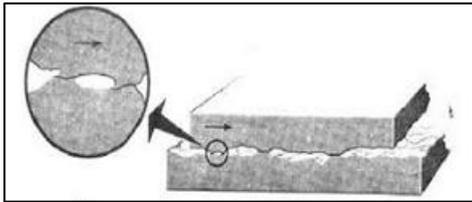


ROZAMIENTO AL DESLIZAMIENTO Y ROZAMIENTO POR RODADURA

LA FUERZA DE ROZAMIENTO POR DESLIZAMIENTO Y POR RODADURA

Las fuerzas de rozamiento están presentes en casi todos los fenómenos que observamos. Intervienen en el movimiento de objetos en el seno de fluidos (como, por ejemplo, el aire o el agua), cuando se produce deslizamiento de un objeto sobre otro, cuando un objeto rueda sobre una superficie, etc.



El estudio de estas fuerzas es muy complejo, aunque se limite al caso de las fuerzas de rozamiento por deslizamiento, donde basta observar el proceso a escala microscópica para apreciar esta complejidad. El perfil de las superficies dista mucho de ser plano y el área real de las superficies en contacto es mucho menor que el que aparenta a escala macroscópica. Se producen adherencias

entre las zonas en contacto y con el deslizamiento se deforman esas zonas. A escala atómica, estas adherencias y deformaciones se relacionan con interacciones de los átomos y/o las moléculas de la superficie del objeto con otros átomos y/o otras moléculas de la superficie sobre la que desliza. Se pueden producir roturas y nuevas formaciones de enlaces químicos,...

Con estas complicaciones no es sorprendente que no haya una teoría exacta del rozamiento al deslizamiento y que las leyes del mismo sean empíricas. Dichas leyes consideran una **fuerza global o macroscópica de rozamiento al deslizamiento** que representa a la resultante de las múltiples interacciones ejercidas entre las superficies.

Para encontrar una expresión de esta fuerza global, tenemos en cuenta que las experiencias cotidianas (y experimentos más precisos realizados en el laboratorio) constatan que al aplicar fuerzas de tracción, F , pequeñas a un objeto colocado encima de una superficie plana, el mismo no llega a deslizar, lo que indica que la fuerza de rozamiento al deslizamiento, f_r , equilibra a la fuerza de tracción aplicada. Aumentando la fuerza de tracción, llega un momento en que conseguimos poner en movimiento al objeto. A partir de ese momento, podemos desplazar el objeto con velocidad constante aplicando de forma sostenida una fuerza igual a la fuerza de rozamiento al deslizamiento. Aunque aumente la fuerza aplicada, la fuerza de rozamiento se mantiene constante, como se puede comprobar determinando experimentalmente la aceleración.

Acerca de los factores que pueden influir en el valor de esta fuerza de rozamiento cuando el cuerpo desliza, es lógico plantear que dicho valor debería depender de la intensidad de contacto entre el objeto y la superficie (es decir, de la fuerza normal que ejerce el plano sobre el objeto) y de algunas propiedades de las superficies en contacto. Estas propiedades de las superficies son muy difíciles de concretar de forma operativa y las resumimos mediante un coeficiente μ , con objeto de formular, a modo de hipótesis, las siguientes leyes del rozamiento al deslizamiento:

- 1) La fuerza de rozamiento al deslizamiento es proporcional a la fuerza de interacción normal entre la superficie y el objeto.
- 2) La fuerza de rozamiento al deslizamiento es proporcional al coeficiente.

Es decir:

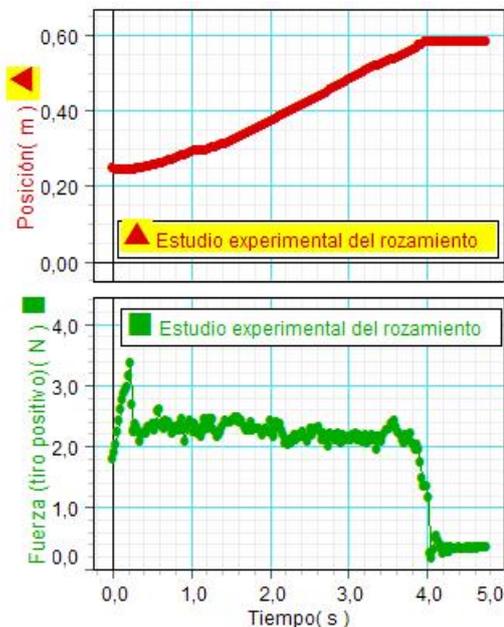
$$f_r = \mu \cdot N \text{ (ley del rozamiento al deslizamiento)}$$

El coeficiente μ se llama coeficiente dinámico de rozamiento, para diferenciar la fuerza f_r de la que habrá que ejercer para poner en movimiento al objeto (mayor que f_r)

Si los objetos ruedan en lugar de deslizar la fuerza global de rozamiento es menor y hablamos de rozamiento por rodadura. Evidentemente, la superficie de contacto de un cuerpo rodante (un coche, un carrito, una pelota,..) es mucho más pequeña y no se arrastra sobre la otra superficie, sino que únicamente se apoya en ella durante un breve instante. Pero, a pesar de estas diferencias con el rozamiento por deslizamiento, cabe plantear, a modo de hipótesis, una expresión teórica de la fuerza de rozamiento por rodadura similar a la de la fuerza de rozamiento por deslizamiento, cambiando el coeficiente μ (deslizamiento) por otro coeficiente menor, que llamamos ρ (rodadura).

La diferencia entre los valores de μ y de ρ explica por qué para detener un vehículo bloqueamos las ruedas (al pisar el pedal de freno) Conseguimos así que el vehículo se detenga mucho antes de cuando lo haría si, simplemente, dejáramos de acelerar.

EXPERIMENTOS Y SIMULACIONES SOBRE EL ROZAMIENTO POR DESLIZAMIENTO



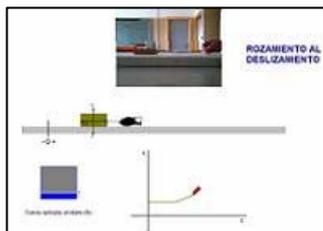
Utilizando sensores de fuerza y de movimiento, realizamos en el laboratorio una detallada investigación sobre la fuerza de rozamiento al deslizamiento.

Los experimentos permiten diferenciar entre la fuerza de rozamiento estática, igual a la fuerza aplicada al objeto mientras éste aún no desliza, y la fuerza de rozamiento al deslizamiento dinámica, que se ejerce entre la superficie y el cuerpo cuando éste último desliza (para un cuerpo dado y una determinada superficie, la fuerza de rozamiento dinámica es prácticamente constante durante el deslizamiento, con independencia de la mayor o menor velocidad del objeto) También se obtiene con bastante claridad el pico de fuerza necesario para poner en movimiento al objeto (para hacerlo, se requiere ejercer una fuerza mayor que la necesaria para luego mantener ese movimiento)

En el IES "Suanzes" de Avilés, los estudiantes de 4º ESO realizan de forma autónoma otra práctica muy interesante destinada a contrastar la ley del rozamiento al deslizamiento y obtener el coeficiente de rozamiento μ . El diseño experimental usa un montaje tipo máquina de Atwood para producir un movimiento uniformemente acelerado y células fotoeléctricas para determinar dos posiciones del movimiento del bloque. El profesor Luís Ignacio García dirige esta investigación y preparó un clip de video sobre la misma, disponible en su página FisQuiWeb



Para trabajar estos conceptos, prestando atención particular a la diferencia entre el rozamiento estático y dinámico, diseñamos en el Departamento una animación *Modellus* que establece una correspondencia entre el movimiento real de un objeto deslizando encima de una mesa cuando tiramos de él con un dinamómetro (filmado) y el de un objeto virtual

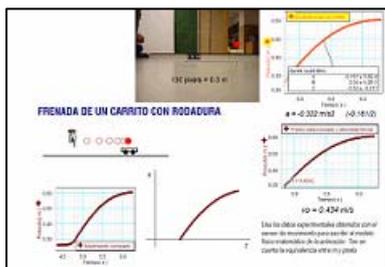


que obedece a las leyes del rozamiento (la correspondencia no tiene en cuenta los valores reales de la fuerza -muy difícil de medir con el dinamómetro-, sino que, con objeto de indicar el concepto, se ha exagerado el pico en la representación vectorial de la fuerza de rozamiento del objeto virtual) El usuario de la animación puede modificar el valor de la fuerza aplicada al objeto virtual y comprobar que deja de estar en sintonía con el objeto real.

EXPERIMENTOS SOBRE EL ROZAMIENTO POR RODADURA

Para comprobar que la fuerza de rozamiento por rodadura tiene un valor constante a lo largo del movimiento, realizamos en el laboratorio un experimento doble, consistente en hacer rodar un carrito por un carril horizontal y estudiar su movimiento hasta que el carrito se detiene tanto con la ayuda de los sensores como, también, con el programa *Modellus*.

Se utiliza un sensor de movimiento (a la izquierda en la imagen adjunta) para tomar posiciones del mismo y una cámara para grabar el video y analizarlo con *Modellus*. Los datos experimentales obtenidos con el sensor de posición permiten establecer la ecuación del movimiento, constatando que es uniformemente acelerado. Estos resultados se usan para diseñar una animación



Modellus que establece una correspondencia entre el movimiento de un carrito virtual uniformemente acelerado (como modelo físico-matemático que lo rige, los estudiantes escriben la ecuación obtenida en la primera parte del experimento) y el movimiento del carrito real (filmado).

PROBLEMAS PENDIENTES. NUEVAS INVESTIGACIONES

¿Cómo influye el rozamiento del medio? Para avanzar en esta cuestión realizamos investigaciones sobre el rozamiento en el seno de un fluido, estudiando de forma particular el rozamiento a la penetración de un objeto en el aire y en el agua.

A los experimentos, materiales y referencias citados en este documento se accede desde la página dedicada al Estudio del Movimiento Circular Uniforme (<http://intercentres.edu.gva.es/iesleonardodavinci/Fisica/Rozamiento/Rozamiento.htm>) dentro de la web del Departamento de Física y Química del IES "Leonardo Da Vinci" de Alicante (<http://intercentres.edu.gva.es/iesleonardodavinci/Fisica/fisica.htm>)