% y suponga que la aproximación $\cos(\theta)=1$ es válida.
4. Determine cuál hubiera sido la rampa máxima, en las mismas condiciones de circulación descritas en el apartado anterior, si el vehículo dispone de un sistema de tracción integral automático que envía parte de la potencia al eje trasero realizando una distribución asimétrica del par motor cuando detecta un deslizamiento del eje delantero con respecto al trasero. Considere que la hipótesis $\cos(\theta)=1$ sigue siendo válida. Comente el resultado obtenido.
5. El vehículo circula sobre un pavimento horizontal a 1500 rpm en 3ª marcha sobre una calzada con un coeficiente de adherencia de 0,7. El vehículo pretende realizar una maniobra de adelantamiento, para la cual necesita cubrir una distancia de 19,4 metros en 1,45 segundos. ¿El vehículo será capaz de realizar con éxito la maniobra de adelantamiento sin cambiar de marcha?
6. Si el vehículo ahora dispone de un sistema de tracción integral conectable automáticamente qué debería hacer el conductor para llevar a cabo la maniobra de adelantamiento con éxito. Justifique su respuesta con cálculos.

APARTADO 1

Para calcular la relación de transmisión de todas las marchas es necesario determinar previamente el radio nominal. Las medidas de los neumáticos son 195/65 R15.

$$r = \frac{D_{LL}}{2} \cdot 25,4 \frac{\text{mm}}{\text{plg}} + \frac{R_{NA}}{100} \cdot b = \frac{15}{2} \cdot 25,4 + \frac{65}{100} \cdot 195 = 317,25 \text{ mm}$$

El radio efectivo es:

$$r_e = r \cdot (1 - i) = 307,73 \text{ mm}$$

En las características técnicas del vehículo se dan los desarrollos de la transmisión en km/h a 1000rpm. Calculamos las relaciones de la siguiente manera:

$$\xi_j = \frac{n_m}{n_r} = \frac{n_m}{\left(\frac{V_j \cdot 60}{r_e \cdot 2 \cdot \pi} \right)} = \frac{n_m \cdot r \cdot (1 - i) \cdot \pi}{V_j \cdot 30}$$

$$\xi_1 = \frac{1000 \cdot r \cdot (1-i) \cdot \pi}{\left(\frac{8,4}{3,6}\right) \cdot 30} = 13,81$$

$$\xi_2 = \frac{1000 \cdot r \cdot (1-i) \cdot \pi}{\left(\frac{16,4}{3,6}\right) \cdot 30} = 7,07$$

$$\xi_3 = \frac{1000 \cdot r \cdot (1-i) \cdot \pi}{\left(\frac{26,9}{3,6}\right) \cdot 30} = 4,31$$

$$\xi_4 = \frac{1000 \cdot r \cdot (1-i) \cdot \pi}{\left(\frac{39}{3,6}\right) \cdot 30} = 2,97$$

$$\xi_5 = \frac{1000 \cdot r \cdot (1-i) \cdot \pi}{\left(\frac{50,9}{3,6}\right) \cdot 30} = 2,28$$

Las relaciones obtenidas son entre el motor y las ruedas e incluyen la relación del diferencial. Para obtener las relaciones de transmisión de la caja de cambios (ξ'_j), basta con dividir cada una de las relaciones obtenidas por la relación del diferencial.

$$\xi_j = \xi'_j \cdot \xi_c$$

La relación de transmisión del diferencial es:

$$\xi_c = \frac{Z_{salida}}{Z_{entrada}} = \frac{53}{15} = 3,53$$

Por tanto, las relaciones de transmisión de la caja de cambios son:

$$\xi'_1 = \frac{13,81}{3,53} = 3,9$$

$$\xi'_2 = \frac{7,07}{3,53} = 2$$

$$\xi'_3 = \frac{4,31}{3,53} = 1,22$$

$$\xi'_4 = \frac{2,97}{3,3} = 0,84$$

$$\xi'_5 = \frac{2,28}{3,53} = 0,65$$

APARTADO 2

La velocidad máxima se determina utilizando la expresión de la última relación de transmisión:

$$\xi_5 = \frac{n_m}{n_r} = \frac{n_m}{\left(\frac{V_{\max} \cdot 60}{r_e \cdot 2\pi}\right)} = \frac{n_m \cdot r \cdot (1-i)\pi}{V_{\max} \cdot 30} = \frac{4000 \cdot 0,30773 \cdot \pi}{V_{\max} \cdot 30}$$

$$V_{\max} = \frac{4000 \cdot 0,30773 \cdot \pi}{30 \cdot 2,28} = 56,5 \text{ m/s} = 203,5 \text{ km/h}$$

Realizando la comprobación de potencia máxima:

$$H = \frac{\left(\frac{1}{2} \cdot 1,225 \cdot 0,28 \cdot 2,156,5^2 + 1450 \cdot 9,8 \cdot 0,015\right) \cdot 56,5}{0,9} = \frac{85555,99 \text{ W}}{735} = 116,4 \text{ CV}$$

Que es inferior a la potencia disponible en el motor (H=120 CV).

APARTADO 3

Para determinar la capacidad tractora en tercera velocidad es necesario conocer el par motor. Por otro lado, se sabe que el par motor es función de las revoluciones del mismo. Por ello, se va a determinar primero las revoluciones del motor cuando el vehículo circula en tercera marcha a 50 km/h.

$$\xi_2 = \frac{n_m}{n_r} = \frac{n_m \cdot r \cdot (1-i)\pi}{V \cdot 30} \Rightarrow n_m = \frac{\xi_2 \cdot 30 \cdot V}{r_c \cdot \pi} = \frac{7,07 \cdot 30 \cdot \left(\frac{50}{3,6}\right)}{0,299 \cdot \pi} = 3136,1 \text{ rpm}$$

De las especificaciones técnicas se sabe que a las revoluciones calculadas el motor proporciona el par máxima. Por tanto, la fuerza que proporciona la cadena cinemática es:

$$F_{cc} = \frac{\xi_2 \cdot \eta \cdot M_m^{\max}}{r_c} = \frac{7,07 \cdot 0,9 \cdot 250}{0,299} = 5320,2 \text{ N}$$

Puesto que el vehículo es de tracción delantera la fuerza adherente disponible es:

$$f_r = 0,015 + 0,01 \left(\frac{50}{100}\right)^{2,5} = 0,017$$

$$F_{adh,d} = \frac{\mu \cdot P [l_2 + h \cdot f_r]}{L + \mu h} = \frac{0,4 \cdot 1450 \cdot 9,8 (1,45 + 0,486 \cdot 0,017)}{2,636 + 0,4 \cdot 0,486} = 2928,5 \text{ N}$$