



Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona

ESTUDI D'UN CANVI DE MARXES EPICICLOIDAL

(SHIMANO Nexus SG-8R25)

Gemma Serra Parra

Revisat per:
Salvador Cardona
Daniel Clos

2006



Departament d'Enginyeria Mecànica

ÍNDIX

| | | |
|--------------|--|----|
| 1 | Introducció..... | 2 |
| 2 | Esquema global..... | 3 |
| 3 | Funcionament..... | 4 |
| 3.1 | Grup de quatre marxés..... | 4 |
| 3.2 | Desdoblament de les marxés..... | 10 |
| 3.3 | Mecanismes d'escapament..... | 11 |
| 3.3.1 | Mecanisme d'escapament de cadells..... | 11 |
| 3.3.2 | Mecanisme d'escapament de corró..... | 13 |
| 3.4 | Embragatge per forma..... | 15 |
| 3.5 | Mecanisme fixació dels planetes..... | 15 |
| 3.6 | Resum de les marxés..... | 22 |

1 INTRODUCCIÓ

Les bicicletes disposen d'un canvi de marxes per poder variar la relació de transmissió entre la rotació dels pedals i la de la roda, per així ajustar l'esforç del ciclista a les necessitats per circular.

Aquest canvi de marxes pot ser amb plats i pinyons externs units per una cadena de manera que per a obtenir les diverses marxes aquesta canvia de posició. Per evitar els canvis de pinyó i protegir el mecanisme, existeixen els canvis de marxa interns.

El canvi de marxes intern queda totalment tancat per una carcassa, de la qual només en surt l'eix i el pinyó on engrana la cadena. Aquest fet el protegeix tant de les inclemències del temps com de la brutícia. A la figura 1 es pot observar un d'aquest canvis de 8 marxes de la casa Shimano.



Figura 1. Canvi de marxes intern.

Una altra diferència respecte els canvis de marxes externs és que les marxes es poden canviar en parat, però no quan s'està transmetent parell. Aquest fet els fa molt útils en bicicletes urbanes, degut a les seves contínues parades i arrencades, però menys útils per a bicicletes de carretera. Existeixen canvis de marxes interns des de 3 fins a 14 marxes, tot i que els de més de 8 marxes no són gaire habituals.

2 ESQUEMA GLOBAL

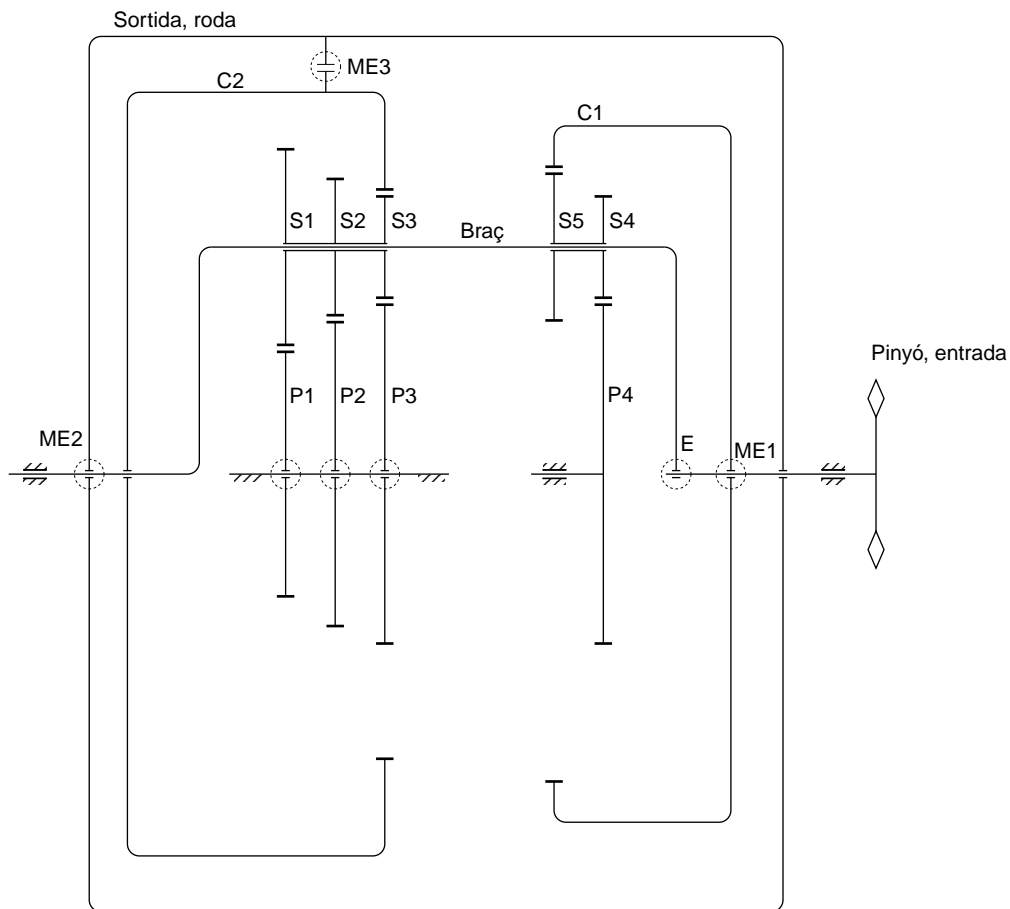


Figura 2. Esquema global del canvi de marxes intern de 8 marxes.

Pi Planeta
 Ci Corona
 Si Satèl·lit
 B Braç porta satèl·lits
 E Embragatge
 MEi Mecanisme d'escapament

Nombre de dents:

| Engranatge | P1 | P2 | P3 | P4 | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | C1 | C2 |
|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Número de dents | 36 | 42 | 48 | 48 | 29 | 18 | 14 | 14 | 22 | 84 | 78 |

A la figura 2 s'observa l'esquema global del canvi de marxes intern estudiat. L'eix principal entorn del qual gira tot, està físicament fixat a la forquilla de la bicicleta i per tant no gira.

L'eix anomenat entrada gira solidari al pinyó que engrana amb la cadena de la bicicleta. La sortida és solidària a la roda, de manera que, la velocitat a la que gira la sortida, és la velocitat a la que gira realment la roda. Si es mira la figura 1 de la introducció, es veu com la sortida, que és la carcassa que cobreix el canvi de marxes, és on s'acoblen els radis de la roda.

3 FUNCIONAMENT

En l'esquema global (figura 2) s'observen dos subconjunts que s'expliquen per separat per a facilitar-ne la comprensió.

El subconjunt de l'esquerra format pels tres planetes P1, P2 i P3, els tres satèl·lits S1, S2 i S3, el braç porta satèl·lits, la corona C2 i la sortida proporciona quatre relacions de transmissió diferents entre el braç i la sortida. El subconjunt de la dreta formada pel planeta P4, els satèl·lits S4 i S5, el braç porta satèl·lits, la corona C1 i l'entrada, proporciona dues relacions de transmissió diferents entre l'entrada i el braç.

Amb la interacció d'ambdós subconjunts s'aconsegueixen les 8 marxes.

3.1 GRUP DE QUATRE MARXES

En aquest apartat s'explica el subconjunt que permet aconseguir quatre diferents relacions de transmissió entre el braç i la sortida. A la figura 3 es mostra l'esquema del subconjunt en el qual l'entrada és el braç i la sortida és la roda del darrera de la bicicleta.

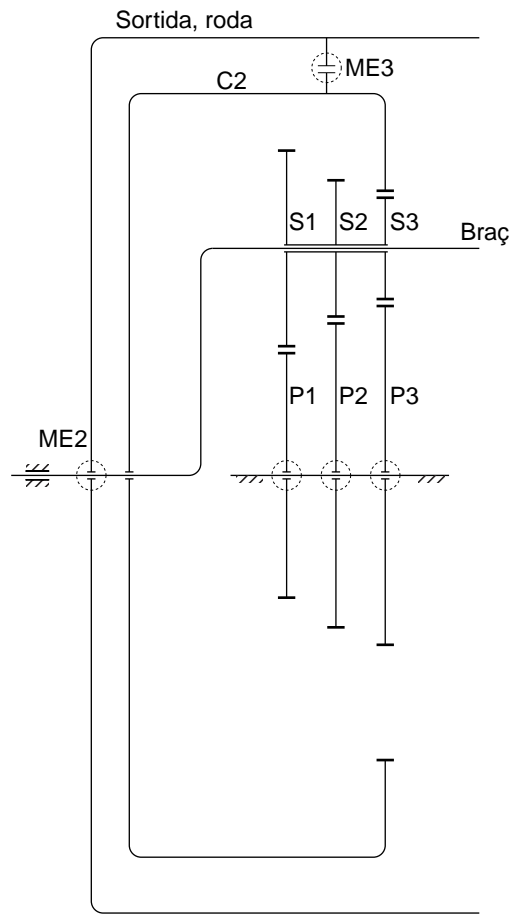


Figura 3. Esquema del grup de quatre marxes.

Les relacions de transmissió s'aconsegueixen gràcies a un mecanisme que fixa els planetes a l'eix fix a voluntat. El funcionament d'aquest mecanisme i dels altres que hi intervenen s'expliquen amb més deteniment en apartats posteriors. Tanmateix, per a poder entendre com funciona aquest subconjunt, a continuació s'exposen breument.

El mecanisme **ME2** és un mecanisme d'escapament que fixa la sortida al braç si la velocitat angular d'aquest tendeix a ser superior a la de la sortida.

El mecanisme **ME3** és un altre mecanisme d'escapament format per un rodament de corrons, que fixa la corona C2 a la sortida en cas que la velocitat angular de la corona tendeixi a ser superior a la sortida.

És a dir que, el canvi de marxes impulsa la sortida amb una velocitat angular igual a la més gran entre la de C2 i la del braç. En el cas que la roda giri a una velocitat superior a la de C2 i a la del braç, el canvi funciona en règim de pinyó lliure i no treballa.

Obtenció de les diferents relacions de transmissió:

1) La primera marxa s'obté quan no es fixa cap dels planetes a l'eix. Tot i engranar els satèl·lits amb els respectius planetes, aquests no poden transmetre parell a la corona C2 doncs els planetes giren bojos. El braç impulsa la sortida a través del mecanisme d'escapament ME2 sempre i quan la roda no giri més ràpid.

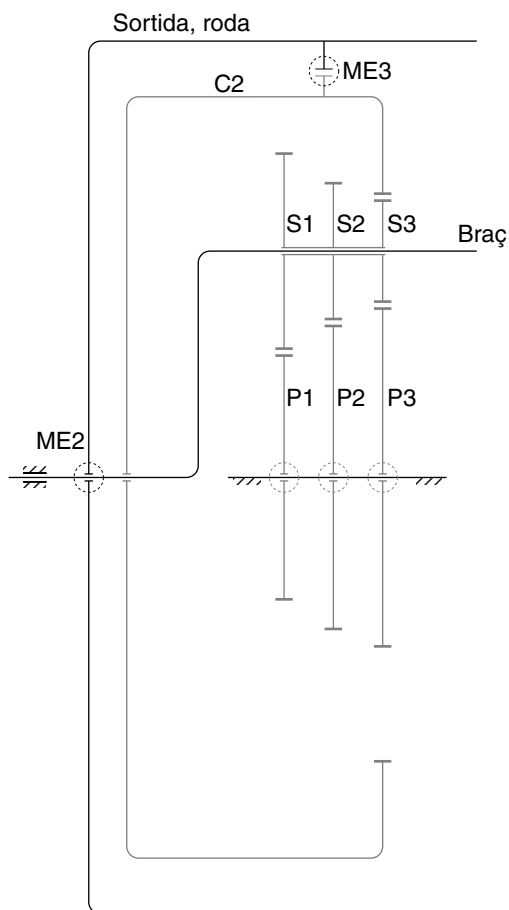


Figura 4. Elements que participen en la primera relació de transmissió.

Així doncs, entrant per la velocitat del braç, aquesta es transmet fins a la sortida amb una relació de transmissió igual a 1, com si només es tinguessin els elements marcats a la figura 4.

$$\omega_{C2} = \omega_B$$

2) Si es fixa el planeta P3 a l'eix principal deixant P1 i P2 lliures com es mostra a la figura 5, s'obté una relació de transmissió tal que:

$$\omega_{C2} = 1,62 \omega_B$$

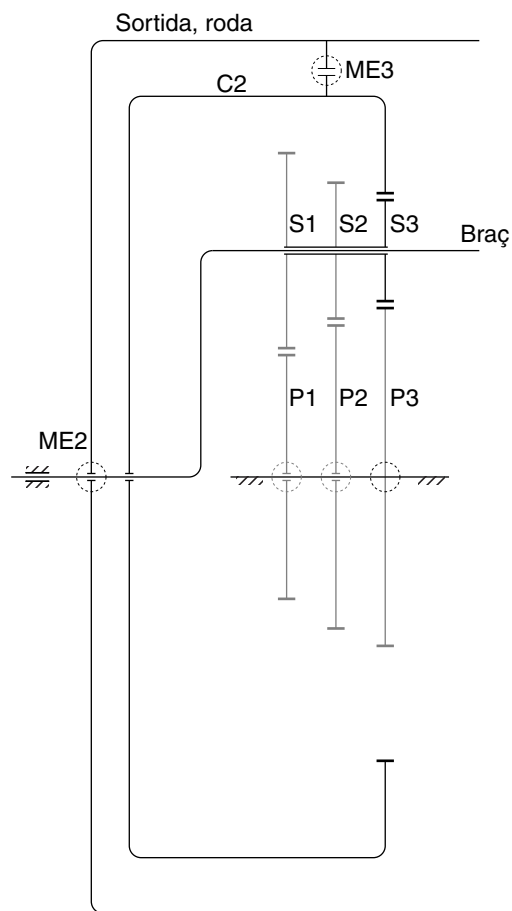


Figura 5. Elements que participen en la segona relació de transmissió.

3) Si es fixa el planeta P2 deixant P1 i P3 lliures tal i com es mostra a la figura 6, s'obté una relació de transmissió tal que:

$$w_{C2} = 1,42 w_B$$

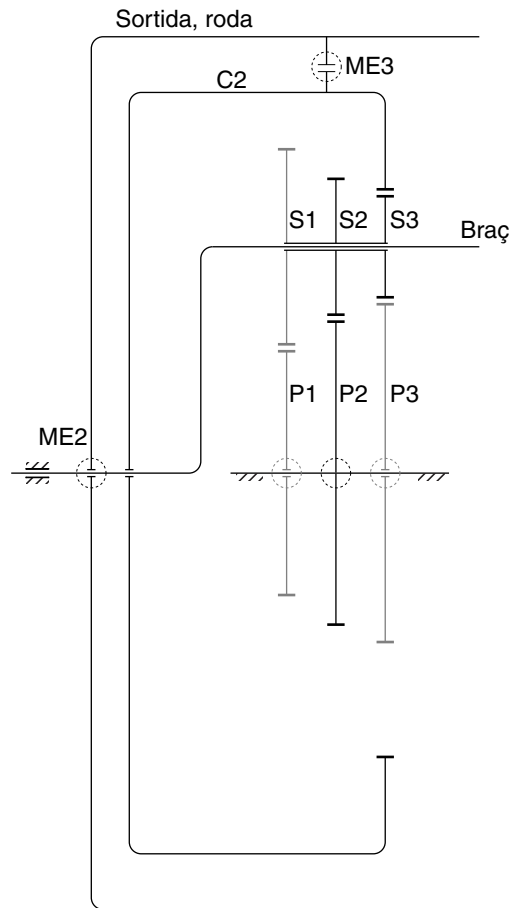


Figura 6. Elements que participen en la tercera relació de transmissió.

4) I finalment, si es fixa el planeta P1, els elements que hi intervenen són els de la figura 7, i la relació de transmissió que s'obté és:

$$w_{C2} = 1,22 w_B$$

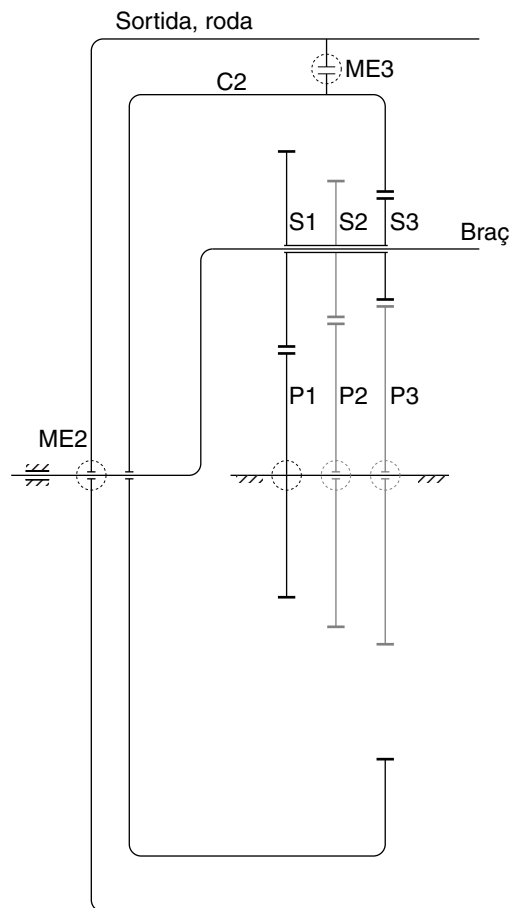


Figura 7. Elements que participen en la quarta relació de transmissió.

En els tres casos en els que es fixa un planeta s'observa que la velocitat angular de la corona C2 és superior a la del braç i per tant, la velocitat angular de la sortida serà com a mínim la de la corona C2.

3.2 DESDOBLAMENT DE LES MARXES

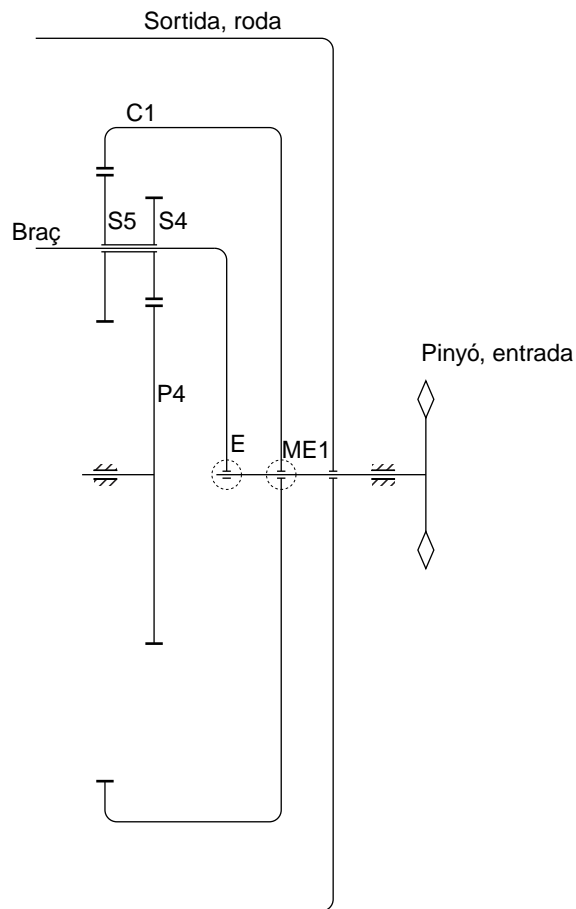


Figura 8. Esquema del subconjunt que desdobra les marxes.

En aquest apartat s'explica el subconjunt de la dreta, que com ja s'ha dit, permet doblar el número de marxes obtingut en el subconjunt anterior.

L'entrada coincideix amb l'entrada del conjunt i és el pinyó on engrana la cadena de la bicicleta (veure figura 1 de la introducció). La sortida és el braç, element que s'ha tractat com a entrada en l'altre subconjunt.

El mecanisme **E** és un embragatge per forma que quan s'acciona connecta la entrada amb el braç fent que aquests girin solidaris. Quan no està accionat, el braç gira lliure al voltant de l'eix principal.

El mecanisme **ME1** és un mecanisme d'escapament que impulsa la corona **C1** si aquesta no gira més ràpid que el pinyó de la cadena.

Quan l'embragatge no està accionat, la corona C1 gira amb la mateixa velocitat angular que l'entrada i el braç gira amb una velocitat igual a:

$$W_B = 0,53 W_{C1} = 0,53 W_E$$

Quan s'acciona l'embragatge es connecta l'entrada directament amb el braç, així que:

$$W_B = W_E$$

I com que la velocitat angular de la corona C1 passa a ser més gran que la de l'entrada $W_{C1} = 1,90 W_B = 1,90 W_E$, el mecanisme ME1 no la connecta amb aquesta.

3.3 MECANISMES D'ESCAPAMENT

En el canvi de marxes intervenen dos tipus diferents de mecanismes d'escapament. Un d'ells (mecanisme d'escapament de cadells) es troba diverses vegades, a l'entrada amb la corona C1 (ME1), a la sortida pel braç (ME2) i per a fixar els planetes, i l'altre per la sortida mitjançant la corona C2 (ME3).

3.3.1 MECANISME D'ESCAPAMENT DE CADELLS

Aquest mecanisme d'escapament consisteix en una roda que duu acoblats un o més cadells. Un cadell és una barra curta, que pot girar per un dels seus extrems i que per l'altre pot encaixar en un forat per tal d'impedir el moviment relatiu entre dues peces.



Figura 9. Detall del cadell d'un mecanisme d'escapament.

A la figura 9 es mostra un dels mecanismes d'escapament de cadells que es troba en el canvi de marxes intern. La part giratòria dels cadells es troba en una roda interna i l'altre part pot encaixar interiorment amb una roda externa a aquesta primera.

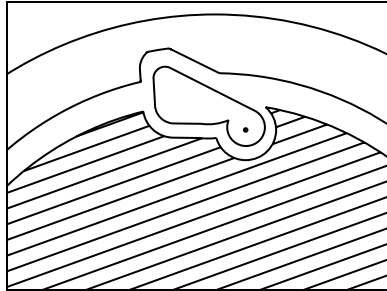


Figura 10. Esquema d'un mecanisme d'escapament de cadells.

Segons l'esquema de la figura 10, quan la roda interna gira en sentit antihorari respecte de la roda externa, els cadells engranen amb la part interior de la roda externa i la fan girar amb la mateixa velocitat angular. Si la roda interna gira en sentit horari respecte de la roda externa, els cadells no engranen amb l'interior de la roda externa, doncs, la seva forma fa que s'amaguin sense sobresortir.

Les figures 11 i 12 mostren un cadell engranant i un cadell amagat respectivament.

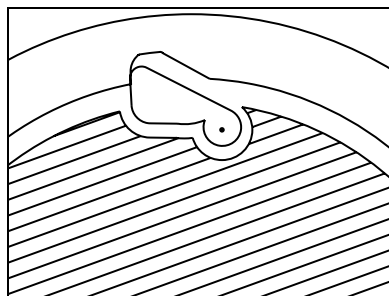


Figura 11. Cadell engranant.

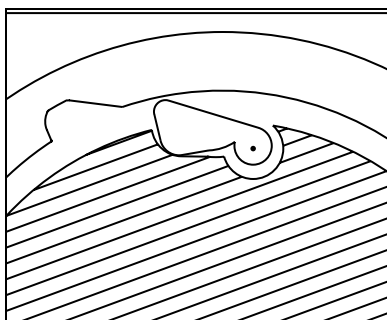


Figura 12. Cadell amagat.

3.3.2 MECANISME D'ESCAPAMENT DE CORRÓ

El segon tipus de mecanisme d'escapament s'aconsegueix mitjançant el falcament dels corrons d'un rodament com el que es mostra a la figura 13.



Figura 13. Mecanisme d'escapament de corró.

La pista exterior dels rodaments és cilíndrica i llisa, i la pista interior presenta sortints que produeixen el falcament dels corrons.

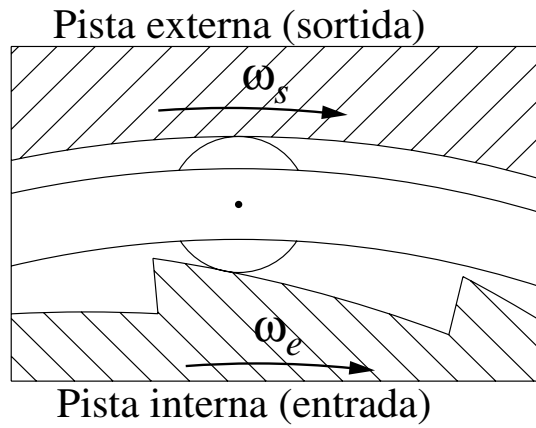


Figura 14. Corró falcats entre les dues pistes.

Si ω_e tendeix a superar ω_s els corròs dels rodaments queden falcats entre les dues pistes i per tant aquestes passen a girar amb la mateixa velocitat angular, $\omega_e = \omega_s$.

Si ω_e és inferior a ω_s els corròs del rodament poden girar, no queden falcats, i per tant les velocitats d'entrada i sortida són diferents.

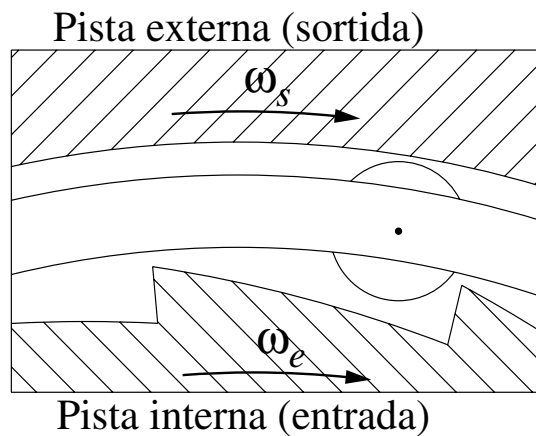


Figura 15. Corró no falcats entre les pistes interior i exterior.

3.4 EMBRAGATGE PER FORMA

Per tal de desdoblar les marxes s'utilitza l'embragatge per forma (ME1). A la figura 16 es mostra aquest embragatge que consisteix en una roda dentada exterior que gira solidària a l'eix d'entrada i una roda dentada interior amb ranures interiors que és solidària al braç. En les quatre primeres marxes aquesta roda no està engranant, així que l'entrada es connecta únicament amb la corona C1.

Quan s'acciona l'embragatge, aquesta roda dentada es trasllada axialment fins a engranar amb el braç, que té unes ranures. La corona C1 passa a girar amb una velocitat $W_{C1} = 1,90 W_E$.

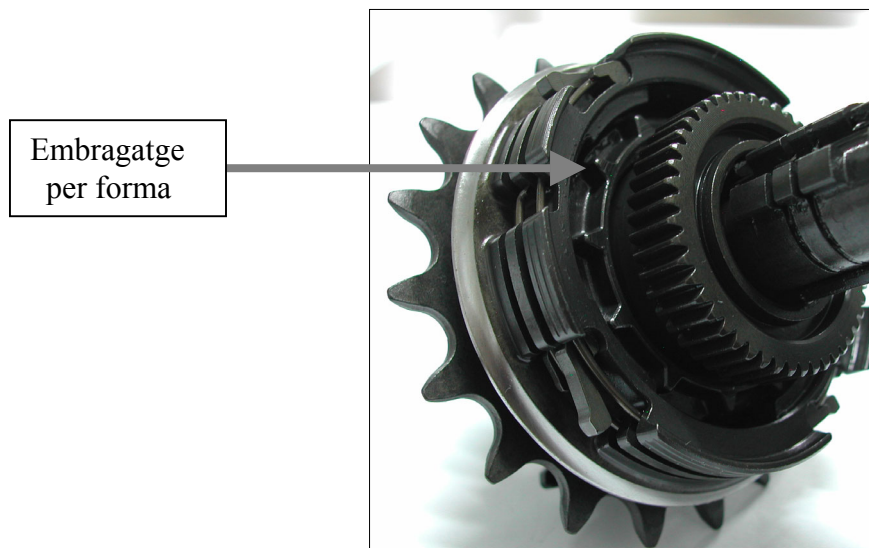


Figura 16. Embragatge per forma.

3.5 MECANISME DE FIXACIÓ DELS PLANETES

Els planetes P1, P2 i P3 es paren (es fixen a l'eix principal) mitjançant mecanismes d'escapament d'un sol cadell que s'accionen amb el canvi de marxes.

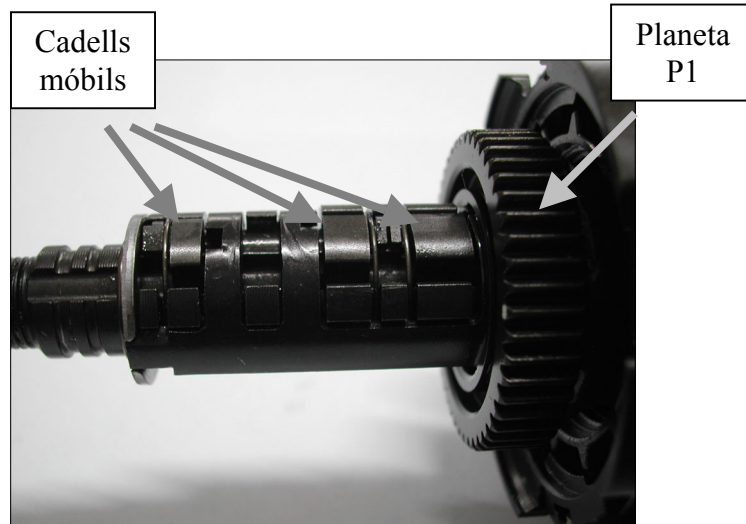


Figura 17. Cadells dels planetes.

En un primer moment, tots els cadells estan dins les cavitats de l'eix principal, tal i com es pot veure en la figura 17. Quan s'acciona un cadell, aquest passa a fer la funció d'un mecanisme d'escapament com els ja explicats, però mentre no sigui accionat, no fa cap funció.

Prenent el següent criteri de signes, amb les fletxes indicant el sentit de gir en els esquemes del mecanisme:

- ← sentit positiu de gir
- sentit negatiu de gir

quan un cadell està accionat no permet que el planeta que té associat giri en sentit positiu, però si pot fer-ho en sentit negatiu.

Al anar canviant totes les marxes s'observen dos cicles iguals en el moviment dels cadells causat pel desdoblament de les marxes. El primer cicle té lloc quan l'embragatge no està accionat (les quatre primeres marxes) i el segon quan s'acciona l'embragatge (les quatre darreres marxes).

Les etapes en un cicle són:

1) Quan no es fa girar la palanca de canvi, posició inicial, l'embragatge no està accionat i per tant no engrana amb el braç. En aquesta etapa cap dels planetes P1, P2 i P3 és fix, no hi ha cap cadell accionat.

Com ja s'ha explicat, en aquest cas els satèl·lits no transmeten parell a la corona C2 perquè giren bojos i la velocitat de la sortida és la del braç.

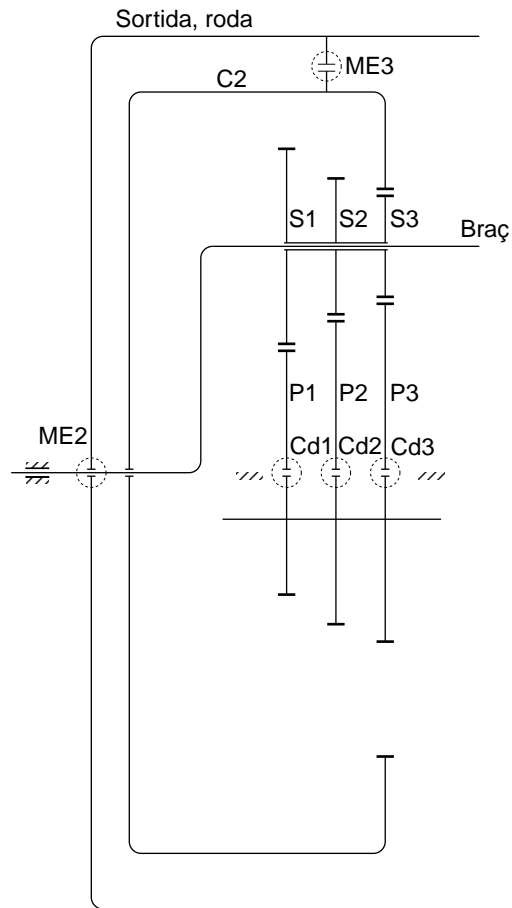


Figura 18. Posició dels cadells.

2) Quan s'acciona el primer cadell (Cd1 a la figura 18), aquest passa a fer la funció de mecanisme d'escapament, i només permet que el planeta P1 giri en sentit negatiu o que es quedi parat.

La velocitat angular del braç és sempre positiva i fa que el planeta P1 tendeixi a girar també en sentit positiu, però el mecanisme d'escapament 1 el fa parar.

Per altre banda, calculant la relació de transmissió entre el braç i la corona C2 s'obté que $W_{C2} = 1,22 W_B$. Com que la velocitat angular de la corona C2 és més gran que la del braç la velocitat de la sortida serà W_{C2} .

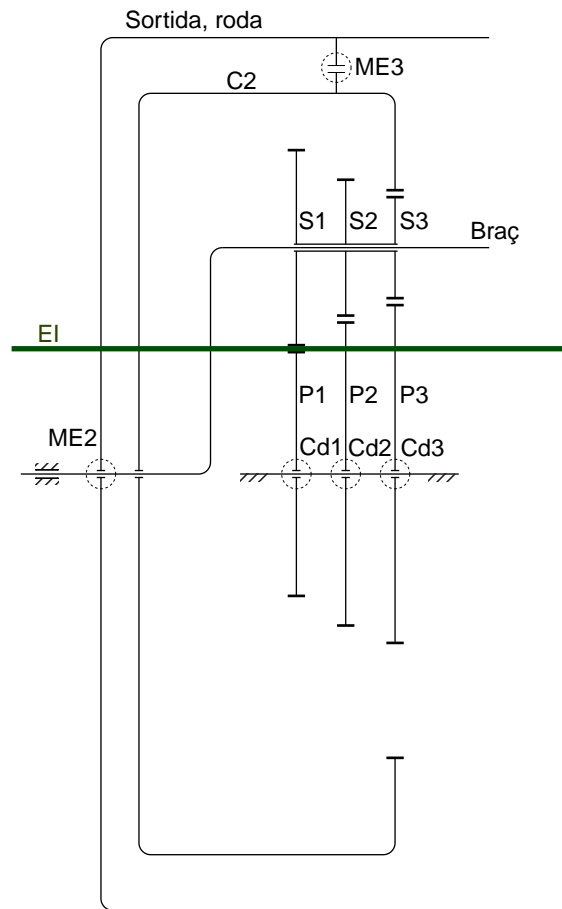


Figura 19. Eix instantani del conjunt de satèl·lits amb Cd1 actuant.

En aquest cas l'eix instantani de rotació dels satèl·lits es troba sobre el punt d'engranament entre el satèl·lit S1 i el planeta P1.

3) Abans que el cadell 1 comenci a baixar, el 2 ja està pujant, de manera que quan el 2 està a dalt de tot el cadell 1 ja està a baix.

Perquè es fixi el planeta 2, s'ha d'accionar el cadell 2, però és indiferent si el cadell 1 està accionat o no.

Si els cadells 1 i 2 estan accionats simultàniament les velocitats angulars dels planetes P1 i P2 no poden ser positives com es demostra a continuació.

La velocitat del braç es pren com a dada coneguda. Aquesta, serà sempre positiva per raons de disseny:

$$W_B > 0$$

En qualsevol etapa es compleix que:

$$W_C = -0,22 W_{P1} + 1,22 W_B$$

$$W_C = -0,42 W_{P2} + 1,42 W_B$$

$$W_C = -0,62 W_{P3} + 1,62 W_B$$

En l'etapa actual W_{P3} pot ser qualsevol ja que el planeta P3 gira boig. Si igualem les dues primeres equacions obtenim que:

$$W_{P2} = 0,52 W_{P1} + 0,48 W_B$$

Si $W_{P1} = 0$ llavors tenim que $W_{P2} = 0,48 W_B$ i això no pot ser perquè el mecanisme d'escapament 2 només permet que $W_{P2} \leq 0$.

Si $W_{P2} = 0$ llavors $W_{P1} = -0,92 W_B \leq 0$ i sí és possible.

D'aquesta manera, quan es tenen els dos cadells 1 i 2 accionats, i per tant, es té dos mecanismes d'escapament simultàniament, el planeta P2 queda fixat mentre que el planeta P1 gira lliurement en sentit negatiu.

El fet que coexisteixin dos mecanismes d'escapament a la vegada en lloc d'accionar primer un, no accionar cap en un instant de transició, i passar a accionar el segon, és degut a que així entre el canvi d'una marxa a una altre no es torna mai a la marxa inicial en la que no hi ha cap mecanisme d'escapament. Això fa que el canvi de marxes sigui més suau i continu. De l'altre manera, cada cop que es canviés de marxa es provocarien canvis bruscos de marxa i xocs amb els engranatges.

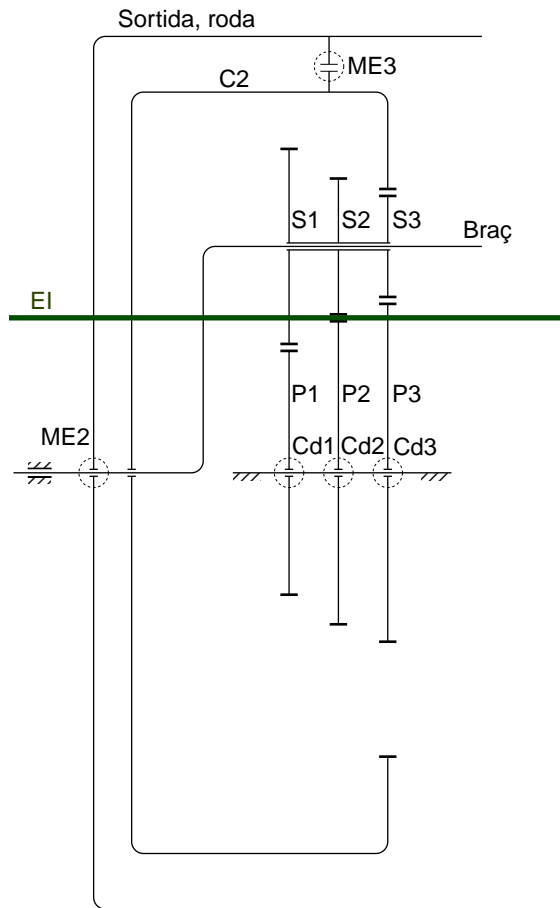


Figura 20. Eix instantani del conjunt de satèl·lits quan Cd2 esta accionat.

L'eix instantani de rotació dels satèl·lits es trasllada com s'observa a la figura 20, passant pel punt d'engranament entre el satèl·lit S2 i el planeta P2.

4) Quan el cadell 1 ha baixat del tot i el cadell 2 esta pujant, el tercer comença a pujar. Els cadells 2 i 3 resten a dalt i finalment baixen els dos a la vegada per a donar lloc al segon cicle.

Es pot demostrar que quan actuen dos mecanismes d'escapament en els planetes P2 i P3, el planeta que queda fix és el P3.

La velocitat angular del braç serà sempre positiva:

$$W_B > 0$$

i igualant les dues últimes equacions presentades en l'etapa anterior:

$$W_C = - 0,42 W_{P2} + 1,42 W_B$$

$$W_C = - 0,62 W_{P3} + 1,62 W_B$$

s'obté que

$$W_{P3} = 0,68 W_{P2} + 0,32 W_B$$

Si $W_{P2} = 0$ llavors es té que $W_{P3} = 0,32 W_B$ i això no pot ser perquè el mecanisme d'escapament 2 només permet que $W_{P3} \leq 0$.

Si $W_{P3} = 0$ llavors $W_{P2} = -0,47 W_B < 0$ i sí és possible.

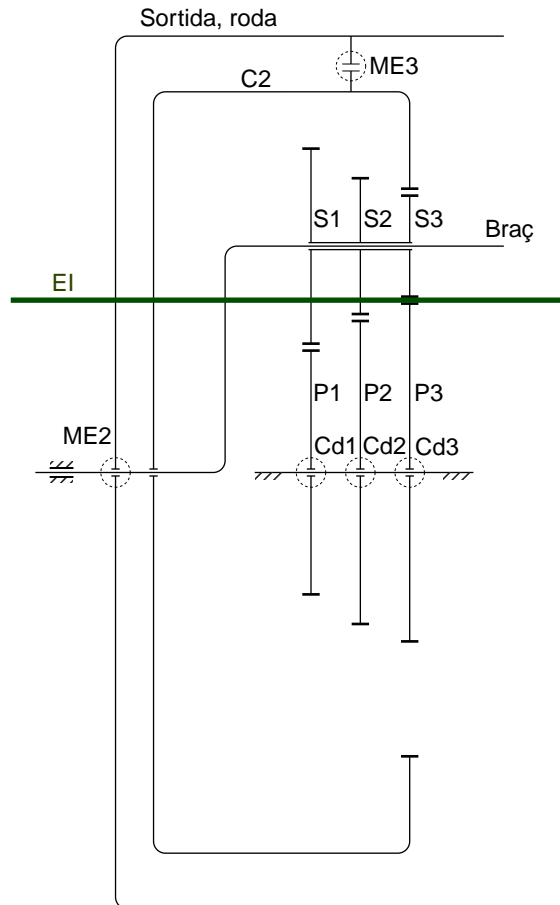


Figura 21. Eix instantani del conjunt de satèl·lits quan actua Cd3.

L'eix instantani de rotació dels satèl·lits es trasllada a l'alçada del punt d'engranament entre el satèl·lit S3 i el planeta P3.

3.6 RESUM DE LES MARXES

Mecanismes que actuen a cada marxa:

| Marxa | Relació de transmissió | Embragatge accionat | ME1 transmet | Planeta P1 fixat | Planeta P2 fixat | Planeta P3 fixat | ME2 transmet | ME3 transmet |
|-------|------------------------|---------------------|--------------|------------------|------------------|------------------|--------------|--------------|
| 1 | 0,527 | | Si | | | | Si | |
| 2 | 0,644 | | Si | Si | | | | Si |
| 3 | 0,748 | | Si | | Si | | | Si |
| 4 | 0,851 | | Si | | | Si | | Si |
| 5 | 1 | Si | | | | | Si | |
| 6 | 1,223 | Si | | Si | | | | Si |
| 7 | 1,419 | Si | | | Si | | | Si |
| 8 | 1,615 | Si | | | | Si | | Si |