



BANCO LINEAL DE CHOQUES

1. Objetivos

- Los objetivos de la práctica son ilustrar las dos primeras leyes de Newton.
- Analizar la conservación del momento lineal y la energía cinética en colisiones elásticas e inelásticas.

2. Fundamentos teóricos

El objetivo de la dinámica de una partícula es la determinación del movimiento de una partícula considerando las causas que lo originan, es decir las fuerzas. Para llevar a cabo dicho objetivo el primer paso consiste en identificar las fuerzas que actúan sobre la partícula. El segundo paso implica utilizar las leyes de Newton. Por tanto, entender los conceptos físicos que están dentro de las leyes de Newton es algo fundamental para poder determinar el movimiento de un punto material a partir de las fuerzas. Por otro lado, la aplicación de las Leyes de Newton implica el planteamiento de una ecuación diferencial, que no siempre es sencilla; sin embargo las leyes de conservación, en muchos casos de más fácil aplicación, pueden permitirnos obtener importantes resultados acerca del movimiento de los cuerpos.

Según la segunda ley de Newton:

$$\sum \vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt} \quad [1]$$

donde el sumatorio se extiende a todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo y el vector $\vec{p} = m\vec{v}$ es la cantidad de movimiento o momento lineal. En el caso de que la masa del cuerpo permanezca constante, la ecuación [1] puede expresarse como:

$$\sum \vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a} \quad [2]$$

como la masa es una constante positiva, \vec{F} y \vec{a} son dos vectores de igual dirección y sentido, por lo que el cambio en el movimiento que experimenta el cuerpo tiene lugar en la misma dirección que la de la resultante de las fuerzas.

2.1 Choques. Conservación del momento lineal.

Cuando dos partículas o cuerpos chocan sus velocidades cambian, lo que implica que se ejercen fuerzas entre sí. Las fuerzas que aparecen en el choque son las fuerzas internas; si se verifica que la resultante de todas las fuerzas externas que actúan sobre cada una de las partículas es nula, en tal caso el sistema formado por ambas partículas está aislado, y el momento lineal total del sistema se conserva. Por tanto se verifica la relación:

$$\vec{p}_{1i} + \vec{p}_{2i} = \vec{p}_{1f} + \vec{p}_{2f} \quad [3]$$

donde los subíndices 1 y 2 se refieren a los cuerpos y los subíndices i y f se refieren a los instantes inicial y final.

En general, la energía cinética total no se conserva en el choque. Únicamente en las colisiones elásticas se conserva la energía cinética, es decir la energía cinética total antes del choque es igual a la energía cinética después del choque. Durante el choque la energía cinética que llevaban inicialmente las partículas se transforma en energía elástica de deformación; en los choques elásticos, los dos cuerpos vuelven a su forma original, con lo que se recupera totalmente la energía cinética total inicial, aunque ésta puede distribuirse de forma diferente entre los dos cuerpos tras el choque. Luego, si el choque es elástico:

$$\frac{p_{1i}^2}{2m_1} + \frac{p_{2i}^2}{2m_2} = \frac{p_{1f}^2}{2m_1} + \frac{p_{2f}^2}{2m_2} \quad [4]$$

Si la partícula 2 está inicialmente en reposo y el choque es unidimensional, a partir de las ecuaciones [3] y [4] se obtienen las siguientes relaciones:

$$\vec{p}_{1f} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \vec{p}_{1i} \quad [5]$$

$$\vec{p}_{2f} = \frac{2m_2}{m_1 + m_2} \vec{p}_{1i} \quad [6]$$

Podemos señalar, a partir de las ecuaciones [5] y [6], varios casos interesantes:

- $m_1 = m_2 \rightarrow p_{1f} = 0$ y $p_{2f} = p_{1i}$: La partícula 1 se para y la 2 sale con la velocidad que traía 1.
- $m_1 \gg m_2 \rightarrow p_{1f} \approx p_{1i}$ y $p_{2f} \approx 2m_2 v_{1i}$: La partícula 1 no altera apenas su velocidad y la 2 sale con una velocidad proporcional al doble de la velocidad de la partícula 1.
- $m_1 \ll m_2 \rightarrow -p_{1f} \approx p_{1i}$ y $p_{2f} \approx 0$: La partícula 1 sale con la velocidad que traía pero en sentido contrario y la 2 no se mueve.

3. Para saber más...

- Física, Caps 4, 5 y 7, Paul A. Tipler, 3ª Edición, Ed. Reverté, S.A. (1994).
- Física Para Ciencias e Ingenierías, Vol. 1, Raymond A. Serway, 6ª Edición, Ed. Thomson.
- Física, Vol. 1, La naturaleza de las cosas, Caps. 4, 5 y 6, Susan M. Lea, John Robert Burke, Internacional Thomson

4. Material



Figura 1

1. Carril graduado que permite establecer una cámara de aire entre los carritos y su superficie
2. Dos puertas fotoeléctricas
3. Controlador de las puertas fotoeléctricas
4. Cables: un cable para conectar el controlador a la red eléctrica y dos conectores para conectar las células fotoeléctricas al controlador
5. Dos carritos
6. Dispositivos para situarlos encima de los carritos y que permiten realizar diversos tipos de medidas con las puertas fotoeléctricas
7. Diversos sistemas que permiten tirar del carrito mediante una cuerda y una polea, añadir un peso a los carritos y dispositivos que permiten realizar choques elásticos e inelásticos con los carritos
8. Regla

5. Método experimental

5.1 Sólido aislado.

En esta primera parte se va a estudiar el movimiento rectilíneo uniforme de un móvil y se va a comprobar si el rozamiento es despreciable en el montaje experimental, lo que nos permitiría hablar de un cuerpo "aislado" con el que analizar la primera ley de Newton.

5.1.1 Montaje experimental

- a) Colocar sobre un carrito (5) el dispositivo (6) que permite realizar las medidas con las puertas fotoeléctricas
- b) Colocar el carrito sobre el carril (1).
- c) Colocar las dos puertas fotoeléctricas (2) al lado del carrito de forma que los carritos pasen por debajo de ellas y que sea posible realizar medidas (la placa transparente debe sobrepasar ligeramente la célula fotoeléctrica de la puerta). La separación entre las puertas debe ser inicialmente de unos 40 cm
- d) Conectar, utilizando los conectores, las puertas fotoeléctricas al controlador (3)
- e) Conectar el controlador con un cable a la red eléctrica

El montaje experimental obtenido debe ser el de la figura 2.



Figura 2

5.1.2 Realización de la medida

Medimos el tiempo que tarda en pasar 1 cm (marca en la placa transparente, Figura 3) por la célula de la puerta fotoeléctrica; la velocidad del móvil será $v = \frac{1}{t}$ cm/s.

Para realizar la medida, en primer lugar conectamos el aire del carril, para lo cual utilizamos el controlador que hay debajo de la mesa de práctica (Figura 4); presionar sobre el botón de encendido de forma que éste pase a "ON" y girar hacia la derecha el botón de "AIR OUTPUT", situándolo hacia la mitad de la escala. El carrito, si el carril está bien nivelado, debe permanecer inmóvil.

Para determinar el tiempo que tarda el cm marcado en la placa transparente del carrito en pasar por cada una de las puertas fotoeléctricas, seguir los pasos siguientes (todos ellos relacionados con el controlador de las puertas fotoeléctricas, Figura 5):

1. Encender el controlador de las puertas fotoeléctricas
2. Pulsar la tecla 1, "Select measurement". En la pantalla indica "Time".
3. Pulsar la tecla 2, "Select mode". En la pantalla indica "Time: One Gate".
4. Pulsar la tecla 3, "Start/Stop". Aparecerá un asterisco en la pantalla indicando que está preparado para medir.
5. Lanzar el carrito (con prudencia) y anotar la lectura del tiempo de paso por la 1ª puerta, t_1 (en segundos).
6. Antes de que el carrito pase por debajo de la 2ª puerta, pulsar de nuevo la tecla 3, "Start/Stop", para así poder medir el tiempo de paso por la 2ª puerta, t_2 .

Repetir la experiencia anterior en las siguientes condiciones:

- a) Aumentando la distancia entre las puertas fotoeléctricas a 80 cm
- b) Colocando una masa extra en el carrito (a ambos lados del carrito para que éste permanezca en equilibrio, Figura 6) y con una separación entre las puertas de 50 cm.

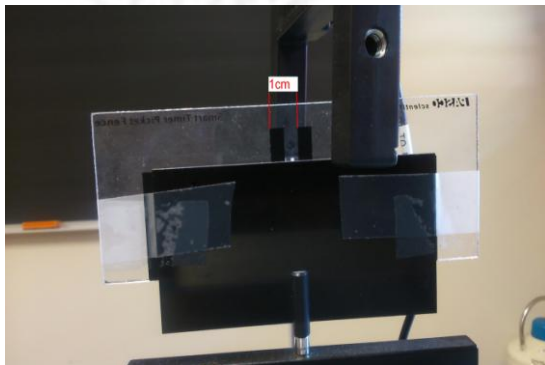


Figura 3

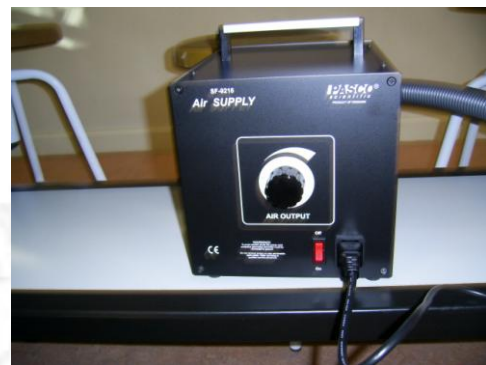


Figura 4

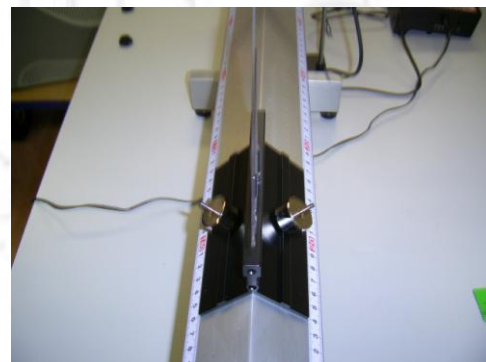


Figura 5

Figura 6

5.1.3 Análisis de los resultados

- 1) Determinar, en todos los casos, la velocidad del móvil, con su correspondiente error, al pasar por debajo de cada una de las puertas fotoeléctricas.
- 2) ¿Qué ocurre con la velocidad del móvil al pasar por cada una de las puertas fotoeléctricas? ¿Tienen el mismo valor en cada uno de los experimentos? ¿Puede considerarse que el móvil está aislado?

5.2 Movimiento uniformemente acelerado

En este apartado se estudiará el movimiento uniformemente acelerado y su relación con la 2ª Ley de Newton.

5.2.1 Montaje experimental

- a) Colocar sobre un carrito (5) el dispositivo (6) que permite realizar las medidas con las puertas fotoeléctricas
 - b) Colocar en el carrito un dispositivo con un gancho (está dentro de la caja, 7), de forma que sea posible tirar de él con una cuerda, y situarlo sobre el carril (1).
 - c) Colocar la polea que se encuentra en la caja (7) en el extremo del carril de aire
 - d) Atar un extremo de la cuerda al carrito y colgar en el otro extremo un determinado peso (caja 7). Hacer pasar la cuerda por la polea
 - e) Colocar las dos puertas fotoeléctricas (2) con una altura suficiente para que los carritos pasen por debajo de ellas y sea posible realizar medidas (la placa transparente debe sobrepasar ligeramente la célula fotoeléctrica de la puerta). La separación entre las puertas debe ser inicialmente de unos 40 cm
 - f) Conectar, utilizando los conectores, las puertas fotoeléctricas al controlador (3)
 - g) Conectar el controlador con un cable a la red eléctrica
 - h) Situar el carrito a 10 cm de la primera puerta fotoeléctrica
- El montaje experimental obtenido debe ser el de las figuras 7 y 8.



Figura 7



Figura 8

5.2.2 Realización de la medida

El carrito partirá del reposo y será acelerado por la caída del peso que se ha situado en el extremo de la cuerda. En cada experiencia se llevarán a cabo dos medidas: el tiempo que tarda el carrito en recorrer la distancia L de separación entre las dos puertas fotoeléctricas y el tiempo que tarda el carrito en recorrer un centímetro en la segunda puerta fotoeléctrica. Ambas medidas no pueden hacerse al mismo tiempo, sino en dos experiencias, por lo que es muy importante que ambas se realicen en las mismas condiciones: que el carrito parta del mismo punto (por ejemplo a 10 cm de la 1ª puerta), que la separación entre las dos puertas sea la misma y que el peso que cuelga en la cuerda sea el mismo. Se llevarán a

cabo diferentes medidas para diferentes distancias de separación entre las dos puertas fotoeléctricas; sin embargo, al variar la distancia entre las puertas se debe dejar la 1ª puerta (la que está a 10 cm del carrito) fija y desplazar únicamente la 2ª puerta.

Para proceder a la medida de los tiempos requeridos, tras conectar el aire al carril, seguir el procedimiento siguiente:

- 1) Encender el controlador de las puertas fotoeléctricas
- 2) Pulsar la tecla 1 "Select measurement". En la pantalla indica "Time"
- 3) Pulsar 3 veces la tecla 2 "Select Mode" hasta leer "Time: Two Gates"
- 4) Pulsar la tecla 3 "Start/Stop". Aparecerá un asterisco en la pantalla indicando que está preparado para medir
- 5) Soltar el carrito. El controlador dará el tiempo t_1 , **en segundos**, que ha tardado en recorrer la distancia L
- 6) Situar el móvil en la posición inicial. Es fundamental que sea la misma posición en la que se tomó la medida anterior
- 7) Pulsar 3 veces la tecla 2 "Select Mode" hasta leer "Time: One Gate"
- 8) Soltar el carrito. Una vez que éste ha pasado por la 1ª puerta pulsar la tecla 3 "Start/Stop" antes de que llegue a la 2ª puerta. El tiempo medido, t_2 , es el necesario para que el móvil recorra un centímetro en la 2ª puerta

Medir los tiempos anteriores para seis separaciones distintas entre puertas, desde 25 a 75 cm de 10 en 10 cm.

5.2.3 Cálculos que deben efectuarse

- Calcular las velocidades tras pasar la 2ª puerta fotoeléctrica (utilizar para ello el tiempo t_2) y hacer una representación gráfica de la velocidad frente al tiempo t_1 que el carrito tarda en recorrer la distancia L.
- Ajustar por mínimos cuadrados la recta obtenida. Para ello tener en cuenta que:

$$v(t) = v_o + at \quad [7]$$

Interpretar los coeficientes del ajuste de mínimos cuadrados. ¿Cuál es la aceleración del móvil? ¿y su velocidad inicial?

- A partir de la 2ª ley de Newton, y teniendo en cuenta que la fuerza ejercida sobre el móvil es $\vec{F} = M\vec{g}$ se tiene que:

$$Mg = (M + m)a \Rightarrow a = \frac{Mg}{M + m} \quad [8]$$

- Pesar la masa aceleradora y el móvil para calcular el valor teórico de la aceleración del móvil; M es la masa aceleradora y m es la masa del carrito (con el garfio). Comparar el valor teórico con el obtenido experimentalmente y hacer un análisis crítico de los resultados.
- Representar en una gráfica los valores del espacio L entre puertas frente al tiempo necesario para recorrerlo. ¿A qué ley física responde esta gráfica? ¿Se podría hacer un ajuste lineal de estos datos para obtener la aceleración del movimiento?

5.3 Choques

En este apartado se llevarán a cabo experimentos de colisiones elásticas e inelásticas. En las colisiones elásticas se conserva tanto el momento lineal como la energía cinética, mientras que en las colisiones inelásticas únicamente se conserva el momento lineal.

5.3.1 Colisiones inelásticas. Montaje experimental

- a) Colocar sobre los dos carritos (5) la placa transparente, el dispositivo (6), que permite realizar las medidas con las puertas fotoeléctricas
- b) Colocar en el extremo de un carrito un dispositivo con una punta fina (está dentro de la caja, 7), y en el extremo del otro, un dispositivo con plastilina; de esta forma, al chocar ambos carritos permanecerán unidos.
- c) En extremo libre de los dos carritos debe situarse un dispositivo similar, pero con extremo plano (ver figuras 9 y 10)
- d) Colocar en el extremo del carril, al que chocarán los dos carritos juntos un dispositivo con una goma elástica (figura 11)
- e) Colocar las dos puertas fotoeléctricas (2) con una altura suficiente para que los carritos pasen por debajo de ellas y sea posible realizar medidas (la placa transparente debe sobrepasar ligeramente la célula fotoeléctrica de la puerta).
- f) Conectar, utilizando los conectores, las puertas fotoeléctricas al controlador (3)
- g) Conectar el controlador con un cable a la red eléctrica
- h) Situar un carrito entre las dos puertas fotoeléctricas (por ejemplo el que lleva el dispositivo con plastilina) y el otro carrito delante de la primera puerta.

El montaje experimental debe ser el de la figura 12:

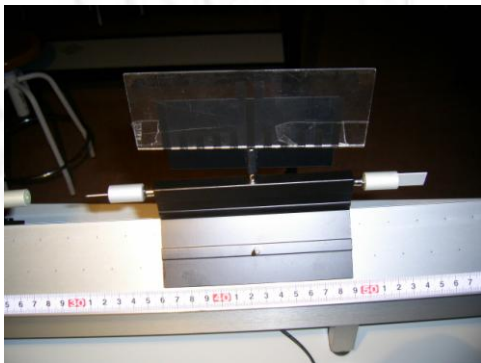


Figura 9

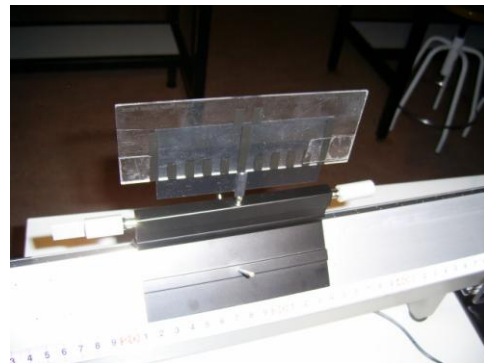


Figura 10

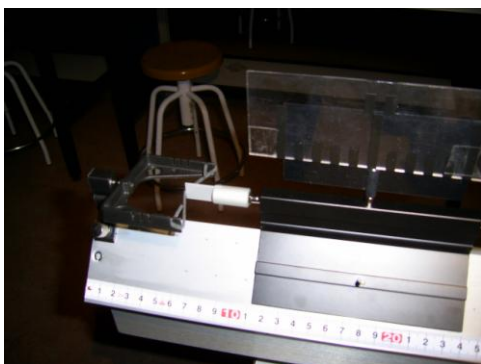


Figura 11



Figura 12

5.3.2 Realización de la medida

Como se ha indicado previamente uno de los carritos estará situado entre las dos puertas fotoeléctricas y el otro delante de la primera puerta. Se lanza el carrito que está delante de la primera puerta de forma que choque con el carrito que está entre ambas puertas y que ambos queden unidos tras el choque. Se medirá la velocidad con la que el primer carrito atraviesa la primera puerta fotoeléctrica y la velocidad con la que ambos carritos unidos

pasan por la segunda puerta fotoeléctrica. Por tanto, es importante que la separación entre ambas puertas sea suficiente para hacer las medidas y que tras el choque ambos carritos queden unidos.

Para proceder a la realización de las medidas de ambas velocidades, tras conectar el aire al carril, seguir el procedimiento siguiente:

- 1) Encender el controlador de las puertas fotoeléctricas
- 2) Pulsar la tecla 1 "Select measurement", varias veces hasta que aparezca en la pantalla "Speed"
- 3) Pulsar la tecla 2 "Select Mode" hasta leer "Collision". Esta opción permite medir las velocidades iniciales de cada uno de los móviles, antes de la colisión y las velocidades finales, tras la colisión; las unidades que aparecen son **cm/s**
- 4) Pulsar la tecla 3 "Start/Stop". Aparecerá un asterisco en la pantalla indicando que está preparado para medir
- 5) Situar un carrito a un lado de las puertas y lanzarlo hacia el otro carrito que está quieto entre las dos puertas. Los carritos colisionarán y se unirán, rebotarán al final del carril, volverán a pasar por las fotocélulas, y en la pantalla del controlador aparecerá: **1 x,y** es decir, un "1" seguido de dos números que denominaremos **x** e **y**
- 6) Para entender lo que ha ocurrido, es necesario explicar cómo ha medido la fotocélula. En el momento en que pulsemos la tecla 3 "Start/Stop", el controlador se quedó esperando a que ambas fotocélulas detectaran dos pasos cada una de ellas. En el momento en que tanto la fotocélula 1 detectó dos pasos como la fotocélula 2 detectó otros dos pasos, apareció en la pantalla del controlador: **1 x, y** Esto es, un "1" seguido de dos números **x** e **y**. El "1" se refiere a "Puerta 1", el número **x** nos da la velocidad del primer paso por la puerta 1 y el número **y** la velocidad del segundo paso por la puerta 1. Si se pulsa la tecla 2 "Select Mode", en la pantalla aparecerá: **2 z,v**. Esto es, un "2" seguido de dos números **z** y **v**. El "2" se refiere a "Puerta 2", el número **v** nos da la velocidad del primer paso por la puerta 2 y el número **v** la velocidad del segundo paso por la puerta 2.
- 7) Una vez explicado cómo funciona la fotocélula, ahora podemos entender el proceso de medida: El carrito 1 partió del reposo (tras empujarlo) y pasó por la fotocélula 1 con velocidad **x**. El carrito 1 colisionó con el carrito 2 y, unidos, siguieron avanzando en dirección hacia la puerta 2. Cuando el carrito 1 alcanzó la puerta 2, se midió la velocidad **z** y cuando llegó a dicha puerta el carrito 2, se midió la velocidad **v**. Por tanto **z** es la velocidad del conjunto cuando el carrito 1 cortó la puerta 2 y **v** es la velocidad del conjunto cuando el carrito 2 cortó la puerta 2. Ambos carritos continuaron unidos hacia el final del carril, rebotaron, pasaron por la puerta 2 de nuevo (la cual no tomó ninguna medida adicional) y llegó a la puerta 1. En ese momento la puerta 1 midió la velocidad **y**. En ese instante el controlador mostró en la pantalla el resultado.
- 8) Las medidas que nos interesan son la medida **x** (paso del carrito por la puerta 1) y la medida **z** (primera medida de ambos carritos al pasar por la puerta 2).

Aumentar la masa del carrito que está en reposo (el situado entre las dos puertas fotoeléctricas) colocando una pesa en cada lateral del mismo y repetir la medida para esta nueva situación.

5.3.3 Cálculos que deben efectuarse

Para cada una de las experiencias realizadas:

- Calcular el momento de cada móvil antes de la colisión y a partir de este valor, el momento lineal total inicial
- Calcular el momento lineal total tras la colisión
- Calcular el tanto por ciento de diferencia entre el momento total del sistema antes y después del choque

Tener en cuenta que en todos los cálculos deben considerarse los errores de las medidas y propagación. Hacer un análisis crítico de los resultados.

En función de los resultados obtenidos, responder a las siguientes preguntas:

- Cuando dos móviles de la misma masa moviéndose con igual velocidad en la misma dirección y sentidos opuestos colisionan se quedan juntos y parados tras la colisión. ¿Qué ocurre con el momento de cada móvil? ¿Se conserva el momento?
- La energía cinética no se conserva en las colisiones inelásticas. Calcular el tanto por ciento de energía cinética perdida en la primera colisión estudiada. ¿Qué ha pasado con esta energía?

5.3.4 Colisiones elásticas. Montaje experimental

- a) Colocar sobre los dos carritos (5) la placa transparente, el dispositivo (6), que permite realizar las medidas con las puertas fotoeléctricas
- b) Colocar en el extremo de un carrito un dispositivo con un extremo plano y en el otro extremo un dispositivo con una goma elástica (está dentro de la caja, 7); ver figura 13
- c) En el otro carrito colocar los mismos dispositivos en sus extremos, pero de tal forma que cuando choquen se produzca el choque entre el extremo plano del dispositivo de un carrito y el dispositivo con una goma elástica del otro carrito (ver figura 14)
- d) Colocar en un extremo del carril, un dispositivo con una goma elástica y en el otro un dispositivo plano
- e) Colocar las dos puertas fotoeléctricas (2) con una altura suficiente para que los carritos pasen por debajo de ellas y sea posible realizar medidas (la placa transparente debe sobrepasar ligeramente la célula fotoeléctrica de la puerta).
- f) Conectar, utilizando los conectores, las puertas fotoeléctricas al controlador (3)
- g) Conectar el controlador con un cable a la red eléctrica
- h) Situar un carrito entre las dos puertas fotoeléctricas

El montaje experimental debe ser el de la figura 15.

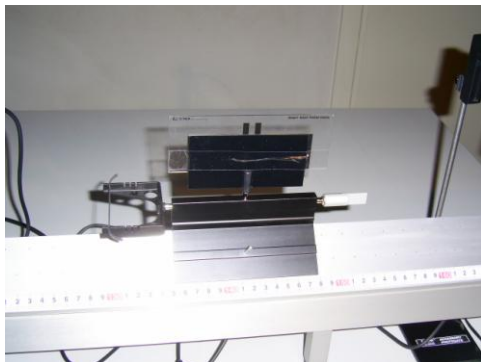


Figura 13



Figura 14



Figura 15

5.3.5 Realización de la medida

Como se ha indicado previamente uno de los carritos estará situado entre las dos puertas fotoeléctricas y el otro se sitúa delante de la primera puerta. Se lanza el carrito que está delante de la primera puerta de forma que choque con el carrito que esté entre ambas. Se medirá la velocidad de los carritos antes y después del choque a partir de los valores obtenidos a su paso por las puertas fotoeléctricas. Para lo cual seguir el procedimiento indicado en el apartado 5.3.2. La acción transcurre como sigue: el primer carrito es lanzado, pasa por la primera puerta con velocidad x , choca contra el segundo carrito y se queda quieto. El segundo carrito sale disparado y pasa por la segunda puerta con velocidad z , rebota en el extremo del carril y vuelve a pasar en dirección contraria por la segunda puerta con velocidad v . El segundo carrito choca de nuevo con el primer carrito y el primer carrito pasa por la primera puerta con velocidad y . Como vemos, la medida y es inútil **por que pertenece a un segundo choque**, y no al que estamos midiendo.

Aumentar la masa del carrito que está en reposo (el situado entre las dos puertas fotoeléctricas) y repetir la medida para esta nueva situación. Tener en cuenta que ahora la medida y sí es de utilidad puesto que da la medida de la velocidad del primer carrito a su paso por la puerta 1 tras la colisión. **Por supuesto es fundamental que no se produzca una segunda colisión antes de que la puerta 1 registre la medida y .**

5.3.6 Cálculos que deben efectuarse

Para cada una de las experiencias realizadas:

- Calcular el momento de cada móvil antes de la colisión y a partir de este valor, el momento lineal total inicial
- Calcular el momento lineal total tras la colisión
- Calcular el tanto por ciento de diferencia entre el momento total del sistema antes y después del choque

Tener en cuenta que en todos los cálculos deben considerarse los errores de las medidas y su propagación. Hacer un análisis crítico de los resultados.

En función de los resultados obtenidos, responder a las siguientes preguntas:

- En los choques elásticos la energía cinética se conserva. Calcular el porcentaje de energía cinética perdida en el primer choque, ¿se conserva la energía cinética? Hacer un análisis crítico de los resultados.