

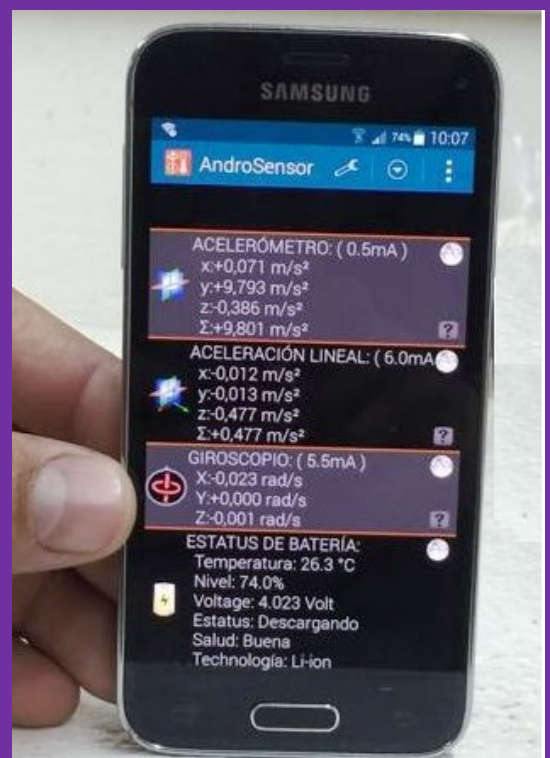


Aprendizaje de física experimental

El Aula-Laboratorio en casa

Propuestas experimentales para estudiantes - Versión 1.0

José Di Laccio-Andrés Monetta-Javier Carro



El Laboratorio en casa

Índice general

I	Laboratorio 4	
1	Leyes de la dinámica de Newton	7
1.1	Fuerza de roce seco	7
1.1.1	Rozamiento estático y dinámico	7
1.1.2	Bloque en un plano inclinado	8
1.1.3	Sistema vinculado 1: cuerpo en plano horizontal	8
1.1.4	Sistema vinculado 2: máquina de Atwood	9
1.2	Proyecto 1: Coeficientes de rozamiento estático y dinámico	10
1.2.1	Introducción	10
1.2.2	Equipo	10
1.2.3	Sugerencias de trabajo	11
1.3	Proyecto 2: Sistema vinculado y rozamiento dinámico	11
1.3.1	Introducción	11
1.3.2	Equipo	11
1.3.3	Sugerencias de trabajo	11
1.4	Proyecto 3: Ley de Newton	12
1.4.1	Introducción	12
1.4.2	Equipo	12
1.4.3	Sugerencias de trabajo	13



Laboratorio 4

- 1 Leyes de la dinámica de Newton 7**
- 1.1 Fuerza de roce seco
- 1.2 Proyecto 1: Coeficientes de rozamiento estático y dinámico
- 1.3 Proyecto 2: Sistema vinculado y rozamiento dinámico
- 1.4 Proyecto 3: Ley de Newton

El Laboratorio en casa

1. Leyes de la dinámica de Newton

1.1 Fuerza de roce seco

1.1.1 Rozamiento estático y dinámico

Al intentar arrastrar un bloque el contacto con el piso ofrece una resistencia de adherencia para iniciar el movimiento así como para mantenerlo moviéndose luego. Esta fuerza de adherencia que describe este efecto a nivel fenomenológico se denomina fuerza de rozamiento y pueden diferenciarse dos tipos: estático y dinámico.

Las ecuaciones que describen la fuerza de rozamiento son aproximadas y fueron estudiadas experimentalmente en un primer momento por Da Vinci, mediante el deslizamiento de un cubo sobre una superficie. No obstante, sus investigaciones no tuvieron gran difusión. Posteriormente, Amontons en el s. XVII estudió el rozamiento seco entre dos superficies planas llegando a obtener conclusiones que aún se mantienen vigentes y luego fueron acrecentadas por Coulomb [3]. Las ecuaciones empíricas para la fuerza de roce estático f_{re} y para la fuerza de rozamiento dinámico f_{rd} muestran que el módulo de la fuerza de rozamiento es proporcional a la fuerza normal (N):

$$f_{re} \leq \mu_e N \quad (1.1)$$

$$f_{rd} = \mu_d N \quad (1.2)$$

Los coeficientes μ_e y μ_d son los coeficientes de rozamiento estático y dinámico respectivos. Estos coeficientes son adimensionados y su valor depende de la rugosidad y adherencia mutua de las superficies en contacto. La fuerza normal es la proyección de la fuerza de reacción del plano de apoyo en la dirección de la normal a la superficie.

Este modelo asume que las fuerzas son independientes de la velocidad. Hay autores que muestran que si se aplica una fuerza F al bloque tal que $\mu_d N < F < \mu_e N$, y se perturba al cuerpo para que inicie su movimiento, la fuerza de roce depende de la velocidad [2].

La fuerza de rozamiento estático máximo es:

$$f_{re_{max}} = \mu_e N \quad (1.3)$$

1.1.2 Bloque en un plano inclinado

Cuando un bloque está en un plano inclinado fijo al suelo, como el de la figura 1.1, las fuerzas que actúan son el peso \vec{P} , la normal \vec{N} y la fuerza de rozamiento dinámico \vec{f}_{rd} . Aplicando la segunda ley de la dinámica de Newton, $\vec{F}_n = m\vec{a}$, tenemos en la dirección y sentido del movimiento (\vec{e}_1):

$$mg \sin \theta - f_{rd} = ma \quad (1.4)$$

que al sustituir la f_{rd} por su forma explícita, ecuación 1.4, y despejar la aceleración queda:

$$a = g \sin \theta - \mu_d g \cos \theta \quad (1.5)$$

La aceleración es constante y el movimiento que describe el bloque es uniformemente acelerado hasta llegar a la base del plano.

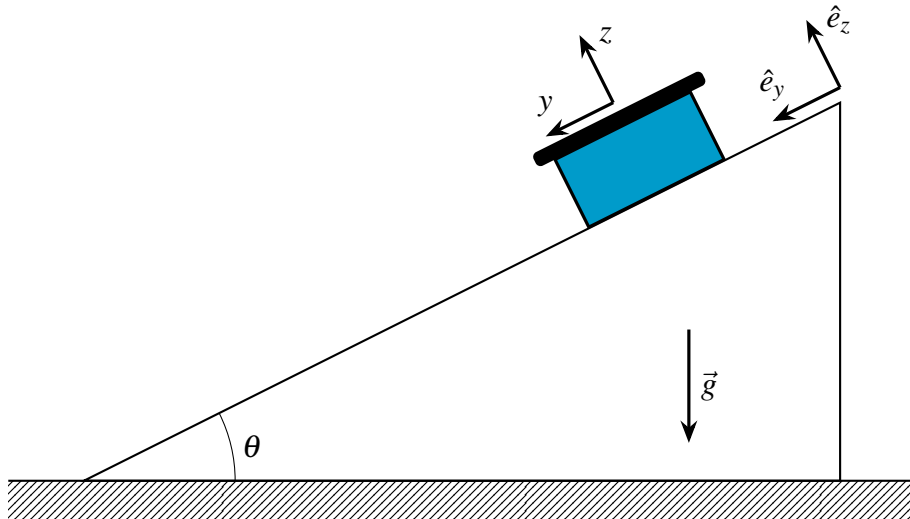


Figura 1.1: Bloque en un plano inclinado fijo al suelo.

1.1.3 Sistema vinculado 1: cuerpo en plano horizontal

Considere el sistema vinculado de la figura 1.2, se tienen dos bloques m_1 y m_2 unidos entre sí a través de un hilo muy liviano y tal que su longitud es mucho mayor que cualquier deformación que se le produzca, que pasa por una polea de masa mucho menor que la de

los bloques y con un roce muy pequeño con su eje tal que se puede dejar de lado. En esta situación el valor de la tensión en el hilo es la misma en toda su extensión y la aceleración de ambos bloques tiene igual módulo.

Si se aplica la segunda de las leyes de la dinámica de Newton, se puede escribir:

$$\begin{aligned} T - f_{rd} &= m_1 a \\ m_2 g - T &= m_2 a, \end{aligned}$$

en donde se ha tomado como positivo el sentido de movimiento del sistema (m_1 horizontal y hacia la derecha y m_2 vertical y hacia abajo). Si se elimina la incógnita de la tensión entre las ecuaciones anteriores y se despeja la aceleración se tiene:

$$a = \frac{m_2 g - f_{rd}}{(m_1 + m_2)}. \quad (1.6)$$

En donde la fuerza de rozamiento se puede determinar con la ecuación 1.2, siendo en este caso el módulo de la fuerza normal igual al módulo de la fuerza peso: $N = P_1$.

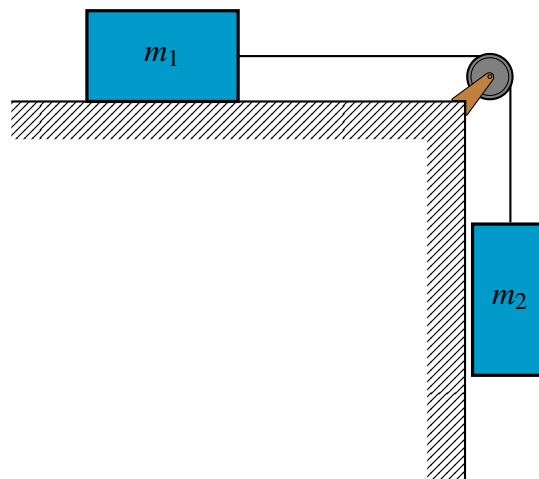


Figura 1.2: Sistema vinculado formado por dos masas.

1.1.4 Sistema vinculado 2: máquina de Atwood

El sistema vinculado de la figura 1.3, se conoce como máquina de Atwood. Está formada por dos masas, m_1 y m_2 , conectadas por un hilo muy liviano que no se estira y por una polea muy liviana respecto de las masas que penden y con roce despreciable con el eje. Si se realiza el diagrama de cuerpo libre y se aplica la segunda ley de la dinámica de Newton a cada masa obtenemos:

$$\begin{aligned} T - m_1 g &= m_1 a \\ m_2 g - T &= m_2 a, \end{aligned}$$

note que se ha usado como positivo el sentido de movimiento horario. Se ha tomado como positiva la dirección vertical y hacia arriba para m_1 y como positiva para m_2 la

dirección vertical y sentido hacia abajo. La aceleración del sistema puede obtenerse al usar las ecuaciones anteriores, si despejamos de cada una de ellas la tensión T e igualamos obtenemos:

$$a = \frac{(m_2 - m_1)g}{(m_1 + m_2)}. \quad (1.7)$$

Si las masas son iguales el sistema está en equilibrio y si m_2 es mayor a m_1 el sistema tiene un movimiento rectilíneo con aceleración constante. Aquí se ha supuesto el sentido de movimiento positivo cuando m_2 desciende.

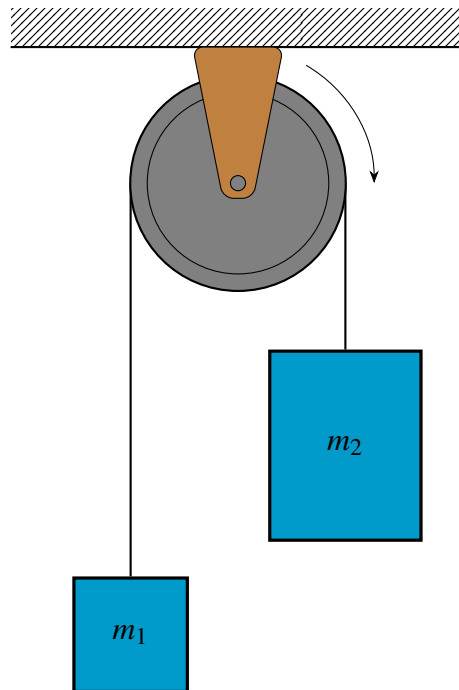


Figura 1.3: Sistema vinculado compuesto por dos masas unidas por un hilo liviano e inextensible y una polea ideal.

1.2 Proyecto 1: Coeficientes de rozamiento estático y dinámico

1.2.1 Introducción

En este proyecto estudiaremos las leyes de rozamiento estático y dinámico. Para ello usaremos un plano inclinado con la posibilidad de variar el ángulo de inclinación y un bloque con un teléfono adherido a este. También es necesario contar con una App que sea capaz de medir ángulos y aceleración.

1.2.2 Equipo

Un plano inclinado, un teléfono inteligente adherido a una madera cepillada o similar que tenga una superficie de contacto plana, la App AndroSensor disponibilidad a los sensores de orientación, acelerómetro y gravedad.

1.2.3 Sugerencias de trabajo

- Implemente un plano inclinado como el de la figura 1.1, al bloque que deslizará sobre la superficie se le debe adherir el teléfono inteligente.
- Demuestre, a partir de la ecuación 1.3 y el diagrama de fuerzas para el sistema en reposo que se cumple: $\mu_e = \tan \theta$, en donde θ es el ángulo correspondiente al desprendimiento del bloque del plano inclinado.
- Para determinar el ángulo crítico eleve lentamente el ángulo del plano inclinado y observe en AndroSensor (sensor orientación) el ángulo en que se desprende el bloque. Si lo desea puede determinar este ángulo simplemente usando un semicírculo o una cinta métrica y usar trigonometría básica. ¿Cuánto vale el coeficiente de rozamiento estático en sus condiciones experimentales?
- Una vez determinado el ángulo crítico use ángulos por encima de este para determinar el coeficiente de rozamiento dinámico. En este caso usaremos: $\mu_d = \left| \frac{a_y(t)}{a_z(t)} \right|$, en el anexo de smartphones se discute este resultado. Utilice al menos cinco ángulos por encima del crítico y determine el coeficiente de rozamiento dinámico como el promedio de los coeficientes obtenidos.
- Varíe la masa del bloque, por ejemplo agregando pesas, y determine nuevamente el coeficiente de rozamiento dinámico. ¿Se producen variaciones significativas? ¿En qué influye el cambio de masa del bloque?

1.3 Proyecto 2: Sistema vinculado y rozamiento dinámico

1.3.1 Introducción

Si en la figura 1.2 la masa de la polea es pequeña frente al resto de las masas del sistema (m_1 y m_2) y la fuerza de roce es $f_{rd} = \mu_d N$, según la segunda ley de la dinámica de Newton la aceleración puede escribirse como: $a = \frac{m_2 g - f_{rd}}{(m_1 + m_2)}$. La aceleración es constante y la expresión anterior puede escribirse, introduciendo la pseudovariante: $\xi = \frac{(m_1 + m_2)a}{g}$ que surge de trasponer multiplicando la suma de las masas a la aceleración y de dividir entre la aceleración gravitatoria, g . Esta forma, y la expresión explícita de la fuerza de roce dinámico, nos permite reescribir la expresión de forma reducida:

$$\xi = m_2 - \mu_d m_1 \quad (1.8)$$

que implica una dependencia lineal de ξ con respecto a m_1 [4]. De este modo tenemos dos indicadores experimentales de la validez de las hipótesis, la obtención de un valor constante de aceleración en el tiempo y la dependencia lineal de ξ con m_1 . En este caso estudiaremos si nuestro sistema puede describirse por el modelo que se propone.

1.3.2 Equipo

Una mesa, dos bloques, pesas, hilo, una pulea y un teléfono inteligente. En el mercado existen puleas de material de plástico muy livianas que son de muy bajo costo y adecuadas para este proyecto.

1.3.3 Sugerencias de trabajo

- Realice un montaje similar al de las figuras 1.4 y 1.2. Son dos bloques, m_2 pende del hilo y el otro bloque al que llamaremos m_1 está compuesto por un teléfono inteligente

adherido a una madera. La polea es muy liviana comparada con las masas de los bloques y con roce despreciable con el eje, y el hilo es muy liviano e inextensible. El teléfono inteligente tiene la función de recolectar los datos de aceleración mediante la aplicación AndroSensor y el sensor acelerómetro.

- Utilizando su teléfono inteligente, construya gráficos de la aceleración del sistema en función del tiempo para diferentes valores de m_1 manteniendo fija m_2 . Más allá de las fluctuaciones propias de la medición, ¿la aceleración puede modelarse como constante? De serlo, determine la aceleración para los distintos valores de m_1 usados.
- Represente gráficamente la pseudovariante ξ en función de m_1 . De ser este gráfico lineal, obtenga el valor de μ_d y discuta la validez del modelo propuesto para explicar sus observaciones. ¿Qué estarían validando o rechazando sus observaciones?

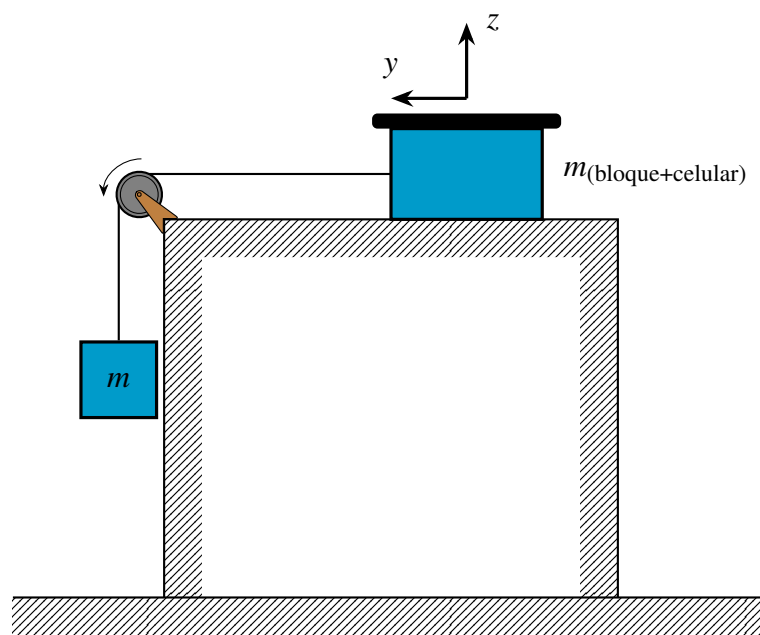


Figura 1.4: Sistema vinculado para estudiar el coeficiente de rozamiento dinámico.

1.4 Proyecto 3: Ley de Newton

1.4.1 Introducción

En este proyecto partimos de la segunda ley de Newton para analizar un sistema vinculado y como objetivo buscamos determinar una masa desconocida para analizar la adaptabilidad de esta ley a un caso real y no modelado como en el ejercicio clásico.

1.4.2 Equipo

Un teléfono inteligente con la aplicación AndroSensor, hilo delgado, un cuerpo de masa desconocida del orden de la masa del celular, un par de poleas livianas, una balanza y opcionalmente una computadora personal.

1.4.3 Sugerencias de trabajo

- Realice el diagrama de cuerpo libre para cada una de las masas y obtenga la ecuación de movimiento para cada una de ellas. Suponga el hilo inextensible y sin peso y además que las poleas son muy livianas y sin roce con el eje.
- Demuestre que para el caso en donde m_x es mayor a la masa del celular (m_{celular}) se cumple: $m_x = m_{\text{celular}} \frac{(g+a)}{(g-a)}$ y que cuando m_x es menor se cumple: $m_x = m_{\text{celular}} \frac{(g-a)}{(g+a)}$
- Implemente un dispositivo equivalente a una máquina de Atwood como se ilustra en la figura 1.5 [1].
- Configure la aplicación AndroSensor de su teléfono para medir la aceleración del sistema con un intervalo de grabación de 5 ms. Se sugiere usar el eje y del teléfono en la dirección y sentido del movimiento.
- Con el sistema en reposo, inicie la recolección de datos y libere su celular, con las precauciones del caso para que no se dañe. Determine la aceleración supuesta constante a partir de sus datos experimentales. Repita esta medición cinco veces. Determine el promedio de aceleraciones de los cinco y obtenga una estimación de la incertidumbre estadística.
- Calcule la masa m_x con su incertidumbre y compare con la medida directa de la masa del objeto usando una balanza.
- Brinde una expresión para la velocidad y posición del teléfono como función del tiempo usando los datos registrados. Puede ser útil ver el anexo smartphones.

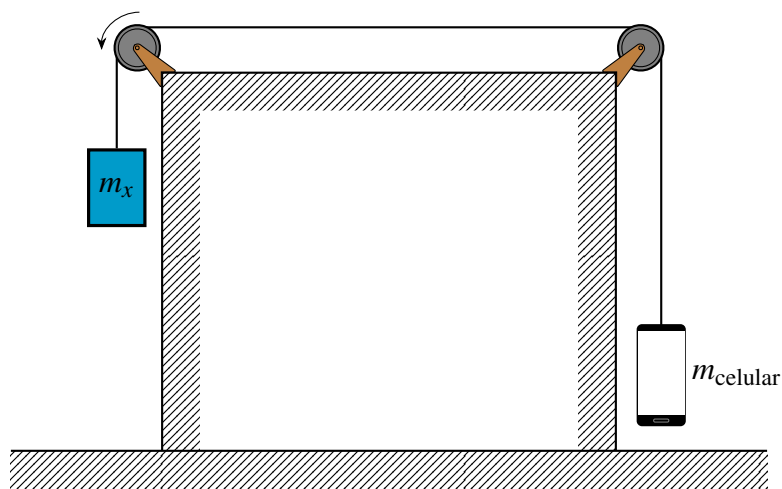


Figura 1.5: Sistema vinculado compuesto por dos masas, de forma equivalente a una máquina de Atwood.