

## SISTEMA DE FRENOS

### 32.1 Desaceleración de frenado, tiempo de frenado, distancia de frenado, distancia hasta el paro

#### Explicación

#### 1. Desaceleración, tiempo y distancia de frenado

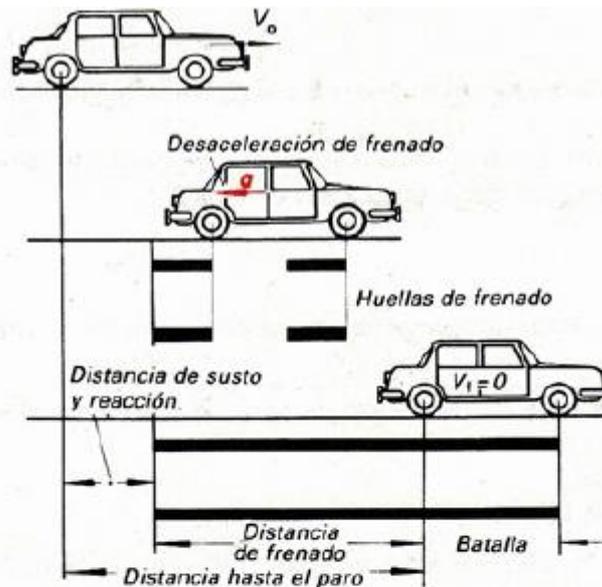
Los vehículos llevan instalaciones de frenos para poder reducir la velocidad.

**Desaceleración de frenado:** Es la reducción  $a$  de la velocidad por unidad de tiempo por efecto de la aplicación de los frenos (ver sección 20.3).

Por ejemplo, un automóvil que marche con una velocidad de 90 km/h (igual a 25 m/s) se detiene en 10 segundos. Su desaceleración es igual a  $25 \text{ m/s} : 10 \text{ s} = 2,5 \text{ m/s}^2$ .

**Tiempo de frenado:** Es el intervalo  $t$  de tiempo durante el cual están actuando los frenos.

**Distancia de frenado:** Durante el tiempo de frenado el vehículo recorre todavía una distancia determinada. Esa distancia  $s$  se llama distancia de frenado.



Proceso de frenado

#### 2. Distancia hasta el paro

Desde que aparece un peligro hasta que se para por completo, un vehículo recorre una distancia superior a la de frenado, por dos razones:

- 1º El tiempo que tarda en reaccionar el conductor (fracción de segundos), que se denomina tiempo de susto y
- 2º El tiempo de reacción de los frenos desde que se aplican hasta que ejercen toda su acción.

Durante este tiempo (susto y reacción) el vehículo sigue avanzando con la velocidad inicial. **Es pues lógico que la distancia hasta el paro es mayor que la distancia del frenado.**

## Notaciones

$s_{\text{total}}$  = Distancia hasta el paro [m]

$s$  = Distancia de frenado [m]

$s_1$  = Distancia recorrida durante el susto y reacción [m]

$a$  = Desaceleración de frenado  $\left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$

$v_0$  = Velocidad inicial  $\left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$

$t$  = Tiempo de frenado [s]

$t_1$  = Tiempo de susto y reacción [s]

**Observación:** La aceleración y la desaceleración se calculan del mismo modo (sec. 20.3)

## Fórmula con ejemplo

### 1. Desaceleración, tiempo y distancia de frenado

Según 20.3:

$$\text{(fórmula 1)} \quad v_0 = t \cdot a$$

$$\text{(fórmula 2)} \quad s = \frac{v_0 \cdot t}{2}$$

Si de la fórmula 1 se despeja  $t$  y su valor se aplica en la fórmula 2, resulta:

$$\text{(fórmula 3)} \quad s = \frac{v_0 \cdot t}{2} = \frac{v_0 \cdot \frac{v_0}{a}}{2} = \frac{v_0^2}{2a}$$

1. Calcular la distancia de frenado de un turismo en marcha a 72 km/h, que se desacelera a razón de  $a = 5 \text{ m/s}^2$ .

$$v_0 = \frac{72}{3,6} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$s = \frac{v_0^2}{2a} \quad [\text{m}]$$

$$= \frac{20^2}{2 \cdot 5} = \underline{40 \text{ m}}$$

Por lo tanto:

Distancia de frenado =  $\frac{\text{Velocidad inicial al cuadrado}}{\text{Dos veces la desaceleración}}$

Con ayuda de las tres fórmulas básicas se pueden calcular los siguientes valores:

Desaceleración de frenado:

$$a = \frac{v_0}{t} = \frac{v_0^2}{2 \cdot s} \quad \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

Tiempo de frenado:

$$t = \frac{v_0}{a} = \frac{2s}{v_0} \quad [\text{s}]$$

Distancia de frenado:

$$s = \frac{v_0 \cdot t}{2} = \frac{v_0^2}{2a} \quad [\text{m}]$$

Velocidad inicial:

$$v_0 = t \cdot a = \sqrt{2a \cdot s} \quad \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

2. ¿Cuál es la desaceleración de un camión que yendo a 80 km/h necesita tan sólo 60 m para quedar detenido al frenar?

$$v_0 = \frac{80}{3,6} = 22,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$a = \frac{v_0^2}{2 \cdot s} \quad \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

$$a = \frac{22,2^2}{2 \cdot 60} = \underline{4,11 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

3. Calcular la velocidad inicial de un turismo que se frena con una desaceleración  $a = 4,5 \text{ m/s}^2$  y que alcanza el reposo tras recorrer 50 m.

$$v_0 = \sqrt{2a \cdot s} \quad \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

$$v_0 = \sqrt{2 \cdot 4,5 \cdot 50} = 21,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_0 = 21,2 \cdot 3,6 = \underline{76,3 \frac{\text{km}}{\text{h}}}$$

## 2. Distancia hasta el paro

Para la distancia hasta el paro se aplica la siguiente fórmula:

Distancia hasta el paro = Distancia de frenado +  
Velocidad inicial  $\times$  Tiempos de susto y reacción

$$s_{\text{total}} = s + v_0 \cdot t_1 \quad [\text{m}]$$

**Observación:** La velocidad inicial expresada siempre en m/s.

### Nota

En algunos países, las ordenanzas prescriben que los vehículos tengan unas desaceleraciones de frenado mínimas; por ejemplo, para los automóviles de turismo y los camiones, de  $2,5 \text{ m/s}^2$ .

Los tiempos de susto y reacción de un conductor y su coche son en total de  $1,5 \text{ s}$ .

Calcular la distancia hasta el paro partiendo de los siguientes valores:

$$a = 5 \text{ m/s}^2; \quad s = 40 \text{ m}$$

$$v_0 = \frac{72}{3,6} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$s_{\text{total}} = s + v_0 \cdot t_1 \quad [\text{m}]$$

$$s_{\text{total}} = 40 + 20 \cdot 1,5 = \underline{70 \text{ m}}$$

## Ejercicios

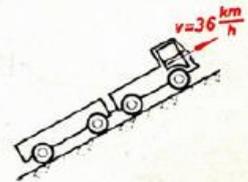
32.1 De la primera fórmula fundamental ( $v_0 = t \cdot a$ ) despejar la desaceleración.

32.2 Con la fórmula  $s = v_0^2/2a$  hay que hallar la velocidad inicial. ¿Cómo se despeja?

32.3 Un camión con remolque asciende por una pendiente con una velocidad de  $36$  ( $50$ ;  $75$ )  $\text{km/h}$ . ¿Cuál es su velocidad en  $\text{m/s}$ ?

32.4 Un turismo se puede frenar con una desaceleración máxima de  $6,5$  ( $7$ )  $\text{m/s}^2$ . Calcular su distancia de frenado para una velocidad inicial de  $90$  ( $108$ )  $\text{km/h}$ .

32.5 Un turismo circula por una autopista a  $108$  ( $96$ )  $\text{km/h}$  y a causa de un obstáculo se tiene que detener en  $5$  ( $4$ ) segundos. ¿A qué desaceleración corresponde esto?



32.3



32.6 A consecuencia de un accidente se ha medido una distancia de frenado de  $60$  ( $40$ )  $\text{m}$ . El vehículo accidentado, como pudo comprobarse luego en la inspección de los frenos, podía desacelerar a razón de  $5,8$  ( $4,9$ )  $\text{m/s}^2$ .

El conductor aseguraba que no iba a más de  $50 \text{ km/h}$ . Comprobar si la declaración del conductor es cierta.

32.7 Apretando a fondo los frenos, un turismo a  $96 \text{ km/h}$  alcanza el reposo después de recorrer  $98$  ( $84$ )  $\text{m}$ . ¿Cumple la norma, por ejemplo, de tener una desaceleración mínima de  $2,5 \text{ m/s}^2$ ?

32.8 ¿En cuántos segundos alcanza el reposo (se detiene) un camión que va a  $80$  ( $90$ )  $\text{km/h}$  si su desaceleración es de  $4,5$  ( $5,1$ )  $\text{m/s}^2$ ?

32.9 La distancia de frenado de un turismo es de  $60$  ( $50$ )  $\text{m}$  cuando su velocidad inicial es de  $72$  ( $60$ )  $\text{km/h}$ . Calcular el tiempo de frenado.

32.10 Un camión se detuvo, al frenarlo, en  $6$  ( $4$ ) segundos. ¿Cuál era su velocidad inicial en  $\text{km/h}$  si la desaceleración era de  $4$  ( $5$ )  $\text{m/s}^2$ ?

32.11 ¿A qué velocidad puede ir un turismo de noche por una autopista si sus faros alcanzan  $150 \text{ m}$  para estar seguros que se detiene a tiempo ante un obstáculo? (Desaceleración normalizada  $2,5 \text{ m/s}^2$ .)

32.12 Calcular la distancia que recorre en  $2,0$  ( $4,5$ ) segundos un vehículo que circula a  $140 \text{ km/h}$ .

32.13 A  $50 \text{ m}$  delante de un turismo se atraviesa de repente el remolque de un camión. Calcular si tiene tiempo de evitar el accidente el turismo yendo a  $50 \text{ km/h}$  si el tiempo de susto y reacción es de  $1,2 \text{ s}$  y la desaceleración de frenado de  $4,5 \text{ m/s}^2$ .

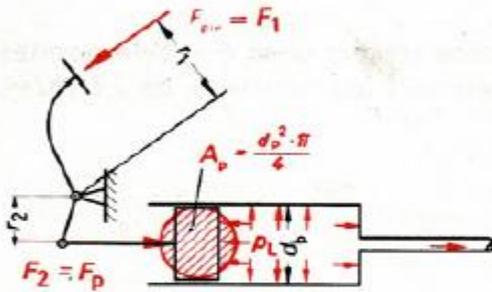
32.14 Calcular la distancia hasta el paro de una motocicleta que va a  $86,5$  ( $102,5$ )  $\text{km/h}$ , con una desaceleración de  $3,5 \text{ m/s}^2$ . El tiempo de susto y reacción asciende a  $2$  ( $2,5$ ) segundos.

32.15 Un vehículo circulando a  $90$  ( $108$ )  $\text{km/h}$  recorre una distancia hasta el paro de  $105 \text{ m}$  de los cuales, corresponden propiamente a la distancia de frenado  $70 \text{ m}$ . ¿A cuánto asciende el tiempo de susto y reacción?

## 32.2 Presión del circuito, fuerza de aprieto

### Explicación

#### 1. Presión en el circuito



Generación de la presión del circuito en el cilindro principal de frenado

El hombre puede como máximo apretar con el pie con una fuerza de 750 N (75 daN). Para la desaceleración que se alcanza en los automóviles de turismo hace falta, sin embargo, una fuerza casi diez veces mayor.

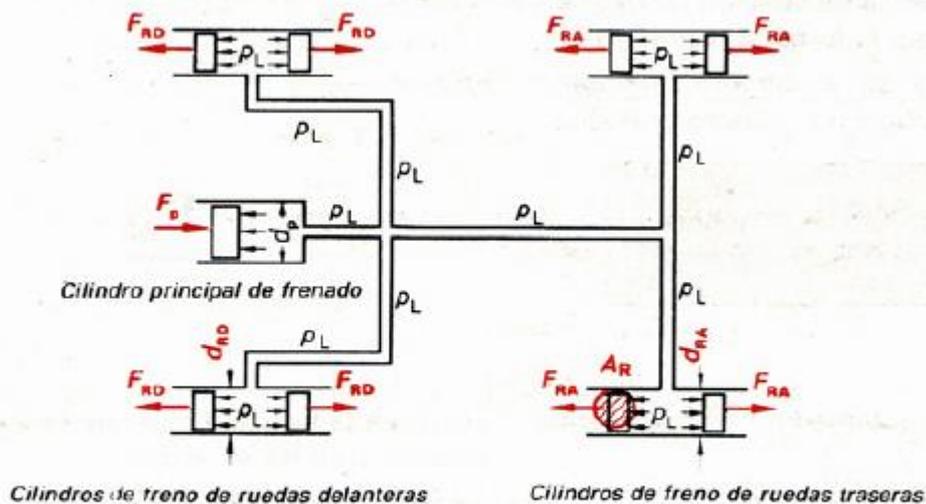
Es necesario pues aumentar la fuerza del pie, bien sea:

- 1º Mediante palancas
- 2º Transmisión hidráulica
- 3º Fuerzas externas (por ej. aire comprimido)
- 4º Aumento automático con frenos de tambor

Por lo general se instalan frenos hidráulicos en los vehículos (turismos). En tal caso, la fuerza del pie  $F_{pie}$  se aumenta por efecto de palanca de las varillas del pedal del freno. En el cilindro principal de frenado actúa la fuerza aumentada  $F_p$  y genera a la salida del cilindro la presión del circuito  $p_L$ .

#### 2. Fuerza de aprieto

La presión en los líquidos se transmite en todas direcciones con la misma intensidad. (Principio de Pascal, sec. 17.1).



Distribución de la presión en la instalación de frenos hidráulicos

Por esta razón la presión  $p_L$  del circuito actúa en los émbolos de los cilindros de freno de ruedas y genera en ellos las fuerzas de aprieto  $F_{RD}$  y  $F_{RA}$ .

Mediante estas fuerzas de aprieto las mordazas de freno presionan en los tambores de freno (en los frenos de disco, las zapatas en el disco).

## Notaciones

- $F_{pie}$  = Fuerza del pie [daN]  
 $F_p$  = Fuerza en la cabeza del émbolo del cilindro principal de frenado [daN]  
 $r_1$  = Brazo de palanca 1 del pedal del freno [cm]  
 $r_2$  = Brazo de palanca 2 del pedal del freno [cm]  
 $A_p$  = Superficie del cilindro principal [cm<sup>2</sup>]  
 $A_R$  = Superficie de los cilindros de rueda [cm<sup>2</sup>]  
 $p_L$  = Presión del circuito [daN/cm<sup>2</sup> ≅ bar]  
 $F_{RD}$  = Fuerza de aprieto de los cilindros de las ruedas delanteras [daN]  
 $F_{RA}$  = Fuerza de aprieto de los cilindros de las ruedas traseras [daN]  
 $d_p$  = Diámetro del cilindro principal [cm]  
 $d_{RD}$  = Diámetro de los cilindros de las ruedas delanteras [cm]  
 $d_{RA}$  = Diámetro de los cilindros de las ruedas traseras [cm]

**Observación:** La presión se da en daN/cm<sup>2</sup> porque 1 daN/cm<sup>2</sup> corresponde a 1 bar.

## Fórmula con ejemplo

### 1. Presión del circuito

De acuerdo con la sección 13.1:

Fuerza  $F_1 \times$  Brazo 1 = Fuerza  $F_2 \times$  Brazo 2

La fuerza en el cilindro principal se calcula pues así:

Fuerza en el cilindro principal

$$= \frac{\text{Fuerza del pie} \times \text{Brazo 1}}{\text{Brazo 2}}$$

$$F_p = \frac{F_{pie} \cdot r_1}{r_2} \text{ [daN]}$$

La presión del circuito en la instalación de frenos hidráulicos se obtiene por la fórmula (ver 17.1).

Presión del líquido =  $\frac{\text{Fuerza en el cilindro principal}}{\text{Superficie del cilindro principal}}$

$$p_L = \frac{F_p}{A_p} = \frac{F_p}{\frac{d_p^2 \cdot \pi}{4}} \left[ \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2} \text{ o } \begin{matrix} \text{bar} \\ \text{sobre-} \\ \text{presión} \end{matrix} \right]$$

### 2. Fuerza de aprieto

La fuerza de aprieto se calcula igualmente con la fórmula:

$$\text{Presión del líquido} = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Superficie}}$$

Para los cilindros de freno de las ruedas delanteras se tiene:

Fuerza de aprieto de un cilindro de freno rueda delantera =  
 Presión del líquido  $\times$  Superficie de un cilindro de freno delantero

$$F_{RD} = p_L \cdot A_{RD} = p_L \cdot \frac{d_{RD}^2 \cdot \pi}{4} \text{ [daN]}$$

Del mismo modo, para los cilindros de freno de las ruedas traseras:

$$F_{RA} = p_L \cdot A_{RA} = p_L \cdot \frac{d_{RA}^2 \cdot \pi}{4} \text{ [daN]}$$

Se aprieta un pedal de freno con una fuerza de 40 daN.

Calcular:

- La fuerza en el cilindro principal.
- La presión del circuito.

Para el cálculo se dispone de los siguientes valores:

$r_1 = 30$  cm;  $r_2 = 6$  cm;  $d_p = 3,2$  cm

$$\begin{aligned} \text{a) } F_p &= \frac{F_{pie} \cdot r_1}{r_2} \text{ [daN]} \\ &= \frac{40 \cdot 30}{6} = \underline{200 \text{ daN}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) } p_L &= \frac{F_p}{\frac{d_p^2 \cdot \pi}{4}} \left[ \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2} \right] \\ &= \frac{200}{\frac{3,2^2 \cdot \pi}{4}} = \underline{24,9 \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2}} \end{aligned}$$

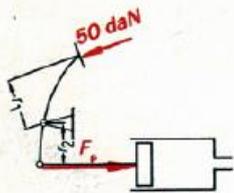
¿Cuál es la fuerza de aprieto en los frenos de delante y en los de atrás?

Se dispone de los siguientes valores:

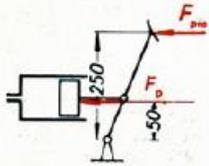
$d_{RD} = 3,8$  cm;  $d_{RA} = 2,7$  cm;  $p_L = 24,9$  bar de  
 (ver el otro ejercicio) sobrepresión

$$\begin{aligned} \text{a) } F_{RD} &= p_L \cdot \frac{d_{RD}^2 \cdot \pi}{4} \text{ [daN]} \\ &= 24,9 \cdot \frac{3,8^2 \cdot \pi}{4} = \underline{282,4 \text{ daN}} \end{aligned}$$

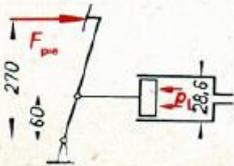
$$\begin{aligned} \text{b) } F_{RA} &= p_L \cdot \frac{d_{RA}^2 \cdot \pi}{4} = \text{[daN]} \\ &= 24,9 \cdot \frac{2,7^2 \cdot \pi}{4} = 142,6 \text{ daN} \end{aligned}$$



32.17



32.18



32.20

**Observación**

La fuerza de aprieto real es aproximadamente un 10% menor que la calculada ya que en el varillaje del pedal del freno y en las juntas del émbolo hay pérdidas por rozamiento.

**Ejercicios**

**32.16** De la fórmula para el cálculo de la fuerza en el cilindro principal despejar la fuerza del pie.

**32.17** Una instalación de frenos se acciona con una fuerza del pie de 50 daN. Calcular la fuerza  $F_p$  en el cilindro principal. ( $r_1 = 210$  mm;  $r_2 = 70$  mm.)

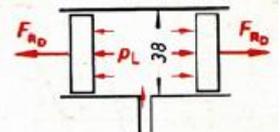
**32.18** ¿Cuál debe ser la fuerza del pie en el pedal del freno para que en el cilindro principal actúe una fuerza de 180 daN?

**32.19** Calcular la presión del circuito de unos frenos hidráulicos sobre cuyo cilindro principal, que tiene un diámetro de 44,5 mm actúa una fuerza de 320 daN.

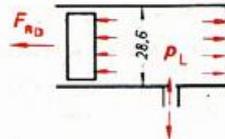


**32.20** Una instalación de frenos se acciona con una fuerza del pie de 60 daN. El diámetro del cilindro principal es de 28,6 mm. Calcular la presión del circuito.

**32.21** En la instalación de unos frenos hidráulicos se alcanza una presión del circuito = 32 bar de sobrepresión. ¿Cuál es pues la fuerza de aprieto  $F_{RD}$  de los cilindros de freno de las ruedas delanteras, los cuales tienen 3,8 cm de diámetro?



**32.22** La fuerza de aprieto en un cilindro de freno de rueda que tiene un diámetro de 28,6 mm alcanza los 240 daN. Calcular la presión del circuito.

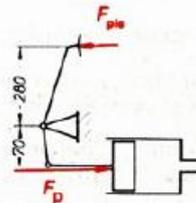


**32.23** Para el cálculo de un freno hidráulico se conocen los siguientes valores:  
Fuerza de pie  $F_{pie} = 45$  daN

- Ø cilindro principal  $d_p = 28,6$  mm
  - Ø cilindros ruedas delanteras  $d_{RD} = 31,8$  mm
  - Ø cilindros ruedas traseras  $d_{RA} = 25,4$  mm
- (Las dimensiones de las palancas en el dibujo de al lado.)

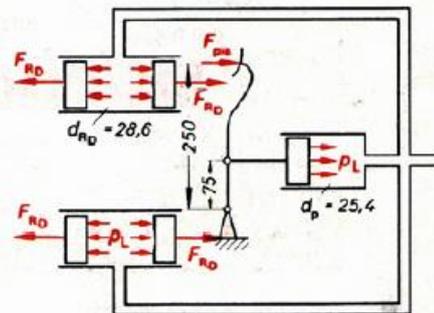
Calcular:

- a) la fuerza  $F_p$  sobre el cilindro principal
- b) la presión del circuito
- c) las fuerzas de aprieto de los cilindros de las ruedas delanteras y traseras



**32.24** Para parar un turismo antes de llegar a un obstáculo se necesita en cada rueda delantera una fuerza de aprieto de 280 daN. Calcular a qué fuerza de pie corresponde.

**32.25** Sobre un cilindro principal de 31,8 mm de diámetro actúa una fuerza de 250 daN. Calcular la presión que genera en el circuito.



### 32.3 Frenos de tambor, fuerza periférica

#### Explicación

El freno simple consta de un cilindro de rueda con dos émbolos y de dos mordazas giratorias. Si se acciona el freno, ambos émbolos de los cilindros de freno de las ruedas presionan contra las mordazas con la fuerza de aprieto, con lo cual, los forros o guarniciones presionan sobre el tambor que está en movimiento y generan un rozamiento (secc. 23.1) en la periferia del mismo.

**Esa fuerza de rozamiento se denomina fuerza periférica en el tambor de freno.**

Y depende de:

- 1º la fuerza de aprieto
- 2º el rozamiento entre el forro y el tambor y,
- 3º el tipo de freno (tambor: simple, dúplex y servo; discos).

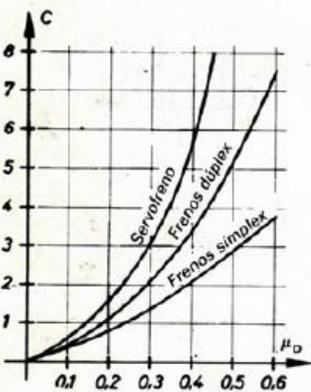
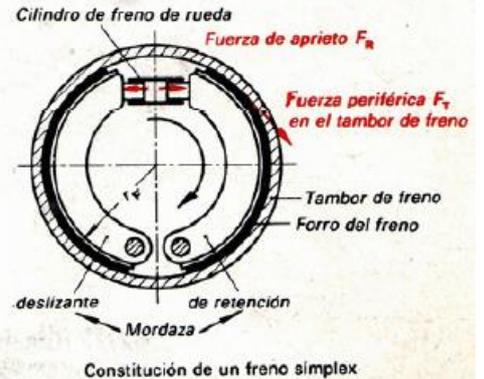


Diagrama para el valor característico de los frenos

**El rozamiento (coeficiente de rozamiento dinámico (de deslizamiento)) y la clase de frenos se contemplan en el denominado valor nominal ó característico C de los frenos.**

Este valor característico de los frenos se determina mediante fórmulas complicadas o se toma de un diagrama.

#### Notaciones

$F_R$  = Fuerza de aprieto (daN)  
 $C$  = Valor característico de los frenos (-)

$F_T$  = Fuerza periférica en el tambor de freno (daN)  
 $\mu_D$  = Coeficiente de rozamiento dinámico (-)

#### Fórmula con ejemplo

La fuerza periférica en el tambor de freno se calcula con el valor característico del freno.

$$\text{Valor del freno característico} = \frac{\text{Fuerza periférica}}{\text{Fuerza de aprieto}}$$

o bien

$$\text{Fuerza periférica} = \frac{\text{Valor característico del freno}}{\text{Valor característico del freno}} \times \text{Fuerza de aprieto}$$

$$F_T = C \cdot F_R \text{ [N]}$$

Determinar la fuerza periférica en el tambor de freno de

- a) un freno delantero dúplex
- b) un freno trasero simple.

Datos para el cálculo:

$$\mu_D = 0,35; \quad F_{RD} = 282,4 \text{ daN}; \quad F_{RA} = 142,7 \text{ daN}$$

- a) Freno de rueda delantera

$$C_D \approx 2,7 \text{ (del diagrama para } \mu_D = 0,35 \text{ y frenos dúplex)}$$

$$F_{TD} = C_D \cdot F_{RD} \text{ [daN]} = 2,7 \cdot 282,4 \approx \underline{762,5 \text{ daN}}$$

- b) Freno de rueda trasera

$$C_A \approx 1,7 \text{ (del diagrama para } \mu_D = 0,35 \text{ y frenos simple)}$$

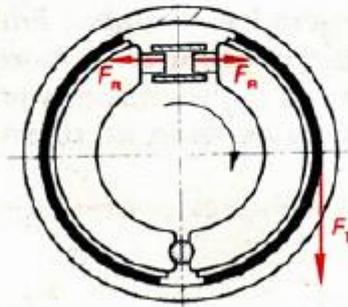
$$F_{TA} = C_A \cdot F_{RA} \text{ [daN]} = 1,7 \cdot 142,7 \approx \underline{242,5 \text{ daN}}$$

**Observación**

El rozamiento entre forro y tambor ha de tener el mismo coeficiente en las dos ruedas de un mismo eje; una diferencia insignificante ya da lugar a grandes variaciones en el valor nominal del freno y con ello a fuerzas de frenado desiguales en las dos ruedas. Consecuencia: Al frenar, actúan fuerzas distintas en las ruedas y el vehículo se desvía (se atraviesa).

**Ejercicios**

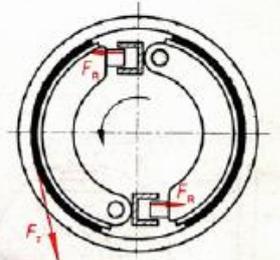
**32.26** Calcular la fuerza periférica en los tambores de un freno simplex cuyas mordazas presionan contra los tambores con una fuerza de aprieto de 150 daN. El valor característico del freno es  $C = 2,1$ .



Freno simplex

**32.27** Determinar en el diagrama los valores característicos de un freno simplex, de un dúplex y de un servofreno con los coeficientes de rozamiento  $\mu_o = 0,3$  y  $\mu_b = 0,4$ .

**32.28** En el freno dúplex del dibujo, las mordazas presionan contra el tambor con una fuerza de aprieto de 220 daN, que generan una fuerza periférica en el tambor de 462 daN. Hallar a) el valor característico del freno y b) el coeficiente de rozamiento correspondiente (en el diagrama).



Freno dúplex

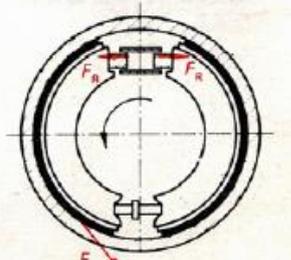
**32.29** En el eje delantero de un turismo se han cambiado los forros del servofreno de la izquierda porque estaban curvados. Los de la otra rueda, que tienen un coeficiente de rozamiento  $\mu_o = 0,35$  no se tocan. El coeficiente de rozamiento de los nuevos forros es, sin embargo,  $\mu_o = 0,4$ . Calcular:

- a) Para el cilindro de freno de cada una de las ruedas la fuerza periférica en el tambor con una fuerza de aprieto de 220 daN.
- b) La diferencia entre ambas fuerzas periféricas.

**32.30** La fuerza de aprieto debe ser en cada caso de 120 daN. Los frenos de tambor llevan los mismos forros, cuyo coeficiente de rozamiento es  $\mu_o = 0,36$ .

Calcular la fuerza periférica para

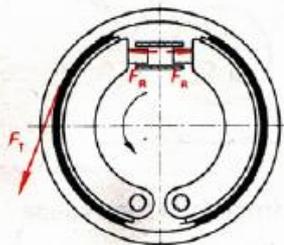
- a) un freno simplex
- b) un freno dúplex
- c) un servofreno



Servofreno

**32.31** ¿Cuál es la fuerza periférica en el tambor de un freno simplex con un coeficiente de rozamiento  $\mu_o = 0,45$  si la fuerza de aprieto es a) 125 daN, b) 180 daN, c) 220 daN?

**32.32** Hallar cual ha de ser la fuerza de aprieto en el freno de tambor del dibujo para que con un coeficiente de rozamiento  $\mu_o = 0,35$  genere una fuerza periférica de 340 daN.



Freno simplex

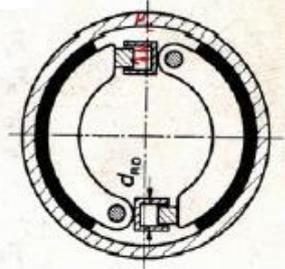
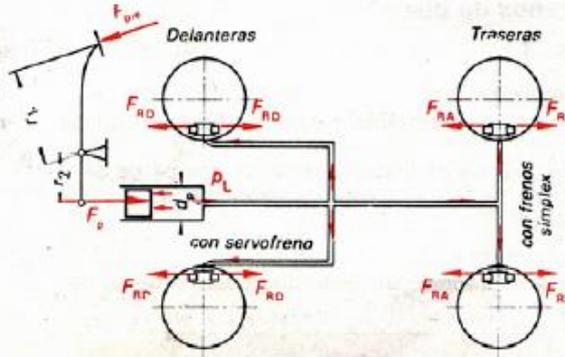
**32.33** Calcular la fuerza periférica en el tambor de un freno de rueda delantera con los siguientes valores: Presión del circuito  $p_L = 25,5$  bar de sobrepresión, diámetro del cilindro de freno de la rueda delantera  $d_{RD} = 22,2$  mm, coeficiente de rozamiento  $\mu_D = 0,45$ .

**32.34** Calcular para una instalación de frenos a) la presión del circuito, b) la fuerza de aprieto y c) la fuerza periférica en el tambor.

El pedal del freno se aprieta con una fuerza de 40 daN.

Características de la instalación de frenos hidráulicos:

- $r_1 = 300$  mm
- $d_p = 25,4$  mm
- $d_{RA} = 22,2$  mm
- $r_2 = 75$  mm
- $d_{RD} = 28,6$  mm
- $\mu_D = 0,35$



Freno dúplex

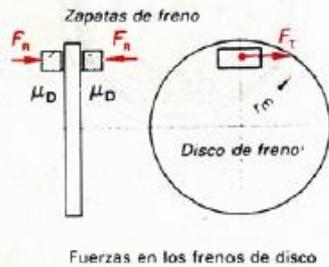
### 32.4 Frenos de disco. Fuerza de frenado en una rueda

#### Explicación

##### 1. Frenos de disco

En los automóviles de turismo modernos cada vez se emplean más los frenos de disco en lugar de los de tambor. (Ventajas: efecto de frenado más parejo, imposibilidad de auto-bloqueo).

Al actuar la instalación de frenos, las dos zapatas aprietan cada una con la fuerza  $F_n$  contra el disco y dan origen a la fuerza periférica  $F_T$  (fuerza de rozamiento) con brazo de palanca  $r_m$ .



Fuerzas en los frenos de disco

##### 2. Fuerza de frenado en una rueda

La fuerza periférica  $F_T$  en el tambor del freno actúa con el radio  $r_T$  (en los frenos de disco con el brazo de palanca  $r_m$ ) y genera así el frenado (par de frenado, ver secc. 13.1 y 19.4). Ese par es el que origina la fuerza de frenado  $F_{FR}$  en cada rueda con un brazo igual al radio dinámico  $R_{din}$ .

Puesto que esa fuerza  $F_{FR}$  es la que se obtiene en cada una de las ruedas, la fuerza total de frenado es igual a cuatro veces ese valor.



Fuerza de frenado en una rueda

## Notaciones

$F_T$  = Fuerza periférica (o tangencial) [daN]  
 $F_R$  = Fuerza de aprieto [daN]  
 $\mu_D$  = Coeficiente de rozamiento dinámico [-]  
 $r_m$  = Brazo de palanca medio de los frenos de disco [m]

$r_T$  = Radio del tambor del freno [m]  
 $R_{din}$  = Radio dinámico de la rueda [m]  
 $F_F$  = Fuerza de frenado [daN]  
 $F_{FR}$  = Fuerza de frenado por rueda [daN]

## Fórmula con ejemplo

### 1. Frenos de disco

Según 23.1

Rozamiento en mov =

Coeficiente de rozamiento dinámico  $\times$  Fuerza normal

Como los frenos de disco constan de dos pares de rozamiento, la fórmula anterior se modifica y expresa así:

Fuerza periférica =

$2 \times$  Coeficiente de rozamiento dinámico  $\times$  Fuerza de aprieto

$$F_T = 2 \cdot \mu_D \cdot F_R \text{ [N]}$$

Calcular la fuerza periférica  $F_T$  para unos frenos de disco.

Valores para el cálculo:

$$\mu_D = 0,3; \quad F_R = 300 \text{ daN}$$

$$F_T = 2 \cdot \mu_D \cdot F_R \text{ [daN]} \\ = 2 \cdot 0,3 \cdot 300 = \underline{180 \text{ daN}}$$

### 2. Fuerza de frenado en una rueda

En una rueda en proceso de frenado aparecen los siguientes pares o momentos (ver la figura anterior de fuerza de frenado en una rueda.

Fuerza periférica en el tambor  $\times$  Radio del tambor = Fuerza de frenado por rueda  $\times$  Radio dinámico de la rueda.

$$F_T \cdot r_T = F_{FR} \cdot R_{din}$$

$$F_{FR} = \frac{F_T \cdot r_T}{R_{din}} \text{ [daN]}$$

Para los frenos de disco:

$$F_{FR} = \frac{F_T \cdot r_m}{R_{din}} \text{ [daN]}$$

Con los valores del ejemplo de la sección 32.3 (página 208) calcular las fuerzas de frenado por rueda y para el vehículo en general.

Datos:

$$r_T = 0,125 \text{ m} \quad R_{din} = 0,3 \text{ m} \\ F_{TD} = 762,5 \text{ daN} \quad F_{TA} = 242,5 \text{ daN}$$

Freno de rueda delantera:

$$F_{FR} = \frac{F_{TD} \cdot r_T}{R_{din}} = \frac{762,5 \cdot 0,125}{0,3} \approx \underline{317,7 \text{ daN}}$$

Freno de rueda trasera:

$$F_{FR} = \frac{F_{TA} \cdot r_T}{R_{din}} = \frac{242,5 \cdot 0,125}{0,3} \approx \underline{101 \text{ daN}}$$

Para los dos frenos de las ruedas delanteras y las dos traseras:

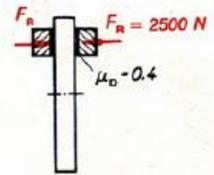
$$F_F = 2 \cdot 317,7 + 2 \cdot 101 = \underline{837,4 \text{ daN}}$$

## Nota

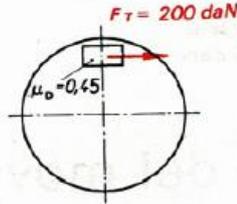
En los frenos de disco no aparece como en los de tambor una autoampliación de la fuerza y por ello, para un turismo medio, hace falta un servofreno, con lo cual es poca la fuerza que hay que hacer con el pie en el pedal.

**Ejercicios**

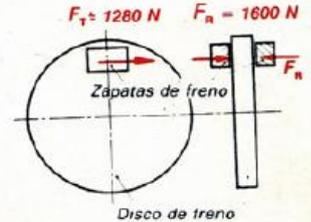
**32.35** ¿Cuál es la fuerza periférica  $F_T$  en el freno de disco del dibujo? ( $\mu_D = 0,4$ )



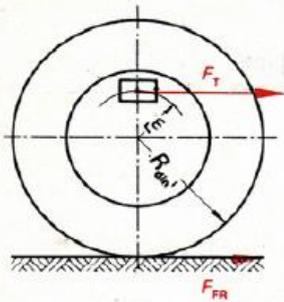
**32.36** En la periferia de un freno de disco se genera una fuerza tangencial de 200 daN. Calcular la fuerza de aprieto que hace falta para ello. ( $\mu_D = 0,45$ )



**32.37** Calcular el coeficiente de rozamiento  $\mu_D$  entre el disco y las zapatas de un freno. Tomar los valores que figuran en el dibujo de al lado.



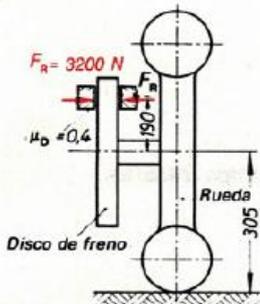
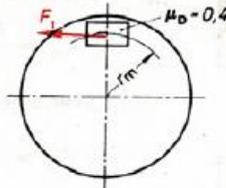
**32.38** La fuerza periférica en el tambor del freno  $F_T = 520$  daN actúa con un brazo igual al radio del tambor  $r_T = 0,14$  m. Calcular la fuerza de frenado que actúa en una rueda delantera de radio dinámico  $R_{din} = 0,31$  m.



**32.39** Las ruedas delanteras de un turismo se frenan con frenos de disco en los cuales la fuerza periférica en cada uno es de 300 daN y está aplicada a 180 mm del centro de giro. Calcular la fuerza de frenado en una rueda. (El radio dinámico de la rueda es de 0,32 m.)

**32.40** En un freno de disco actúa una fuerza de aprieto de 260 daN a 160 mm del eje de rotación. Calcular:

- a) La fuerza periférica
- b) La fuerza de frenado por rueda con radio dinámico  $R_{din} = 0,296$  m.



**32.41** Calcular a) la fuerza periférica en el disco del freno y b) la fuerza de frenado en la rueda que aparece en el dibujo. (Tomar los valores del dibujo para el cálculo.)

**32.42** Un turismo lleva frenos de disco en las ruedas delanteras con un coeficiente de rozamiento  $\mu_D = 0,4$  y, en las ruedas traseras frenos símplex con un coeficiente de rozamiento  $\mu_D = 0,3$ . Calcular:

- a) La fuerza periférica en uno de los frenos de disco. (Fuerza de aprieto  $F_{RD} = 3\,000$  N.)
- b) La fuerza periférica en uno de los tambores de freno. (Fuerza de aprieto  $F_{RA} = 900$  N.)

**32.43** Calcular las fuerzas de frenado para cada una de las ruedas delanteras y traseras y la fuerza total.

Características de los frenos de las ruedas delanteras.

Frenos dúplex

$$r_T = 170 \text{ mm} \quad R_{din} = 300 \text{ mm}$$

$$\mu_D = 0,3 \quad F_{RD} = 2500 \text{ N}$$

Características de los frenos de las ruedas traseras:

Frenos símplex

$$r_T = 170 \text{ mm} \quad R_{din} = 300 \text{ mm}$$

$$\mu_D = 0,3 \quad F_{RA} = 200 \text{ daN}$$