

Proyecto de laboratorio 7

Determinación de la velocidad instantánea

Juan Andrés Guarín Rojas
Angélica María Angarita
Andrés Giovanni Ferreira

19 de Septiembre del 2021

Universidad
Industrial de
Santander



Resumen

Para empezar, el valor de la velocidad instantánea en un punto fue un factor que pudo medirse experimentalmente al aproximar la velocidad media en un punto a la velocidad, cuando la variación en la posición y tiempo tendieron a cero. En esta práctica se tomó en cuenta lo anterior para medir la velocidad instantánea de un deslizador sobre un riel de aire inclinado con un ángulo de $1,2^\circ$. Donde se despreció la fricción con la superficie debido al riel. En cuanto a las mediciones, la variación de tiempo se midió mediante fotosensores que registraron el paso de una aleta sobre el deslizador. La variación de posición se midió usando una cinta métrica, mirando la distancia entre los dos fotosensores o el largo de la aleta. De esta forma, se realizaron seis mediciones, en las tres primeras se fueron acercando los fotosensores cada vez y, en las tres últimas, se fueron tomando aletas de menor tamaño. Luego, con estos datos se calcularon las velocidades medias para cada medición y estas se compararon con la velocidad instantánea esperada teóricamente y con las velocidades medias esperadas para cada caso de variación de distancia. Se observó que los datos de velocidad media fluctuaron un poco alrededor de la velocidad instantánea teórica y se obtuvo que el error porcentual fue de (7.7 ± 1.5) . En conclusión se determinó que hubo errores en las mediciones pero, sin embargo, se pudo aproximar la velocidad media a la instantánea con un error de 7.7 %.

1. Introducción

La velocidad es un concepto observable en la vida cotidiana con sólo mover un objeto. Por esto su estudio no puede ser individual, viene ligado a otros conceptos presentes en el movimiento. En este proyecto se buscó estudiar la velocidad instantánea y su relación con esos otros conceptos. Para el estudio del movimiento se utilizaron dos temas de física que lo estudian desde perspectivas diferentes: cinemática, la rama que lo estudia sin importar la masa del cuerpo y las leyes de Newton al estar presentado en un plano inclinado.

En el plano inclinado intervino como aspecto importante el peso del objeto, es decir, fue de importancia la gravedad y masa del mismo. Todos los factores presentes en los ámbitos tanto de las leyes de Newton y la cinemática son relacionados en un solo modelo teórico que fue de ayuda para la comparación de este modelo con los resultados obtenidos a través del montaje experimental.

En esta práctica, para el análisis dinámico se debió hacer ciertos cambios con respecto al marco de referencia, ya que debido al ángulo respecto al suelo puede no ser tan sencillo de realizar. Este cambio fue una rotación del sistema de referencia el valor del ángulo en este caso. Además, para este caso se despreció la fricción entre superficies y la interacción con el aire. En la cinemática se presentó un M.R.U.A.

Para el correcto desarrollo de la práctica también se debió tener en cuenta que el ob-

jetivo de este proyecto era hallar la velocidad instantánea, de esta manera se realizó la distinción de los dos tipos de velocidad. Mientras la velocidad media se determinó por la posición y en un intervalo tiempo del objeto, la instantánea fue el límite cuando ese intervalo tendía a cero. Por esta razón, se buscó hallar esa velocidad instantánea a partir de la media.

Esa velocidad media fue hallada por medio de los datos posición y tiempo recogidos del montaje experimental. Este consistió en un riel de aire, un deslizador, dos fotosensores y paletas de varios tamaños; se pudo observar a más detalles sobre el montaje en [2](#). Dicho valor fue aproximado al valor de la velocidad instantánea. [\[3\]](#).

A partir, del valor resultante del montaje experimental se comparó con el entregado por el modelo teórico que describe el movimiento. Analizando las causas de las diferencias y los factores involucrados activamente en el movimiento.

Este proyecto fue reportado en 5 partes principales: primera, metodología fue la sección en la cual se dieron las condiciones que debió cumplir el montaje experimental y su posterior descripción, además de llevar un pequeño recorrido por los procedimientos realizados con el fin de cumplir el objetivo. Segunda, en teoría, se hizo un resumen sobre el marco teórico usado como base en el análisis del movimiento y se mostraron las ecuaciones halladas para el mismo. Tercero, tratamiento de datos fue la parte en la que se dieron los resultados obtenidos a partir del montaje experimental y los hallados a partir del modelo teórico, haciendo una comparación de ellos con una gráfica. Cuarto, en análisis de resultados se realizó un repaso general por todos los procedimientos realizados a lo largo del proyecto con el fin de entregar un balance sobre los resultados y las posibles causas de las diferencias entre datos. Por último, las conclusiones, en esta parte se describieron los objetivos cumplidos y se hizo un recuento de los conocimientos adquiridos tanto de la teoría como de la práctica experimental.

2. Metodología

2.1. Montaje experimental

Para este proyecto fue útil la disposición de un espacio adecuado para la práctica como lo fue el laboratorio donde fue realizado todo el montaje. En este caso, no fue necesaria la grabación de vídeos sobre el fenómeno pues los datos fueron capturados en tiempo real con los instrumentos que se disponían allí. Para empezar, se dispuso de los siguientes materiales: Un riel de aire, bloque de madera, deslizador, paletas de diferentes tamaños, 2 fotosensores, una tablet, y los instrumentos de medición que fueron la cinta métrica, una regla y el pie de rey, así como el nivel o calibrador utilizado para asegurar la no inclinación del riel, ver Anexo [6.1](#).

Para empezar, fue necesario calibrar el riel de aire, es decir que al momento de posicionar el deslizador sobre este y se encendiese, el deslizador no tuviese ningún movimiento, o este fuese mínimo. Para esto, fue necesario ajustar la altura de uno de los extremos del riel de aire, para que esta coincidiese con el otro y estuviese nivelado. Esto se logró con un sistema que tiene el mismo riel de aire, que permitió mediante la rotación de lo que se puede asimilar a dos tuercas, una en cada lado, subir o bajar el riel respecto a un soporte que fueron tornillos. Así, mediante prueba y error, ajustando y desajustando estas tuercas, se logró dar la altura correcta al extremo del riel que poseía este mecanismo, y con esto se logró que el deslizador una vez encendido el riel tuviese un movimiento mínimo. Además, mientras se realizaba cada una de estas pruebas se utilizaba el calibrador para observar qué tanto tendría que seguir siendo ajustada la altura del riel y en qué extremo provocar más o menos altura según el caso.

Una vez hecho esto, se procedió a inclinar el riel de aire, con el fin de describir el fenómeno de interés para este caso de estudio, esta inclinación se le ocasionó con el posicionamiento de un bloque de madera en la base del riel, de manera que se generó un plano inclinado. Posteriormente, se ubicaron los fotosensores a una distancias iguales de un punto x que coincidía con el 100 de la cinta métrica posicionada sobre el riel de aire. De manera que el fotosensor número 1 fue aquel que se encontraba siempre a la izquierda de este punto x y el fotosensor número 2 el que estaba en la derecha. Una vez ubicados y encendidos los fotosensores se debieron conectar a la interfaz PASCO y esta a su vez a la tablet vía Bluetooth, para esto se encendió la interfaz, se activó la conexión Bluetooth, se conectaron los fotosensores a dicha fuente, y lo propio se hizo en la tablet, se encendió la conexión Bluetooth y se emparejaron ambos dispositivos, verificando la referencia de la fuente para poder identificarlo con facilidad en la tablet.

Emparejados los dispositivos, se abrió la aplicación SPARKvue¹ en la tablet y se conectaron de nuevo ambos dispositivos pero en este caso dentro del software. Para la captura y lectura de datos una vez dentro de la aplicación fue necesario borrar cualquier posible sesión previa que pudiese existir y crear una nueva. Al momento de conectar la interfaz con la tablet dentro del software se debió seleccionar la opción de 'Dos fotocompuertas' y dentro de esta 'sincronización de fotocompuertas', se presionó en aceptar, se mantuvieron los datos predeterminados de longitud de objeto y de separación de fotopuerta pues la idea fue precisamente variar estas medidas con el cambio de aletas y con la variación de la distancia de los fotosensores. Al crear la nueva plantilla se seleccionó el formato tabla, para dicha tabla en primera instancia la única columna fue la de tiempo entre compuertas, es decir el tiempo que tardaba cada aleta en recorrer la distancia de separación de los fotosensores y en segunda instancia fue la de tiempo en la compuerta 1.

Así entonces, restaba encender el riel de aire y tomar los datos de tiempo, pero antes de esto fue necesario realizar ciertas mediciones. Primero que todo, se midieron las aletas que

¹<https://www.pasco.com/products/software/sparkvue>

se utilizarían en cada uno de los montajes, obteniendo como resultados los mostrados en la siguiente tabla:

Objeto	Longitud [cm]	Incertidumbres [cm]
Aleta 1	10	0,01
Aleta 2	8	0,01
Aleta 3	1,125	0,01
Bloque de madera	2	0,01

Estas medidas fueron realizadas con el pie de rey, instrumento que se puede apreciar en la imagen 5. El bloque de madera, fue el encargado de provocar la inclinación en el riel. Por otro lado, fue necesaria la medición de las longitudes del triángulo que se formaba entre el mesón donde estaba el ubicado el riel, la longitud del riel, y la altura de este. De manera que dicho triángulo fue un triángulo rectángulo con hipotenusa el valor de la distancia en la cinta métrica ubicada sobre el riel, y los catetos fueron medidos con una regla, instrumento que cuenta con una incertidumbre de $\pm 0,1 \text{ cm}$. La construcción de este triángulo fue necesaria para poder obtener el valor de la inclinación del riel, es decir el ángulo θ que se formó entre la base apoyada sobre el mesón y la hipotenusa del riel tal como se puede observar en la imagen 1. Los datos obtenidos en las mediciones fueron los presentados en el cuadro 2.

Después de esto, se procedió a escoger una aleta para realizar las mediciones del tiempo que se tardaba el deslizador en cruzar la distancia de los dos fotosensores. Para este primer caso, se escogió la aleta de 8 cm de longitud y se ubicaron los fotosensores a una distancia de 45 cm , es decir que cada uno se ubicaba a 22.5 cm del punto x . Se encendió el riel y se ubicó el deslizador siempre en el punto $x = 50 \text{ cm}$, esto para tener una generalidad en todas las mediciones. Para que el deslizador no iniciase el descenso antes de tiempo se obstruía con una regla y una vez estuviese listo, esta se retiraba y así procedía con el descenso.

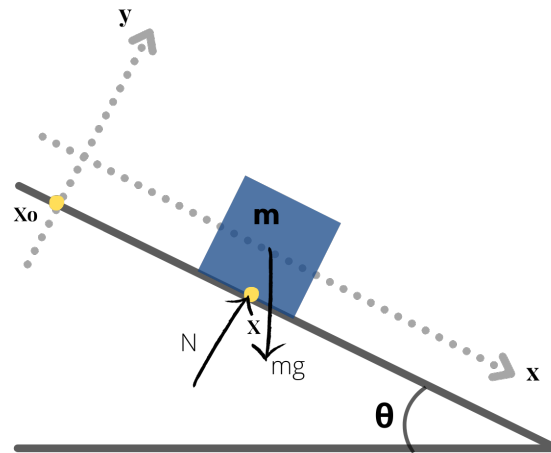
Se dejó caer el deslizador 5 veces y los tiempos fueron medidos por los fotosensores, y a su vez mostrados en tablas en el software SPARKVue de la interfaz PASCO con la configuración anteriormente mencionada. Cabe mencionar, que para que los fotosensores pudiesen capturar los tiempos con exactitud, se debió verificar que el sensor tuviese lectura de toda la aleta al momento de pasar por este, esto se logró ubicando el fotosensor a una altura específica para cada aleta con el fin de evitar lo mencionado o choques con estas mismas que impidieran la captura de datos. Estos datos fueron anotados, pues serían los utilizados posteriormente para el análisis del fenómeno. Después de este primer caso, se cambió la distancia de los fotosensores a 30 cm y se realizó el mismo procedimiento. Después, se varió a 15 cm y se hizo lo propio. Por último, se dejó un solo fotosensor, en este caso, el del lado izquierdo, es decir el fotosensor número 1. Este procedimiento de reducir las distancias entre los fotosensores, fue realizado para cada vez tener un valor más cercano a la velocidad instantánea en dicho punto. Por otro lado, al retirar el otro fotosensor y dejar solo el número 1, fue de especial interés utilizar aletas de diferentes tamaños, en especial

la de menor tamaño, pues sería la que tendría un tiempo menor en cruzar el fotosensor y por lo tanto una velocidad más cercana a la velocidad instantánea. De nuevo, se ubicaron cada una de las aletas en $x = 50 \text{ cm}$ y el fotosensor número 1 estaría solo esta vez y sobre $x = 100 \text{ cm}$. Dentro de la interfaz como se mencionó se cambió la configuración a tiempo en la compuerta 1 y se procedió a dejar caer cada aleta 5 veces para capturar los datos y poder ser mostrados en el software y anotados para su posterior análisis en donde se mostraría la variación de la velocidad a medida que la longitud del objeto y la distancia entre compuertas era menor.

3. Teoría

Para el modelo teórico de este proyecto se realizó el análisis dinámico del movimiento y luego, se unió con las ecuaciones cinemáticas. Esto fue realizado para obtener las ecuaciones de movimiento en un plano inclinado [1], es decir, el movimiento del cuerpo bajo efectos no despreciables de la gravedad.

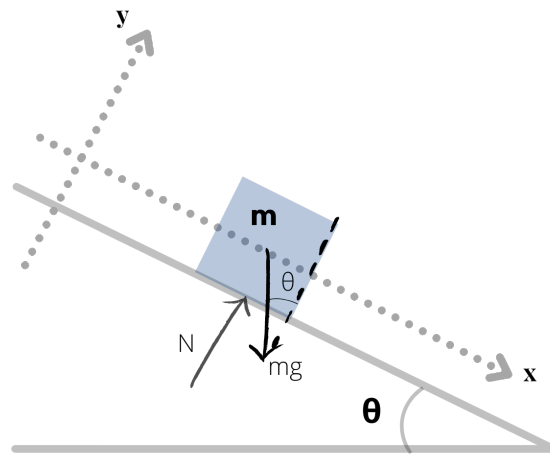
Fig. 1. Plano inclinado con los valores para el análisis dinámico y cinemático.



Siguiendo esta idea, para este montaje no se tuvieron en cuenta la fuerza de fricción entre las superficies y el amortiguamiento del aire con el cuerpo, ya que para la parte experimental fueron despreciables estos valores. Además de que la gravedad es constante. Además se rotó el sistema de referencia, ubicando el punto de inicio del eje horizontal en un punto X_0 . Como es conocido, se tomaron componentes para el peso y estas vienen dadas por el mismo ángulo de inclinación del plano [2]. De esta manera se obtuvieron las siguientes ecuaciones:

Para el movimiento en y:

$$\sum F_y = mg \cos \theta + N = 0$$

Fig. 2. Diagrama de cuerpo libre.

$$N = mg \cos \theta$$

Para el movimiento en x :

$$\sum F_x = mg \sin \theta = ma_x$$

$$g \sin \theta = a_x \quad (1)$$

De la ecuación 1 se tuvo que la aceleración es constante, por esta razón se remplazó este valor en las ecuaciones de un M.R.U.A. Recordar el cuerpo parte del reposo por esto, la velocidad inicial también es cero. Dando como resultado 2 y 3.

Para la posición del cuerpo:

$$x = x_0 + \frac{1}{2}a_x t^2$$

$$x = x_0 + \frac{1}{2}g \sin \theta t^2 \quad (2)$$

Para la velocidad del mismo:

$$v = a_x t$$

$$v = g \sin \theta t \quad (3)$$

Pero, se buscó una forma de relacionar la velocidad con la posición por esta razón, la ecuación final para la velocidad instantánea en cada punto es 4

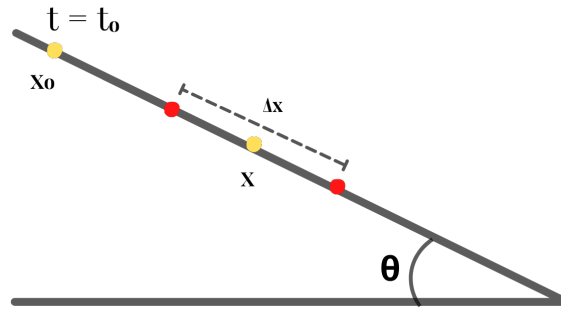
$$v(x) = 2a_x(x - x_0)$$

$$v^2(x) = 2g \sin \theta (x - x_0)$$

$$v(x) = \sqrt{2g \sin \theta (x - x_0)} \quad (4)$$

También fue necesario encontrar una ecuación para el valor de velocidad media teórica, así, se hallaron los valores y se logró hacer una mejor comparación con los resultados obtenidos. Para lograr esto, se usó la expresión $v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ se debió primero escoger el Δx ya que esa distancia era conocida, como se pudo observar en 3. Los dos puntos que forma Δx son equidistantes de x .

Fig. 3. Figura guía para hallar la velocidad media teórica.



Al ya tener el valor de Δx , se halló el valor para el Δt . Para esto se despejó el tiempo de 2, dando como resultado:

$$t^2 = \frac{2(x - x_0)}{g \sin \theta}$$

$$t = \sqrt{\frac{2(x - x_0)}{g \sin \theta}} \quad (5)$$

Los valores de x que fueron reemplazados en 5 y correspondieron a los puntos rojos de la figura 3. Siendo estos: $x + \frac{\Delta x}{2}$ y $x - \frac{\Delta x}{2}$. Así que realizando los cambios correspondientes se obtuvo:

$$t(x - \frac{\Delta x}{2}) = \sqrt{\frac{2(x - \frac{\Delta x}{2} - x_0)}{g \sin \theta}} \quad (6)$$

$$t(x + \frac{\Delta x}{2}) = \sqrt{\frac{2(x + \frac{\Delta x}{2} - x_0)}{g \sin \theta}} \quad (7)$$

Entonces se concluyó que el $\Delta t = 7 - 6$. Y ya se puede reemplazar todo en la expresión.

$$\begin{aligned}
v_m &= \frac{\Delta x}{\sqrt{\frac{2(x + \frac{\Delta x}{2} - x_0)}{g \sin \theta}} - \sqrt{\frac{2(x - \frac{\Delta x}{2} - x_0)}{g \sin \theta}}} \\
v_m &= \frac{\Delta x}{\sqrt{\frac{2}{g \sin \theta}} (\sqrt{(x + \frac{\Delta x}{2} - x_0)} - \sqrt{(x - \frac{\Delta x}{2} - x_0)})} \\
v_m &= \frac{\Delta x \sqrt{g \sin \theta / 2}}{(\sqrt{(x + \frac{\Delta x}{2} - x_0)} - \sqrt{(x - \frac{\Delta x}{2} - x_0)})} \quad (8)
\end{aligned}$$

Ahora, se observó que la ecuación de velocidad media mostrada en 8 se podía expresar de la siguiente forma, al racionalizar el denominador:

$$v_m = \sqrt{g \sin \theta / 2} \left(\sqrt{x + \frac{\Delta x}{2} - x_0} + \sqrt{x - \frac{\Delta x}{2} - x_0} \right) \quad (9)$$

Y al evaluar el límite cuando $\Delta x \rightarrow 0$, se pudo ver que la velocidad media tendía a $\lim_{\Delta x \rightarrow 0} v_m = \sqrt{g \sin \theta / 2} (2\sqrt{x - x_0}) = \sqrt{2g \sin \theta (x - x_0)}$, que es un valor constante y equivalente al de la velocidad instantánea (ver ecuación 4) como se esperaba.

4. Tratamiento de Datos

Para el tratamiento de datos se tomaron los datos medidos con el fotosensor referentes al tiempo, y los datos de desplazamiento sobre el riel en cada lanzamiento para calcular la velocidad media. Para empezar, se consideraron los valores de tiempo Δt medidos con el fotosensor. Se halló el promedio de las cinco mediciones realizadas, y se consideró el valor de desviación estándar como incertidumbre de la medición. Y con respecto al desplazamiento Δx , se midió experimentalmente con unas incertidumbres de 0.1 cm para los tres primeros casos y 0.01 cm para los tres últimos.

Los casos del experimento se dividieron en dos categorías. La primera, era cuando era posible usar dos fotosensores para registrar el tiempo de detección entre la detección de los dos fotosensores del paso de la aleta. En este caso, los dos fotosensores se ponían uno al lado del otro y cada vez más cerca hasta que no se pudieran juntar más debido al tamaño de la base. Para la segunda categoría, se usó solamente un fotosensor. El tiempo se registró entre el punto de la primer detección de la aleta y el momento en el cual se dejó de detectar.

Luego, la expresión usada para calcular la velocidad media fue $v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t}$. Donde, se usó el método de derivadas parciales para calcular su incertidumbre. Los datos obtenidos de este análisis fueron:

Cuadro 1. Datos de desplazamiento y variación temporal del deslizador registrados en la práctica experimental

Δx [cm]	Δt [s]	v_m [cm/s]
45.0 ± 0.2	1.103 ± 0.004	40.8 ± 0.3
30.0 ± 0.2	0.768 ± 0.002	39.1 ± 0.3
15.0 ± 0.2	0.428 ± 0.001	35.0 ± 0.6
10.00 ± 0.01	0.2118 ± 0.0002	47.2 ± 0.1
8.00 ± 0.01	0.1713 ± 0.0003	46.7 ± 0.2
1.10 ± 0.01	0.02624 ± 0.00005	41.9 ± 0.5

Además de esto, se midió el ángulo de inclinación del riel tomando en cuenta la longitud de la barra del riel entre las dos bases, que correspondió a la hipotenusa, y el alto del trozo de madera que se puso para inclinar el riel que correspondió al cateto opuesto. Este cálculo se encuentra a continuación:

Cuadro 2. Datos usados para calcular el ángulo de inclinación del riel

Cateto opuesto [cm]	Hipotenusa [cm]	Ángulo [°]
2.1 ± 0.01	100 ± 0.1	1.203 ± 0.007

Después de esto, se usó la ecuación del modelo teórico para conocer la velocidad que el deslizador debería alcanzar luego de recorrer un desplazamiento de 50 cm en un plano inclinado con 1.2° como en este experimento. Se consideró el x_0 como 50 cm, tomando como el origen del sistema de coordenadas como el cero de la cinta métrica sobre el riel. A su vez, x como 100 cm, θ como $1.203 \pm 0.007^\circ$, y g como 980 cm/s^2 .

$$v(x) = \sqrt{2g \sin \theta (x - x_0)} \quad (10)$$

Con lo cual se obtuvo que el valor de la velocidad instantánea en el punto $x = 100$ [cm] fue $v(100) = 45,4 \pm 0,2 \text{ cm/s}$. Donde la incertidumbre se halló tomando en cuenta las incertidumbres del ángulo θ y del desplazamiento $\Delta x = x - x_0$. En este mismo sentido, se comparó este valor de velocidad instantánea con el de velocidad media obtenido para la menor variación de distancia entre la detección del tiempo, que fue el valor de $v_m = 41,9 \pm 0,5$.

²Para más información sobre la gravedad en cm/s ver en [1]

Obteniendo un error porcentual igual a $(7.7 \pm 1.5)\%$, donde la incertidumbre se calculó con la cota máxima que podría alcanzar el error porcentual al reemplazar las velocidades por sus valores máximos o mínimos de acuerdo a su incertidumbre. %

Además, de esto se usó la ecuación teórica de la velocidad media en función del Δx que había entre los fotosensores o entre los extremos de la aleta del deslizadores, y que se usó antes para determinar la velocidad media. Se buscó comparar este valor con el obtenido de manera experimental. Donde esta velocidad media teórica describió como debería ser el comportamiento de la velocidad media al hacer que Δx sea cada vez más pequeño.

La ecuación usada fue:

$$v_m(\Delta x) = \frac{\Delta x \sqrt{g \sin \theta / 2}}{\sqrt{x - x_0 + \frac{\Delta x}{2}} - \sqrt{x - x_0 - \frac{\Delta x}{2}}} \quad (11)$$

El valor de incertidumbre de esta velocidad media se calculó mediante el método de derivadas parciales nuevamente, donde se tomó en cuenta las incertidumbres de θ , Δx y las de x y x_0 . Como resultado se obtuvieron los siguientes datos de velocidad media teórica:

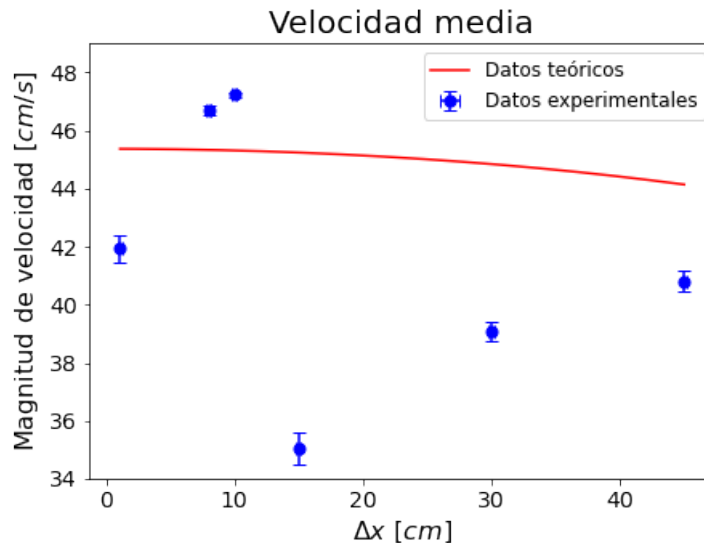
Cuadro 3. Comparación entre las velocidades medias tomadas del experimento y las que van de acuerdo al modelo teórico. Observe que la velocidad media se aproxima a la velocidad instantánea por valores menores a esta.

v_m experimental [cm/s]	v_m teórico [cm/s]	% Error
40.8 ± 0.3	44.1 ± 0.1	8 ± 1
39.1 ± 0.3	44.8 ± 0.1	13 ± 1
35.0 ± 0.6	45.2 ± 0.1	23 ± 1
47.2 ± 0.1	45.31 ± 0.02	4.2 ± 0.3
46.7 ± 0.2	45.33 ± 0.01	3.0 ± 0.4
41.9 ± 0.5	45.364 ± 0.004	8 ± 1

Para finalizar, estos datos de velocidad media fueron puestos en una gráfica para poder visualizar de mejor manera los datos obtenidos con los esperados. Esto se hizo por medio de un código en python³. Además, esta gráfica tomó en cuenta los valores de incertidumbre de los datos (ver figura 4).

³Para más información ver [aquí](#)

Fig. 4. Comparación entre los datos de velocidad media obtenidos teóricamente y experimentalmente. Observe que con la teoría se tiene que la velocidad media se va acerca a un valor fijo cuando Δx disminuye,



5. Análisis de Resultados

Para empezar, respecto al ángulo de inclinación del riel, el valor obtenido fue de $\theta = 1,203 \pm 0,007$, este valor que se obtuvo a partir de uno de los catetos y la hipotenusa del triángulo, pudo también ser calculado con los dos catetos pero esto no se hizo pues se asumió que el valor de la hipotenusa dada la cinta métrica posicionada sobre el riel sería el más cercano posible al valor real. Además, este valor obtenido para θ dependió principalmente de la precisión al momento de realizar las mediciones y de la exactitud con la que dichos instrumentos la tomen, para el caso del cateto opuesto también podría haberse tomado la distancia desde el mesón donde se apoyaba el riel hasta la altura donde se encontraba el deslizador, en ese punto habrían dos opciones, medir el bloque de madera con el pie de rey y la distancia faltante con una regla o medir toda la distancia con la regla y tener una única incertidumbre en la medida. En este caso se tomó como cateto opuesto la medida del grosor del bloque es decir $2,1 \pm 0,01$ cm y como se observó se obtuvo un buen valor de ángulo pues fue al momento de usarse para calcular la velocidad según la teoría se obtuvieron datos de velocidad que no estuvieron distantes entre sí.

Para los tres primeros casos, es decir, aquellos en los que se tenía la distancia entre fotocompuertas y se iba disminuyendo dichas distancias, se observó que el promedio de la velocidad media V_m aparte de disminuir al tener valores más pequeños de Δx y por lo tanto Δt más pequeños también, esto producto de querer llevar los valores de Δt a ser cero para obtener valores cercanos a la velocidad instantánea, también se observó que para el

salto de 30 *cm* a 15 *cm* dicho V_m de velocidad media varió en mayor proporción que para el salto de 40 *cm* a 15 *cm*, esto pudo deberse a que se tuvo menos precisión en la toma de datos para este caso como lo muestra la incertidumbre de V_m que es el doble del salto anterior. Esto pudo deberse a factores como el posicionamiento de los fotosensores a una distancia diferente de la que se pensó. Se evidenció también en este caso, usando la aleta de $8,00 \pm 0,01$ que las proporciones fueron similares para Δt a medida que se varió proporcionalmente Δx pero aún así los valores para la velocidad media no siguieron necesariamente esta proporción producto de los posibles errores en las mediciones de cada salto como se mencionó anteriormente.

Para los otros tres casos en los que se dejó sólo un fotosensor y fue de interés cambiar la longitud de las aletas el valor de la velocidad media disminuyó conforme la aleta se hacía más pequeña, tal y como se esperaba, además se evidenció el aumento de la incertidumbre en la medida de la velocidad media, hecho que experimentalmente puede observarse por lo pequeña que fue la longitud de la aleta y por lo mismo tener errores ocasionados al momento de posicionarla sobre el x inicial y dejarla deslizar sobre el riel. Por último, se observó que el valor de la velocidad media cuando la aleta de 8 *cm* recorría una distancia entre fotosensores de 15 *cm* no fue la que mejor coincidió con el valor de la velocidad media de la aleta de menor longitud, fue el valor de 30 *cm* aquel que más se aproximó a dicho valor. Este valor de la aleta de $1.1 \pm 0,01$ *cm* fue el valor que más se aproximaría al valor de la velocidad de una partícula puntal que pasa por el fotosensor y se captura la velocidad que lleva cuando pasa por este.

Para terminar, se pudo observar mediante los valores obtenidos teóricamente que el valor para V_m varió muy poco y estas variaciones fueron producto de las variaciones en las distancias de recorrido tanto entre los fotosensores como de las longitudes de las aletas. Estos datos teóricos, permitieron realizar la comparación con la práctica experimental y mediante el cálculo de errores porcentuales se observó cómo en los tres primeros casos a medida que se acercaban los fotosensores el error en la velocidad media aumentó, esto producto principalmente del valor de la velocidad experimental. Estos valores en los errores son considerablemente altos comparados con los valores en los que sólo se tenía un fotosensor, por lo que se evidenció cómo la velocidad media sí se acercó a la velocidad instantánea a medida que se acercaban los fotosensores, al punto de que solo hubiese 1 como en los tres últimos casos. En última instancia, se apreció que los datos obtenidos mediante los fotosensores y leídos por la interfaz PASCO fueron precisos, pues se acercaron a los valores de velocidad media, aunque no tan exactos debido a las incertidumbres obtenidas y desviaciones entre estos mismos. De esta manera, se obtuvieron valores promedio para la velocidad media para cada de estudio que estuvieron cercanos a los valores obtenidos teóricamente, estos datos se podrían mejorar, tanto en la toma de datos al momento de hallar el ángulo mediante el triángulo, minimizando los errores en las mediciones del mismo, así como al momento de tomar los datos de distancia entre fotosensores y capturar los tiempos, esto se podría realizarse mediante la perfección del método al momento de capturar

los datos experimentalmente.

6. Conclusiones

Por medio de esta práctica de laboratorio se pudo observar que los datos de velocidad media variaron alrededor de la velocidad media sin estabilizarse en el valor constante de la velocidad instantánea esperada teóricamente. Sin embargo, los valores obtenidos fueron cercanos a esa velocidad instantánea con un error de 7.7 % para la última medición de velocidad media realizada. Y por tanto, esta velocidad media pudo aproximarse a la velocidad instantánea en ese punto. Se evidenció que es muy importante tomar en cuenta las pequeñas variaciones del experimento para obtener buenos resultados. En este caso en particular, fue oportuno haber reducido más los errores para obtener una buena correlación de datos con lo esperado de manera teórica.

En cuanto a la exactitud de los datos, se pudo evidenciar que hubo variaciones de la velocidad media con la velocidad instantánea. Estos errores pudieron deberse a errores en la calibración del riel y en el hecho de que el ángulo de inclinación fue muy pequeño. Ya que, al ser pequeño, un error en la medición del ángulo o en la calibración pudo tener una influencia grande. Hecho que no ocurriría en el caso de un ángulo mayor, pues en ese caso la aceleración es mayor y por ende pequeñas variaciones de calibración podrían despreciarse.

Además de la curva de velocidad media teórica (ver figura 4), se pudo establecer que la velocidad media se aproximó por valores por debajo de la velocidad instantánea a medida que $\Delta x \rightarrow 0$. Esto no pudo ser comparado con los datos experimentales pues estos mostraron un comportamiento variado. De hecho, es de destacar que los valores experimentales de velocidad media se reducían a medida que el desplazamiento disminuía, en lugar de aumentar. Esto pudo deberse a los errores mencionados anteriormente, por lo que, es necesario realizar una toma de datos mucho más minuciosa.

Como factor a resaltar, la distancia esperada más cercana a la velocidad instantánea es la longitud de la aleta, antes que la distancia entre rieles, pues a medida que dicha distancia disminuyó el tiempo de recorrido era mucho menor y por lo tanto se asemejó a la velocidad calculada en un instante de tiempo, es decir la velocidad instantánea. Por otro lado, la cantidad de cifras significativas para la medida de tiempo en realidad dependió de la cantidad de cifras significativas de las medidas de distancia, pues para el caso sencillo por ejemplo de $\Delta v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$, al tratarse de un cociente la operación resultante debe tener la cantidad de cifras significativas que tiene el que tiene menos entre el numerador y el divisor. Por lo tanto, para el caso de las distancias que fueron medidas con 3 cifras significativas para la regla o hasta 4 para el pie de rey, lo óptimo para el tiempo sería tomar la misma cantidad de cifras significativas que estas.

En caso de querer comparar la velocidad media teórica con la obtenida experimentalmente, tendrían que tomarse distintos puntos y expresar el tiempo en términos de dichas distancias para posteriormente obtener la velocidad promedio de estos. Para terminar, si se quisiese hallar la aceleración para cada uno de los casos de estudio, no habría problema pues en este caso la aceleración durante todo el recorrido y para todos los casos es constante y por lo mismo tiene la particularidad que la aceleración media será la misma aceleración instantánea, la expresión que define dicha aceleración se presentó en la sección de teoría.

Finalmente, la realización de esta práctica fue basada en el documento guía [2]. Además el repositorio con los datos de este laboratorio es: [repositorio](#)

Referencias

- [1] Serway R, Jewett J (2008) Física para ciencias e ingeniería, . URL <http://www2.fisica.unlp.edu.ar/materias/fisgenI/T/Libros/Serway-7Ed.pdf>.
- [2] Soledad Sánchez M, Miranda Mercado D (2017) Determinación de la velocidad instantánea. *Escuela de Física, Universidad Industrial de Santander* URL <https://drive.google.com/file/d/12wUaajRIxyzW36jnUiORJDJ06aKb2NFG/view>.

Anexos

6.1. Anexo A: Montaje experimental

Fig. 5. Instrumentos de medida utilizados y bloque de madera.



Fig. 6. Aletas utilizadas en los montajes, cada una con una medida de longitud específica.

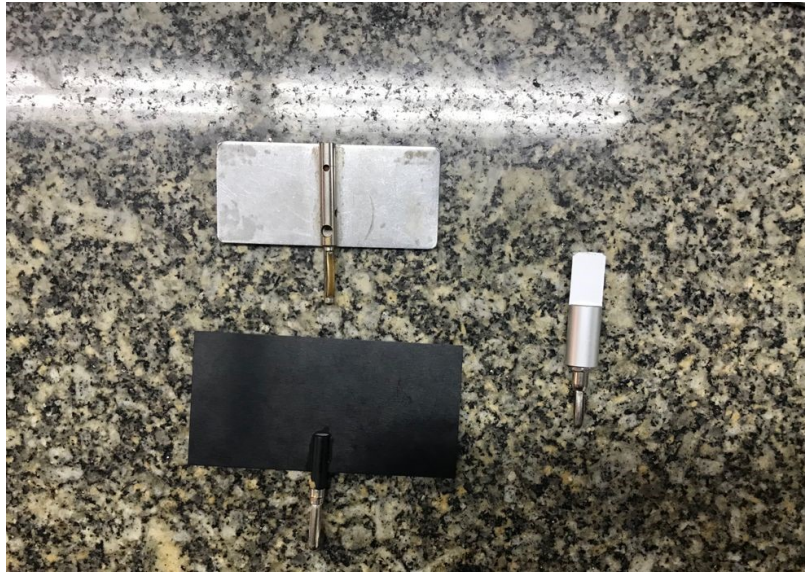


Fig. 7. Ubicación de los dos fotosensores en el riel de aire una vez conectados a la interfaz PASCO.



Fig. 8. Calibrador o nivel, utilizado para verificar la no inclinación del riel de aire.



Fig. 9. Interfaz PASCO, encargada de conectar a los fotosensores y emitir los datos a la tablet vía Bluetooth.



Fig. 10. Tablet SAMSUNG, utilizada para la lectura de datos tomados provenientes de la interfaz PASCO.

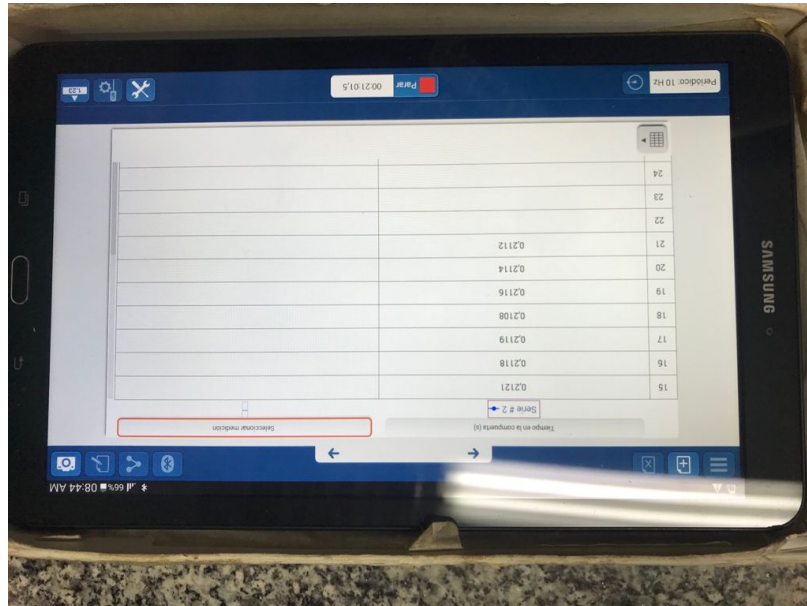
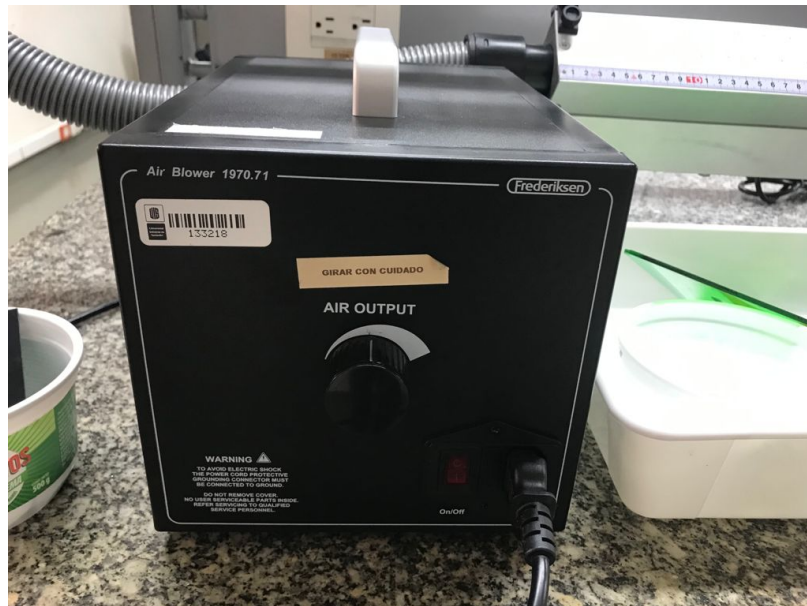


Fig. 11. Fuente de poder del riel de aire, se aprecia la posibilidad de graduar la intensidad con la que sale el aire.



Anexo B: Ecuaciones de incertidumbre usadas para las mediciones indirectas

- Velocidad media de los datos experimentales

- Velocidad media teórica
- Ángulo de inclinación del riel

Anexo C: conjunto de datos obtenidos

A continuación se muestran los datos obtenidos del experimento y unos cálculos derivados como los de tiempo promedio en base a las cinco mediciones, y también la velocidad media:

Cuadro 4. Datos de variación de posición y tiempo medidos en el laboratorio, usando la cinta métrica y el calibrador para la distancia y los fotosensores para el tiempo. En los fotosensores, se tomo la desviación estándar como incertidumbre de Δt

Medida	Δx [cm]	Δt medidos [s]				
1	45.0 ± 0.2	1.0965	1.0994	1.1033	1.1077	1.1063
2	30.0 ± 0.2	0.7696	0.7655	0.7697	0.7668	0.7675
3	15.0 ± 0.2	0.4291	0.4275	0.4257	0.4284	0.4292
4	10.00 ± 0.01	0.2121	0.2118	0.2119	0.2114	0.2116
5	8.00 ± 0.01	0.1712	0.1711	0.1711	0.1712	0.172
6	1.10 ± 0.01	0.0262	0.0262	0.0263	0.0262	0.0263
Medida	Δt [s]	v_m [cm/s]				
1	1.103 ± 0.004	40.8 ± 0.3				
2	0.768 ± 0.002	39.1 ± 0.3				
3	0.428 ± 0.001	35.0 ± 0.6				
4	0.2118 ± 0.0002	47.2 ± 0.1				
5	0.1713 ± 0.0003	46.7 ± 0.2				
6	0.02624 ± 0.00005	41.9 ± 0.5				