

# Las Fuerzas de Fricción



## Objetivos

1. Determinar experimentalmente los coeficientes de fricción estática y cinética.
2. Observar la diferencia entre fricción estática y cinética.

## Introducción

Cuando intentamos deslizar un objeto que se encuentra en reposo sobre una superficie horizontal, observamos que el objeto tiene cierta resistencia para comenzar a deslizarse, entonces debemos incrementar la fuerza aplicada hasta que el objeto comienza a moverse, si queremos mantenerlo en movimiento se requiere una fuerza, pero en este caso es menor a la que tuvimos que aplicar justo antes de que comience su movimiento. Esto se debe a que existe una fuerza que se opone a que éste comience a deslizarse o continúe deslizándose. Esta se conoce como la fuerza de fricción o rozamiento.

Diferenciamos entre la fuerza que evita que comience el deslizamiento y la fuerza que se opone a la continuación del deslizamiento una vez el objeto ha comenzado a moverse. A la primera la denominamos fuerza de *fricción estática* y a la segunda fuerza de *fricción cinética*.

La magnitud de la fuerza de fricción estática entre dos superficies en contacto está dada por:

$$f_s \leq \mu_s N \quad (1)$$

donde  $\mu_s$  se conoce como el coeficiente de fricción estático y  $N$  es la fuerza normal entre las superficies. El coeficiente de fricción estático no tiene unidades y solo depende de las dos superficies que están en contacto.

Cuando se aplica la fricción estática, el objeto se mantiene en reposo, por lo tanto, esta siempre es igual a la fuerza que intenta mover el objeto. Las cosas se mantienen así hasta que llegamos a una fuerza de fricción estática máxima ( $f_s^{max}$ ), para la cual se cumple la igualdad de la ecuación 1.

$$f_s^{max} = \mu_s N \quad (2)$$

Si la fuerza aplicada es mayor que esta fuerza de fricción estática máxima, el objeto empieza a moverse y pasamos al régimen de la fricción cinética. Esta fuerza es constante durante el movimiento y está dada por:

$$f_k = \mu_k N \quad (3)$$

donde  $\mu_k$  se conoce como el coeficiente de fricción cinético y  $N$  es la fuerza normal entre las superficies. En general  $\mu_k$  es menor que  $\mu_s$ .

No se deje engañar por la similitud entre las ecuaciones (2) y (3). La primera es la fuerza de fricción estática máxima que puede aguantar un objeto sin que haya deslizamiento y la segunda es la fuerza de fricción cinética constante que sufre un objeto mientras se desliza.

## Procedimiento Primera Parte

En esta parte calcularemos el coeficiente de fricción estático y cinético entre dos superficies (figura 1), utilizando el simulador “*Friction Lab*”.

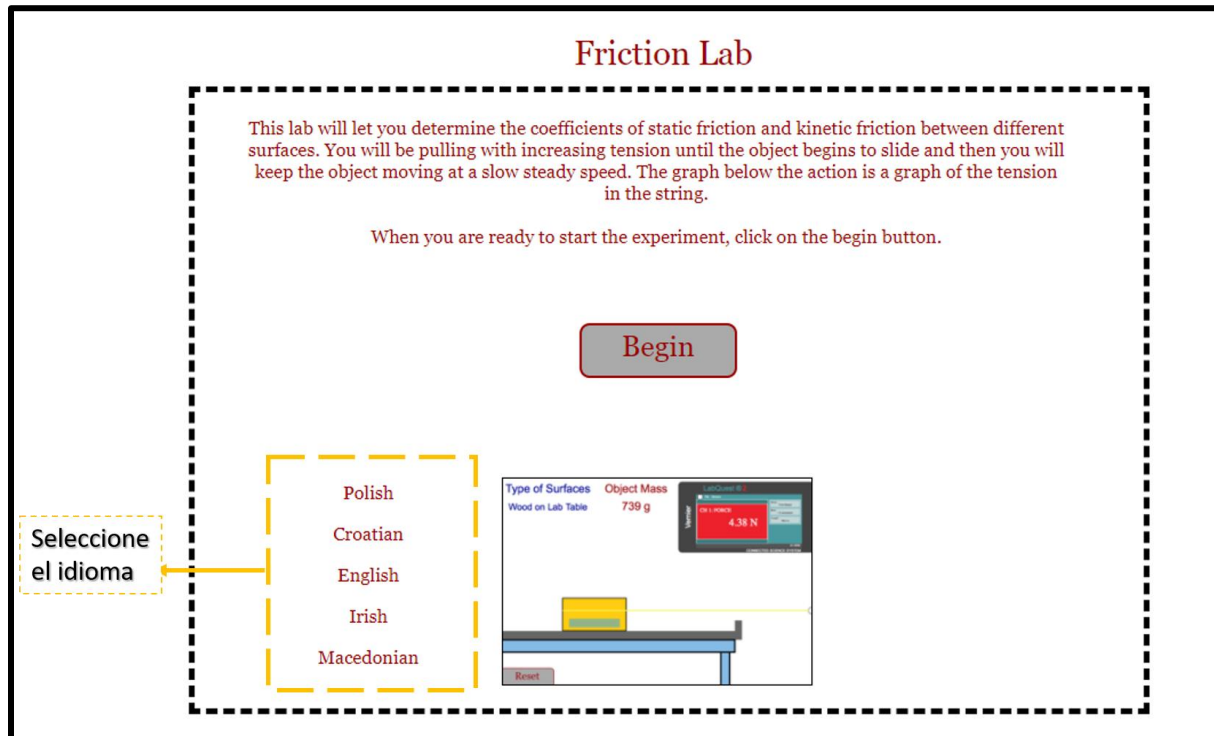



Figura 1 - Simulador “*Friction Lab*”

1. Para comenzar, acceda al simulador utilizando el siguiente enlace:  
<https://www.thephysicsaviary.com/Physics/Programs/Labs/ForceFriction/index.html>
2. En la parte izquierda seleccione “*english*” y haga clic en 
3. En este punto, usted debe estar en el entorno que se muestra en la figura 2. Esta simulación muestra un objeto que reposa sobre una superficie al cual se le aplica una fuerza de tensión, el objeto se conecta a un sensor para medir la fuerza de fricción, su valor se muestra en el “*vernier*” (esquina superior derecha). Hacer click sobre “*type of surfaces*” hasta seleccionar “*rubber on concrete*” como superficies en contacto.

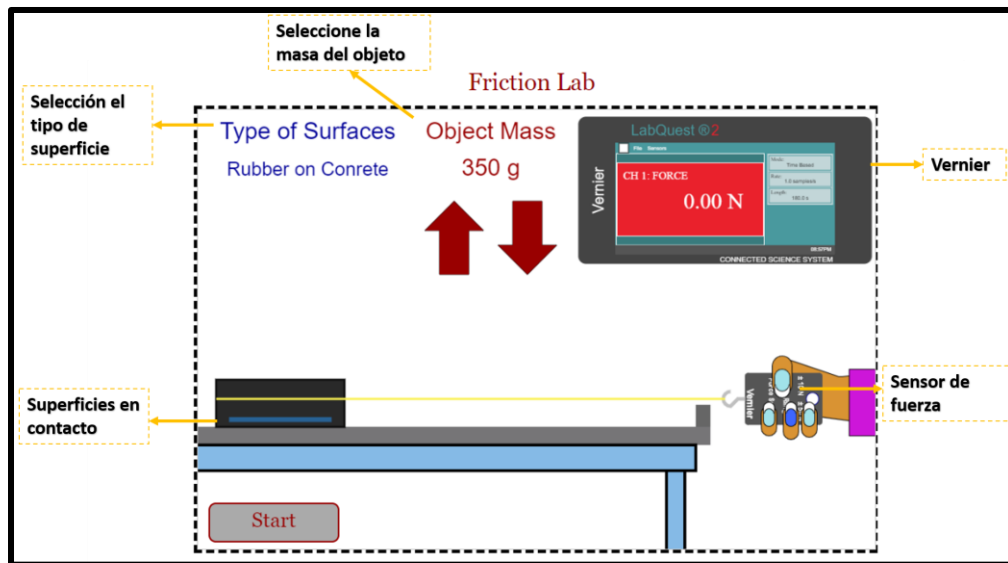



Figura 2 - Montaje experimental.

4. En la opción “*object mass*” usted puede variar la masa del objeto entre 0.1kg hasta 2kg. Empiece con un valor de 0.1 kg para el Caso 1.
5. Ahora presione  para iniciar la simulación. En “*Vernier*” puede observar cómo aumenta la fuerza de fricción hasta un valor máximo que representa  $f_s^{max}$ , en este momento el objeto comienza a moverse y la fuerza de fricción varía lentamente, el promedio corresponde a  $f_k$ .
6. En el recuadro inferior puede observar cómo varía la fuerza de fricción en función del tiempo (figura 3), aquí se presenta el valor de  $f_s^{max}$  y el valor promedio de  $f_k$ .

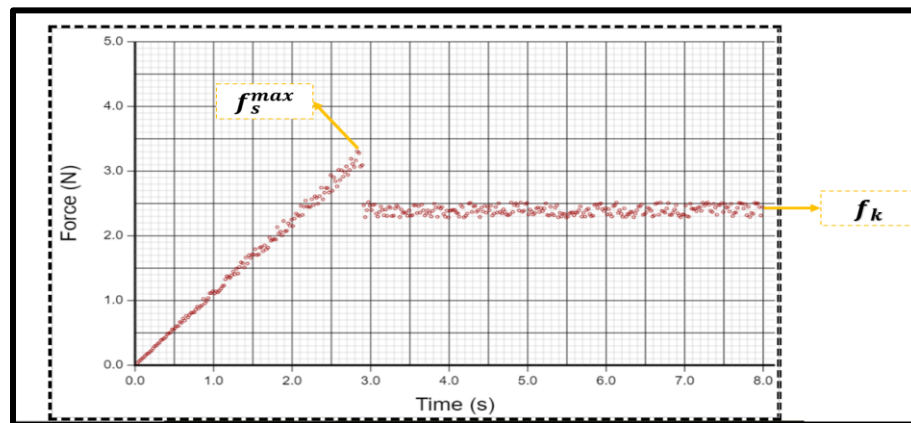


Figura 3 - Fuerza en función del tiempo.

7. Escriba los valores de  $f_s^{max}$  y  $f_k$  en la tabla 1.
8. Incremente la masa y repita los pasos del 5 al 7 hasta completar la tabla 1.

9. Calcule la fuerza normal entre el objeto y la superficie para cada caso en la tabla 1.
10. Grafique  $f_s^{max}$  en función de  $N$  y  $f_k$  en función de  $N$ .
11. A partir de estas dos gráficas, ¿cómo puede encontrar los coeficientes de fricción?

Caso #	m(kg)	N(N)	$f_s^{max}(N)$	$f_k(N)$
1				
2				
3				
4				
5				
6				

Tabla 1- datos para el cálculo de los coeficientes de fricción estático y cinético.

## Procedimiento Segunda Parte




El plano inclinado se puede utilizar para determinar los coeficientes de fricción estática y cinética. Resulta que el ángulo del plano inclinado al cual el objeto comienza a moverse partiendo de reposo está relacionado al coeficiente de fricción estática mediante la ecuación

$$\mu_s = \tan\theta_s \quad (4)$$

El coeficiente de fricción cinética se relaciona al ángulo del plano inclinado al cual el objeto se desliza con rapidez constante mediante la ecuación.

$$\mu_k = \tan\theta_k \quad (5)$$

En esta parte, usaremos al plano inclinado para estudiar y analizar los coeficientes  $\mu_s$  y  $\mu_k$ , utilizando el simulador '*Forces on an Incline Lab*'.

1. Acceda al simulador **“Forces on an Incline Lab”** utilizando el siguiente enlace:  
<https://www.thephysicsaviary.com/Physics/Programs/Labs/ForcesOnInclineLab/>.
2. En la parte del centro, hará click sobre .
3. Aparecerá la simulación, dentro de la cual se podrá variar ciertos parámetros como Coeficientes de Fricción (**“Friction Coefficients”**), Masa del Bloque (**“Block Mass”**) y Fuerza Gravitacional (**“Gravitational Field”**). Para variarlos, se deberá usar las flechas rojas,  para disminuir los valores y  para aumentarlos.

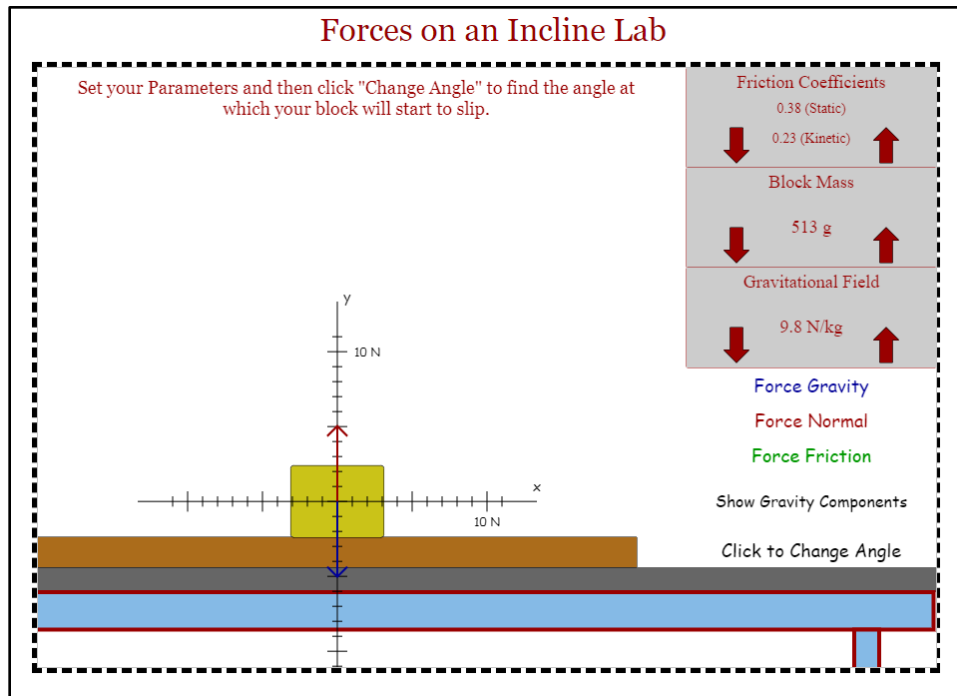


Figura 4.- Vista del simulador en la página web

4. En la opción de **“Block Mass”**, usted deberá usar una masa entre 500 a 550 gramos y mantenerla fija entre sus demás experimentos (en esta segunda parte del Laboratorio). La fuerza gravitacional (**“Gravitational Field”**) siempre se mantendrá a 9.8 N/kg (recordar que  $N/kg$  tiene las mismas unidades que  $m/s^2$ ). En **“Friction Coefficients”**, usted colocará los parámetros que desee.
5. Una vez que configure todos sus parámetros, hará click sobre **“Click to Change Angle”**, lo cual hará que el plano se eleve formando un ángulo de elevación entre éste y la superficie plana. Véase Figura 5.

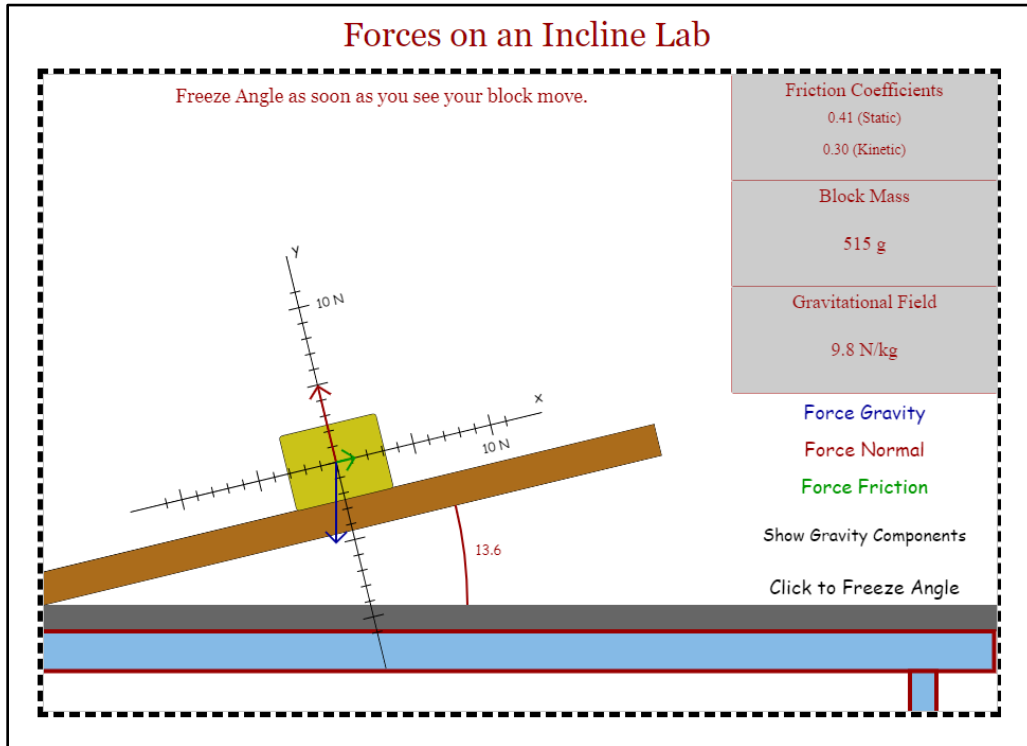


Figura 5 - Plano elevándose y formación de un ángulo con respecto a la superficie plana

6. El ángulo formado entre el plano inclinado y la superficie horizontal va a ir aumentando. Usted debe fijarse *minuciosamente* en el bloque, cuando el bloque empiece a moverse, *automáticamente* debe hacer click en “**Click to Freeze Angle**”.
7. El ángulo que usted obtenga será el “*ángulo de fricción estática máxima*” ( $\theta_s$ ), utilizando la ecuación (4) y el ángulo obtenido, calculará el “*Coeficiente de fricción estática máxima*” ( $\mu_s$  (**calculado**)). Con este coeficiente, usted hallará el porcentaje de error (%E) comparándolo con el coeficiente de fricción estático que haya colocado en el simulador  $\mu_s$ (*simulador*) (**inciso 4** de esta parte de la guía). La ecuación por usarse será la siguiente:

$$\%E = \left| \frac{\mu_s(\text{simulador}) - \mu_s(\text{calculado})}{\mu_s(\text{simulador})} \right| \times 100\% \quad (6)$$

8. ¿En qué **ángulo** aparece el coeficiente de fricción cinética ( $\mu_k$ )?. Para esto, usted usará la ecuación (5), conociendo de antemano el coeficiente de fricción cinética ( $\mu_k$ ) utilizado en la simulación (el valor que usted haya usado en el **inciso 4** de esta parte de la guía). Reemplazará este valor en la ecuación (7) y obtendrá el “*ángulo de fricción cinético*” ( $\theta_k$ ).

$$\begin{aligned} \mu_k &= \tan \theta_k \\ \theta_k &= \tan^{-1}(\mu_k) \end{aligned} \quad (7)$$

9. Repetirá todo este procedimiento, pero variando únicamente “*Friction Coefficients*”. En total serán tres casos, complete las siguientes tablas:

- Para “*Coeficiente de fricción estática máxima*” ( $\mu_s$ ).

Caso #	$\mu_s(\text{simulador})$	$(\theta_s)$	$\mu_s(\text{calculado})$	(%E)
1				
2				
3				

- Para el “*ángulo de fricción cinético*” ( $\theta_k$ ).

Caso #	$\mu_k(\text{simulador})$	$(\theta_k)$
1		
2		
3		

## Referencias

[1] J. López, P. Marrero, E. Roura, Manual de Experimentos de Física I, pág. 69-72 (2008).

## **Las Fuerzas de fricción**

Paola V. Náter, Alec J. Nuñez, Raúl A. Ortiz

Laboratorio Física General 3173-101

Instructor: Kevin García Gallardo Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez

29 de septiembre de 2021.

### **Resumen**

El desarrollo de este laboratorio consistió en exponer las fuerzas de fricción. Como objetivos principales se tuvieron en cuenta los siguientes: determinar experimentalmente los coeficientes de fricción estática y cinética, y observar la diferencia entre estas fricciones. Esto se logró utilizando los simuladores para observar comportamientos de las fuerzas de fricción y la fuerza normal. En la primera parte se probó que un objeto en movimiento experimentará fricción cinética, mientras que uno en reposo experimentará fricción estática. El objeto en reposo comenzará a moverse cuando la fuerza supere la fricción estática máxima. Por otro lado, al comparar coeficientes de fricción de un simulador y calculados, se obtuvo un 6.0% máximo de error debido al margen de error que presenta un simulador manual. También se obtuvo que el coeficiente de fricción dependerá de la inclinación entre la superficie y la horizontal.

### **I. Introducción**

En el experimento Las Fuerzas de Fricción, se estudiará cómo funcionan las fuerzas de fricción, que son fuerzas que se oponen al movimiento de un objeto. Para que el objeto comience a moverse, se debe aplicar una fuerza mayor a la fricción que contiene el objeto para así poder sobrepasar la resistencia que evita la movilidad del objeto. La fuerza de fricción estática evita que comience un deslizamiento y la fuerza de fricción cinética se opone a la continuación del deslizamiento una vez el objeto ya haya comenzado a moverse. En este experimento estudiaremos como determinar experimentalmente los coeficientes de fricción estática y fricción cinética y a observar las diferencias entre ambas fuerzas de fricción. Se utilizarán pruebas y simulaciones para estudiar las fuerzas de fricción para comparar los valores dados por la simulación con los resultados obtenidos por los cálculos de este experimento.

### **II. Datos y Cálculos**



Para obtener los datos de la tabla 1 se utilizó el simulador *Force Friction Lab*. En este simulador se realizaron 6 cosas y cada uno se utilizó una masa distinta entre el rango de 0.1 kg a 2.0kg, donde el simulador reflejó graficas de Fuerzas vs Tiempo en las (Figuras A- J). De estas graficas obtenidas, se estimó  $f_s^{max}$  y el  $f_k$ , y con la misma masa se calculo la fuerza normal (N) utilizando la ecuación  $F_N/N=mg$ . Por ultimo, se realizaron dos graficas en Microsoft Excel, una demostrando la relación entre  $f_s^{max}$  y la fuerza normal (N) y la otra demostrando la relación entre  $f_k$  (N) y la fuerza normal.

Caso #	m(kg)	N(N)	$f_s^{max}$ (N)	$f_k$ (N)
1	0.100	0.981	0.95	0.70
2	0.247	2.423	2.35	1.80
3	0.304	2.982	2.89	2.20
4	0.455	4.464	4.39	3.30
5	0.643	6.308	6.10	4.30
6	0.721	7.073	6.40	5.20

#### Cálculos:

$$F_N = mg$$

$$F_N = 0.100(9.8) = 0.981N$$

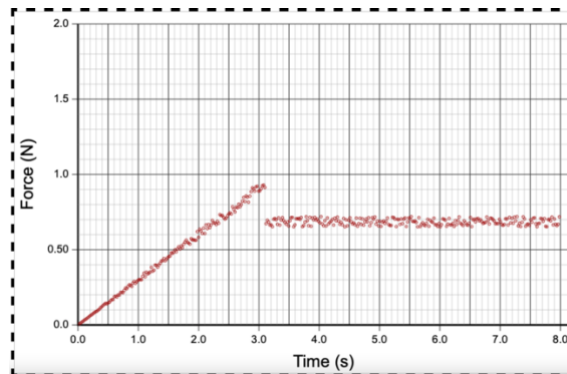


Figura A: Caso #1 0.100kg

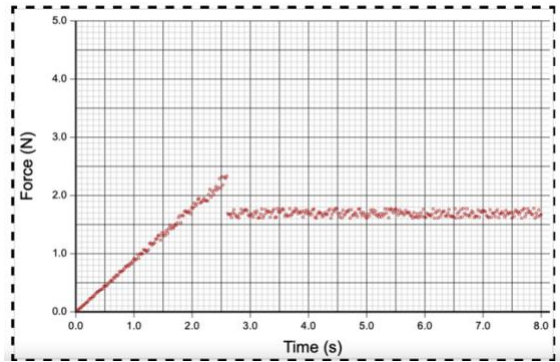


Figura B: Caso#2 0.247kg

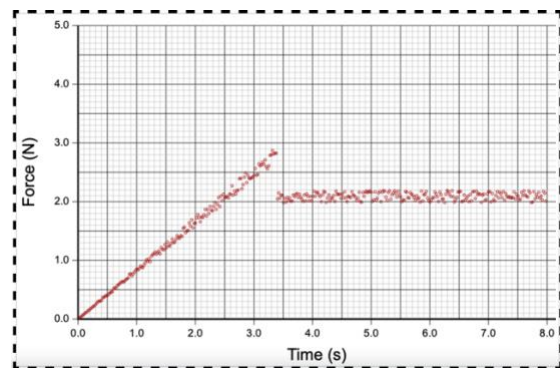


Figura C: Caso#3 0.304kg

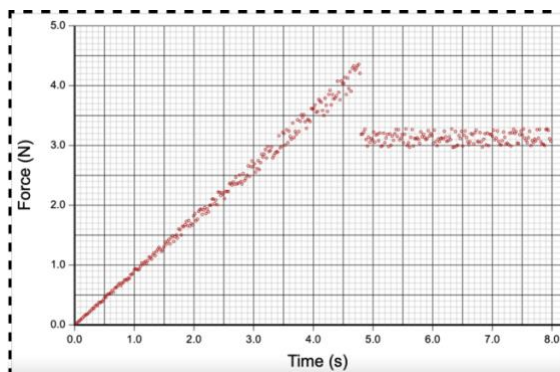


Figura D: Caso#4 0.455kg

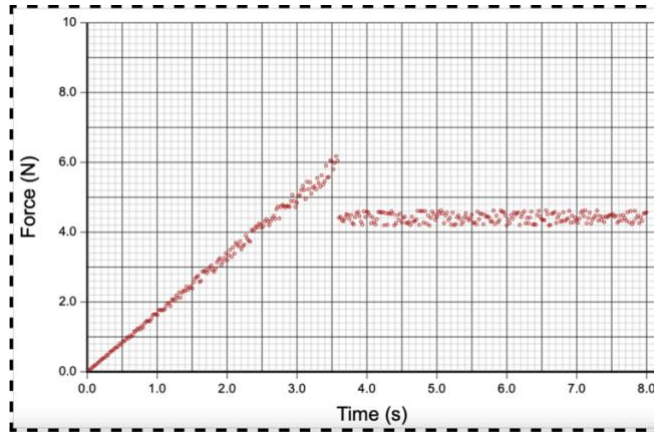


Figura E: Caso#5 0.643kg

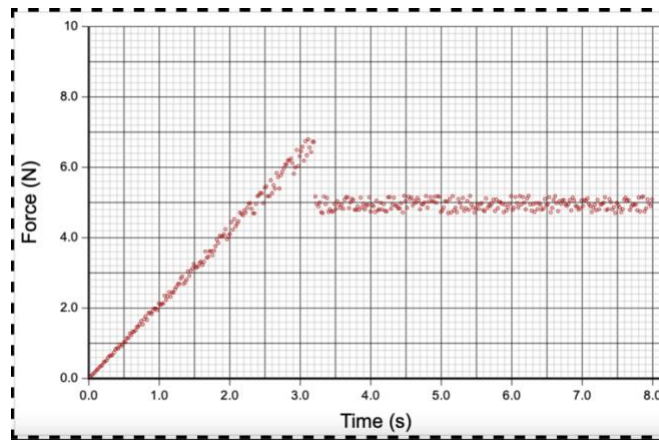


Figura F: Caso#6 0.721kg

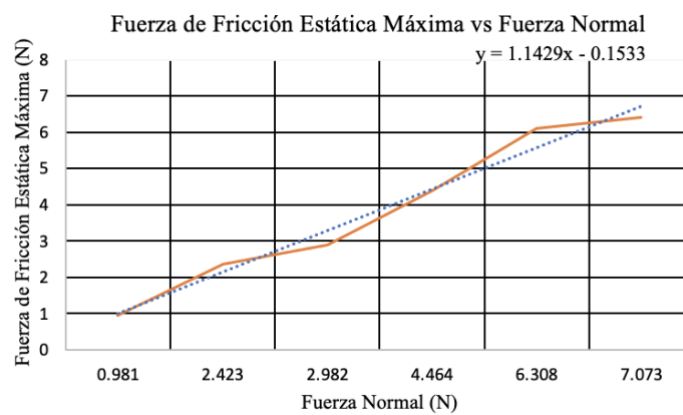


Figura G: Grafica  $f_s^{max}$  vs Fuerza Normal

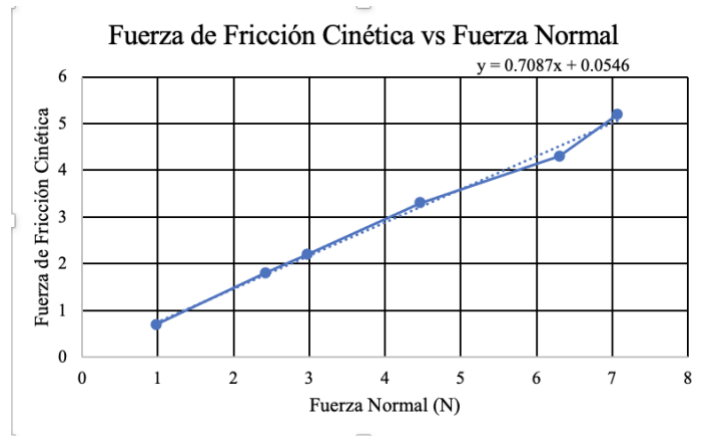


Figura H: Grafica  $f_k$  vs Fuerza Normal

Para obtener los datos de la segunda parte (tabla 2 y 3) se utilizó la simulación Forces on Incline Lab donde se realizaron 3 casos. En estos casos se podía escoger cualquier valor para los coeficientes de fricción, en la masa del bloque entre un rango de 500g a 550g. La fuerza gravitacional utilizada fue constante con 9.8 N/kg. El ángulo de inclinación era bastante notable brindado por el simulador cuando el bloque se empezaba a mover. Es por esto por lo que utilizando las ecuaciones  $\mu_s = \tan\theta_s$  y  $\mu_k = \tan\theta_k$  se calculó la fricción estática y cinética. Para la tabla 2 se calculó con la ecuación [7] y el porcentaje de diferencia entre los coeficientes de fricción del simulador y los calculados.

Tabla 2: Fricción Estática.

Caso #	$\mu_s$ (simulador)	$\theta_s$	$\mu_s$ (calculado)	(%E)
1	0.33	19.5°	0.35	6.0
2	0.40	23.1°	0.42	5.0
3	0.47	26.2°	0.49	4.3

Tabla 3: Fricción Cinética

Caso #	$\mu_k$ (simulador)	$\theta_k$
1	0.21	$11.9^\circ$
2	0.30	$16.7^\circ$
3	0.34	$18.8^\circ$

**Cálculos: Tabla 2, Caso#1**

$$\mu = \tan \theta$$

$$\tan 19.5 = 0.35$$

$$\%E = \left| \frac{\mu_s(\text{simulador}) - \mu_s(\text{calculado})}{\mu_s(\text{simulador})} \right| \times 100$$

$$\%E = \left| \frac{\mu_s(0.33) - \mu_s(0.35)}{\mu_s(0.33)} \right| \times 100 = 6.0\%$$

**Cálculos: Tabla 3, Caso#1**

$$\mu_k = \tan \theta$$

$$\tan^{-1}(0.21) = 11.9$$

$$\tan(11.9) = 0.21$$

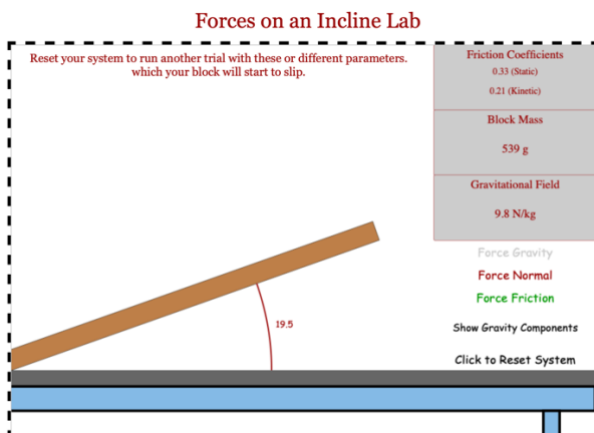


Figura A.1: Caso#1

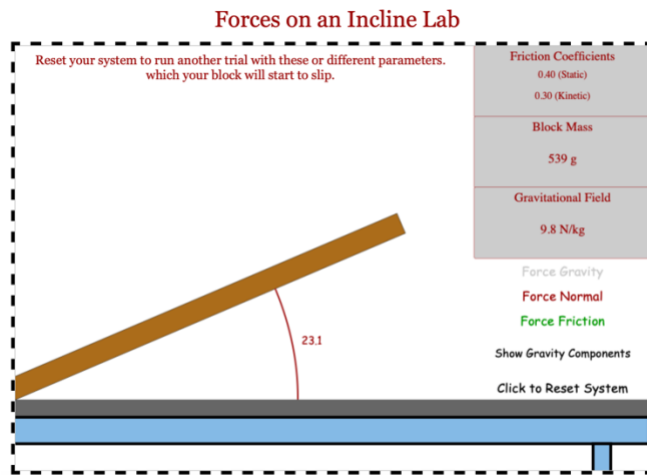


Figura B.1: Caso#2

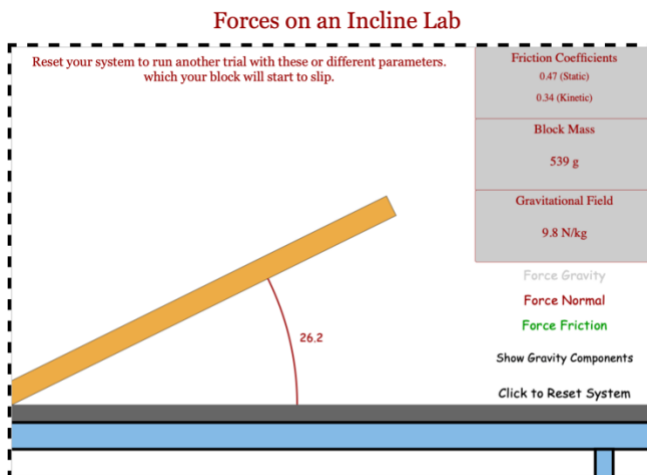


Figura C.1: Caso#3

### III. Análisis de resultados

En la primera parte, de acuerdo con las gráficas de *Fuerza vs Tiempo* brindadas por el simulador, se puede distinguir la fuerza de fricción estática máxima como ese punto más alto representado gráficamente antes de que los datos se mantengan de una forma constante. Esta gráfica demuestra que el objeto comenzará a moverse cuando la fuerza aplicada sobre el objeto sea mayor que esta fricción estática máxima, ya que la fricción estática representa a un objeto en reposo. Cuando la fuerza aplicada sea igual a la fuerza de fricción estática máxima, el objeto comenzará su desplazamiento y la fricción que experimentará será la fuerza de fricción cinética. La fuerza normal utilizada fue igual al peso del objeto debido a que no se ejerce ningún tipo de fuerza sobre este que no sea la gravitacional. La primera gráfica realizada en Excel *Fuerza de*

*Fricción Estática Máxima vs Fuerza Normal* (Fig. G) presenta un comportamiento lineal. Esto significa que ambos conceptos tienen una relación directamente proporcional, mientras un valor aumenta, el otro también lo hará. El mismo comportamiento lineal se observa en la segunda gráfica *Fuerza de Fricción Cinética vs Fuerza normal* (Fig. H), por lo que estos conceptos también tienen una relación directamente proporcional. De ambas gráficas realizadas en Excel, dado a que se observó una tendencia lineal, la gráfica de *Fuerza de Fricción Cinética vs Fuerza normal* fue más precisa en sus valores con respecto a la fuerza normal. En la segunda parte, se utilizó la simulación *Forces on an Incline Lab* para calcular la fricción estática y cinética a través del coeficiente de fricción, la masa del bloque y la fuerza gravitacional. Se observó que a medida que se incrementa el ángulo entre la superficie y la horizontal, la fuerza de su peso será mayor, pero de igual manera aumentará la fricción que mantiene al objeto estático. Además, a medida que aumenta el ángulo entre la superficie y la horizontal, la superficie comienza a verse paralela a la fuerza del peso del objeto. Una vez la fuerza del peso del objeto supere la fuerza de fricción estática máxima, este comenzará a desplazarse. Este ángulo puede ser utilizado para encontrar el coeficiente de fricción estático teórico. Los resultados de fricción estática (tabla 2) demostraron un porcentaje de error con un rango de 4.3% a 6.0%. Este rango de porcentaje de error se debe a errores humanos, ya que el simulador se debe detener manualmente para anotar los datos y la exactitud puede variar con ángulo mayores o menores a los que deben ser. Los resultados de fricción cinética (tabla 3) demostraron que el ángulo de inclinación y la fricción cinética tiene una relación directamente proporcional ya que, al aumentar el ángulo, aumentó el valor de la fricción cinética.

#### **IV. Conclusión**

En el laboratorio “Las Fuerzas de Fricción” se estudiaron las fuerzas de fricción estática y cinética. El objetivo principal fue determinar los coeficientes de fricción y observar la diferencia entre ambos tipos estática y cinética. Se determinó la relación entre la fuerza de fricción estática máxima y la fuerza de fricción cinética ambas con fuerza normal. Se utilizó “Force Friction Lab” para obtener las gráficas y los datos en base a lo antes mencionado se pudo concluir que ambas relaciones fueron directamente proporcionales. Luego con el simulador “Forces on an Incline Lab”, al calcular la fricción estática y cinética a través de la masa del bloque, coeficiente de fricción y la fuerza gravitacional se obtuvo que el mayor porcentaje de error en la fricción estática fue 6.0%; este porcentaje se justifica dado al

error humanos al utilizar el simulador y tener que detenerlo de forma manual. Finalmente, la relación entre el ángulo de inclinación del objeto respecto a la horizontal y la fricción cinética resultó ser directamente proporcional, ya que el ángulo en el cuál ese objeto se encuentra afecta la fuerza necesaria para moverlo. Mientras el ángulo se hacía mayor, era mayor la fuerza necesaria entre la horizontal y la superficie.

#### V. Referencias

[1] J. López, P. Marrero, E. Roura, Manual de Experimentos de Física I, pág. 69-72 (2008)

[2] The Physics Aviary, Force Friction Lab. 2013.

Disponible <https://www.thephysicsaviary.com/Physics/Programs/Labs/ForceFriction/index.html.ab/>

[3] The Physics Aviary, Forces on an Incline Slab. 2013.

Disponible <https://www.thephysicsaviary.com/Physics/Programs/Labs/ForcesOnInclineL>

INICIALES: P. N. O 1, R.O.R.2, A.J. N. P.3