DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECÁNICA

INGENIERÍA INDUSTRIAL

DISEÑO MECÁNICO

PRÁCTICA Nº 3

"DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ENTRE CORREAS Y POLEAS"

INDICE

1. OBJETIVO

El objetivo de la práctica es determinar el coeficiente de rozamiento al deslizamiento entre una correa y una polea cilíndrica, cuando la correa se coloca en un plano perpendicular al eje de la polea y el ángulo abrazado no supera los 180º (caso muy común en la práctica para la transmisión de potencia entre distintos ejes).

2. MATERIAL

El material necesario para la realización de la práctica es:

- Polea con diferentes acanaladuras y brazo de orientación variable.
- Correas planas, de caucho y de fibra, y correa trapezoidal.
- Soporte para suspender diferentes pesas.
- Dinamómetro para medir la tensión en un extremo.
- Juego de pesas.

3. INTRODUCCIÓN TEÓRICA

Nuestro interés se centra en el equilibrio relativo correa-polea, por lo que no se pierde generalidad si suponemos la polea fija y estudiamos el equilibrio de la correa sobre la polea en estas condiciones. La correa, representada en la figura 4.1, se encuentra en equilibrio bajo la acción de las tensiones extremas T_1, T_2, y la fuerza de reacción de la superficie, la cual incluye una componente normal a su superficie N, y otra (rozamiento) según el plano tangente a la misma F_R.

Distinguiremos entre correa plana y correa de sección trapezoidal.

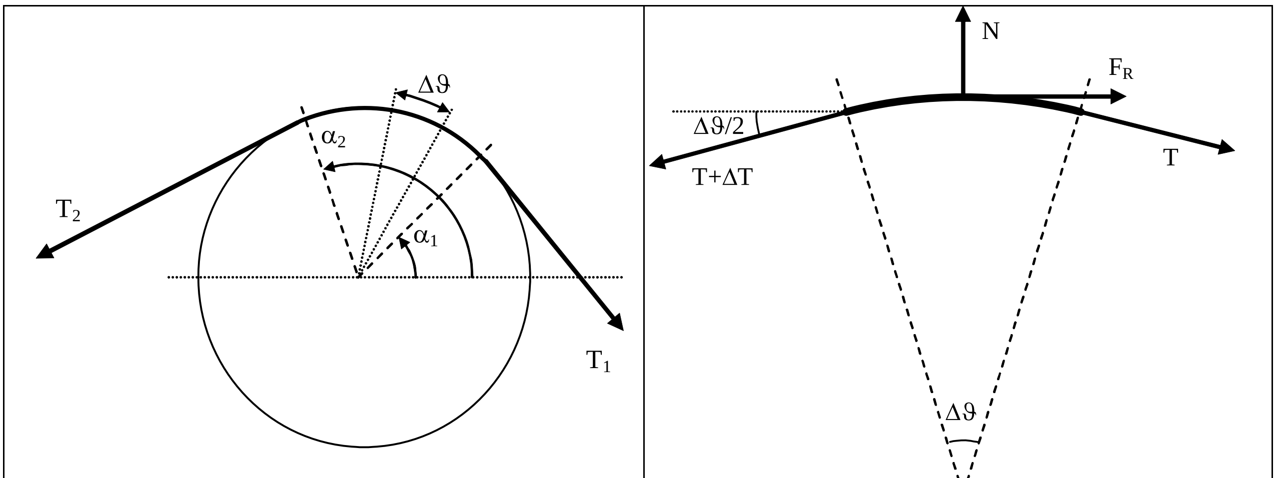

Figura 4.1.- Representación del equilibrio de tensiones en un sistema correa-polea.

3.1. Correa plana

El equilibrio relativo correa-polea, considerado sobre el elemento de correa definido por el ángulo $\Delta\vartheta$ (Figura 4.1), implica el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned} &\Delta T \cdot \cos\frac{\Delta\vartheta}{2} - F_R = 0 \\ &N - (2 \cdot T + \Delta T) \cdot \operatorname{sen}\frac{\Delta\vartheta}{2} = 0 \end{aligned} \tag{4.1}$$

En caso de deslizamiento correa-polea, la fuerza de rozamiento es:

$$F_R = \mu \cdot N \tag{4.2}$$

donde μ es el coeficiente de rozamiento correa-polea. Así, el sistema de ecuaciones (4.1) equivale a:

$$\Delta T \cdot \cos\frac{\Delta\vartheta}{2} - \mu \cdot \left(2 \cdot T + \Delta T\right) \cdot \operatorname{sen}\frac{\Delta\vartheta}{2} = 0$$

Dividiendo esta ecuación por $\Delta\vartheta/2$:

$$2 \cdot \frac{\Delta T}{\Delta\vartheta} \cdot \cos\frac{\Delta\vartheta}{2} = \mu \cdot \left(2 \cdot T + \Delta T\right) \cdot \frac{\operatorname{sen}\frac{\Delta\vartheta}{2}}{\frac{\Delta\vartheta}{2}}$$

y tomando límites, $\begin{cases} \Delta T \to 0 \\ \Delta\vartheta \to 0 \end{cases} \Rightarrow \quad \frac{\Delta T}{\Delta\vartheta} \to \frac{dT}{d\vartheta}; \quad \cos\frac{\Delta\vartheta}{2} \to 1; \quad \frac{\operatorname{sen}\frac{\Delta\vartheta}{2}}{\frac{\Delta\vartheta}{2}} \to 1,$ se obtiene:

$$\frac{dT}{T} = \mu \cdot d\vartheta \tag{4.3}$$

cuya integración es inmediata:

$$\int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \mu \cdot d\vartheta \Rightarrow \ln\frac{T_2}{T_1} = \mu \cdot \left(\alpha_2 - \alpha_1\right) = \mu \cdot \alpha$$

siendo α el ángulo abrazado por la correa. Es decir:

$$\boxed{\frac{T_2}{T_1} = e^{\mu \cdot \alpha}} \tag{4.4}$$

Esta relación es válida para el caso de deslizamiento con $\mu=\mu_d$, coeficiente de rozamiento dinámico; pero también para el caso de deslizamiento inminente, con $\mu=\mu_e$ coeficiente de rozamiento estático.

Si se parte de la condición bidireccional de equilibrio estático relativo (sin deslizamiento), se ha de sustituir (4.2) por:

$$|F_R| \le \mu_e \cdot N \qquad \Rightarrow \qquad -\mu_e \cdot N \le F_R \le \mu_e \cdot N \tag{4.5}$$

Se obtiene la siguiente condición de equilibrio relativo entre polea y correa:

$$\boxed{e^{-\mu_e \cdot \alpha} \le \frac{T_2}{T_1} \le e^{\mu_e \cdot \alpha}} \tag{4.6}$$

3.2. Correa trapezoidal

Si se utiliza una correa de sección trapezoidal (Figura 4.2), aumenta notablemente el intervalo de valores de la relación T2/T1 admisible sin que se rompa el equilibrio.

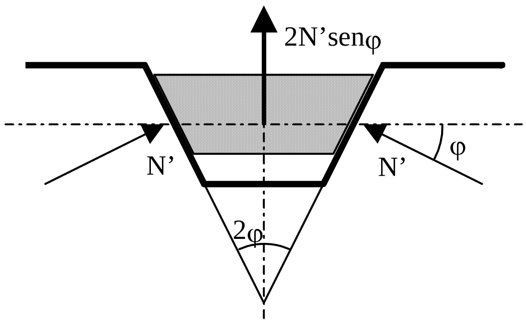

Figura 4.2.- Representación de las reacciones normales en una correa trapezoidal**.**

Las reacciones normales de las superficies laterales por donde va conducida la correa determinan una resultante no nula en dirección radial. Las ecuaciones de equilibrio son ahora:

$$\begin{cases} \Delta T \cdot \cos\dfrac{\Delta\vartheta}{2} - 2 \cdot F_R = 0 \\ 2 \cdot N' \cdot \operatorname{sen}\varphi - (2 \cdot T + \Delta T) \cdot \operatorname{sen}\dfrac{\Delta\vartheta}{2} = 0 \end{cases} \tag{4.7}$$

$$|F_R| \le \mu_e \cdot N'$$

De donde se obtiene, procediendo como antes, la condición de equilibrio relativo:

$$\boxed{e^{-\frac{\mu_e}{\operatorname{sen}\varphi} \cdot \alpha} \le \frac{T_2}{T_1} \le e^{\frac{\mu_e}{\operatorname{sen}\varphi} \cdot \alpha}} \tag{4.8}$$

Comparando esta expresión con (4.6) se puede definir el siguiente coeficiente de rozamiento estático aparente, para correas trapezoidales:

$$\boxed{\mu'_e = \frac{\mu_e}{\operatorname{sen}\varphi} > \mu_e} \tag{4.9}$$

Obsérvese que se reproduce el resultado de la correa plana ($\mu'e = \mu e$) para el correspondiente ángulo, $\varphi = 90º$.

4. MÉTODO EXPERIMENTAL

La experiencia se realiza sobre una polea de eje horizontal, fija sobre una pared vertical. La polea debe estar libre de giro alrededor de su eje. En la Figura 4.3 se presenta un esquema del aparato.

El extremo derecho de la correa se une a un dinamómetro y éste se sujeta de un punto variable, de forma que este ramal de la correa ataque a la polea bajo ángulos de 30º, 60º, 90º, 120º, 150º y 180º. Este ángulo es, por una parte, el sector de circunferencia durante el cual está en contacto la correa con la polea y, por otro, el que forma el tramo de correa que va desde la polea hasta el dinamómetro con la vertical. El otro ramal de la correa cuelga verticalmente soportando en su extremo un soporte para colocar diferentes pesas.

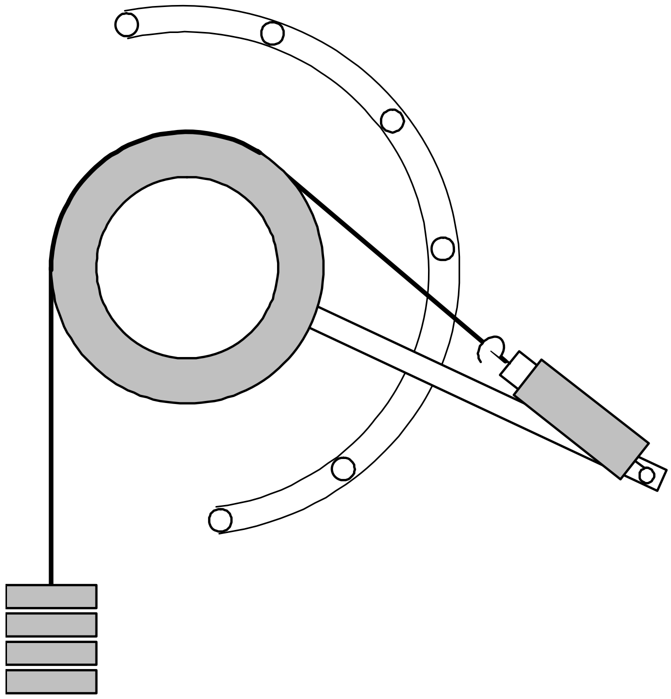

Figura 4.3.- Dibujo del prototipo utilizado para la realización de la práctica.

Cuando gravita un peso P sobre el ramal izquierdo de la correa y hacemos girar muy lentamente la polea en el sentido de las agujas del reloj. Al principio, la correa es arrastrada y la tensión T medida por el dinamómetro disminuye. Cuando la polea comience a deslizar bajo la correa, el equilibrio relativo se rompe. En dicho instante se cumple, para una correa plana la ecuación 4.6, en la que una de las tensiones es igual al peso, es decir:

$$\boxed{\frac{P}{T} = e^{\mu\alpha}} \qquad (4.10)$$

Si la correa es trapezoidal, habrá que utilizar el coeficiente de rozamiento estático aparente dado por la ecuación (4.9).

Lo expuesto anteriormente es el fundamento de las medidas que se explican a continuación.

5. REALIZACIÓN DE LA PRÁCTICA

Nota: A lo largo de esta práctica se deberá tener un máximo cuidado con el dinamómetro, observando en todo momento que no se supere la tensión máxima que es capaz de medir.

1. Se mide con un dinamómetro el valor de los pesos (incluido el soporte) con los que se cargará la correa (tres valores: la pesa grande, P_1, la grande más la mediana, P_2, y las tres pesas, P_3). Esta medida la podemos hacer colgando el dinamómetro del brazo donde luego va a ir colocado. En cualquier caso, no lo haremos sosteniendo el dinamómetro en la mano.

2. Se coloca la correa plana de cuero sobre la polea y el extremo derecho se fija en la posición correspondiente a un ángulo de contacto de 30º, conectándolo con el dinamómetro que se sujeta, a su vez, al brazo móvil. Hay que asegurarse de que la polea puede girar libremente (si no es así, se deberá aflojar la tuerca del eje). Así mismo, se verificará que la correa no roce lateralmente con los nervios de la polea.

3. Se suspende del extremo izquierdo, sobre el soporte correspondiente, la pesa para realizar la primera medida (P1). Ésta se lleva a cabo haciendo girar muy lentamente la polea en el sentido de las agujas del reloj y anotando la tensión del dinamómetro, justo antes de que comience el deslizamiento entre la correa y la polea. Esta operación de llegar muy lentamente al deslizamiento se realizará varias veces hasta estar seguro del punto justo anterior al deslizamiento. Se realizan, con el mismo ángulo de contacto, las otras dos medidas (con P2 y P3) suspendiendo las distintas pesas del soporte unido al extremo izquierdo de la polea. Se calculan los cocientes P/T, su valor medio y el logaritmo neperiano de este último valor.

4. Se repite el proceso indicado en los dos apartados anteriores con sucesivos ángulos de contacto hasta llegar a 180º.

5. Se repite la experiencia con la correa trapezoidal (ésta irá alojada sobre la polea en la hendidura correspondiente, en la que sus dos paredes laterales están en contacto con las paredes de la polea) y la de persiana, únicamente para los ángulos que aparecen en la tabla que se da más abajo.

6. Justificar, a partir de la experiencia, por qué los ángulos que se usarán para las distintas correas serán los siguientes:

	α=30º	**60º**	**90º**	**120º**	**150º**	**180º**
Cuero	X	X	X	X	X	X
Persiana		X	X	X	X	X
Trapezoidal	X	X	X	X		

6. RESULTADOS

1) Disponer los parámetros y las medidas en una tabla con las siguientes entradas:

- ángulo abrazado por la correa, α;
- peso soportado por la correa, P;
- tensión medida en el dinamómetro al romperse el equilibrio, T; y
- cociente P/T.

2) Para cada ángulo α, calcular $(P/T)_{med}$, así como su logaritmo neperiano, $\ln((P/T)_{med})$.

3) Para cada correa, representar en papel milimetrado o mediante ordenador, $\ln(P/T)_{med}$ en función de α (en radianes), y ajustar a una recta por dichos puntos. La pendiente de esta recta es el coeficiente de rozamiento, o coeficiente aparente de rozamiento, según el tipo de correa utilizada.

4) Expresar todos los resultados acompañados de los correspondientes errores (estadístico y propagación de errores).

TIPO DE CORREA: ____________________________________

DIRECCIÓN DE GIRO: ___________________________________

<table>
<tr><th>ANGULO (rad)</th><th>PESO (N)</th><th>TENSIÓN EN DINAMÓMETRO (N)</th><th>P/T</th><th>[P/T] med</th><th>[ln(P/T)] med</th></tr>
<tr><td rowspan="5"></td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="5"></td><td rowspan="5"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="5"></td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="5"></td><td rowspan="5"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="5"></td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="5"></td><td rowspan="5"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="5"></td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="5"></td><td rowspan="5"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="5"></td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="5"></td><td rowspan="5"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="5"></td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="5"></td><td rowspan="5"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>