

Laboratorio de Cinemática y Dinámica

Práctica 5

Fundamentos del impacto aplicados al billar

Introducción

Todos los cuerpos que presentan un movimiento, tienen la característica de presentar un impulso; cuando un cuerpo se encuentra acelerado, es porque hay una fuerza externa que ha provocado una aceleración, es por ello que podemos decir que el cuerpo ha sido impulsado.

El impulso corresponde a la fuerza que se aplicó a un cierto cuerpo durante cierto tiempo, y que provocó en éste un desplazamiento. El impulso es una magnitud vectorial, que está dado por:

$$\bar{I} = \int_{t_1}^{t_2} \bar{F} dt$$

El momento lineal o cantidad de movimiento es una magnitud vectorial, al igual que el impulso, y está dado por:

$$\bar{P} = m \bar{v}$$

A partir de la Segunda Ley de Newton, se puede verificar que:

$$\bar{F} = m \bar{a}$$

$$\bar{F} = m \frac{d\bar{v}}{dt}$$

$$\bar{F} dt = m d\bar{v}$$

$$\int_{t_1}^{t_2} \bar{F} dt = \int_{v_1}^{v_2} m d\bar{v}$$

$$\int_{t_1}^{t_2} \bar{F} dt = m \bar{v}_2 - m \bar{v}_1$$

es decir, que el impulso aplicado a un cuerpo es igual al incremento de la cantidad de movimiento lineal que experimenta dicho cuerpo.

Ley de la conservación del momento lineal

Dicha ley propone que si la resultante de las fuerzas externas que interactúan en el sistema es nula, la cantidad de movimiento lineal se conserva. Esta ley es la que nos permite estudiar el fenómeno del impacto, que se puede establecer como el evento en el que dos cuerpos con velocidades diferentes chocan, y posteriormente sus velocidades generalmente cambian, entendiéndose por esto que modifican tanto la magnitud de dicha velocidad como su dirección y muchas veces también su sentido.

El impacto es un fenómeno que se presenta frecuentemente en nuestra vida cotidiana; por ejemplo: cuando jugamos fútbol al patear la pelota; cuando golpeamos con una raqueta una bola de tenis; cuando jugamos billar; cuando se produce un choque de dos automóviles en las calles de una ciudad.

1 Objetivos

1 Determinar experimentalmente tanto la aceleración que produce la fuerza de fricción que provoca el rodamiento de una bola de billar sobre el paño de la mesa, como el coeficiente de restitución del impacto de dos bolas de billar, a partir de la medición de las distancias recorridas y del tiempo transcurrido.

2 Verificar experimentalmente la teoría del impacto oblicuo, al introducir una bola de billar en una buchaca específica de la mesa, por medio de la estimación de un valor conocido como parámetro de impacto.

2 Equipo empleado

- 1 Una mesa de billar
- 2 dos bolas de billar
- 3 un taco de billar
- 4 una tiza para taco de billar
- 5 un flexómetro
- 6 un cronómetro
- 7 una cámara fotográfica o de vídeo.

3 Desarrollo

3.1 Determinación de la aceleración debida a la fricción del paño sobre la bola

Mida con el flexómetro el largo y el ancho de la mesa de billar, por la parte interior de las bandas. Verifique que dichas medidas deben ser aproximadamente de 2.84 x 1.42 metros.

Luego, coloque una bola cerca de una de las esquinas de la mesa, la cual será impactada con el taco suavemente hacia la esquina opuesta, de tal forma que se detenga antes de caer a la buchaca o tocar alguna banda.

Otro de los integrantes medirá el tiempo que transcurre desde que se impulsó la bola hasta que se detuvo, y finalmente se deberá medir la distancia que ésta recorrió, referida a su centro de masa, para poder calcular la aceleración provocada por la fricción del paño sobre la bola.

3.2 Determinación del coeficiente de restitución del impacto de dos bolas de billar

Coloque una bola de billar justo en el punto medio de la mesa, y la bola jugadora (la que se impulsará con el taco) cerca de una de las bandas y alineada con la primera de forma paralela a la banda larga, de tal manera que la distancia entre las bolas sea, cuando menos de 1.20 m, tal como se muestra en la Figura 1.

Mida la distancia entre centros de la bola jugadora, de su posición inicial a la posición que tendrá justo cuando impacte con la segunda bola. Esta medida se le asignará al parámetro d_1 . Asimismo, mida la distancia entre centros de la segunda bola, de su posición inicial a la posición que tendrá justo cuando haga contacto con la banda. A esta medida se le denominará d_2 .

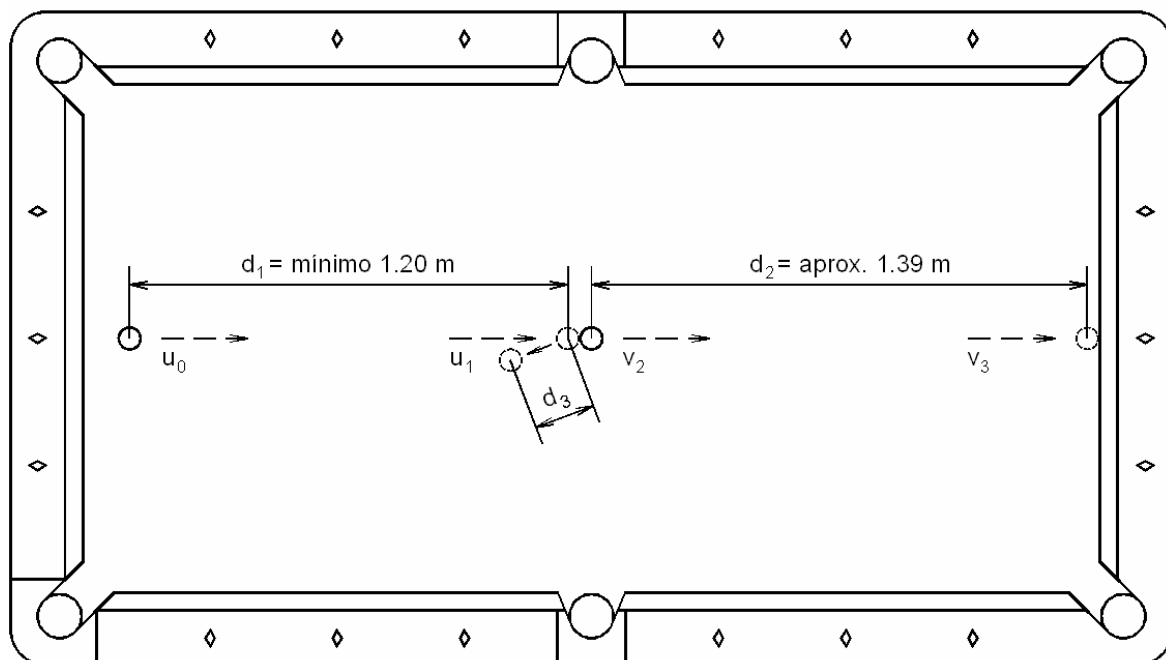


Figura 1 Configuración de las bolas de billar para el segundo experimento.

Uno de los integrantes de la brigada dará un golpe no muy fuerte con el taco a la bola jugadora, justo en su centro, de manera que ésta choque con la bola que está en medio de la mesa, y que esta última se mueva paralela a la banda larga hasta que choque con la banda corta opuesta.

Nota: Es muy importante asegurar que el taco golpee a la bola jugadora en su centro, debido a que si no es así, el taco le imprimirá a la bola un movimiento de rotación, conocido en el argot del billar como “efecto” o “jalón”, que ocasionará fenómenos indeseables en los experimentos.

Mientras tanto, otro de los integrantes medirá el tiempo transcurrido entre el impacto del taco con la bola jugadora y el choque de las dos bolas, así como el tiempo que tarda en llegar la segunda bola a la banda corta, después del impacto. Al primer valor se le asignará el parámetro t_1 , y al segundo el t_2 .

Con objeto de determinar la rapidez de la bola jugadora inmediatamente después del impacto, otro de los integrantes observará su posición justo en el instante en que la segunda bola llega a la banda corta, y medirá la distancia

recorrida por la bola jugadora luego de chocar con la segunda bola.

Dado que es difícil lograr que la bola jugadora se mueva en la misma dirección después de chocar con la otra, mida la distancia anterior sin importar la dirección en la que se mueva. A esta medida se le denominará d_3 .

En caso de que cuente con una cámara con la que pueda tomar vídeo, haga la toma del experimento, procurando que la cámara pueda filmar lo más perpendicularmente posible a la mesa. De esta manera se podrán obtener con menor incertidumbre las medidas de los tiempos transcurridos, así como la posición de la bola jugadora en el instante en que la segunda bola hace contacto con la banda.

3.3 Verificación de la teoría del impacto oblicuo de dos bolas de billar (1)

Ahora vuelva a colocar una bola justo en el centro de la mesa, y coloque la bola jugadora en el segundo diamante (que está colocado a la cuarta parte de la longitud de la mesa), de manera que la línea entre las dos bolas sea casi paralela a la banda larga.

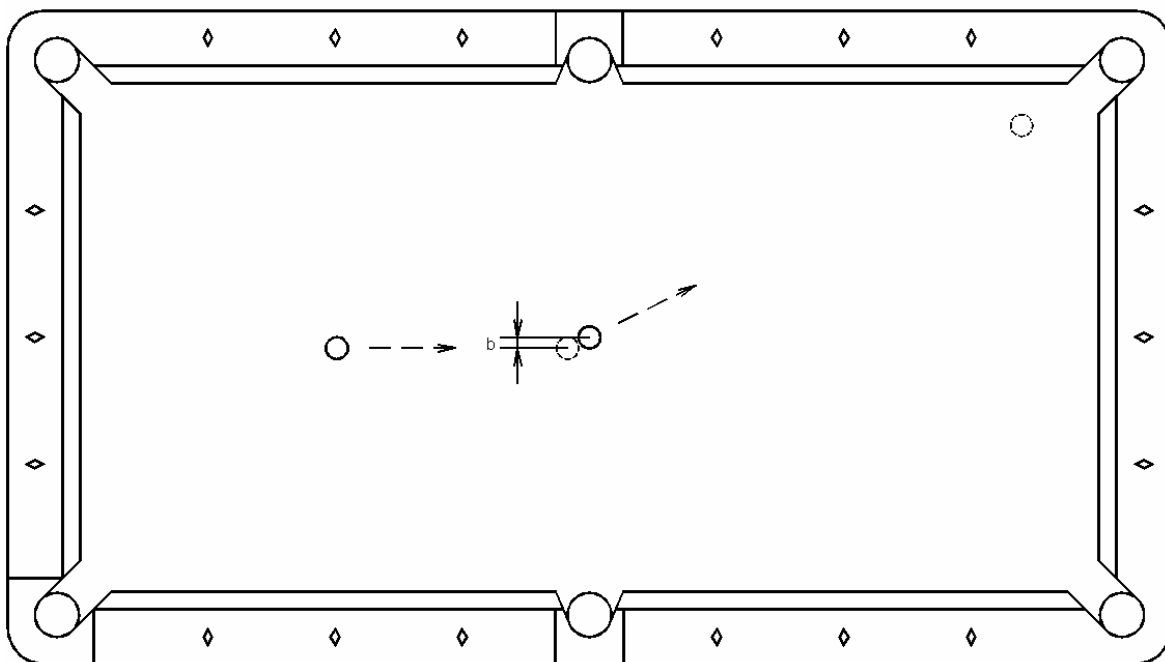


Figura 2 Configuración de las bolas de billar para el tercer experimento.

Uno de los integrantes de la brigada golpeará con el taco a la bola jugadora justo en su centro, de manera que ésta se mueva paralela a la banda larga, y que luego del impacto con la otra bola, ésta se introduzca en alguna de las buchacas adyacentes a la banda corta opuesta.

Otro de los integrantes tratará de estimar el parámetro de impacto, b , que es la distancia perpendicular al movimiento entre los centros de masa de las bolas en el instante del choque, tal como se muestra en la Figura 2. Dicho parámetro se establecerá en términos del diámetro de la bola.

3.4 Verificación de la teoría del impacto oblicuo de dos bolas de billar (2)

Por último coloque una bola justo en el sexto diamante (a las tres cuartas partes de la longitud de la mesa) centrado a lo ancho, y coloque la bola jugadora en el segundo diamante (a la cuarta parte de la mesa), de manera que la línea entre las dos bolas sea casi paralela a la banda larga.

Una vez más alguno de los integrantes de la brigada golpeará con el taco a la bola jugadora justo en su centro, de manera que ésta se mueva paralela a la banda larga, y que luego del impacto con la otra bola, ésta se introduzca en alguna de las buchacas adyacentes a la banda corta opuesta.

Un segundo integrante tratará de estimar el parámetro de impacto, b , cuando la segunda bola entre a la buchaca, tal como se muestra en la Figura 3.

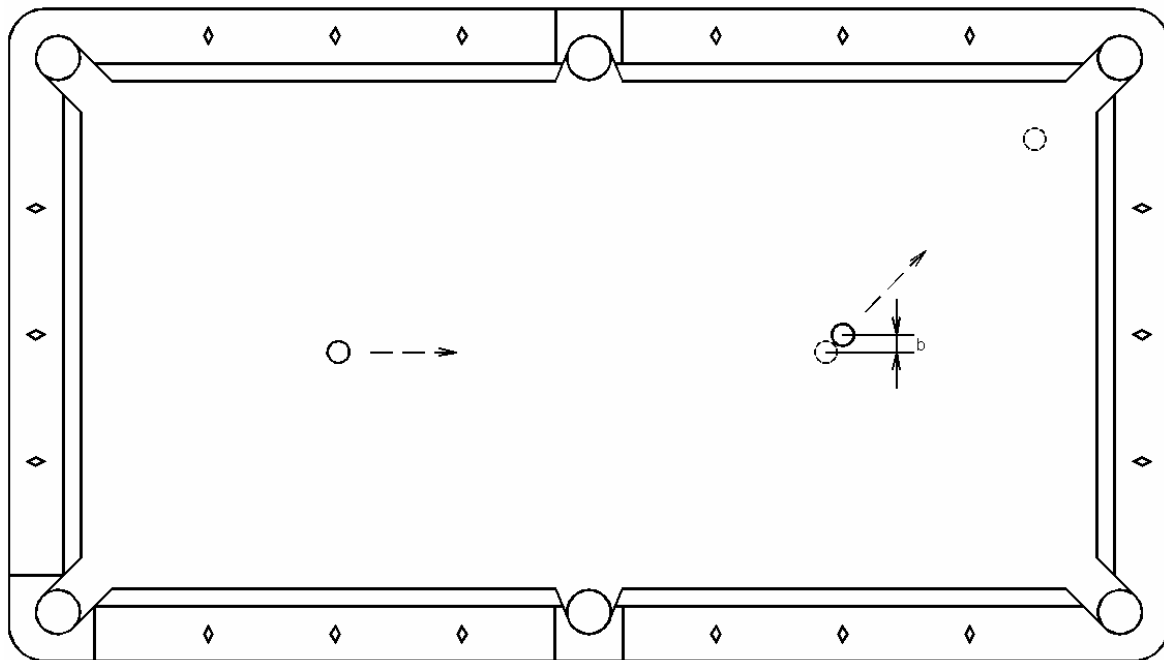


Figura 3 Configuración de las bolas de billar para el cuarto experimento.

4 Informe

4.1 Cálculo de la aceleración debida a la fricción del paño sobre la bola

Con base en la distancia recorrida por la bola, desde que fue impulsada por el taco hasta que

se detuvo, y el tiempo transcurrido en este movimiento, correspondiente al primer experimento explicado en el punto 3.1, determine la aceleración, a , provocada por la fricción del paño sobre la bola, por medio de la aplicación de la Segunda Ley de Newton:

$$v = v_0 - a t$$

$$d = v_0 t - \frac{1}{2} a t^2$$

Incluya todos los pasos que se necesiten para el cálculo de la magnitud de la aceleración.

Conviene hacer notar que en el caso de rodamiento sin deslizamiento, que es el movimiento que puede considerarse que tiene la bola de billar, la fuerza de fricción es de tipo estático, y su valor por lo regular es menor que la fuerza de fricción límite; por tanto, dicha fuerza es independiente de la fuerza normal.

4.2 Cálculo del coeficiente de restitución del impacto de dos bolas de billar

A partir de los valores de d_1 y t_1 , que corresponden respectivamente a la distancia recorrida y al tiempo transcurrido por la bola jugadora (bola A) desde que fue impulsada por el taco hasta que chocó con la segunda bola, determine la rapidez u_A a la que impactó la bola jugadora, por medio de sus leyes de movimiento:

$$d_1 = u_{A,0} t_1 - \frac{1}{2} a t_1^2$$

$$u_A = u_{A,0} - a t_1$$

donde $u_{A,0}$ es la rapidez inicial de la bola jugadora, y a es la aceleración debida a la fuerza de fricción del paño sobre la bola, y que fue calculada en el punto anterior.

Posteriormente, con base en los valores de d_2 y t_2 , que son los que recorrió la segunda bola (bola B) y lo que tardó desde que fue impulsada por la bola jugadora hasta que hizo contacto con la banda, determine la rapidez v_B a la que salió la segunda bola luego del impacto, por medio de la siguiente expresión:

$$d_2 = v_B t_2 - \frac{1}{2} a t_2^2$$

La magnitud de la aceleración, a , debida a la fricción del paño sobre la bola se puede considerar que es la misma para ambas bolas.

Finalmente, para calcular el coeficiente de restitución del impacto de las dos bolas de billar, se necesita determinar la rapidez v_A a la que salió la bola jugadora justo después del

impacto. Ésta se puede obtener por medio de los valores de d_3 y t_2 , que son los que recorrió la bola jugadora y lo que tardó desde que chocó con la segunda bola hasta que ésta hizo contacto con la banda, tal y como se midió en el punto 3.2.

Esta rapidez se puede determinar mediante la expresión de la distancia recorrida por la bola jugadora después del impacto que es:

$$d_3 = |v_A| t_2 - \frac{1}{2} a t_2^2$$

Aquí es importante hacer notar que el signo de la rapidez, v_A , depende de si la bola jugadora se movió hacia adelante (positiva) o hacia atrás (negativa), después de que chocó con la otra bola. Lo más seguro es que la bola jugadora se haya movido una pequeña distancia hacia atrás, o bien, se haya quedado casi en el lugar del impacto, según la ley de la conservación del momento lineal.

Con base en las rapidezces de la bola jugadora, u_A y v_A , justo antes y después del impacto, respectivamente, y las rapidezces de la segunda bola, u_B (igual a cero) y v_B , un instante antes y un instante después del choque, de forma respectiva, se podrá obtener el coeficiente de restitución, e , como:

$$e = \frac{v_B - v_A}{u_A - u_B}$$

Incluya en el reporte toda la memoria de cálculo de dicho coeficiente de restitución.

4.3 Comprobación teórica del impacto oblicuo de dos bolas de billar (tercer y cuarto experimentos)

Con base en la teoría del impacto oblicuo, y conocida la ubicación de la segunda bola antes de ser impulsada por la bola jugadora, así como la ubicación de la entrada de la buchaca a la que se introdujo aquélla, se puede verificar el valor teórico que debe tener el parámetro de impacto, b , para lograr el objetivo descrito.

Para el tercer experimento, si se establecen los ejes de referencia x e y sobre la banda larga de la derecha y la banda corta cercana al

tirador, respectivamente, las coordenadas de la segunda bola deberán ser aproximadamente $P_1 (1.42, 0.71)$ m, y las coordenadas de la entrada de la buchaca de la izquierda $P_2 (2.84, 1.42)$ m, por lo que el ángulo de la trayectoria de la segunda bola con respecto a la del movimiento de la bola jugadora antes del impacto será:

$$\theta = \text{áng} \tan \left(\frac{1.42 - 0.71}{2.84 - 1.42} \right)$$

$$\theta = 26.56^\circ$$

Para este ángulo, determine cuál debe ser el valor del parámetro de impacto, en términos del radio de la bola de billar, compárelo con el valor estimado durante el experimento, y haga los comentarios que considere importantes.

Asimismo, repita este mismo proceso, pero con el cuarto experimento, para el cual deberá anotar las coordenadas de la segunda bola antes de ser impulsada por la bola jugadora, y las de la entrada de la buchaca correspondiente, y a partir de éstas, determinar el ángulo θ para este caso, así como el parámetro de impacto, b , correspondiente.

De manera análoga al párrafo anterior, compare el valor obtenido teóricamente con el estimado prácticamente, y escriba los comentarios que considere pertinentes.

Por último, obtenga teóricamente las velocidades (vectores) de ambas bolas después del impacto para ambos experimentos, suponiendo que en el instante del choque la bola jugadora llevaba una rapidez de 2.5 m/s, y tomando en cuenta el coeficiente de restitución obtenido en el punto 4.2.

No olvide incluir en el reporte la fotografía de toda la brigada que realizó los experimentos, de manera que se puedan reconocer fácilmente a sus integrantes.

5 Conclusiones, sugerencias y comentarios

6 Bibliografía

- 1 **Ingeniería Mecánica**, Dinámica, Hibbeler, R. C., 7ª edición, ed. Prentice Hall, México.
- 2 **Mecánica para Ingenieros**, Dinámica, Beer & Johnston, 6ª edición, ed. McGraw-Hill, México.
- 3 **Física general con experimentos sencillos**, Alvarenga, B y otros, ed. Harla, México.

Notas

Facultad de Ingeniería, UNAM

*Laboratorio de Mecánica, DCB,
noviembre 2008*

YMK