

Dispositivo de embrague con rueda libre bidireccional para usos de baja velocidad y con gran inercia

Andrés E. Romero y Marcelo T. Piovan

*Centro de Investigaciones en Mecánica Teórica y Aplicada
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Bahía Blanca
11 de Abril 461, B8000LMI Bahía Blanca, Argentina
e-mail: aromoero@frbb.utn.edu.ar, mpiovan@frbb.utn.edu.ar*

RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolla una solución de gran solidez, simpleza constructiva y económica para una aplicación particular de transmisión mecánica en la cual se requieren grandes reducciones de velocidad y gran torque. En estas condiciones resulta sumamente provechoso la utilización de reductores de velocidad del tipo corona y tornillo sin fin. Es sabido que a mayor reducción mayor es la carga sobre los dientes de la corona en caso de cargas con gran momento de inercia (p.e. sillas de ruedas autopropulsadas), es por ello que la aplicación de un sistema de transmisión con rueda libre inercial ofrecería una solución al problema. Esto se torna complicado cuando se necesita que la carga gire en ambos sentidos. La solución propuesta se basa en disponer sobre el eje de accionamiento del dispositivo una rosca de avance rápido sobre la cual evoluciona una tuerca desbalanceada con buen momento de inercia. Al iniciarse el movimiento, la tuerca avanzará y debido a su inercia y desbalanceo, tomará contacto con la cara interna del cuerpo del dispositivo generando la transmisión por fricción. Al detenerse el eje impulsor, el cuerpo por la propia inercia y la de la carga asociada, provoca que la tuerca se retire de la posición de presión sobre el mismo generando una desvinculación progresiva de la carga sin generar riesgos de rotura al sistema impulsor. De la misma forma el sistema funciona en caso de que el eje impulsor gire en sentido inverso al mencionado ya que la construcción del dispositivo es de forma simétrica. Este dispositivo tendría aplicación en ruedas de impulso para vehículos adaptados a personas discapacitadas motrices, en paletas de agitación de fluidos que deben batirse en ambos sentidos, en equipos de molienda y tamizado, etc. Se presenta la descripción del prototipo junto con un modelo de cálculo básico.

Palabras Claves: Rueda libre, Embrague bi-direccional.

1. INTRODUCCIÓN

La concepción de soluciones simples, robustas y que ocupen poco espacio, ha sido desde siempre la motivación principal en el diseño de mecanismos y máquinas, especialmente cuando estas últimas deben interactuar con los seres humanos y aun más cuando se trata de personas con discapacidades motoras.

La idea rectora del prototipo del dispositivo de embrague que se expone en este trabajo nació de un problema real vinculado a la concepción mencionada en el párrafo anterior. Específicamente se ha tratado de una silla de ruedas motorizada que debía tener el mínimo de elementos de control de movimiento. Tal silla de ruedas fue un diseño particular [1] que enfrentó el laboratorio del Grupo Análisis de Sistemas Mecánicos como aporte social a la comunidad para resolver el problema de locomoción de un niño en edad escolar con discapacidad motora. Uno de los problemas vinculado con la operatividad de la silla estaba asociado a la necesidad de poder efectuar acople y desacoples entre el sistema de transmisión y la carga para poder ser operada o trasladada por un asistente, sin la necesidad que tal procedimiento sea manual, tal como en realidad se efectuó. El motor debe mover una carga con importante inercia de rotación y para ello debe proveerse de un sistema de acople entre el motor-reductor (normalmente compuesto por un sistema sin fin-corona) y la carga de tal manera que la misma no genere complicaciones de tipo operativo, tal como se mencionara anteriormente.

Así pues, el prototipo que se muestra en este trabajo tiene por objeto una aplicación directa en el caso de acople de una carga de gran inercia y por la disposición de aquel permite el desacople automático de la carga sin riesgos para la planta motriz y la reducción (como puede suceder con otro tipo de acoplamiento), la innovación en este caso radica principalmente en que dicho sistema es del tipo bi-direccional y que posee una interesante simplicidad constructiva.

En este trabajo se efectuará la descripción geométrica y funcional del dispositivo y se plantea un modelo simplificado para el cálculo de resistencia estructural y de transmisión mecánica.

2. DESCRIPCION GEOMETRICA Y FUNCIONAL

En la Figura 1 se muestra un esquema del sistema de transmisión genérico para un tipo de silla de ruedas, donde puede apreciarse el motor-reductor, el sistema de acople y la carga propiamente dicha. En la Figura 2 se muestra una foto del prototipo que se presenta en este trabajo.

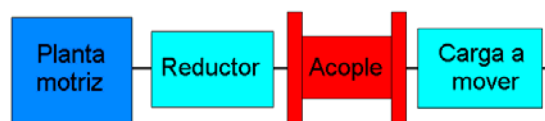


Figura 1 Esquema genérico de los componentes de transmisión

Como puede verse en la Figura 2, el sistema posee un eje (1) sobre el cual se ha labrado una rosca de paso relativamente grande (2). Este eje va conectado al elemento motor (particularmente una reducción del tipo corona y sin fin de ejes perpendiculares). Sobre dicho eje y sobre su rosca se encuentra una tuerca-corona (3) con rosca interna acorde a la del eje que a su vez posee un contrapeso que la mantiene desbalanceada, esta corona es de material antifricción (grillon). Exteriormente se encuentran dos platos (5) montados sobre bolilleros a ambos extremos de la rosca que se vinculan por medio de tres barras (6) formando un conjunto solidario (4). A este conjunto se le vincula la carga a mover. Cabe destacar que la cara interna de estos dos platos se encuentra recubierta por material antifricción los cuales constituirán las superficies de acople.

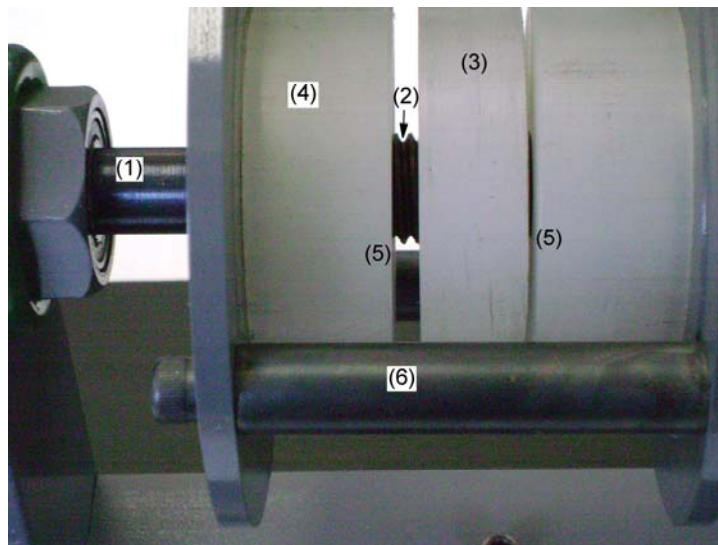


Figura 2 Dispositivo de acople por rueda libre

El sistema de acoplamiento funciona de la siguiente manera: cuando se aplica un giro al eje (1) la rosca que posee hará que la tuerca-corona (3), por estar desbalanceada, se desplace hacia alguno de los platos fijados (5) en los extremos. De tal manera que este desplazamiento hará que la superficie lateral de la tuerca-corona roce contra la superficie interna de uno de los platos presionándose contra el mismo y transmitiendo así el giro a todo el conjunto (4) y en consecuencia a la carga que se debe mover. Una vez que la carga comienza a girar el dispositivo se comporta como un eje rígido de transmisión y permanece acoplado y en ese estado en tanto que el sistema impulsor no se detenga o genere una contramarcha.

En caso de detención y teniendo en cuenta que las reducciones del tipo sin-fin-corona se detienen en forma casi instantánea y siendo que la carga en este caso posee gran inercia se produce el desacople del sistema puesto que el sistema corona-plato y eje impulsor con su rosca alivian la presión sobre las caras actuantes quedando así el conjunto libre y desvinculado, esto resulta particularmente práctico en el caso expuesto protegiendo así la vida de la reducción por no producirse una carga excesiva en los dientes que conforman el

mecanismo corona-sin fin y dando la suavidad necesaria a todo el funcionamiento. Ahora bien, lo expuesto hasta aquí constituye un sistema de rueda libre. Sin embargo la ventaja se presenta en el caso de hacer girar el eje impulsor en el sentido opuesto, con lo cual se obtienen idénticos resultados dada la simetría del diseño, radicando en este punto su mayor virtud ya que se puede contar con un sistema de rueda libre bidireccional. De esta manera, el sistema se acoplará automáticamente en caso de dar movimiento al eje impulsor y quedará libre y sin ningún acoplamiento en caso que se decida una operación manual (fundamental para su aplicación en una silla de ruedas).

3. MODELO ELEMENTAL DE ANALISIS

En el presente apartado se emplearán algunos modelos elementales de cálculo para establecer una forma básica de análisis del prototipo. Una de las principales necesidades estará vinculada a la determinación de la capacidad efectiva de transmisión y a su vez la determinación del torque y la potencia necesarios para movilizar la carga.

Se supondrá que entre las superficies de los cuerpos (3) y (5) habrá acoplamiento por fricción y que la ley de contacto y distribución de la presión de contacto estarán vinculadas a la hipótesis de desgaste constante. De esta manera se pueden obtener el momento de acople por fricción (T_F) y la fuerza normal necesaria (F_N), ambos en función de la presión máxima p_{max} [2]:

$$\begin{aligned} T_F &= \pi \mu_P r_o p_{max} (r_e^2 - r_o^2) \\ F_N &= 2\pi \cdot p_{max} r_o (r_e - r_o) \end{aligned} \quad (1)$$

Siendo r_o y r_e los radios interno y externo del área circular de contacto, respectivamente y μ_P es el coeficiente de fricción entre las superficies. La presión máxima p_{max} se obtiene a partir de consideraciones relacionadas con la presunción de vida al desgaste de las superficies en contacto [2], de esta manera se podrían tener claramente identificadas tanto el momento de fricción, cuanto la fuerza normal sobre las superficies de contacto.

La dinámica del acople como cuerpo rígido se puede describir como [3]:

$$T_A = J_a \frac{d^2\theta}{dt^2} + C_a \frac{d\theta}{dt} \quad (2)$$

Siendo sujeta a las condiciones iniciales que correspondan para el análisis que se requiera. Además en (2), T_A es el torque activo en el acople, J_a y C_a son la inercia y el amortiguamiento asociado a la fricción de toda la cadena cinemática hasta la carga. La expresión (2) tiene por solución la siguiente expresión:

$$\theta(t) = \frac{T_A}{C_a} t - B_1 \frac{J_a}{C_a} \text{Exp} \left[-\frac{C_a}{J_a} t \right] + B_2 \quad (3)$$

Donde B_1 y B_2 son las constantes de integración que se obtienen a partir de las condiciones iniciales de manera que contemplar diversos casos de funcionamiento (detención o arranque o cambio de dirección).

La inercia asociada al movimiento del acoplamiento debe contemplar a su vez, la inercia de toda la cadena cinemática considerada en forma efectiva. Así pues, la inercia del dispositivo se puede obtener como:

$$J_a = 2J_p + 3(J_B + r_D^2 m_B) + J_{TL} + J_{ecc} \quad (4)$$

Donde J_p es la inercia de los platos y cuerpos de fricción, J_B es la inercia propia de las barras de sujeción de masa m_b y ubicados a la distancia r_D del eje impulsor, J_{TL} es la inercia de la tuerca libre en tanto que J_{ecc} es la inercia efectiva del resto de la cadena cinemática transportada hacia el eje del acoplamiento [4]. La constante C_a no es fácil de determinar, y se ha optado por dejarla como una opción de diseño. La determinación de esta constante se efectuará a partir de comparaciones entre los resultados del modelo analítico simplificado y el prototipo experimental en funcionamiento.

Para la verificación de la resistencia en los componentes más delicados, es decir los roscados, se recurre a la siguiente expresión:

$$\sigma_{DN} = \frac{12F_N(d_p - d_r)}{\pi d_r N_e p_L^2}, \sigma_{DMax} = K_t \sigma_{DN} \quad (5)$$

La cual identifica el estado de tensión normal en el fondo de la raíz de las roscas, tanto como tensión nominal (σ_{DN}) cuanto su máxima magnificación (σ_{DMax}) por efecto de entalla. El coeficiente K_t es el denominado coeficiente de concentración de tensiones teórico, en tanto que d_p y d_r son los diámetros de paso y de raíz, p_L es el paso de la rosca y N_e el número de filetes de la rosca entre los que se distribuye la carga axial F_N .

El desgaste superficial y la abrasión son otros dos aspectos importantes en el cálculo de la resistencia de los elementos de transmisión roscados. En efecto la duración de los perfiles de dientes ante desgaste se puede estimar por medio de las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} \dot{d}_{adh} &= k_{adh} P_N \dot{L}_{SR} < \dot{d}_{adm} \\ \dot{d}_{abr} &= k_{adh} P_N \dot{L}_{SR} < \dot{d}_{adm} \end{aligned} \quad (6)$$

Siendo \dot{d}_{adh} y \dot{d}_{abr} las tasas temporales de pérdida o desgaste del material bajo adhesión y abrasión respectivamente. \dot{d}_{adm} es la tasa de desgaste admisible [2]. P_N es la presión media normal a la superficie del roscado, \dot{L}_{SR} es la velocidad media de deslizamiento a lo largo de las superficies de contacto del roscado, mientras que k_{adh} y k_{abs} son los coeficientes de resistencia de desgaste a adhesión y a abrasión, respectivamente [2].

Con las expresiones (1) a (4) se pueden establecer los primeros valores para la caracterización de las constantes del prototipo, es decir, inercia y amortiguamiento por fricción. Las que serán luego fundamentales para la determinación del funcionamiento del dispositivo de cara a las pruebas finales de rendimiento de toda la cadena cinemática, sin embargo esto forma parte de una segunda etapa de estudios que será desarrollada a futuro.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado un prototipo de un dispositivo de acoplamiento bidireccional basado en el movimiento de una rueda libre para producir el acople. Se han mostrado las características constructivas y se ha desarrollado un modelo elemental para su cálculo mecánico el cual será empleado para la determinación inicial de las características mecánicas y de funcionamiento del dispositivo.

Este dispositivo, si bien fue originalmente pensado para su uso en ruedas de impulso para vehículos adaptados a personas discapacitadas motrices, también podría emplearse sin mayores inconvenientes en paletas de agitación de fluidos que deben batirse en ambos sentidos, en equipos de molienda y tamizado, etc. Sin embargo tales nuevas aplicaciones exigen contemplar otros aspectos estructurales vinculados a la adaptabilidad y resistencia, los cuales serán el núcleo de otros estudios.

5. REFERENCIAS

- [1] A.E. Romero, Diseño de una silla de ruedas autopropulsada, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Bahía Blanca, Reporte Interno GASM, 1996.
- [2] J.A. Collins, Mechanical Design of Machine Elements and Machines, Editorial John Wiley and Sons, 2003.
- [3] J.H. Williams, Fundamentals of Applied Dynamics. Editorial Wiley and Sons Inc, 1996.
- [4] W.T. Thomson, Teoría de Vibraciones, 2a Edición. Editorial Limusa, 1982.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer a la SGCyT y al Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Bahía Blanca por el apoyo recibido.