



Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona

Estudi d'un fre de contrapedal

Gemma Serra Parra

Revisat per:
Salvador Cardona
Lluïsa Jordi

2006



Departament d'Enginyeria Mecànica

ÍNDEX

1	Introducció	2
2	Elements	3
3	Funcionament	6
3.1	Pedalada	6
3.2	Frenada	7
4	Relació entre els paràmetres	8

1 INTRODUCCIÓ

A la figura 1 es mostra la caixa de roda de bicicleta que incorpora el fre de contrapedal estudiat. Aquesta se situa a l'eix de la roda del darrera de la bicicleta i és accionada pel pinyó que engrana amb la cadena. Permet transmetre el moviment del pinyó a la roda, com una roda lliure, i també frenar-la.

Com es pot observar, la carcassa té unes ales amb forats on s'inserten els radis de la roda. Aquesta carcassa a més de ser la sortida del mecanisme serveix per a protegir-lo de les inclemències del temps i del terreny.



Figura 1. Fre de contrapedal

Quan es pedaleja en el sentit habitual d'impulsió, la caixa transmet el moviment a la roda. Si no es pedaleja o es fa amb una velocitat inferior a la que correspondria a l'avanç de la bicicleta la caixa actua com a roda lliure, és a dir, desconnecta el moviment del pinyó (i per tant del pedal) i de la roda. Finalment, quan els pedals (i per tant el pinyó) giren en sentit contrari actua el fre.

L'angle de gir en sentit contrari per iniciar la frenada ha de ser petit per evitar brusquedats i facilitar la seva utilització.

2 ELEMENTS

En aquest apartat es presenten per separat els principals components del fre de contrapedal per a una millor comprensió del seu funcionament. També s'hi adjunta una fotografia de cada un per poder ser identificat amb més facilitat.

- **Cargol solidari al pinyó.** A la figura 2 es mostra la peça del fre a la qual és solidària el pinyó de la bicicleta.



Figura 2. Cargol solidari al pinyó

- **Femella:** A la **figura 3a** es pot veure la femella respecta a la qual es cargola el cargol solidari al pinyó. Disposa de dues zones còniques exteriors per poder realitzar correctament la seva funció.

Aquesta peça es mou axialment quan es cargola més o menys al cargol. A la figura 3b es mostra un detall de la femella on es veu la rosca interna.



Figura 3a. Femella



Figura 3b. Detall de la femella

- **Sabates de fre.** Aquests elements s'utilitzen per frenar. En el fre de contrapedal de l'estudi se'n troben dues. En la sabata de l'esquerra de la figura 4 es mostra la paret amb la que frega amb la carcassa, i en la de la dreta, la forma que té per tal de ser muntada i no giri respecte a l'eix.



Figura 4. Sabates de fre

- **Molla.** Per poder cargolar i descargolar la femella del cargol cal aguantar-la fent un moment axial, produït en aquest muntatge, per una molla, figura 5, que es troba dins de la femella. Aquest moment ha de ser petit per permetre després que la femella pugui girar lliurement al voltant de l'eix. La necessitat d'aquest moment axial es pot entendre experimentalment si s'agafa un cargol i una femella qualsevol. Aguantant la femella amb una força en la direcció de l'eix del cargol i en sentit cap al cap, aquest es podrà enroscar, però no desenroscar. Si en canvi aguantem lleugerament la femella en direcció radial, girant el cargol en un sentit i en l'altre, aquesta es cargola i descargola.



Figura 5a. Molla



Figura 5b. Situació de la molla

- **Rodaments.** La funció dels rodaments és la de facilitar el gir relatiu entre diferents elements, en particular, el gir de la carcassa (solidària a la roda) respecte de l'eix fix. Les figures 6a i 6b mostren la forma d'un dels rodaments que es troba al fre de contrapedal.



Figura 6a. Rodament



Figura 6b. Rodament

- **Carcassa.** Es mostra a la figura 7 la carcassa de la caixa. Quan la carcassa gira està girant també la roda, i quan la carcassa es frena, s'està frenant la roda.



Figura 7. Carcassa

3 FUNCIONAMENT

Quan es pedaleja endavant la caixa funciona com un mecanisme d'escapament. Transmet la velocitat angular del pinyó a la roda si aquesta tendeix a girar més lenta, i allibera la roda quan aquesta gira més ràpid.

Però si s'intenta pedalejar endarrera, el que fa és frenar la roda.

En les figures 8 i 9 es mostren els components del fre de contrapedal necessaris per tal d'explicar el seu mecanisme. D'esquerra a dreta s'identifiquen el cargol solidari al pinyó, la femella, la molla i un quart element auxiliar encarregat de subjectar les sabates de fre a l'eix. El cargol i la femella giren al voltant de l'eix fix, però la molla i l'element auxiliar són solidaris a aquest. L'orientació del fre és la que es veuria si estigués muntat a la bicicleta amb el pinyó a la dreta, de manera que els sentits de gir del pinyó són:

← quan es pedaleja endavant
→ quan s'intenta pedaleja endarrera.

3.1 PEDALADA

Quan el/la ciclista pedaleja endavant el cargol gira en la direcció ja indicada fent que la femella s'enrosqui a aquest i es mogui cap a la dreta. En aquest procés, quan la femella està enroscada el màxim possible, entre el cargol i aquesta queda fixada la carcassa. D'aquesta manera el cargol, la femella i la carcassa passen a girar com a una sola peça.



Figura 8. Femella totalment enroscada al cargol

Si la roda gira més ràpid que el pinyó, la carcassa frega amb la femella fent-la desenroscar i així no queda enganxada entre aquesta i el cargol i pot girar lliure.

3.2 FRENADA

Quan es pedaleja endarrera la femella es desenroca i es mou cap a l'esquerra. La seva forma cònica fa que les sabates de fre s'obrin pressionant contra la carcassa i així fent-la frenar.



Figura 9. Femella parcialment roscada al cargol

El recorregut de la femella és relativament curt. Quan es pedaleja endavant directament transmet moviment a la roda (si aquesta no va més ràpid) i quan es gira en direcció contrària per frenar, els pedals només han de girar uns pocs graus per fer-ho.



Figura 10. Boixa amb fre de contrapedal seccionat

A la figura 10 es mostra el fre de contrapedal seccionat amb tots els elements que el constitueixen.

4 RELACIÓ ENTRE ELS PARÀMETRES

En aquest apartat es troba la relació entre els paràmetres que apareixen en el disseny del mecanisme. Aquests paràmetres són el pas p de la rosca del pinyó, el coeficient de freg entre el pinyó i la femella a la rosca μ_{pf} , el coeficient de freg entre la femella i la carcassa μ_{fc} i l'angle d'obertura α de la superfície cònica de la femella en contacte amb la carcassa.

La següent figura mostra el contacte entre un filet de la rosca del pinyó i un filet de la femella.

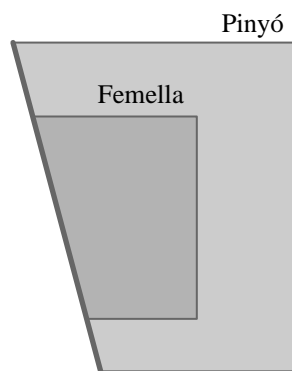


Figura 11. Contacte entre la rosca del pinyó i la femella

En el diagrama conceptual de cos lliure del pinyó de la figura 12, M és el moment que es fa al pinyó, F_e la força d'enllaç amb els elements fixos del mecanisme i β l'angle de la rosca, directament relacionat amb el pas p mitjançant

$$\beta = \arctan \frac{p}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

on r és el radi nominal de la rosca. Les forces normal N i tangencial T al filet són fetes per la femella. En condicions de lliscament imminent aquesta T pren el valor $T = \mu_{pf} N$.

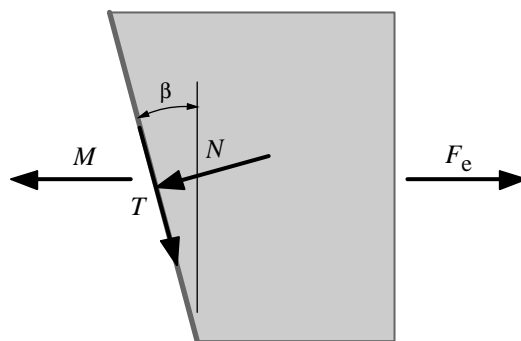


Figura 12. Forces que actuen sobre el pinyó

Imposant que la suma de forces i la suma de moments axials és igual a zero s'obté el valor de la força normal al filet i la força d'enllaç en funció del moment M realitzat.

$$N = \frac{M}{r} \cdot \frac{1}{(\mu_{pf} \cdot \cos \beta + \sin \beta)}$$

$$F_e = \frac{M}{r} \cdot \frac{(-\mu_{pf} \cdot \sin \beta + \cos \beta)}{(\mu_{pf} \cdot \cos \beta + \sin \beta)}$$

A la figura 13, es mostra el diagrama conceptual de cos lliure de la femella. M_c i F_c són el moment i la força que fa la carcassa sobre la femella. La força i el moment que fa la molla sobre la femella són negligibles i no s'han tingut en compte.

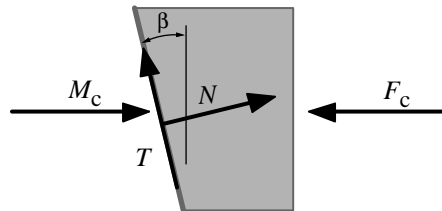


Figura 13. Forces que actuen sobre la femella

Evidentment, la força axial que el pinyó fa sobre la femella F_c i que la carcassa fa sobre la femella F_c són iguals i oposades. El mateix es pot dir respecte dels moments axials M i M_c .

A la figura 14 s'han dibuixat les forces de contacte en un punt de contacte entre la femella i la carcassa. A causa de la geometria de revolució de la femella, la component radial de la força resultant és nul·la i només en queda la component axial i el moment axial. D'aquesta manera, la reacció que fa la roda a la femella és equivalent a la força axial F_c i el moment M_c .

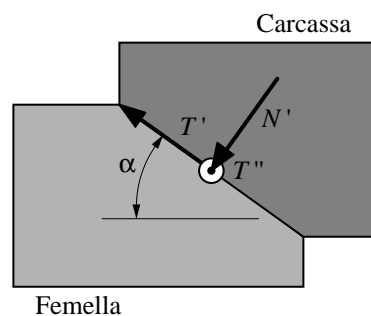


Figura 14. Forces en el contacte femella carcassa

En un punt de contacte entre la carcassa i la femella hi ha les forces indicades a la figura 14. La velocitat relativa dels punts de contacte té direcció perpendicular al pla axial. Per aquesta raó, la força T' es considera nul·la.

En ser $T' = 0$, la resultant de les N' en direcció axial és F_c i el moment axial M_c de les forces de contacte és $T'' \cdot s$, on s és la distància efectiva entre el centre de la femella i el punt d'aplicació de les forces tangencials T'' .

Tenint en compte que $T'' = M / s$ i que $T''_{\max} = \mu_{fc} N'$ s'obté que:

$$\mu_{fc} = \frac{F_c}{\sin \alpha} = \frac{M}{s} \rightarrow \sin \alpha = \mu_{fc} \frac{s \cos \beta - \mu_{pf} \sin \beta}{r \sin \beta + \mu_{pf} \cos \beta}$$

Aquesta última expressió és vàlida en condicions de lliscament imminent entre la femella i la carcassa i relaciona els quatre paràmetres que apareixen en el disseny del mecanisme.

Experimentalment, s'ha obtingut el valor del pas de la rosca, $p = 16$ mm, el radi nominal de la rosca $r = 8,5$ mm, la distància $s = 12,5$ mm i l'angle d'obertura de la superfície cònica de la femella $\alpha = 12^\circ$. El coeficient de freg entre el pinyó i la femella (amb lubricació) es pot prendre, segons bibliografia, $\mu_{pf} = 0,14$. Amb aquests valors s'obté un coeficient de freg entre la femella i la carcassa de $\mu_{fc} = 0,06$. Amb els coeficients de freg usals entre els materials es garanteix el no lliscament entre la carcassa i la femella.