	Manual de prácticas del Laboratorio de Mecánica	Código:	MADO-04
		Versión:	04
		Página	16/77
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Mecánica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Práctica 2

Determinación del coeficiente de fricción estática

	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Ninguno	_____

Introducción

Las fuerzas de fricción o rozamiento siempre están presentes en cualquier problema mecánico, en algunos casos en menor grado y en otros de forma visible e importante, por ejemplo, en el caso de un eje que está en rotación, dicha fuerza hace que se detenga. En un automóvil, cerca del 20% de la potencia del motor se consume en contrarrestar estas fuerzas.

La causa física de la resistencia opuesta por la fricción al movimiento de superficies que se deslizan una sobre otra, puede ser explicada suponiendo un entrelazamiento de las rugosidades de las superficies, que no pueden ser separadas a menos que cedan o se rompan o sean levantadas sobre los extremos superiores de unas y otras, o suponiendo que las moléculas de las superficies de los dos planos en contacto están tan cercanas que desarrollan una cohesión que debe ser vencida para producir el movimiento. Solamente la experimentación puede capacitarnos para observar la realidad de estas diferentes causas.

El valor máximo de la fuerza de fricción estática entre un par cualquiera de superficies secas no lubricadas, obedece a las siguientes dos leyes empíricas. Primera: es aproximadamente independiente del área en contacto, dentro de muy amplios límites. Segunda: es proporcional a la fuerza normal.


Las dos leyes anteriores de fricción fueron descubiertas experimentalmente por Leonardo da Vinci (1452–1519), quien hizo estudios del movimiento de un bloque rectangular deslizando sobre una superficie plana.

La relación de la magnitud de la máxima fuerza de fricción estática a la magnitud de la fuerza normal se llama coeficiente de fricción estática para las superficies de que se trata. Si representamos por F_{r_s} la magnitud de la fuerza de fricción estática, podemos escribir:

$$F_{r_s} \leq \mu_s N,$$

donde μ_s es el coeficiente de fricción estática y N la magnitud de la fuerza normal.

La fuerza de fricción cinética F_{r_k} entre dos superficies secas no lubricadas, sigue las mismas leyes que la fricción estática, aunque en este caso se considera que su magnitud es constante que no cambia con la rapidez con la que se mueve una con respecto a la otra.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Mecánica	Código:	MADO-04
		Versión:	04
		Página	17/77
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Mecánica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Se les atribuye al matemático francés Jean Morin (1591–1659) y al científico francés *Charles A Coulomb*, (1736–1806), la realización de experimentos sobre las fuerzas de fricción. En particular Coulomb hizo un estudio sobre la diferencia entre fricción estática y fricción cinética, y publicó en su obra *Théorie des machines simples* (1779), algunos de los resultados más importantes de su trabajo.

1 Objetivo


Determinar el valor numérico del coeficiente de fricción estática entre dos superficies en contacto secas, en condiciones de movimiento inminente, a partir de un modelo de cuerpos conectados y mediante el empleo de las ecuaciones de equilibrio.

2 Elementos conceptuales

- a) Diagrama de cuerpo libre
- b) leyes empíricas de la fricción seca
- c) estado de movimiento inminente de un cuerpo
- d) modelos de cuerpos
- e) condiciones de equilibrio de una partícula y modelos matemáticos.

3 Equipo empleado

- 1 bastidor con base de madera y accesorios
- 2 un bloque de madera
- 3 juego de masas (1 de 0.1 kg, 1 de 0.2 kg, 1 de 0.05 kg y 1 de 0.02 kg)
- 4 dos placas, una de madera y otra de acrílico
- 5 hilo de cáñamo
- 6 flexómetro
- 7 dos poleas con elementos de sujeción
- 8 dinamómetro de 10 N.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Mecánica	Código:	MADO-04
		Versión:	04
		Página	18/77
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Mecánica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

4 Desarrollo

4.1 Con el equipo mencionado en el punto anterior, arme la configuración que se muestra en la Figura 1.

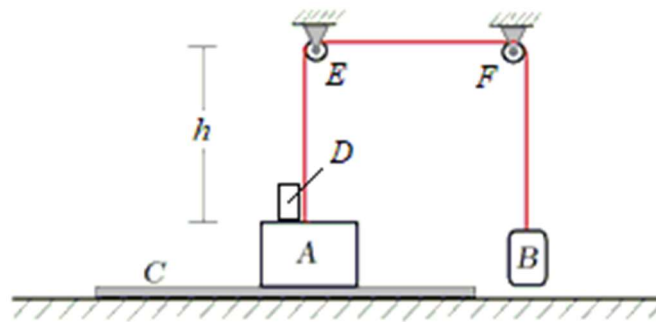


Figura 1 Configuración inicial de los elementos mecánicos para la práctica.

El sistema mecánico está conformado por cuatro cuerpos señalados con las letras A, B, C y D, y tres elementos de sujeción auxiliares: dos poleas y una cuerda. El bloque de madera A se conecta con el cilindro B de 0.1 kg de masa mediante la cuerda que pasa por ambas poleas. A su vez, el bloque A descansa sobre la placa C y ésta sobre la superficie de una mesa. Un cilindro de 0.2 kg de masa se coloca encima del bloque A lo más cercano posible a la cuerda y del lado izquierdo. Para que el sistema esté en equilibrio, la suma de pesos del bloque A y del cilindro debe ser mayor al de B.

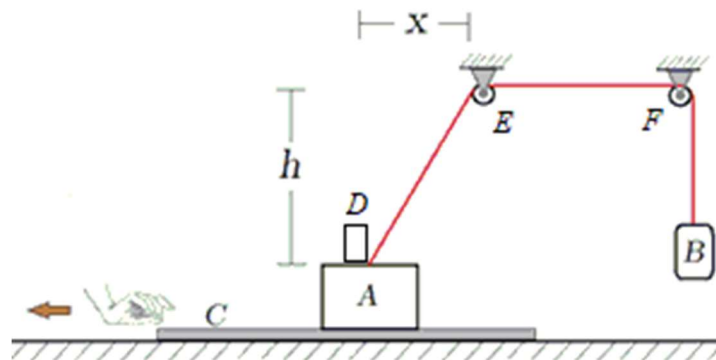



Figura 2 Configuración final de los elementos de la práctica.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Mecánica	Código:	MADO-04
		Versión:	04
		Página	19/77
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Mecánica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

La forma en que se debe operar el modelo, con el objeto de realizar la lectura de datos, se describe a continuación.

A partir de la posición de equilibrio inicial, que se muestra en la Figura 1, se deberá mover lentamente la tabla C hacia la izquierda, tal como se observa en la Figura 2. Esta acción sobre la tabla, obliga a que el cuerpo B ascienda y la distancia x se incremente (la altura h permanece constante).

Sin embargo, este proceso mecánico debe ir acompañado de la cuidadosa observación correspondiente al momento en el que suceda el deslizamiento relativo entre las superficies en contacto del bloque A y la placa C. Justo cuando ocurre este deslizamiento, se debe suspender el movimiento de la placa, pero sin soltarla. En esta posición se deberá medir el valor $x = x_{\max}$.

En caso de que no suceda el deslizamiento relativo entre las superficies agregué otro cilindro de las masas proporcionadas unido al cilindro B, hasta que se observe el movimiento.

4.2 Realice el experimento, acorde al procedimiento descrito en el punto 4.1, para una placa de madera y otra de acrílico, y obtenga la medición del valor $x = x_{\max}$.

Repita cinco veces el experimento para cada una de las placas con el objeto de recabar los datos para $x = x_{\max}$.

Anote los valores correspondientes a esta variable en la segunda columna de las tablas 1 y 2 que se proporcionan.

Observación: La altura vertical h debe medirse, desde el extremo de la cuerda que sujeta al cuerpo A al punto de tangencia de la cuerda con la polea de la izquierda.

Tabla 1 Mediciones para la placa de madera.

Evento/ posición	x_{\max} , en cm	μ_s
1		
2		
3		
4		
5		
$h =$		cm


	Manual de prácticas del Laboratorio de Mecánica	Código:	MADO-04
		Versión:	04
		Página	20/77
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Mecánica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Tabla 2 Mediciones para la placa de acrílico.

Evento/ posición	x_{max} , en cm	μ_s
1		
2		
3		
4		
5		
h =		cm

5 Informe

En un documento, ya sea electrónico o en papel según lo solicite su profesor, escriba el identificador de la práctica, su título, los nombres de los integrantes de la brigada iniciando con el apellido paterno, el nombre de la asignatura (Mecánica) y el grupo en el que están inscritos. Luego, escriba los objetivos de la práctica. Posteriormente, incluya lo que se solicita a continuación.


Deducción de modelos matemáticos

5.1 En relación con la Figura 2, cuando el bloque A se encuentra en la condición de fricción límite (movimiento inminente), realice los diagramas de cuerpo libre:

- del conjunto bloque A y cilindro, considerado como un solo cuerpo;
- del cilindro B;
- de la placa C;
- de las dos poleas; y
- del tramo de cuerda entre el bloque A y la polea E.

5.2 Mediante el empleo de las ecuaciones de equilibrio, verifique que la expresión correspondiente al valor del coeficiente de fricción estática, está dado por:

$$\mu_s = \frac{W_B x_{max}}{(W_A + W_D)\sqrt{x_{max}^2 + h^2} - W_B h}$$

	Manual de prácticas del Laboratorio de Mecánica	Código:	MADO-04
		Versión:	04
		Página	21/77
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Mecánica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Para verificar esta expresión, encuentre en la situación de la Figura 2 la pendiente de la recta que contiene a la fuerza de tensión del tramo de cuerda que va del bloque A a la polea como un cociente que involucra a x_{max} y a h ; el numerador de dicho cociente será el cateto opuesto al ángulo que forma dicha cuerda con la horizontal y el denominador será el cateto adyacente. Conocidos dichos valores es posible obtener la hipotenusa, con base en la cual es posible conocer los valores de las funciones trigonométricas del ángulo mencionado, y finalmente involucrando la magnitud de la tensión de la cuerda, se obtiene la magnitud de la fuerza de fricción estática entre el bloque de madera y la placa.

Con el empleo de este modelo matemático y con los datos experimentales registrados para $x = x_{max}$, obtenidos en las Tablas 1 y 2, registre los valores para μ_s , con el objeto de llenar la tercera columna de dichas tablas. A partir dichos valores obtenga el valor promedio μ_{sp} .

5.3 Suponga que en el momento de medir el valor $x = x_{max}$, se suelta de manera deliberada la placa. Demuestre que el valor de la fuerza de fricción estática entre las superficies en contacto de la mesa, y de la parte inferior de la placa, está dada por la expresión:

$$Fr_s = \frac{W_B x}{\sqrt{x^2 + h^2}}$$

donde $x \leq x_{max}$ si la placa se movió hacia la derecha después de soltarla; y $x = x_{max}$, para el caso en que se mantiene en reposo.

Para demostrar lo anterior, dibuje el diagrama de cuerpo libre del conjunto bloque A, cilindro D y placa C como un solo cuerpo. Luego, empleé la misma idea del punto 5.2 para encontrar las componentes de la tensión de la cuerda, a partir de las cuales se obtiene la magnitud de la fuerza de fricción estática entre el bloque de madera y la placa.


5.4 Los siguientes casos suponen la lectura de $x = x_{max}$ sosteniendo la placa. Demuestre que las magnitudes de las componentes horizontal y vertical de la fuerza de reacción en el eje de la polea E están dadas por las expresiones:

$$R_{EH} = W_B \left(1 - \frac{x_{max}}{\sqrt{x_{max}^2 + h^2}} \right)$$

$$R_{EV} = \frac{W_B h}{\sqrt{x_{max}^2 + h^2}}$$

en cambio, la magnitud de la reacción en la polea F está dada por la expresión:

$$R_F = \sqrt{2} W_B.$$

	Manual de prácticas del Laboratorio de Mecánica	Código:	MADO-04
		Versión:	04
		Página	22/77
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	12 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Mecánica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Para la polea E, a partir de su diagrama de cuerpo libre en la situación de la Figura 2 y $x = x_{max}$, de manera similar al punto 5.2, obtenga el seno y del coseno del ángulo mencionado, y finalmente se obtienen las expresiones para las reacciones horizontal y vertical de la reacción solicitada.

5.5 Para la polea F es más fácil, pues interactúa con el tramo de cuerda horizontal hacia la izquierda y el tramo de cuerda vertical hacia abajo.

Sin sustituir valores numéricos ¿cuál de las dos poleas tiene mayor magnitud de reacción en su eje? Emplee el principio de Stevinus para encontrar la respuesta.

Presentación de resultados

5.6 El planteamiento de las ecuaciones de equilibrio, deberá realizarse con referencia a los diagramas de cuerpo libre planteados. La solución del sistema de ecuaciones puede resolverse con Mathematica, Maple Clásico o a mano.

5.7 Al final del informe, no olvide incluir las conclusiones, sugerencias y comentarios de cada uno de los integrantes de la brigada en el mismo documento y la fecha de realización.

6 Bibliografía

- 1 Spigel. M., **Mecánica teórica**, Serie Schaum's, Editorial McGraw–Hill, México, 1990.
- 2 Beer F. P. Johnston Jr. E. R. & Mazurek D. F., **Mecánica Vectorial para Ingenieros, Estática**, 10ª edición, Editorial McGraw–Hill, México, 2013.

*Hugo Serrano Miranda
Yukihiro Minami Koyama*