

Análisis de la fuerza axial en un transportador de sinfín

F. Aguilar Parés

Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría
 Facultad de Ingeniería Mecánica. Departamento de Mecánica Aplicada
 Calle 127 s/n, Marianao 15, Ciudad de La Habana, Cuba.
 Teléfono: 20 2267 E-mail mecanica@cujae.ispjae.edu.cu

(Recibido el 21 de enero de 1999; aceptado el 27 de febrero de 1999)

Resumen

Durante el movimiento de un material en un transportador de sinfín surge una fuerza en dirección axial que influye en la selección de uno de los cojinetes de apoyo del equipo. En el artículo aparecen algunas soluciones constructivas que tienen en cuenta la fuerza axial. Por otro lado se establece la relación entre la fuerza axial y el empuje axial y se precisa de quien depende el sentido del empuje axial. Por último se propone un modelo matemático que relaciona la fuerza axial con la potencia requerida por el equipo.

Palabras claves: Transportador de sinfín, fuerza axial, empuje axial.

1. Introducción

Uno de los aspectos que influyen en el posterior diseño y selección de las partes de un transportador de sinfín es la determinación del empuje axial que surge al transportarse el material en un sentido dado. Generalmente en la bibliografía especializada se brindan expresiones empíricas y no se explica cual es el origen del empuje axial. El objetivo principal que se persigue en su determinación es la determinación de la fuerza axial para posteriormente seleccionar el cojinete. También es común que en las expresiones mencionadas no se haga referencias a la influencia que tienen, en la fuerza axial, los pesos del material transportado y el propio peso del conjunto eje tubular – hélice

2. Sentido del empuje axial

Antes de exponer el modelo para obtener el empuje axial hay que precisar cual es su sentido. Aunque es lógico y acertado decir que el sentido del empuje axial es contrario al del movimiento de la carga, este último depende no solo del sentido de rotación del eje de la hélice sino también del sentido de la hélice. Por consiguiente pueden haber cuatro posibilidades, las cuales se muestran en la figura 1.

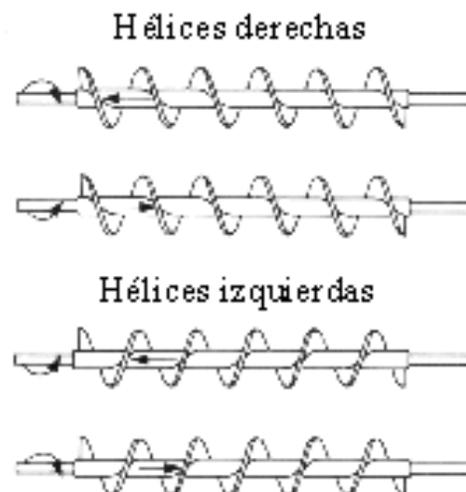


Fig. 1. Relación entre empuje y movimiento del material.

Las soluciones constructivas para absorber las cargas generadas por el empuje axial se hacen lo mismo en el apoyo inicial del equipo como en su apoyo extremo, [1]. En la figura 2 se muestran algunas soluciones posibles.

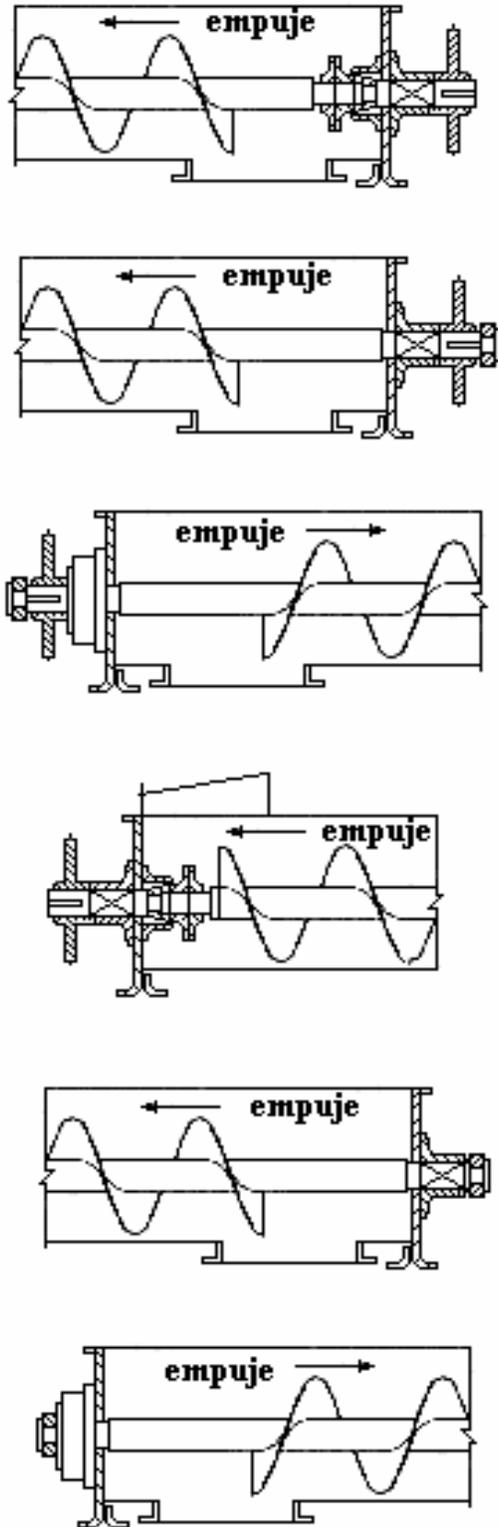


Fig. 2. Soluciones típicas para absorber el empuje axial.

3. Determinación del empuje axial

El empuje axial se define como la resultante axial de las fuerzas aplicadas al material. Tiene dos componentes, una es la resultante de todas las resistencias al movimiento, o sea, las que surgen tanto por el mezclado del material como por el rozamiento entre el material y la canal, hélice y apoyos intermedios; y la otra es la componente del peso del material, en la dirección axial. O sea:

$$F_e = W + G \cdot \text{sen} \beta \quad (1)$$

donde:

- F_e – empuje axial
- W – resistencias al movimiento.
- G – peso del material.
- β – ángulo de inclinación del equipo.

El cuerpo libre del conjunto eje tubular – hélice se puede ver en la figura 3.

Nótese que el cuerpo libre representa un equipo horizontal para simplificar el esquema.

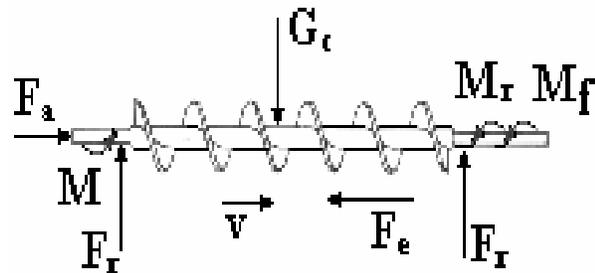


Fig. 3. Cuerpo libre del conjunto eje tubular – hélice.

donde:

- G_c – peso del conjunto
- F_a – fuerza axial en el cojinete
- F_r – fuerzas radiales en los cojinetes.
- M_r – momento resistivo del material.
- M_f – momento de fricción en los cojinetes
- M – momento externo.
- v – velocidad de transportación.

Si el equipo es horizontal:

$$F_a = F_e$$

pero como expresión general se plantea:

$$F_a = F_e + G_c \cdot \text{sen} \beta \quad (2)$$

El problema estaría resuelto si se conociera la resistencia al movimiento W , pero su determinación no es fácil. Hay autores que para hallar F_a dividen la potencia reclamada por el equipo entre la velocidad angular del eje motor y por la mitad del radio de la hélice, [1]. De esta forma hallan una fuerza circunferencial y después la asumen igual a la fuerza axial, para estar del lado de la seguridad, ya que evidentemente la fuerza axial es menor que la circunferencial.

No obstante, uno de ellos reconoce que los valores hallados por ese procedimiento son mucho mayor a los que se hallan midiendo directamente las fuerzas en el transportador con equipos de medición [2].

El procedimiento que se seguirá aquí será el de encontrar una relación entre las fuerzas que surgen específicamente en la hélice, aplicando los conceptos de rozamiento en tornillos de rosca cuadrada [3].

El modelo será implementado considerando que la hélice es derecha y que el material se mueve hacia la derecha, como se muestra en el segundo dibujo de la figura 1.

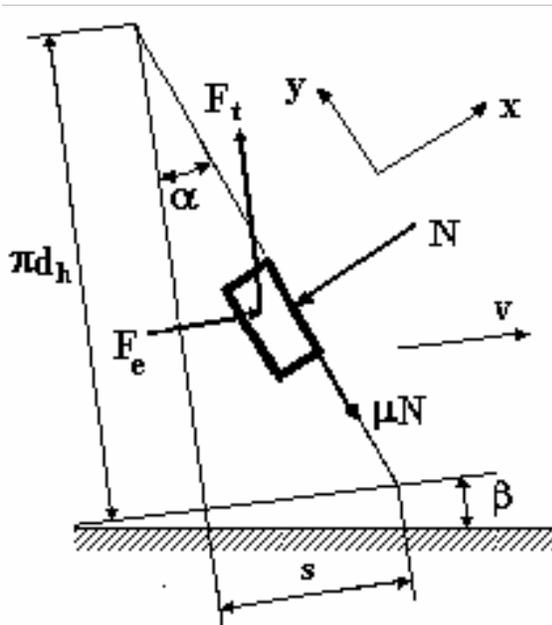


Fig. 4. Esquema de la hélice.

En la figura 4 se muestra un esquema de la hélice, representado por un rectángulo, de un transportador de sinfín inclinado β grados con respecto a la horizontal. En el esquema se representan la fuerza de empuje F_e en la dirección del eje del equipo, la normal N que ejerce el material contra la hélice, la fuerza de fricción μN al moverse

el material por la hélice y la fuerza externa F_t aplicada en un punto de la hélice de forma tal que produzca un momento igual al momento resistivo del material, M_r . El punto de aplicación de F_t se halla a una distancia r_t similar a la que se encuentra el centro de gravedad del material sobre la canal, medido desde el eje de rotación de la hélice. Dicha distancia varía en función del coeficiente de llenado, ϕ , recomendado (0,15; 0,3 y 0,45) el cual depende exclusivamente del tipo de material transportado. En la medida que el coeficiente de llenado aumente la distancia r_t disminuirá. El procedimiento para hallar r_t es puramente matemático y la expresión hallada depende del coeficiente de llenado y del diámetro de la hélice. Para un rango de diámetros de hélice de 100 a 800 mm, los valores promedio hallados de r_t son:

Para $\phi = 0,15$ implica $r_t = 0,4$

Para $\phi = 0,30$ implica $r_t = 0,3$

Para $\phi = 0,45$ implica $r_t = 0,24$

Para simplificar las expresiones posteriores y estar del lado de la seguridad se cogerá $r_t = 0,4$ para cualquier coeficiente de llenado, lo cual indirectamente quiere decir para cualquier tipo de material.

Ahora se hace sumatoria de fuerzas con respecto a los ejes x-y obteniéndose:

$$N = F_t \cdot \text{sen} \alpha + F_e \cdot \text{cos} \alpha \quad (3)$$

$$\mu \cdot N = F_t \cdot \text{cos} \alpha - F_e \cdot \text{sen} \alpha \quad (4)$$

Sustituyendo la expresión (3) en la (4), conociendo que

$$\mu = \tan \rho_d$$

despejando F_t y haciendo transformaciones trigonométricas se obtiene:

$$F_t = F_e \cdot \tan(\alpha + \rho_d) \quad (5)$$

Sustituyendo la expresión (2) en la (5)

$$F_t = (F_a - G_c \cdot \text{sen} \beta) \cdot \tan(\alpha + \rho_d) \quad (6)$$

donde:

α es el ángulo de inclinación de la hélice.

ρ_d es el ángulo de fricción dinámica del material con la hélice.

Al comparar la expresión (5) con la (1) se nota que F_t solo está vinculado a vencer las resistencias al movimiento W y

para elevar el material de peso G , o sea, no vence las resistencias generadas en los apoyos del eje.

Haciendo un análisis energético, si la fuerza F_t se multiplica por la distancia entre el eje motor y su lugar de ubicación; y por la velocidad angular del eje, dará una potencia igual a la suma de dos de los tres miembros por donde se calcula la potencia total en los transportadores de sinfín [4], o sea:

$$\frac{V \cdot \gamma \cdot L}{3600} \left(\frac{k_m}{k_i \cdot k_h \cdot k_p} + \text{sen} \beta \right) = F_t \cdot 0,4 \cdot d_h \cdot \frac{\pi \cdot n}{30}$$

donde:

F_t - fuerza circunferencial en kN.

d_h - diámetro de la hélice en m.

k_m - coeficiente del material.

k_p - coeficiente de proporción.

k_h - coeficiente de hélice.

k_i - coeficiente de inclinación.

Sustituyendo la expresión (6) en la expresión anterior y despejando F_a , no es difícil llegar a obtener que:

$$F_a = \frac{V \cdot \gamma \cdot L \left(\frac{k_m}{k_i \cdot k_h \cdot k_p} + \text{sen} \beta \right)}{48 \cdot \pi \cdot d_h \cdot n \cdot \tan(\alpha + \rho_d)} + G_c \cdot \text{sen} \beta \quad (7)$$

Ejemplo

Determine la fuerza axial en un transportador de sinfín horizontal de hélice continua y 12 m de longitud, que transporta 42,44 m³/h de azúcar refino a una velocidad de transportación de 0,2 m/s.

Solución:

El azúcar refino tiene:

peso específico: $\gamma = 8,32 \text{ kN/m}^3$

coeficiente del material: $k_m = 1,98$

ángulo de fricción dinámico: $\rho_d = 30^\circ$

Considerando que el paso y el diámetro de la hélice son iguales, el ángulo α se halla por;

$$\alpha = \arctan \frac{1}{\pi} = 17,67^\circ$$

Las revoluciones del eje motor se hallan por:

$$n = \frac{60 \cdot v}{d_h} = \frac{60 \cdot 0,2}{0,5} = 24 \text{ rpm}$$

Aplicando las expresiones dadas en [4], se obtienen.

Potencia para mover el material:

$$N_1 = 2,33 \text{ kW}$$

Potencia para vencer la fricción en los cojinetes:

$$N_2 = 0,43 \text{ kW}$$

Potencia para elevar el material:

$$N_3 = 0$$

Si se aplica el criterio dado en [1]:

$$F_a = F_t = 120 \frac{N_1 + N_2 + N_3}{\pi \cdot d_h \cdot n}$$

$$F_a = 120 \frac{2,33 + 0,43}{0,5 \cdot 24 \cdot \pi} = 8,78 \text{ kN}$$

Aplicando la expresión (7):

Por ser el transportador horizontal
 $k_i = 1$

Por ser la hélice continua
 $k_h = 1$

Por ser el paso y el diámetro de la hélice iguales
 $k_p = 1$

$$F_a = \frac{42,44 \cdot 8,32 \cdot 12 \cdot 1,98}{48 \cdot \pi \cdot 0,5 \cdot 24 \cdot \tan(17,67 + 30)} = 4,22 \text{ kN}$$

Nótese que el resultado obtenido al aplicar la expresión (7) es menos de la mitad que el criterio expresado en [2].

Esa diferencia es más notable en los transportadores horizontales que en los inclinados, pues al tener un ángulo de inclinación habrá una potencia N_3 que afectará ambos criterios, pero en el caso de la expresión (7) el segundo sumando también crece por lo que la diferencia entre los resultados es menor.

4. Conclusiones

- El modelo de la figura 4, que sirvió de base para hallar la expresión (7), se acerca más a los resultados reales hallados por la vía experimental que aparecen en [2].
 - La expresión (7) es válida para cualquier tipo de transportador de sinfín ya sea horizontal, o inclinado (hasta 40°) ya que en su definición aparece k_i que valora la influencia del ángulo de inclinación.
1. FMC CORPORATION. Screw Conveyors. USA, 1991.
 2. COLJIN H. Mechanical Conveyors for Bulk Solid. Elsevier Science Publishing Company, USA, 1985.
 3. BEER F., JOHNSTON E.R. Mecánica Vectorial para Ingenieros. Ediciones de Castillo, Madrid, España, 1967.
 4. AGUILAR F. Consideraciones en el cálculo de potencia de un transportador de sinfín. Ingeniería del Transporte, v15, n2, 1994.

Bibliografía

Analysis of axial force in a screw conveyor.

Abstract

During the movement of material in a screw conveyor surge a force in axial direction that influence in the selection of one of the equipment support bearings. Some constructive solutions appear in the article for considering the axial force. In the other hand it is established the relation between axial force and axial thrust and it is precised whose direction thrust axial depend of. Finally it is proposed a mathematic model that relates the axial force with the power required by the equipment.

Key words: Screw conveyor, axial force, axial thrust.

II Congreso Cubano de Ingeniería y Reingeniería del Mantenimiento



Septiembre 12 - 15, 2000, La Habana, Cuba

TEMAS PRINCIPALES

Gestión Integral del Mantenimiento, Diagnóstico Industrial, Ingeniería de las Vibraciones, Lubricación, Tecnologías de Mantenimiento, Flotas de Maquinas y Automotores, Gestión, Estadística y Fiabilidad en las Empresas Industriales y de los Servicios.

Para enviar resúmenes o solicitar información adicional

Comité Organizador CCIM'2000
Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría
Facultad de Ingeniería Mecánica
Calle 127 s/n, CUJAE, Marianao 15, Ciudad de La Habana, Cuba
Teléfono: (537) 20 2267 Fax: (537) 27 1208
E-mail: ccim@mecanica.ispjae.edu.cu