

# Utilización del plano inclinado para determinar la aceleración de gravedad



José Cáceres<sup>1,2</sup> y Eduardo Martínez<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones Agrícolas, Biológicas, Educativas y Sociales, Núcleo Universitario "Rafael Rangel", Universidad de Los Andes, Trujillo, Venezuela.

<sup>2</sup>Departamento de Física y Matemática, Núcleo Universitario "Rafael Rangel", Universidad de Los Andes, Trujillo, Venezuela.

E-mail: caceres@ula.ve

(Received 23 October 2014, accepted 11 July 2015)

## Resumen

En el presente trabajo, diseñamos una práctica de laboratorio que permite estudiar la dinámica de una masa sujeta a un dinamómetro sobre un plano inclinado, con fines educativos. El objetivo principal es calcular la aceleración de gravedad, cuyo resultado fue  $10 \text{ m/s}^2$ . Esto se consiguió graficando la fuerza que registra el dinamómetro para cada ángulo de inclinación del plano, igualmente se realiza el correspondiente mapa conceptual y V de Gowin en el marco del Aprendizaje Significativo-Constructivista. La importancia radica en permitir al estudiante comprender las leyes de Newton y sus aplicaciones, con un experimento de simple realización que requiere poco tiempo en su montaje experimental y de esta manera poder usarlo por numerosos grupos en el laboratorio.

**Palabras clave:** Dinámica, Plano inclinado, Aprendizaje Significativo-Constructivista.

## Abstract

In this paper, we designed a laboratory practice that allows studying the dynamics of a mass attached to a dynamometer on an inclined plane, for educational purposes. The objective is to calculate the acceleration of gravity and the result was  $10 \text{ m/s}^2$ . This is accomplished by plotting the force registered by the dynamometer for each angle of inclination of the plane, and the corresponding conceptual map Gowin V is performed within Significant-Constructivist learning theory. The importance of this experience is enables the student to understand Laws of Newton and their applications, with a simple realization experiment that requires a little amount of time in their experimental setup, and thus it can be used by many groups in the laboratory.

**Keywords:** Dynamic, Inclined Plane, Significant-Constructivist learning theory.

**PACS:** 01.40.Fk, 01.40.gb, 01.40.-d.

**ISSN 1870-9095**

## I. INTRODUCTION

En el presente estudio se propone el cálculo de la aceleración de la gravedad utilizando un plano inclinado, en el caso particular de un carrito en reposo sujeto a un dinamómetro propuesto en la Figura 4. Por otro lado desde el punto de vista del proceso de enseñanza-aprendizaje, los recursos a usar serán el mapa conceptual y la V de Gowin, permitiendo así el aprendizaje significativo-constructivista de los estudiantes. Se parte de que el conocimiento no es solamente descubierto, sino construido por cada persona, de acuerdo a Guerrero [1].

El plano inclinado fue estudiado por primera vez por Simón Stevin en el año de 1585, quien dio la primera teoría correcta relacionada a un cuerpo en un plano inclinado [2].

En el ámbito de la física esto es muy importante, tanto desde el punto de vista teórico como experimental, ya que permite mostrar en una clase teórica por medio de un diagrama de cuerpo libres, las interacciones de una partícula, hasta estudiar –por medio de montaje experimental– la fuerza

de roce. Es muy usual la utilización de prácticas para determinar el coeficiente de roce estático entre objetos de diferentes materiales y entre cuerpos del mismo material, pero con diferentes masas [3].

Con la práctica diseñada en esta investigación, los estudiantes conocerán cómo se pueden desarrollar las leyes básicas de la dinámica, además de comprobar la relación lineal de la fuerza con el inverso de la longitud, relación encontrada con la aplicación de las Leyes de Newton al sistema.

El plano inclinado en el laboratorio de física puede ser de mucha utilidad, por ejemplo en la incorporación de sensores, donde se requiere calcular la aceleración del carrito cuando este baja por el plano, y con un análisis de cinemática y dinámica se puede calcular la aceleración de gravedad [4]. O como se ha hecho desde la antigüedad, dejando rodar diferentes masas con diferentes formas, un cilindro y una

esfera, para demostrar las predicciones que arrojan la dinámica para este caso [5].

Cabe señalar, que el plano inclinado permite a los estudiantes comprender las Leyes de Newton y sus aplicaciones (definiciones que los estudiantes deben conocer de cursos previos). Además, es un experimento de fácil montaje que permite su aplicación por numerosos grupos en el laboratorio, y la utilización de poco tiempo en su montaje experimental.

Los objetivos a desarrollar en este trabajo son:

Proponer en el marco del Aprendizaje Significativo-Constructivista, la construcción del conocimiento, de mapas conceptuales y de la V de Gowin, para que los estudiantes comprendan cómo calcular la aceleración de gravedad utilizando un plano inclinado, así como entender la física experimental, y también las Leyes de Newton.

## II. TEORÍA

El desarrollo de esta investigación permite contextualizar teóricamente los aspectos vinculados a las dimensiones a ser estudiadas; por ello, como lo dice Arias [6]: “implican un desarrollo amplio de los conceptos y proposiciones que conforman el punto de vista o enfoque adoptado, para sustentar o explicar el problema planteado”. A partir de esto, el presente estudio está denotado por leyes, teorías y conceptos vinculados a la Física Newtoniana, así como otros elementos teóricos de importancia.

La Dinámica, parte de la física que estudia el movimiento de los cuerpos considerando qué lo causó.

En esta investigación consideramos las Leyes de Newton, como:

- La Ley de Inercia: Todo cuerpo se opone al cambio de su estado de reposo o movimiento en línea recta, a menos que sobre él actúen fuerzas externas para intentar cambiar dicho estado [6].
- Ley de las Fuerzas: La aceleración de un cuerpo es directamente proporcional a la fuerza e inversamente proporcional a la masa [5].
- Y la Ley de acción y reacción: Toda fuerza aplicada tendrá una fuerza de igual magnitud y dirección opuesta, [6].

Uno de los instrumentos que permite el estudio de las Leyes de Newton es el plano inclinado. Es una superficie plana que forma un ángulo con una línea de referencia [7] y se utiliza para elevar cuerpos variando dicho ángulo.

Para el caso de una masa sujeta a un dinamómetro en un plano inclinado, se consigue la siguiente expresión:

$$F(x) = ax + b \quad (1)$$

Donde  $F$  es la fuerza que registra el dinamómetro,  $x$  es el inverso de la distancia  $L$ ,  $a$  es la pendiente y  $b$  el punto de corte.

Las fuerzas que se consideran en el sistema conformado por el carrito-dinamómetro-plano inclinado-tierra, son:

**Tensión.**- es la fuerza de contacto físico que surge debido a la interacción de un resorte, cuerda o cable cuando está atado a una masa y se jala o tensa.

**Peso.**- fuerza que surge de la interacción gravitacional de los cuerpos con la tierra y se obtiene del producto de la masa por la aceleración de gravedad y la Normal, fuerza de contacto físico, que se obtiene de apoyar una masa sobre una superficie y esta es perpendicular a la superficie.

La técnica utilizada para el aprendizaje en el cálculo de la aceleración de gravedad, con el uso del plano inclinado son los Mapas Conceptuales. Guerrero [1] los define como:

“... una presentación visual que contiene un resumen esquemático de la estructura cognoscitiva del individuo sobre un aspecto determinado. Dicha estructura consiste en un conjunto de conceptos relacionados y ordenados de una manera jerárquica”.

De acuerdo a esto, el mapa conceptual permite la secuencia lógica de los conceptos, en nuestro caso particular, conceptos relacionados con dinámica.

Teniendo como idea principal, el uso del plano inclinado para calcular la aceleración de la gravedad, fortaleciendo el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Otro recurso utilizado es la V de Gowin, con la finalidad de que los estudiantes aprendan a aprender.

Consiste en un diagrama en forma de V, en el que se representa de manera visual la estructura del conocimiento.

Aprendemos sobre ellos construyendo preguntas en base a conceptos y teorías (organizados previamente), que explican el comportamiento de fenómenos [1].

## III. MATERIALES Y MÉTODOS

Podemos determinar la constante de la aceleración de la gravedad por medio de un plano inclinado, en el cual se desliza un carrito, que está sostenido por un dinamómetro.

En él se puede ajustar el plano a diferentes inclinaciones; se obtiene la longitud variable  $L$ , hasta la altura constante  $h$ , ver Figura 1.

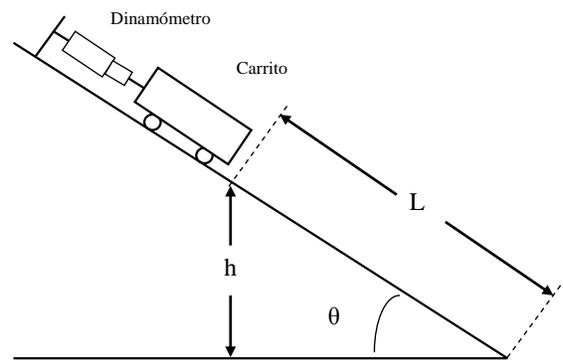


FIGURA 1. Se muestra el diagrama del montaje experimental.

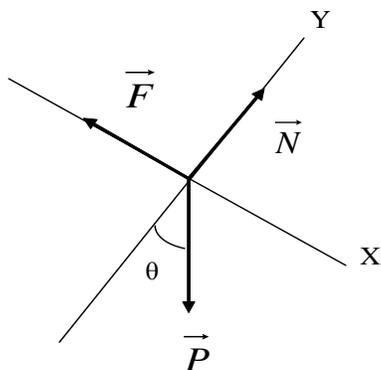


FIGURA 2. Diagrama de cuerpo libre para el carrito en reposo.

De la Figura 2 podemos observar que en el carrito actúan las siguientes fuerzas:

- a.- El peso,  $P$ .
- b.- La normal  $N$  de la masa sobre el plano inclinado.
- c.- La fuerza  $F$  que registra el dinamómetro.

Usando la Segunda Ley de Newton ( ) obtenemos las ecuaciones de movimiento del sistema carrito-dinamómetro-plano inclinado-tierra.

$$\sum F_x = F - mgsen\theta = 0, \quad (2)$$

$$\sum F_y = N - mg \cos \theta = 0. \quad (3)$$

De la ecuación (2) podemos obtener:

$$F = mgsen\theta. \quad (4)$$

Por la geometría del plano se tiene que:

$$sen\theta = \frac{h}{L}. \quad (5)$$

Sustituimos en ecuación (4) para finalmente tener que:

$$F = mgh \left( \frac{1}{L} \right). \quad (6)$$

De acuerdo a la ecuación (6) podemos predecir que el gráfico del módulo de la tensión  $F$  en función del inverso de la longitud  $L$  tendrá un comportamiento lineal como se muestra en la siguiente Figura 3.

Cuya pendiente nos resulta:

$$\text{Pendiente} = mgh. \quad (7)$$

De esta manera poder obtener la aceleración de gravedad:

Utilización del plano inclinado para determinar la aceleración de gravedad

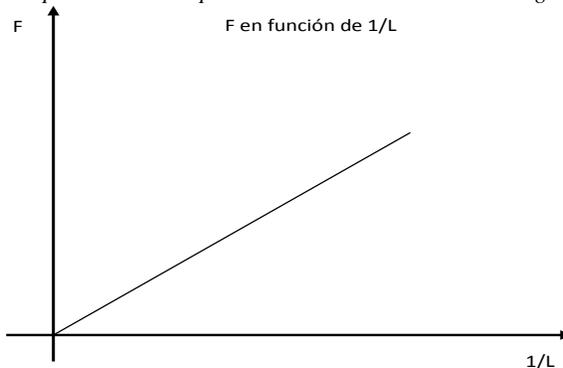


FIGURA 3. Se muestra la proyección gráfica de la fuerza en función del inverso de la longitud  $L$ .

$$g = \frac{\text{pendiente}}{mh}. \quad (8)$$

En la parte experimental se desarrollaron los siguientes pasos:

- 1.- Se realiza el siguiente montaje experimental:

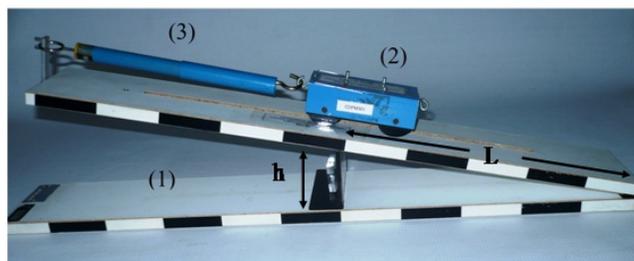


FIGURA 4. Equipo utilizado en el experimento, del cual forman parte: (1) un plano inclinado, (2) carro, (3) dinamómetro.

- 2.- Se realizaron medidas del módulo de la fuerza  $F$  y la longitud  $L$ , con la cual se construyó la siguiente tabla de datos:

TABLA I. Medidas de la Fuerza ( $F$ ), longitud ( $L$ ) y el cálculo del inverso de la longitud ( $1/L$ ), con sus respectivos errores absolutos.

$(F \pm 0,01) \text{ N}$	$(L \pm 0,1) \text{ cm}$	$1/L \text{ (m}^{-1}\text{)}$	$\Delta(1/L) \text{ (m}^{-1}\text{)}$
0,14	35,0	2,86	0,008
0,17	30,0	3,33	0,011
0,20	25,0	4,00	0,016
0,25	20,0	5,00	0,025
0,34	15,0	6,67	0,044

Donde  $F$  es el módulo de la fuerza medida con el dinamómetro (que tiene una apreciación de 0.01N); la longitud  $L$  fue medida con una cinta métrica de una apreciación de 0.1 cm, y  $h$  se midió usando un vernier de 0.005 cm de apreciación. El error absoluto asociado al inverso de la longitud con:

$$\Delta\left(\frac{1}{L}\right) = \frac{\Delta L}{L^2} \quad (9)$$

Se tomaron los siguientes datos adicionales:

$$m_{\text{carrito}} = (99,0 \pm 0,1) \text{ g} , h = (5,200 \pm 0,005) \text{ cm}.$$

Donde:

$m_{\text{carrito}}$  es la masa del carrito y  $h$  es la altura del plano inclinado, la cual es fija.

Finalmente, se realizó un gráfico y por medio del cálculo de su pendiente se obtiene la aceleración de la gravedad, con sus respectivos errores.

#### IV. RESULTADOS

Se desarrolló el Mapa Conceptual para la representación gráfica del conocimiento necesario en el uso del plano inclinado, para calcular la aceleración de la gravedad. Esto permite impulsar al estudiante a involucrarse con los conceptos de dinámica, y a que “aprendan a aprender” de acuerdo con [9].

También se elaboró la V de Gowin, recurso que se utilizó en la investigación. Además, se obtuvieron los gráficos de la fuerza que registra el dinamómetro, en función del inverso de  $L$  (Figura 5), en este gráfico se muestra la naturaleza lineal de la relación. Para esto se utilizan los datos de la Tabla I, la Figura 5 fue obtenida utilizando el software libre *qtiplot* [10], que permite la visualización y análisis de datos científicos, determinando la siguiente ecuación:

$$F\left(\frac{1}{L}\right) = 0,05172(Nm)\frac{1}{L} - 0,00613(N) \quad (10)$$

Donde, la pendiente  $a = (0,05172 \pm 0,00098) Nm$ , con un error porcentual de 1.9 %, con un coeficiente de correlación  $r=0,99857$ , que indica que los datos de la Tabla I y de la Figura 5 presentan una dependencia lineal entre sus variables.

El error absoluto de la aceleración de la gravedad se calculó por medio de:

$$\Delta g = g\left(\frac{\Delta \text{pendiente}}{\text{pendiente}} + \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta h}{h}\right) \quad (11)$$

Y la constante de la gravedad a través de la Ecuación (8):

$$g = (10 \pm 0.2) \text{ m/s}^2.$$

El error absoluto y el porcentual de la pendiente tienen una precisión aceptable de acuerdo con los instrumentos utilizados y la constante de la gravedad, con una exactitud del 2 % de discrepancia con respecto al valor tabulado de  $9.80 \text{ m/s}^2$  [8].

#### V. CONCLUSIONES

Este montaje experimental del plano inclinado, ofrece ventajas en la toma de datos y sus respectivos cálculos por una fácil implementación y poco requerimiento de tiempo para su realización; además, no es necesaria la utilización de complejos y sofisticados aparatos electrónicos.

Se logró determinar la aceleración de la gravedad dentro de un rango de  $9.8$  a  $10.2 \text{ m/s}^2$  con un error porcentual del 2%.

Se consiguió comprobar la linealidad de la expresión matemática (6), fuerza en función del inverso de la distancia, como es predicha por la dinámica.

Este trabajo permite que el estudiante se involucre en la realización experimental.

Se cumplió con el objetivo que los estudiantes logran recrear por medio del experimento el funcionamiento del plano inclinado, la realización de diagramas de fuerzas, la aplicación de la Segunda Ley de Newton, lo que desde el punto de vista educativo facilitó elaborar un mapa conceptual (Figura 6) y una V de Gowin (Figura 7); logrando centrar su atención en la comprensión de las Leyes de Newton y obtener un mayor aprendizaje significativo.

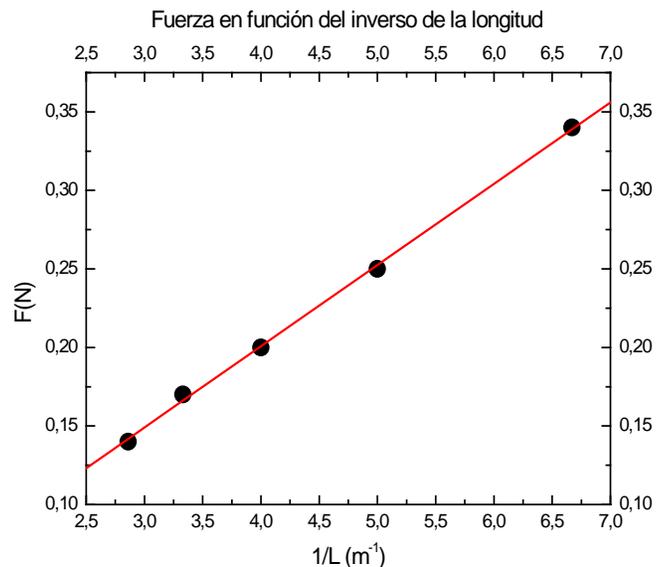


FIGURA 5. Fuerza (F) en función del inverso de la distancia ( $1/L$ ), la línea roja representa el ajuste de la Ec. (1).

#### AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Centro de Investigaciones Agrícolas, Biológicas, Educativas y Sociales del Núcleo Universitario “Rafael Rangel” de la Universidad de Los Andes, por el apoyo otorgado para la realización de este trabajo y a los estudiantes de la asignatura Laboratorio de Física General del Núcleo Universitario “Rafael Rangel” de la Universidad de Los Andes.

## REFERENCIAS

- [1] Guerrero, L., *Estrategias para un aprendizaje significativo-constructivista*, Enseñanza **15**, 29-50 (1997).
- [2] Pardo de Santayana, J., *Grandes protagonistas de la humanidad: Galileo*, (Editora Cinco, Bogotá, 1985).
- [3] Figueroa D., Guerrero L. y otros, *Laboratorio de Física I*, (Equinoccio USB, Caracas, 2004).
- [4] Armando, G. H., Santana Urueña W., *Plano inclinado con cuatro sensores*, *Scientia et Technica* (Universidad Tecnológica de Pereira) **16** (2010). ISSN 0122-1701.
- [5] Calderón, S., Núñez, P. & Gil, S., *Estudio cinemático del movimiento de cuerpos que ruedan por un plano inclinado*, *Lat. Am. J. Phys. Educ.* **3** (2009).
- Utilización del plano inclinado para determinar la aceleración de gravedad*
- [6] Arias, F., *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica*, 5th Ed. (Episteme, Caracas, 2006).
- [7] Parker S., *Diccionario McGraw Hill de Física, Tomo II*, (McGraw Hill, México, 1991).
- [8] Serway R. y Jewett J., *Física para Ciencias e Ingeniería, Vol. 1*, (International Thomson Editores, México, 2005).
- [9] Cadenas I., *Mapa conceptuales y la estructuración del saber. Una experiencia en el área de educación para el trabajo*. *Educere* **17**, 9-27 (2002).
- [10] Vasilief, I., *Qtiplot, versión 0.9.8. (2004-2010)*. Disponible en: <http://soft.proindependent.com/qtiplot.html>, Consultado el 9 de junio de 2014.