	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Mecánica Experimental</b>	Código:	MADO-04
		Versión:	01
		Página	10/49
		Sección ISO	7.3
		Fecha de emisión	6 de junio de 2016
Secretaría/División: División de Ciencias Básicas		Área/Departamento: Laboratorio de Mecánica Experimental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## Práctica 2

### Determinación del coeficiente de fricción estática

#### 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 para 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  $F_{rs}$ , la magnitud de la fuerza de fricción estática, podemos escribir:

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

donde  $\mu_s$  es el coeficiente de fricción estática y  $N$  la magnitud de la fuerza normal.

La fuerza de fricción cinética  $F_{rk}$  entre dos superficies secas no lubricadas, sigue las mismas leyes que la fricción estática.

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.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Mecánica Experimental</b>	Código:	MADO-04
		Versión:	01
		Página	11/49
		Sección ISO	7.3
		Fecha de emisión	6 de junio de 2016
Secretaría/División: División de Ciencias Básicas		Área/Departamento: Laboratorio de Mecánica Experimental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 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

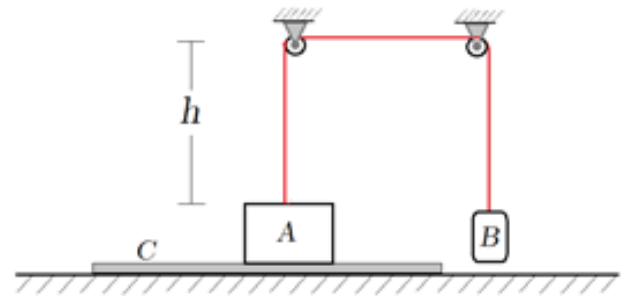
- Diagrama de cuerpo libre
- leyes empíricas de la fricción seca
- estado de movimiento inminente de un cuerpo
- modelos de cuerpos
- condiciones de equilibrio de una partícula y modelos matemáticos.

## 3 Equipo empleado

- Marco con base de madera y accesorios
- juego de bloques de madera (2)
- placa de madera
- hilo de cáñamo
- flexómetro
- dinamómetro de 10 N
- placa de acrílico.

## 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 tres cuerpos señalados con las letras A, B y C, y tres elementos de sujeción auxiliares: dos poleas y una cuerda. El bloque A se conecta a B 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. Este estado mecánico del sistema supone que el peso del bloque A es mayor al de B.

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



**Manual de prácticas del  
Laboratorio de Mecánica  
Experimental**

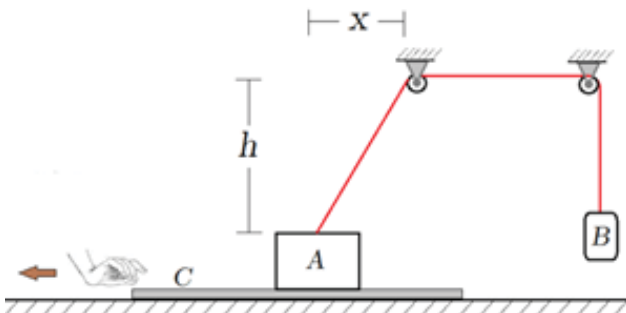
Código:	MADO-04
Versión:	01
Página	12/49
Sección ISO	7.3
Fecha de emisión	6 de junio de 2016

Secretaría/División: División de Ciencias Básicas

Área/Departamento:  
Laboratorio de Mecánica Experimental

La impresión de este documento es una copia no controlada

ascienda y la distancia  $x$  se incremente (la altura  $h$  permanece constante).



*Figura 2 Configuración final de los elementos de la práctica.*

Sin embargo, este proceso mecánico debe ir acompañado de la cuidadosa observación correspondiente al momento en el que sucede 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  $x = x_{max}$ .

4.2 Después de haber registrado el valor numérico de  $x_{max}$ , observe lo que le sucede al arreglo mecánico si la placa C se suelta de manera intempestiva.

4.3 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 muestran a continuación.

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 izquierda.

Tabla 1 Mediciones para la placa de madera.

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


Tabla 2 Mediciones para la placa de acrílico.

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

## 5 Informe

### Deducción de modelos matemáticos

5.1 En relación con la Figura 2, cuando el bloque A se encuentra en la condición de

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Mecánica Experimental</b>	Código:	MADO-04
		Versión:	01
		Página	13/49
		Sección ISO	7.3
		Fecha de emisión	6 de junio de 2016
Secretaría/División: División de Ciencias Básicas		Área/Departamento: Laboratorio de Mecánica Experimental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

fricción límite (movimiento inminente), realice los diagramas de cuerpo libre:

- del bloque A,
- del bloque B,
- de la placa C,
- de las dos poleas y
- del tramo de cuerda entre el bloque A y la polea de la izquierda.

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 la siguiente expresión:

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

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  $\mu_s$ , con el objeto de llenar la tercera columna de dichas tablas. A partir de este conjunto de valores obtenga el valor promedio  $\mu_{sp}$ .

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:

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

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.

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 izquierda están dadas por las expresiones:

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

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


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

$$R_{der} = \sqrt{2} W_B.$$

Sin sustituir valores numéricos ¿cuál de las dos poleas tiene mayor magnitud de reacción en su eje?

5.5 Conteste con todo detalle las siguientes preguntas:

- ¿Será posible medir el coeficiente de fricción cinética,  $\mu_k$ , entre el bloque A y la placa C con el empleo de este modelo experimental? Explique cuál sería la forma de manipularlo y el procedimiento para efectuar las mediciones con el objeto de obtener este parámetro físico.
- Señale la(s) variable(s) que ocasionaría(n) dificultad(es) en el proceso de medición de  $\mu_k$ . Además, describa brevemente las condiciones

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Mecánica Experimental</b>	Código:	MADO-04
		Versión:	01
		Página	14/49
		Sección ISO	7.3
		Fecha de emisión	6 de junio de 2016
Secretaría/División: División de Ciencias Básicas		Área/Departamento: Laboratorio de Mecánica Experimental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

mecánicas del sistema bajo las cuáles debería de efectuarse este proceso de medición.

## 6 Presentación de resultados

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 Maple Clásico.

## 7 Conclusiones, sugerencias y comentarios

---



---



---

## 8 Bibliografía

- 1 Spiegel. M., **Mecánica teórica**, Serie Schaum, Editorial McGraw–Hill, México, 1976.
- 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  
Yukihiko Minami Koyama*