

Teoría

Un vehículo sufre a 2 tipos de fuerzas de frotamiento::

- la resistencia de frotamiento aerodinámico $F_{aero} = \frac{1}{2} \rho S C_x V^2$ en Newton dónde :
 - o ρ es la masa volumica de aire : 1.2 kg / m³ en 20°C
 - o S es la superficie frontal del vehículo en m² (3.2 m²)
 - o C_x es el coeficiente de la penetración en el aire del vehículo (0.29)
 - o V es la velocidad de aire respectiva con el vehículo en m/s
- la resistencia a la rodadura de los neumáticos $F_{rr} = C_{rr} m g$ en Newton dónde :
 - o C_{rr} es el coeficiente de la resistencia a la rodadura del neumático (para determinar)
 - o m la masa llevada por el neumático
 - o g la aceleración del peso : 9,81 m/s²

Protocolo de la experiencia

Uno trata de medir la resistencia para la rodadura de una furgoneta Citroën Berlingo Eléctrica equipada con neumáticos *Michelin Agilis 175 / 65 R14 90T* inflados a la presión máxima recomendada (3,75 Bar en frío). La Citroën está equipado con uno GPS y uno dispositivo hectómetro de distancia. Uno aplica las operaciones siguientes sobre un pavimento en buen estado, con poco de viento, notablemente plano y alquitranado :

- 1) El lanzamiento del vehículo para 20 km/h consolidós : el GPS detecta la velocidad a 1 km/h cerca,
- 2) Manipulación de la palanca de velocidad sobre el puesto neutral (N), para rodar libremente,
- 3) Medida de la distancia hojeada hasta el alto completo con el dispositivo hectómetro,
- 4) Repetición de la experiencia en los 2 sentidos de la misma parte de pavimento, las 5 veces.

Balance energético

Uno emite la hipótesis que en las condiciones mencionadas anteriormente, la resistencia aerodinámica es insignificante y que solamente la resistencia del rodadura contribuye para frenar el vehículo sobre una distancia D .

Uno verificará a posteriori que esta hipótesis es legítima.

El teorema de la energía cinética da: $\Delta E_c = W(\vec{F}_{rr}) \Rightarrow \frac{1}{2} m V^2 = F_{rr} D$; y $F_{rr} = C_{rr} m g$

Uno deduce : $\frac{1}{2} m V^2 = C_{rr} m g D$ $\Rightarrow C_{rr} = \frac{V^2}{2 g D}$

Medidas e incertidumbres

El alto del vehículo repetido muestra $D = 150$ m medido a cerca 10 m por el dispositivo hectómetro. El valor mesurado sin la corrección es $C_{rr} = 0.0105$ con $V = 5.55$ m/s

Cálculo de la incertidumbre : $C_{rr} = \frac{V^2}{2 g D} \Rightarrow \frac{\Delta C_{rr}}{C_{rr}} = 2 \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta D}{D} = 2 \frac{1}{20} + \frac{10}{150} = 0.1666$

Uno tomas la incertidumbre a 20 % (descuidada sobre g) : $\Delta C_{rr} = 0.0105 \times 20\% = 0.00210$

Resultado : $C_{rr} = 0.01 \pm 0.002$, o también $0.008 < C_{rr} < 0.012$

Comparación entre los frotamientos aerodinámicos y la resistencia a la rodadura

$$\text{Uno ha } \frac{F_{aero}}{F_{rr}} = \frac{\frac{1}{2} \rho S C_x V^2}{C_{rr} m g} = \frac{\rho S C_x V^2}{2 C_{rr} m g}$$

La aplicación numérica da con $m = 1700 \text{ kg}$; $SC_x = 0.92$, $C_{rr} = 0.01$

$$\frac{F_{aero}}{F_{rr}} \approx 0.1 \text{ en } 5.55 \text{ m/s} = 20 \text{ km/h} \quad \text{y} \quad \frac{F_{aero}}{F_{rr}} \approx 0.025 \text{ en } 2.775 \text{ m/s} = 10 \text{ km/h}$$

Las fuerzas de frotamiento aerodinámico representan aproximadamente 5 % del frenado del vehículo en esta experiencia, tampoco 4 menos que la pila las incertidumbres de medida : **son ignoradas por lo tanto lícitamente.**

Ejemplos de resistancias de rodadura de otros neumáticos, comentarios

Columna "RRC Average" extraer de *Green Report March 2003* : "Low Rolling Resistance Tires : fuel savings for America "

TABLE 1: RECOMMENDED TIRE MODELS

BRAND	MODEL	SIZE	RRC AVERAGE	PRICE	TRACTION COMPOSITE	WOULD BUY AGAIN	COMPOSITE TREAD WEAR	COMPOSITE PERFORMANCE SCORE
Bridgestone	B381	185/70R14	0.0062	\$62.00	8.00		5.96	6.98
Nokian	NRT2	185/70R14	0.0085	\$67.00	8.00		5.72	6.86
Sumitomo	HTR 200	185/70R14	0.0092	\$36.00	8.15	8.30	7.05	7.83
Dunlop	Graspic DS-1	185/70R14	0.0092	\$46.00	7.50	7.90	6.60	7.33
Dunlop	SP40 A/S	185/70R14	0.0103	\$41.00	8.00		7.18	7.59
Bridgestone	Blizzak WS-50	185/70R14	0.0103	\$68.00	7.91	8.70	6.04	7.55
Goodyear	VIVA 2	185/70R14	0.0104	\$47.96	7.00		6.52	6.80
Continental	ContiTouring Contact CH95	205/55R16	0.0083	\$64.00	7.46	6.10	7.29	6.95
Michelin	Pilot Alpine	205/55R16	0.0090	\$125.00	7.56	8.60	8.00	8.05
Michelin	EnergyMXV4 Plus	205/55R16	0.0090	\$118.00	7.64	6.00	6.87	6.84
Dunlop	SP Winter Sport M2	205/55R16	0.0102	\$98.00	8.55		7.80	8.17
Michelin	Arctic AlpineXL	235/75R15	0.0081	\$79.00	8.10	8.50	7.10	7.90
Dunlop	Axiom Plus WS	235/75R15	0.0088	\$43.00	8.00		5.88	6.94
BF Goodrich	Long Trail T/A	245/75R16	0.0092	\$76.00	7.94	6.20	7.11	7.08
Michelin	XPS Rib	LT245/75R16	0.0101	\$167.90	6.70	8.10	8.00	7.60
Michelin	LTX M/S	245/75R16	0.0103	\$139.00	7.97	8.30	7.37	7.88
Bridgestone	Dueler A/T D693	245/75R16	0.0103	\$104.00	8.00		7.20	7.60

NOTE: The lower the rolling resistance coefficient (RRC), the more efficient is the tire; all tires listed here meet Green Seal's criterion for rolling resistance of less than 0.0105 and are among the most efficient available in the market today. In contrast, the higher the value of Traction Composite, Would Buy Again, Composite Treadwear, and Composite Performance Score, the better in those measures the tire is; however, all tires listed here have a greater than average performance score in these respects.

©2003, Green Seal Inc. Use of this table for commercial purposes is prohibited.

<http://www.wbdg.org/ccb/GREEN/REPORTS/cgtrirerollingresistance.pdf>

El neumático *Michelin Agilis 175/65 R14 90T* no es concebido como una prioridad para reducir la resistencia del rodadura, algo para una buena adherencia sobre el seco y la humedad, notablemente con una carga elevada (las especificaciones acostumbradas para las furgonetas).

Sin embargo, él consiguen uno rendimiento correcto de rodadura cuando él son inflado al máximo recomendado. El aceptan por lo tanto para un vehículo eléctrico dónde esta criterio influye en intencionadamente sobre la autonomía (de cerca 10 %). La perfección sería un neumático *Michelin Energy* incluye una goma de silicia más dura y cuya concepción da la prioridad a la reducción de los efectos disipativos dentro y fuera del neumático.

Conclusiones, y para saber mayor cantidad

El modelo y la experiencia propuesta midieron uno bueno tamaño del C_{rr} sobre una estándar carga (625 kg / neumático) y velocidades muy pequeñas. En realidad, el C_{rr} varía con la carga, la presión, la temperatura, la velocidad, el estado y el tipo de los neumáticos, la naturaleza de tierra y mucha otros factores. C_{rr} tiene un aspecto esencialmente experimental.

http://www.profauto.fr/2-Apports_theoriques/Resistance_avancement.pdf

http://www.tut.fi/plastics/tyreschool/moduulit/moduuli_8/hypertext_1/3/3_3.html

http://en.wikipedia.org/wiki/Rolling_resistance

<http://de.wikipedia.org/wiki/Rollwiderstand>

http://es.wikipedia.org/wiki/Resistencia_a_la_rodadura

<http://www.wbdg.org/ccb/GREEN/REPORTS/cgtrirerollingresistance.pdf>