

Segunda Ley de Movimiento: *La máquina de Atwood*



Introducción:

Hemos visto que un cuerpo se mantendrá en reposo o en su estado de movimiento con velocidad constante a menos que una fuerza (entiéndase halón o empujón) se oponga a ello. Esto quiere decir que las fuerzas son capaces de cambiar el estado de movimiento de los cuerpos y que por lo tanto producen **aceleración**. ¿Cuál será la relación entre la fuerza neta y la aceleración? ¿Habrá algún otro parámetro que tenga que ver con la aceleración que experimenta un cuerpo cuando una fuerza neta actúa sobre él? En otras palabras, ¿cuánta aceleración produce en un cuerpo de determinada masa una fuerza de determinada magnitud? En esta actividad estaremos investigando estas preguntas con el propósito de definir operacionalmente el concepto de **fuerza**.

Objetivos:

1. Determinar experimentalmente cómo cambia la aceleración de un cuerpo cuando este es halado por fuerzas de diferentes magnitudes.
2. Construir una gráfica de la aceleración del cuerpo en función de la fuerza neta actuando sobre él.
3. Construir una gráfica de la aceleración del cuerpo en función de su propia masa o inercia.
4. Determinar experimentalmente la relación matemática entre fuerza, masa y aceleración.
5. Definir operacionalmente el concepto: **fuerza**.

Experimento:

Primera Parte

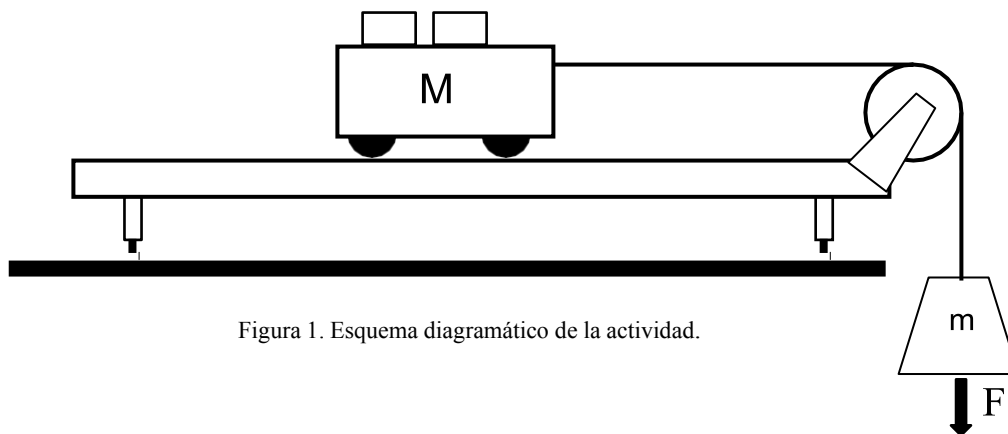
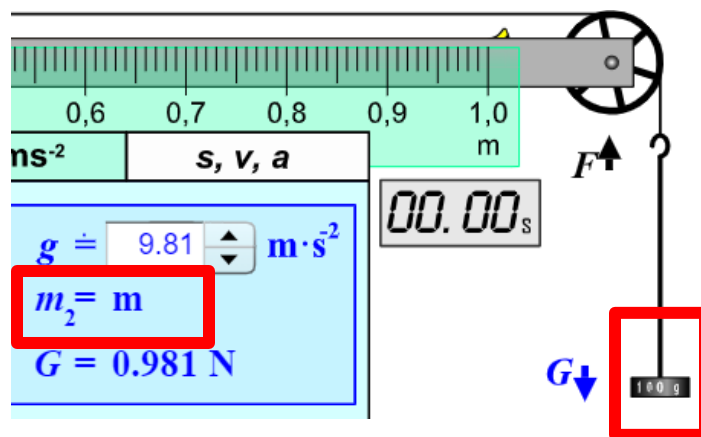
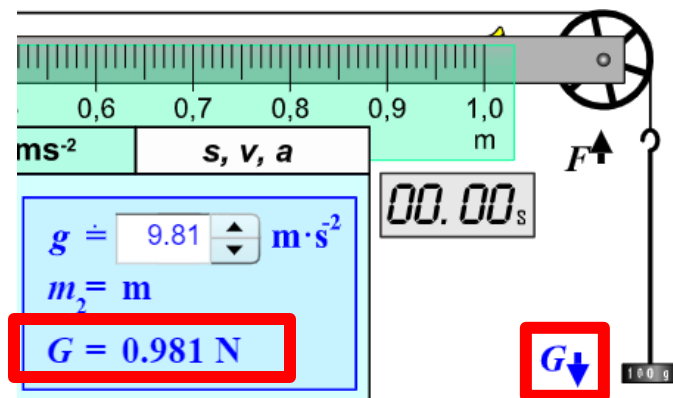


Figura 1. Esquema diagramático de la actividad.

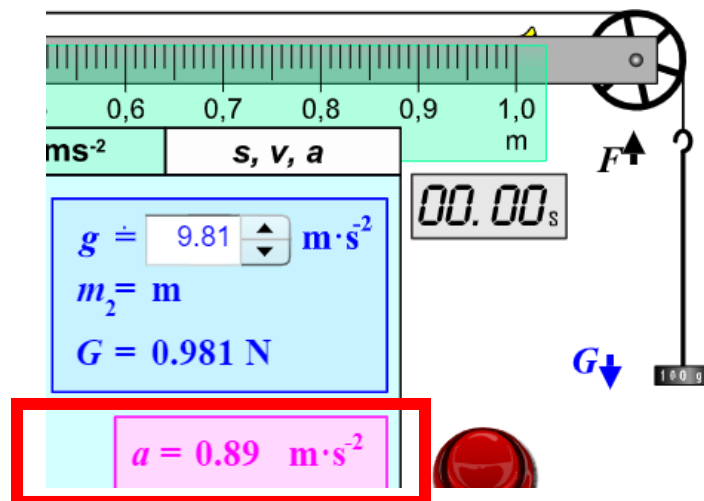
- 1) Entre al siguiente enlace:
https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mech_newton2&l=es*. Nótese que la masa del camión y las masas adicionales a este en la simulación representa la masa **M** en la Figura 1, la masa del porta-masas y las masas adicionales a esta en la simulación representa la masa **m** en la figura 1; y la fuerza generada por el peso (G) en la simulación, representa la fuerza **F** en la Figura 1.
**Si cuenta con algún bloqueador de anuncios en su navegador (por ejemplo, AdBlock, AdBlock Plus), páuselo para que permita utilizar el simulador*
- 2) Antes de comenzar a tomar datos es muy importante hacer varios ajustes en la simulación.
 - a) Seleccione el modo "Sin Fricción".
 - b) Corrija el valor de la gravedad a 9.81 ms^{-2} .
- 3) Añada 0.900 kg al camión de forma tal que **M + m** sea aproximadamente 1.1 kg (0.100 kg del camión + 0.900 kg masa añadida + 0.100 kg de la porta masas.) Para la adición de las masas, oprima o haga 'click' sobre el botón que indica 100 g en la parte inferior izquierda. Si comete un error en la adición, puede retirar las masas al oprimir o hacer 'click' sobre la masa añadida en el camión.
- 4) Note que en la simulación aparece un recuadro de color rojo que indica que el valor de **m₁** es la suma que equivale en nuestro caso la masa **M**, mientras que, en el recuadro azul en la simulación, **m₂** es la masa **m** que corresponde a la porta masas.
- 5) Para comenzar el experimento, oprima o haga 'click' sobre el botón verde que se encuentra en la parte inferior derecha. El camión debe comenzar a moverse, y podrá observar su comportamiento en las gráficas que provee la simulación para posición en función del tiempo, velocidad en función de tiempo, y la aceleración del sistema en función del tiempo.
- 6) Note que el comportamiento de la gráfica de posición es aproximadamente parabólico, lo que sugiere una aceleración constante y por lo tanto una función cuadrática como modelo para describir la posición del carrito en función del tiempo, esto se verá después en el análisis.
(Al obtener la gráfica de posición (m) vs tiempo (s), obtendrán un comportamiento parabólico. Para esto harán una regresión (fit) cuadrática, donde la ecuación será: $y = Ax^2 + Bx + C$)
- 7) Anote además el valor de **m** en la Tabla 1,



8) Anote el valor de **F** (el peso **G** en la simulación) en la Tabla 1,



9) Y anote finalmente el valor de la **Aceleración** de la simulación en la Tabla 1.



10) Para tomar el próximo dato remueva 0.100 kg del camión y añádalos a la porta masas. Esto hace que la masa m sea igual a 0.200 kg mientras que la masa total se mantiene aproximadamente en 1.1 kg. (Esta masa total será: $MT = (Masa\ del\ carro) + (Masa\ de\ la\ porta\ masas + masa\ adicional)$).

11) Repita los pasos 7,8,9 y 10 hasta completar la Tabla 1.

Tabla 1

MT = M + m = 1.1 kg			
Caso #	m (kg)	F = mg (N)	Aceleración (m/s ²)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Análisis Primera Parte

1. En la simulación provista, busque la gráfica “s vs t” obtenida en el primer caso de la tabla 1 (Figura 2), y observe los datos de **posición y tiempo** a lo largo de la trayectoria con solo deslizar el cursor sobre la gráfica. Escriba los datos de la posición correspondientes en la Tabla 2.

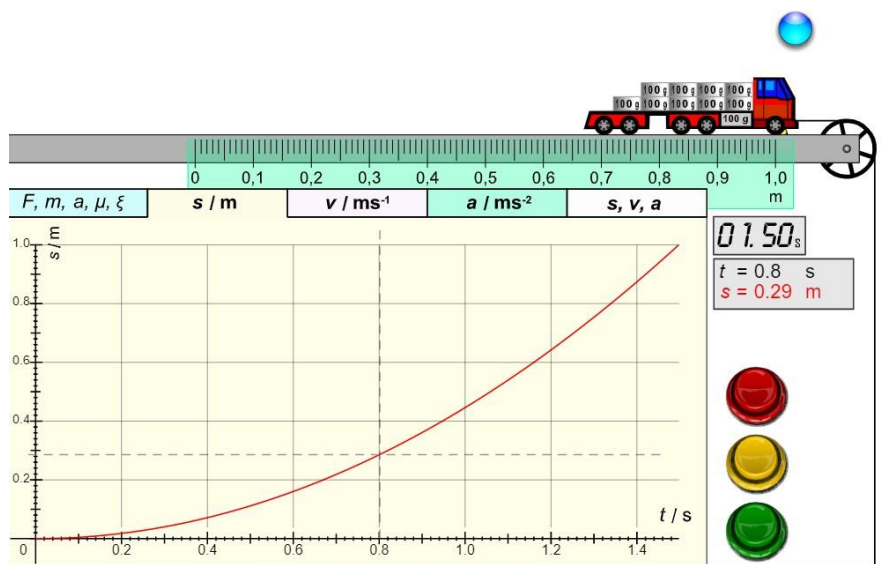


Figura 2. Grafica s vs t, datos de posición y tiempo.

Tabla 2

Datos #	t (s)	S (m)	A (coeficiente de x^2)	Aceleración $a = 2A$ (m/s ²)
1	0.2			
2	0.4			
3	0.6			
4	0.8			
5	1			
6	1.2			
7	1.4			

- Construya una gráfica utilizando el programa *Microsoft Excel* y haga una regresión cuadrática para encontrar el mejor modelo para la gráfica. Del coeficiente “A” en la regresión cuadrática de “ x^2 ” obtenga el valor de la aceleración “a”, anótelos en la tabla 3. Compare este valor con el valor de la aceleración obtenido por la simulación escrito en la Tabla 1, del caso 1.
- Elabore una nueva tabla “XY” utilizando el programa *Microsoft Excel*, y en X anote los valores de fuerza **F(N)** (Tabla 1); en “Y” anote los valores correspondientes de aceleración **a** para cada valor de fuerza (Tabla 1).
- Construya una gráfica de **a vs F** seleccionando los valores de “a” en el eje de “Y” y los valores de “F” en el eje de “X”.
- ¿Cuál es el comportamiento de la gráfica obtenida? Es decir, ¿qué comportamiento tiene la gráfica? (lineal, exponencial, cuadrática, etc)

- ¿Qué sugiere esto en cuanto a la relación existente entre **a** y de **F**?

- A partir del comportamiento de la gráfica, haga una regresión para encontrar la ecuación que mejor representa el comportamiento de la aceleración en función de la fuerza neta. Según la premisa #3, ¿qué regresión deberán utilizar para representar mejor la gráfica?
- Escriba la ecuación de la “mejor” regresión en el recuadro de abajo (recuerde que la variable ‘Y’ representa la aceleración ‘a’ y la variable ‘X’ representa la fuerza ‘F’).

- Si esto es así ¿qué significado podría tener la pendiente de la gráfica?

10. Anote en la Tabla 4 el valor de la pendiente de la gráfica del experimento y el valor real (ya dado en la parte superior de la Tabla 1).

Experimento:

Segunda Parte

1. Repita el experimento descrito en la primera parte, pero en este caso manteniendo $m = 0.100$ kg constante y cambiando el valor de M . En el caso #1 M es la masa del carrito.
2. Repita el procedimiento añadiendo 0.100 kg cada vez al carrito hasta completar la Tabla 3. Se añaden masas de 0.100 kg hasta añadir un total de 0.800 kg.

Tabla 3

mg = 0.981 N					
Caso #	M (kg)	m (kg)	M + m (kg)	$(M + m)^{-1}$ (kg ⁻¹)	Aceleración (m/s ²)
1		0.100			
2		0.100			
3		0.100			
4		0.100			
5		0.100			
6		0.100			
7		0.100			

Análisis Segunda Parte:

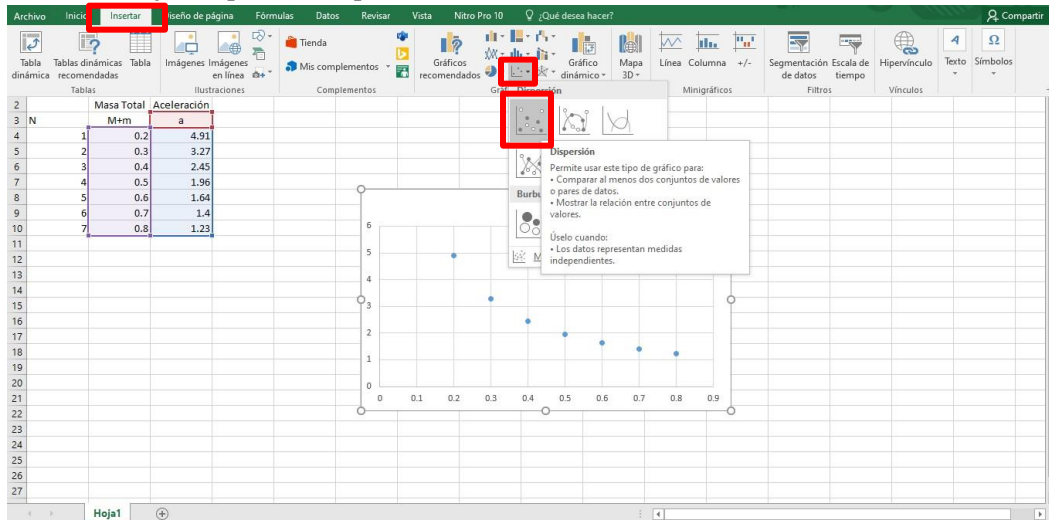
1. Construya una gráfica utilizando el programa *Microsoft Excel* con los valores de “ $M+m$ ” en “x” y los valores de “a” en “y”.

Paso 1: Selecciona la data que deseas graficar

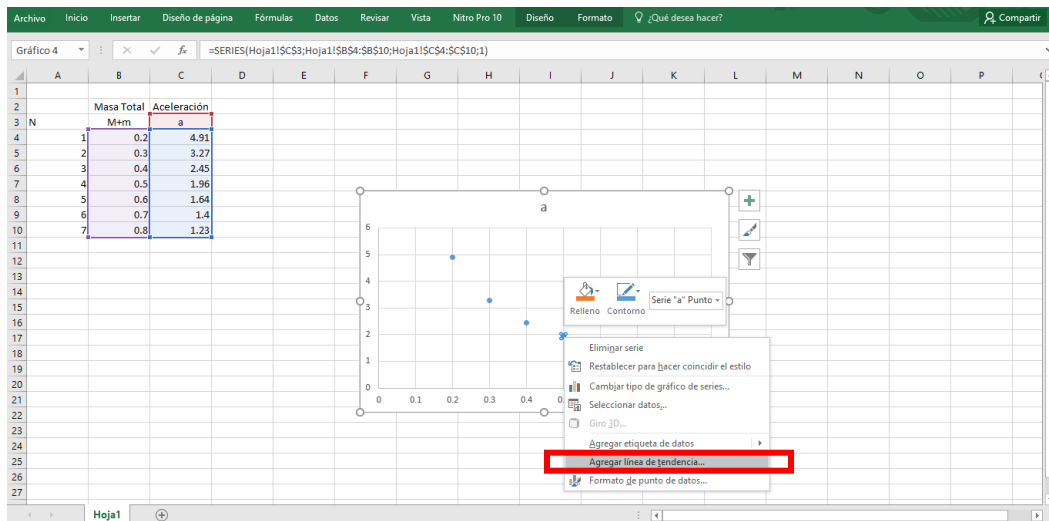
The screenshot shows the Microsoft Excel interface. The active cell is B3. The data table is as follows:

	Masa Total (M+m)	Aceleración (a)
1	0.2	4.91
2	0.3	3.27
3	0.4	2.45
4	0.5	1.96
5	0.6	1.64
6	0.7	1.4
7	0.8	1.23

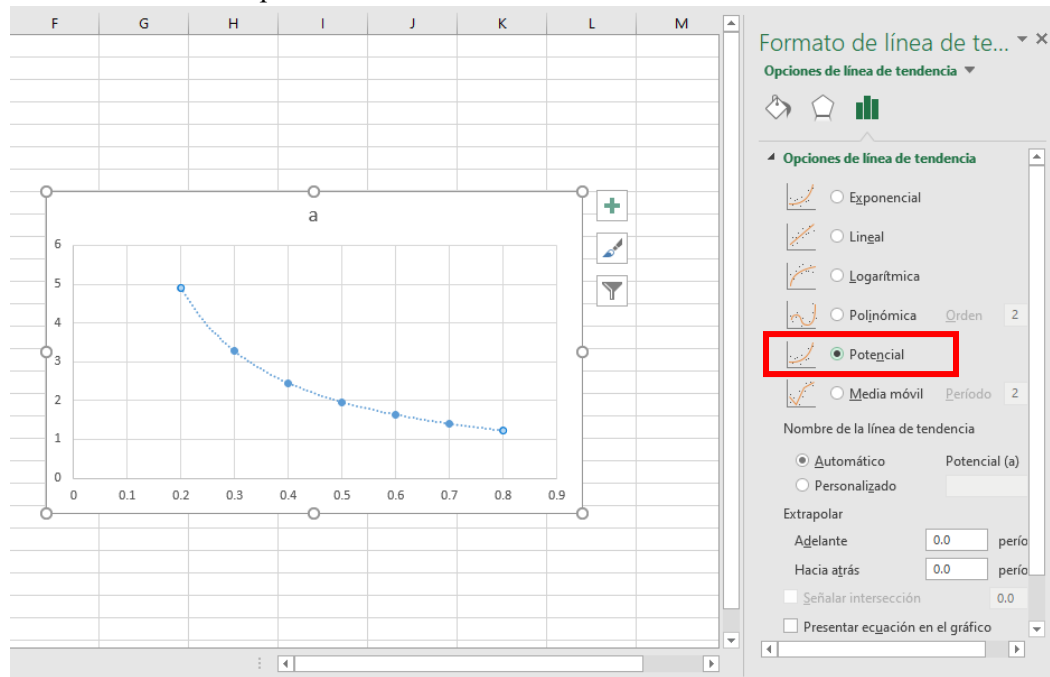
Paso 2: Escoja la opción “Dispersión”



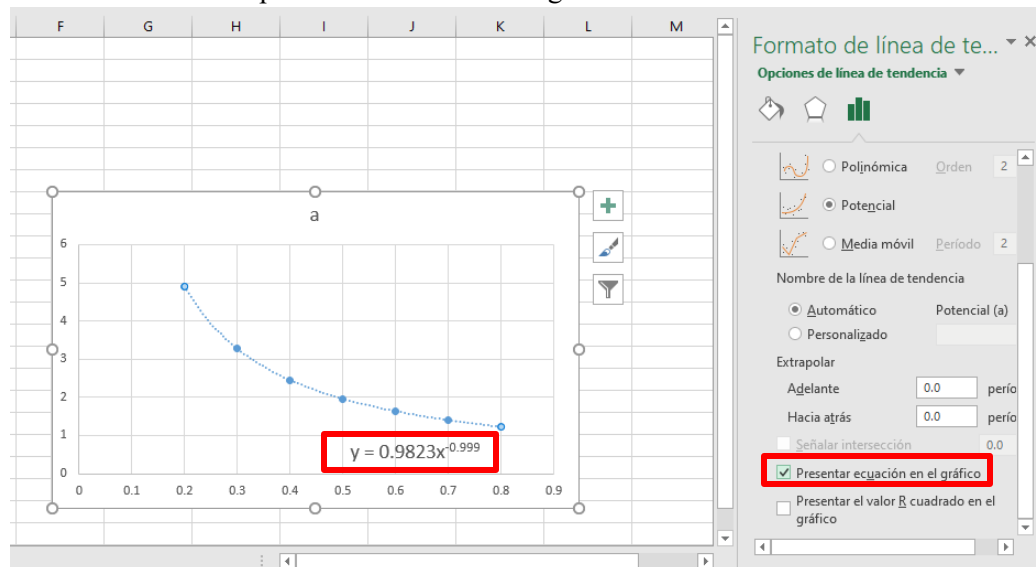
Paso 3: Dar click en algún punto de la curva, luego dar click derecho y seleccionar “Agregar línea de tendencia”.



Paso 4: Seleccionar “potencial”



Paso 5: Seleccionar “presentar ecuación en el gráfico”



2. ¿Cómo queda la gráfica? Es decir, ¿qué comportamiento tiene la gráfica? (lineal, exponencial, cuadrática, etc) _____
3. ¿Qué sugiere esto en cuanto a la relación de la aceleración y la masa total del sistema?

4. Haga una regresión de potencias de la forma $y = B * x^n$ usando el programa *Microsoft Excel*, y anote la ecuación que se obtiene en el recuadro de abajo.

5. De la ecuación de regresión $y = B * x^n$ ¿cuál es el valor aproximado del exponente “n”?

6. Analizando este resultado en la simulación del experimento, ¿qué sugiere este resultado sobre el posible valor real para ese exponente? ¿Qué significa este valor? Demuestre utilizando la 2da ley de Newton. _____

7. ¿Cuál es el valor del coeficiente “B” de “x” en la regresión? _____

8. Razonando para el experimento, ¿qué significa este valor de “B”? Demuestre utilizando la 2da ley de Newton. _____

9. Construya una nueva gráfica de la aceleración “a” en función del recíproco de la masa total del sistema (“ $(M + m)^{-1} = 1/(\text{Valor obtenido de la Masa Total})$ ”) utilizando nuevamente los datos de la Tabla 2 y el programa *Microsoft Excel*,

10. ¿Qué comportamiento presenta la gráfica? _____

11. Haga una regresión lineal y anote la ecuación que se obtiene en el recuadro de abajo.

12. Compare el valor de la pendiente de la gráfica de la aceleración vs el recíproco de la masa con el valor del coeficiente de “x” en el paso #11.

13. ¿Qué significado podría tener la pendiente de la recta de la segunda parte del experimento? Explique:

14. Calcule el valor promedio entre el valor “B” del paso #7 y la pendiente del paso #11.

15. Anote en la Tabla 4 el valor obtenido del paso #14 y el valor real (ya dado en la parte superior de la Tabla 3) de ese parámetro de acuerdo a los valores usados en el experimento.

16. Utilizando los valores obtenidos en la premisa #15, determine el porcentaje de diferencia de los valores obtenidos y anótelos en la Tabla 4.

Tabla 4

Parte #	Masa total (recíproco de la pendiente) Valor experimental	Valor real (calculado o medido)	% de diferencia
Primera	(kg)	(kg)	
	Promedio de la fuerza (coeficiente y pendiente) Valor experimental	Valor real (calculado o medido)	% de diferencia
Segunda	(N)	(N)	

Finalmente ¿Qué sugieren los resultados de ambas partes del experimento, en cuanto al comportamiento de la aceleración en función de “**F**” (primera parte) y en función de “**M+m**” (segunda parte)? Explique:

*Las respuestas a las interrogantes de la guía de laboratorio deben ser respondidas en la parte “**Análisis y Resultados**” en su informe de laboratorio

Referencias

1. Manual de Experimentos de Física I, López, Marrero y Roura, Primera Edición, 2008, J. Wiley & Sons, Inc. NJ

La Segunda ley de movimiento: La máquina de Atwood

Paola V. Náter, Alec J. Nuñez, Raúl A. Ortiz

Laboratorio Física General 3173-101

Instructor: Kevin García Gallardo Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez

22 de septiembre de 2021.

Resumen

El comienzo de este experimento consistió básica y fundamentalmente en la interpretación de la Segunda Ley de Newton. Esto quiere decir que los objetivos principales que se tuvieron en cuenta fueron: determinar cómo cambia la aceleración de un cuerpo cuando este es halado por fuerzas de diferentes magnitudes por medio de la experimentación. Así también determinar experimentalmente la relación matemática entre fuerza, masa y aceleración. Estos objetivos que se llevaron a cabo se cumplieron mediante la construcción de la gráfica de aceleración del cuerpo en función a la fuerza neta y de la gráfica de la aceleración del cuerpo en función de su propia masa o inercia. Mediante deducción, se obtuvo que la masa tiene una relación inversamente proporcional con la aceleración. Sin embargo, al recíprocar la masa, la relación se vuelve directamente proporcional. Finalmente se obtuvo que la diferencia en porcentaje de la masa total fue de 0.11% y su promedio de fuerza fue de 0.07%.

I) Introducción

Anteriormente se ha estudiado el concepto de fuerza, el cual se puede definir como un vector. Cuando se habla de este concepto, es importante tener en cuenta las leyes de Isaac Newton. Según Newton, todos los movimientos que existen a nuestro alrededor se justifican utilizando dichas leyes. La Segunda Ley de Newton, mejor conocida como Principio Fundamental de la Dinámica, dado su descripción, es una de las famosas leyes de Newton. La misma consta en que un cuerpo se mantiene en movimiento con velocidad constante a menos que otra fuerza actúe sobre el objeto en movimiento, así alterando la aceleración del objeto. Además, esta ley establece que la fuerza neta que sea aplicada al objeto es directamente proporcional a la aceleración y su masa. A través de este experimento, se comprobó cómo es que esto es cierto utilizando las siguientes fórmulas:

1. $F = ma$

2. $a = 2A$

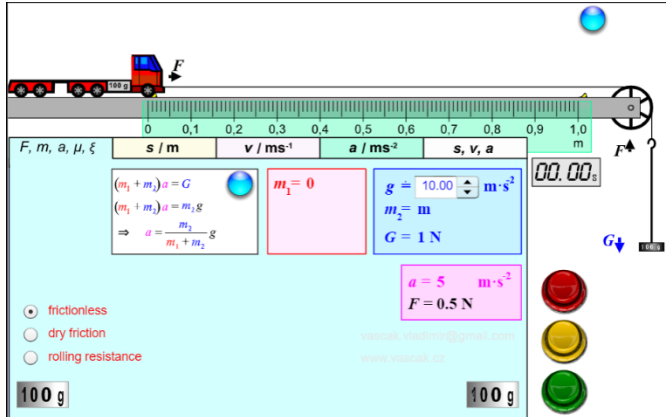
3. $\% \text{ de diferencia} = \frac{|v_{\text{teorico}} - v_{\text{experimental}}|}{v_{\text{teorico}} + v_{\text{experimental}}/2} \times 100\%$

4. Promedio de fuerza $= \frac{F_1 + F_2}{2}$

II) Datos y Cálculos

Para la realización del laboratorio *Segunda Ley de Movimiento: La Máquina de Atwood*, se utiliza la simulación Vascak, donde el camión representará la masa M y la porta masas representa la masa m .

Figura 1. Ejemplo de la Simulación Vascak



En primer lugar, se obtiene la fuerza F y la aceleración a del sistema, manteniendo la masa del camión constante y añadiendo 0.100kg a la porta masas. Luego de esto, se repite el experimento manteniendo la masa de la porta masas $m = 0.100\text{kg}$ constante y cambiando el valor de la masa del camión M . A este se le añade 0.100 kg con el fin de mantener una masa total entre el carrito y la porta masas.

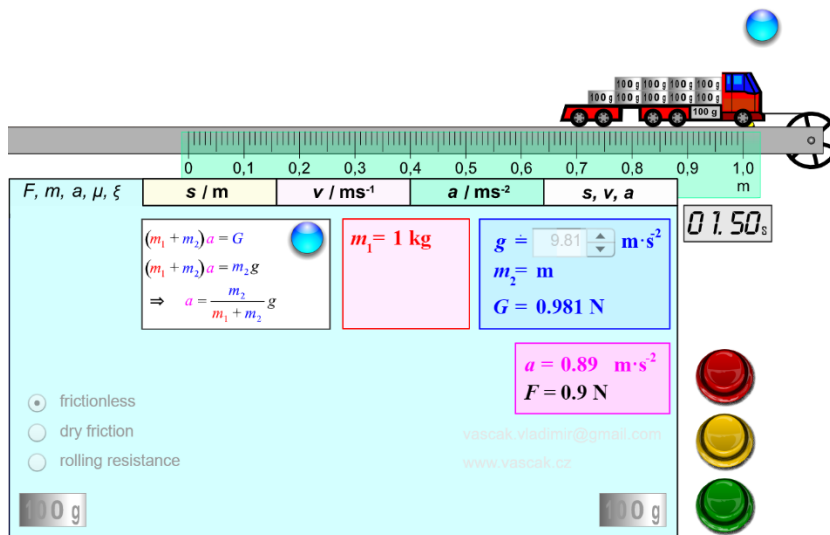
Tablas

Tabla 1. Fuerza y aceleración obtenida manteniendo constante la masa del camión, aumentando la masa de la porta masas por 0.100 kg.

$MT = M + m = 1.1\text{ kg}$			
Caso #	m (kg)	F = mg (N)	Aceleración (m/s ²)
1	0.1	0.981	0.89
2	0.2	1.962	1.96
3	0.3	2.943	2.68
4	0.4	3.924	3.57
5	0.5	4.905	4.46
6	0.6	5.866	5.35

7	0.7	6.867	6.24
8	0.8	7.848	7.13
9	0.9	8.829	8.03
10	1.0	9.81	8.92

Figura 2 Simulador Caso #1 (Los otros casos siguen el mismo procedimiento solo que se alterna la masa)

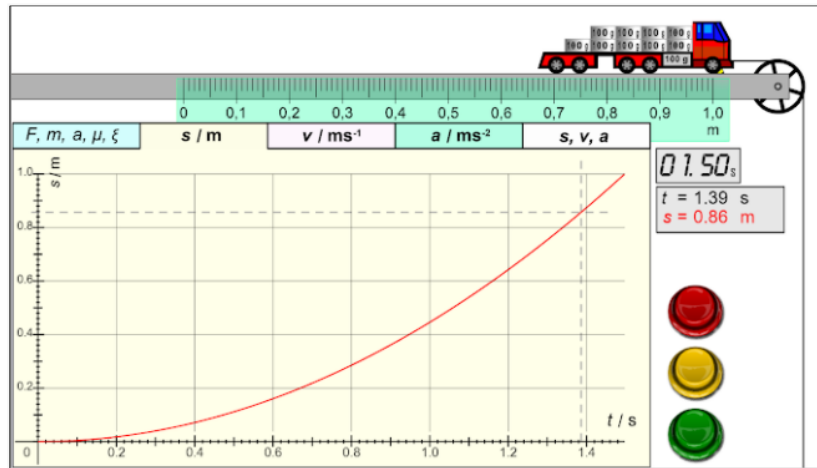


Utilizando la gráfica de posición vs. Tiempo correspondiente al primer caso se obtuvieron los datos necesarios para realizar la tabla 2. Luego de esto se realizó la gráfica en Excel (Gráfica 2), esto con el fin de obtener el coeficiente de x^2 . Posteriormente de esto se creo una grafica nueva para comparar la aceleración con la fuerza (Gráfica 3).

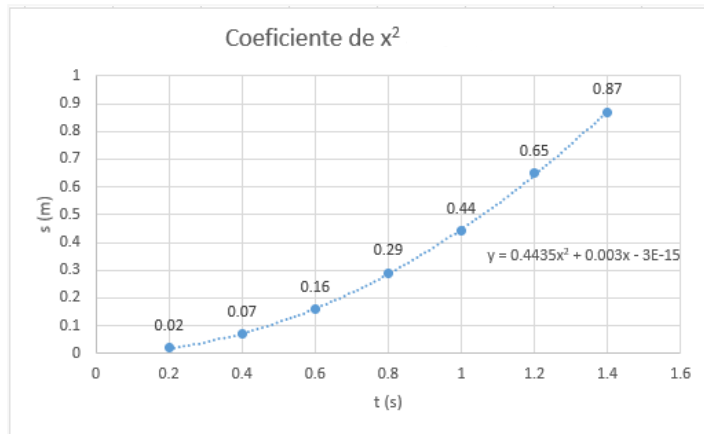
Tabla 2. Datos de **posición y tiempo a lo largo de la trayectoria.**

Datos #	t (s)	s (m)	A (coeficiente de x^2)	Aceleración $a = 2A$ (m/s ²)
1	0.2	0.02	0.4435	0.887
2	0.4	0.07		
3	0.6	0.16		
4	0.8	0.29		
5	1.0	0.44		
6	1.2	0.65		
7	1.4	0.87		

Gráfica 1. Gráfica de posición vs tiempo correspondiente al Caso 1 (Tabla 1)



Gráfica 2. Coeficiente de x^2

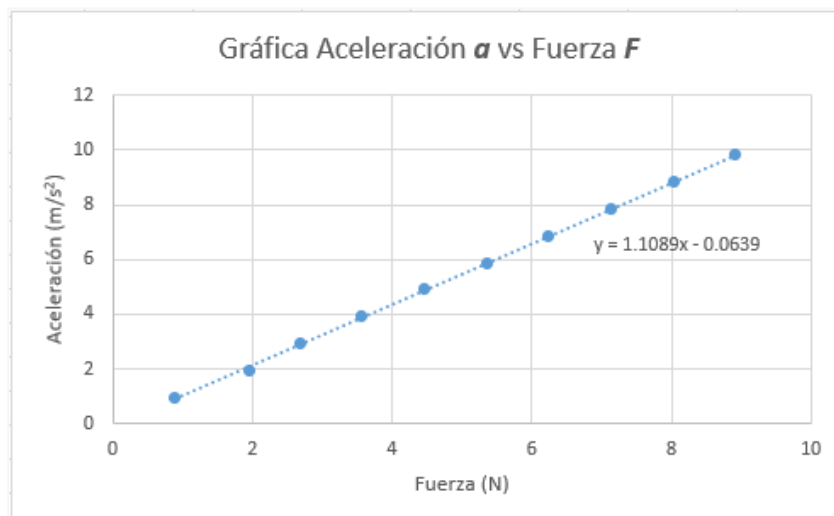


Cómputos Caso #1:

$$a = 2A$$

$$a = 2(0.4435) = 0.887$$

Gráfica 3. Gráfica Aceleración vs Fuerza correspondiente a la Tabla 1.



Segunda Parte

Para obtener los datos de la segunda parte se utilizó la misma simulación, pero en este caso la masa de la porta masas se mantuvo constante en 0.100 kg. En el primer intento (Figura 3) no se colocaron pesas en el carrito ya que tenia los 0.100 kg necesarios. En los próximos casos se añadieron 0.100 kg al carrito como se puede observar en la tabla de abajo

Tabla 3. Aceleración obtenida manteniendo constante la masa de la porta masas. aumentando la masa del camión por 0.100 kg.

$mg = 0.981 \text{ N}$					
Caso #	M (kg)	m (kg)	M + m (kg)	$(M + m)^{-1} (\text{kg}^{-1})$	Aceleración (m/s^2)
1	0.1	0.100	0.2	5	4.91
2	0.2	0.100	0.3	3.33	3.27
3	0.3	0.100	0.4	2.5	2.45
4	0.4	0.100	0.5	2	1.96
5	0.5	0.100	0.6	1.67	1.64
6	0.6	0.100	0.7	1.42857	1.4
7	0.7	0.100	0.8	1.25	1.23

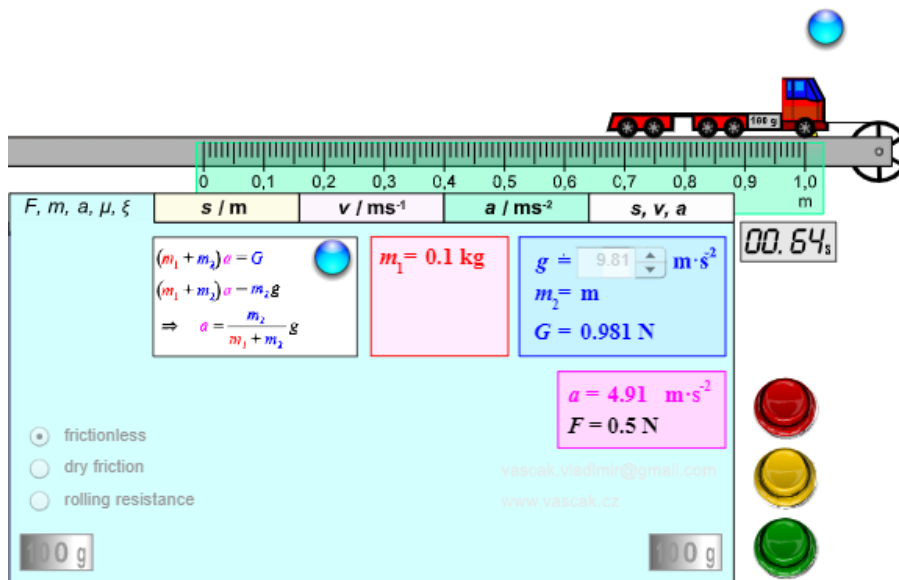
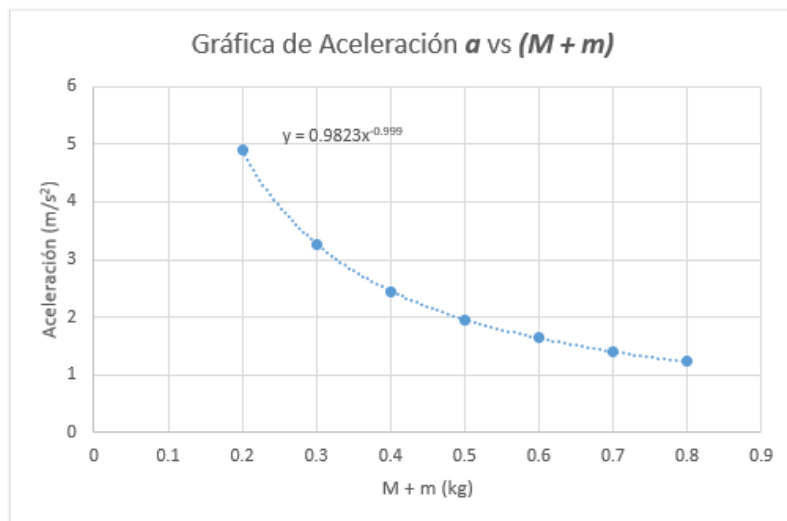


Figura 3. Simulador Caso 1 (Los otros casos siguen el mismo procedimiento solo que se alterna la masa)

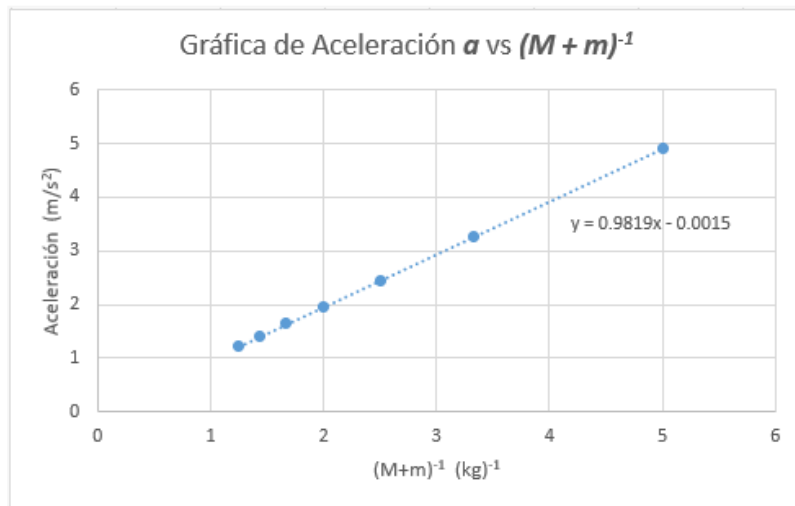
Tabla 2. Promedio entre valor experimental y valor gráfico.

Parte #	Masa total (recíproco de la pendiente) Valor experimental	Valor real (calculado o medido)	% de diferencia
Primera	1.1089 kg	1.1 kg	0.11 %
	Promedio de la fuerza (coeficiente y pendiente) Valor experimental	Valor real (calculado o medido)	% de diferencia
Segunda	0.981 N	0.981 N	0.07 %

Gráfica 3. Gráfica Aceleración vs ($M + m$) correspondiente a la Tabla 2.



Gráfica 4. Gráfica de la Aceleración a en función del recíproco de la masa total del sistema $(M + m)^{-1}$ utilizando datos de la Tabla 2.



% de diferencia (Primera Parte)

$$= \frac{|V_{\text{teorico}} - V_{\text{experimental}}|}{\frac{V_{\text{teorico}} + V_{\text{experimental}}}{2}} * 100$$

$$= \frac{|1.1 - 1.1089|}{\frac{1.1 + 1.1089}{2}} * 100$$

$$= 0.11\%$$

Promedio de Fuerza (Segunda Parte)

$$= \frac{F_1 + F_2}{2}$$

$$= \frac{|0.9823 + 0.9819|}{2}$$

$$= 0.9821$$

III) Análisis de resultados

Gracias a los resultados obtenidos en la gráfica Posición vs Tiempo creada en la plataforma Excel de la Tabla 1 se obtuvo la siguiente ecuación: $0.4435x^2 + 0.003x - 3E - 15$. A partir de esta cuadrática se obtuvo el valor de A, el cual resultó ser 0.4435, mientras que el valor de la aceleración resultó 1.0 m/s^2 . La grafica tuvo un comportamiento lineal ya que la posición y el tiempo tiene relación directamente proporcional. Se determinó que la regresión adecuada para este caso sería lineal ya que está directamente relacionada con la Segunda Ley de Newton dictada por la ecuación lineal. Por otro lado, en la gráfica de Fuerza vs Aceleración se obtuvo la siguiente regresión lineal: $y = 1.1089x - 0.0639$.

Los datos recopilados para la segunda parte se pueden encontrar en la tabla 3. Estos datos se organizaron en graficas en donde la primera de $M+m$ y aceleración tuvo un comportamiento exponencial.

Esto quiere decir que, en cuanto a la relación de la aceleración y la masa total, mientras la masa aumenta, la aceleración disminuye, esto quiere decir que son inversamente proporcional. La ecuación de regresión de la gráfica fue $y = 0.9823x^{-0.999}$, donde el valor del exponente de la masa se acerca a -1. Al ser negativo, representa la relación inversa entre la masa y la aceleración. El valor del coeficiente de fuerza que se obtuvo fue 0.9823 actuando sobre el sistema. La gráfica de $(M+m)^{-1}$ y aceleración presentó un comportamiento lineal de la misma ecuación de la gráfica de Fuerza y Aceleración ($y=mx$). El resultado de esta ecuación lo fue $y=0.9821$. Los resultados relacionados al comportamiento de la aceleración con respecto a F y M+m, demostraron que la aceleración varía dependiendo de la masa.

Por último, el porcentaje de diferencia entre el valor real y el valor obtenido en la fase experimental de masas nos dejó un 0.11% de diferencia. Para llegar al mismo, se tomó como valor real la masa total dada de 1.1kg. Para el valor experimental se tomó el valor calculado del recíproco de la masa de 1.1089kg. Por otro lado, el porcentaje de diferencia calculado de la fuerza fue uno de 0.07%. Como valor real se utilizó 0.981N y para el valor experimental se utilizó el 0.982N. Los resultados finales de porcentaje de diferencia nos dejaron saber que esos resultados son bastante similares, demostrando ser métodos precisos y exactos. Siendo el método estadístico el más conveniente por su tasa menor de error en su porcentaje.

IV) Conclusión

En este experimento se logró determinar experimentalmente el modo en que cambia la aceleración de un cuerpo cuando este es halado por fuerzas de diferentes magnitudes y determinar experimentalmente la relación matemática entre fuerza, masa y aceleración. El comportamiento de la gráfica *Aceleración vs Fuerza* (gráfica 3) es lineal, esto significa que mientras la aceleración aumenta, la fuerza también. La relación matemática entre la aceleración y la masa total es inversamente proporcional, es decir, mientras un valor aumenta, el otro disminuye. Por otro lado, que la relación matemática entre la fuerza y la aceleración es directamente proporcional, es decir, si un valor aumenta, el otro también. Dado a que para obtener aceleración a partir de la fórmula de Fuerza se debe despejar, quedó también entonces demostrado que la aceleración es inversamente proporcional a la masa. El porcentaje de diferencia de masas totales fue 0.11%, mientras que el porcentaje de diferencia de fuerzas resultó ser 0.07%; estos valores indican que los métodos utilizados fueron precisos y exactos, pero por el menor porcentaje de diferencia, el método más “conveniente” lo fue el estadístico.

V) Referencias

[1] Douglas C. Giancoli. 2009. Physics for Scientists & Engineers. Upper Saddle River, New Jersey 07458: Pearson Education, Inc. p. 51-58

[2] Manual de Experimentos de Física I, López, Marrero y Roura, Primera Edición, 2008, J. Wiley & Sons, Inc. NJ

[3] OpenStax. *University Physics Volume 1*,

Rice University 2018. p43-104.

[4] *Vascak Math Practice*. (s. f.). Vascak. Recuperado 22 de septiembre de 2020, de https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mech_newton2&l=

INICIALES: A. J. N. P 1, P. N. O 2, R. O. R3