**Conservación de la Energía:**

**Experimento**

Gabriel Quirós Meza, Josep Nájera Chaves y Emmanuel Naranjo

Grupo 13

Laboratorio de Física General I

Escuela de Física, Instituto Tecnológico de Costa Rica

Junio de 2019

**Resumen**

En este experimento se realizó un análisis de la relación entre las variables cinemáticas de un cuerpo mientras se mueve en una región determinada. Mediante el uso de una pista inclinada de baja fricción y un carrito, se midieron distintos datos como los tiempos que tarda el carrito en llegar desde una posición inicial (Xo, Yo) hasta una posición final (Xf, Yf). Además de otros resultados que serían utilizados para para evaluar el cumplimiento de la Ley de Conservación de la Energía Mecánica de un sistema mecánico sencillo. Por ejemplo, para el recorrido desde el punto inicial hasta los 90 cm se obtuvo una energía cinética de 0.5174 J, una energía potencial de 0 J y una energía mecánica de 0.5174 J, lo cual indica el cumplimiento de la ley.

Con la ayuda del equipo proporcionado por el laboratorio, se logró analizar la Ley de Conservación de la Energía. Con un sistema mecánico sencillo se identificó cómo se conserva la energía mecánica (E=K+U) en un riel inclinado a cinco grados con respecto a la horizontal.

**Introducción**

En ausencia de resistencia del aire o de otras fuerzas disipadoras, la suma de las energías potencial y cinética es una constante, siempre que no se añada ninguna otra energía al sistema, gracias a lo anterior se puede deducir que el cambio de energía inicial será siempre igual al cambio de energía final siempre y cuando no actúe otra fuerza externa a nuestro sistema. Por lo tanto, mediante este experimento se pretende corroborar esta afirmación (Pérez, 2016).

Teóricamente, al lanzar un carrito desde cierta distancia y altura y medir sus valores de energía potencial y energía cinética en varios puntos del trayecto y sumándose, estas serán siempre iguales, obteniendo así un valor de energía mecánica constante. Por lo tanto, se demostrará lo anterior mencionado. Las siguientes ecuaciones permiten realizar los cálculos necesarios para el experimento:

U=m⋅g⋅h       Δ K=−ΔU E=K+U       Ei=Ef

K=

Se pretende realizar una gráfica que compare las tres energías, que permita analizar de una manera visual cómo cambian la energía potencial y la energía cinética con respecto al tiempo; esperando que la energía mecánica se mantenga constante (o lo más aproximado posible) durante todos los tiempos medidos

**Materiales y métodos**

**Equipo mínimo requerido para la realización del experimento:**

|  |  |
| --- | --- |
| **Cantidad** | **Descripción** |
| 2 | Fotocompuestas |
| 1 | Smart Timer |
| 1 | Pista de baja fricción |
| 1 | Carrito |
| 1 | Prensa de mesa |
| 1 | Varilla |
| 1 | Indicador de ángulo |
| 1 | Cinta métrica |
| 1 | Balanza |

**En este experimento se determinaron los datos de la siguiente forma:**

Mediante la teoría de la Ley de Conservación de la Energía Mecánica se establecieron los datos necesarios que se deben obtener durante el experimento para describir correctamente el comportamiento de un sistema mecánico sencillo. Estos son: masa del carrito con la pantalla, tiempo promedio ‘t’ que tarda el carrito en llegar desde el punto inicial de referencia en el eje x hasta distintas distancias ‘d’ y las diferentes alturas ‘h’ respecto al punto de referencia en el eje y establecido.

Para obtener los datos, el experimento empieza con el montaje de un equipo sobre la mesa. Este consiste en una pista de baja fricción, en la cual se utilizó la prensa de mesa y la varilla para darle una inclinación de  5 ◦.

Luego, con la balanza, cuya resolución es de 0,01g se midió la masa del carrito junto con la pantalla. Posteriormente, con la cinta métrica, cuya resolución es de 0,1 cm, se midió la altura inicial a la que se va a lanzar el carrito. Luego, se colocó un fotosensor en el inicio de la pista y el otro a una distancia ‘d’ que se iba modificando (90 cm, 80 cm, 70 cm, 60 cm, 50 cm, 40 cm, 30 cm y 20 cm). Por último, se midió 10 veces el tiempo que tardó el carrito en recorrer cada distancia con el Smart Timer, cuya resolución es 0,0001 s.

Para finalizar, se realizaron los cálculos necesarios para evaluar el cumplimiento de la Ley de Conservación de la Energía Mecánica. Los cálculos realizados son: la velocidad, la energía cinética, la energía potencial y la energía mecánica del carrito. Además, se hizo un gráfico de energía en función del tiempo.

Se utilizó la ley de propagación de la incertidumbre para determinar las incertidumbres de los datos obtenidos. Para llevar control de los datos, estos fueron anotados en tablas que se muestran más adelante. Además, se utilizaron las ecuaciones teóricas y los datos experimentales obtenidos para realizar los cálculos.

Es importante realizar la toma de datos y los procedimientos con mucha precaución y varias veces para así obtener resultados confiables y más precisos. Al ser un trabajo grupal, las mediciones pueden diferir por varios factores como la poca experiencia de los participantes, el mal uso de los instrumentos, el mal uso de las fórmulas a la hora de realizar cálculos, la precisión de los instrumentos y descuidos de las personas que miden.

**Resultados y discusión**

**Cálculo de la incertidumbre asociada a los instrumentos:**

Para el comportamiento de las mediciones se utilizó la incertidumbre estándar, la cual se obtiene mediante la siguiente ecuación:

Puede demostrarse la incertidumbre estándar asociada a la medición como:

De esta forma se obtienen las incertidumbres asociadas a la distancia recorrida y al tiempo.

Para la distancia: (±0.029) cm y para el tiempo: (± 0.000058) s.

**Mediciones para el cálculo del tiempo del carrito en recorrer una distancia.**

La masa del carrito con pantalla obtenida con la balanza fue de (520.2300±0.0058) g. El peso de este objeto puede hacer que los datos de la velocidad y tiempo varíen, por lo que los datos que se observarán en las tablas de la 1.1 a la 1.8 (ver anexo 1) son los datos de las mediciones realizadas con el carrito en distancias determinadas de 20 a 90 cm. Las mediciones fueron realizadas por el Smart Timer. Además, las tablas muestran datos como la distancia de medición (20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90) cm, los tiempos de las 10 repeticiones ejecutadas y el promedio del tiempo para cada medición. En la siguiente tabla se muestra los datos obtenidos en la medición del tiempo para la distancia de 90 cm, los demás tiempos se pueden encontrar en el Anexo 1.

Tabla 1.1. Medición del tiempo en segundos del carrito en recorrer 90 cm.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| N. | Distancia (±0, 0,029) cm | Tiempos  (± 0,000058) s | Promedio(s) |
| 1 |  | 1.2611 | 1.2763 |
| 2 | 1.2770 |
| 3 | 1.2969 |
| 4 | 1.2817 |
| 5 | 1.2838 |
| 6 | 1.2461 |
| 7 | 1.2944 |
| 8 | 1.2718 |
| 9 | 1.2825 |
| 10 | 1.2673 |

Luego de las mediciones, se procedió a realizar la parte de los cálculos de la cual requerimos de la plataforma de Excel y sus herramientas para llevarlos a cabo. La Tabla 2 representa los cálculos realizados de Desviación Estándar, Incertidumbre Estándar, Incertidumbre Total y el Promedio del tiempo con su debida incertidumbre, esto para cada distancia. Además, la tabla contiene los datos del promedio y distancia que se llevaron a cabo en las mediciones.

Tabla 2. Estimación de la incertidumbre estándar del tiempo en cada distancia recorrida.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Distancia (cm)** | **Tiempo Promedio (s)** | **Desv. Estándar** | **Incertidumbre Total** | **(Tiempo ±incertidumbre)** |
| **90** | 1.27626 | 0.015350078 | 0.21 | (1.28**±**0.21) |
| **80** | 1.19275 | 0.011515424 | 0.18 | (1.19**±**0.18) |
| **70** | 1.10431 | 0.034065442 | 0.31 | (1.10**±**0.31) |
| **60** | 1.02481 | 0.012957062 | 0.19 | (1.03**±**0.19) |
| **50** | 0.91192 | 0.007349497 | 0.14 | (0.91**±**0.14) |
| **40** | 0.80955 | 0.001389044 | 0.06 | (0.81**±**0.06) |
| **30** | 0.69108 | 0.002558993 | 0.09 | (0.69**±**0.09) |
| **20** | 0.55694 | 0.002320536 | 0.08 | (0.56**±**0.08) |

**Velocidad del carrito.**

La velocidad luego de recorrer una distancia ‘d’ en un tiempo ‘t’ está dado por la relación:

En la tabla 3 se observan las velocidades del carrito luego de recorrer una distancia determinada.

Tabla 3. Estimación de la velocidad del carrito luego de recorrer una distancia.

|  |  |
| --- | --- |
| D (±0, 0,029) cm | Velocidad |
| 90 | 1.410370928 |
| 80 | 1.341437854 |
| 70 | 1.267759959 |
| 60 | 1.170948761 |
| 50 | 1.09658742 |
| 40 | 0.988203323 |
| 30 | 0.868206286 |
| 20 | 0.71821022 |

Mediante la siguiente ecuación se calculó la incertidumbre de las velocidades de la Tabla 3. Estos resultados se muestran en la (Tabla 4)

Para la incertidumbre combinada de la velocidad:

De la cual se logra despejar:

Derivada parcial de la velocidad con respecto a la distancia:

Derivada parcial de la velocidad con respecto al tiempo:

Tabla 4. Estimación de la incertidumbre de la velocidad.

|  |  |
| --- | --- |
| Velocidad | incertidumbre |
| 1.410370928 | 0.23 |
| 1.341437854 | 0.20 |
| 1.267759959 | 0.36 |
| 1.170948761 | 0.22 |
| 1.09658742 | 0.17 |
| 0.988203323 | 0.077 |
| 0.868206286 | 0.11 |
| 0.71821022 | 0.10 |

**Energía Mecánica del carrito.**

Se procedió a calcular la energía potencial del carrito a las distintas distancias, mediante la fórmula:

Donde ‘m’ es la masa promedio del carrito, ‘g’ es la gravedad (9,74 m/) y ‘h’ el cambio de alturas con respecto al eje de referencia establecido (en este caso la altura de la pista a 90 cm). Gracias a esto, se pudo obtener los valores de la energía potencial respecto a los diferentes tiempos (Tabla 5). Al ser una medida indirecta, su incertidumbre se calculó con la Ley de la Propagación de las Incertidumbres con las derivadas parciales (Tabla 6).

Derivada parcial de la energía potencial con respecto a la altura:

Derivada parcial de la energía potencial con respecto a la masa:

Se calculó la energía cinética que poseía el carrito a las distintas distancias, mediante la fórmula:

Donde ‘m’ sigue siendo la masa y ‘v’ la velocidad obtenida a distintos puntos (Tabla 3). Gracias a lo anterior, se puede obtener un valor de energía cinética para cada distancia (Tabla 5) y su respectiva incertidumbre mediante sus respectivas derivadas parciales (Tabla 6).

Derivada parcial de la energía cinética con respecto a la masa:

Derivada parcial de la energía cinética con respecto a la velocidad:

Finalmente, y como se tiene de objetivo en esta prueba, se procedió a calcular la energía mecánica de este sistema y de este modo determinar si esta se conserva o no. Esto se logra gracias a la siguiente fórmula:

Donde ‘K’ es la energía cinética y ‘U’ es la energía potencial, ya calculadas para cada tiempo. Gracias a esto, se puede obtener un valor de energía mecánica para cada distancia (Tabla 5) y su respectiva incertidumbre (Tabla 6), a partir de las siguientes derivadas:

Derivada parcial de la energía mecánica con respecto a la masa:

Derivada parcial de la energía mecánica con respecto a la distancia:

Derivada parcial de la energía mecánica con respecto al tiempo:

Derivada parcial de la energía mecánica con respecto a la altura:

Por lo tanto:

A continuación, se presentan los resultados:

Tabla 5. Medición de la energía cinética, potencial y mecánica luego de recorrer una distancia.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| D (cm)±0,029 | E potencial | E cinética | E mecánica |
| 90 | 0 | 0.517406752 | 0.517406752 |
| 80 | 0.050670402 | 0.468065371 | 0.518735773 |
| 70 | 0.081072643 | 0.418060811 | 0.499133454 |
| 60 | 0.131743045 | 0.356649139 | 0.488392184 |
| 50 | 0.172279367 | 0.31278932 | 0.485068687 |
| 40 | 0.212815688 | 0.254014213 | 0.466829901 |
| 30 | 0.25335201 | 0.196070045 | 0.449422055 |
| 20 | 0.298955372 | 0.134174059 | 0.433129431 |

Tabla 6. Determinación de la incertidumbre de la energía cinética, mecánica y potencial a una distancia determinada.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| D (cm)±0,029 | E. potencial | E. cinética | E. mecánica |
| 90 | 0 | 0.517406752 | 0.517406752 |
| 80 | 0.050670402 | 0.468065371 | 0.518735773 |
| 70 | 0.081072643 | 0.418060811 | 0.499133454 |
| 60 | 0.131743045 | 0.356649139 | 0.488392184 |
| 50 | 0.172279367 | 0.31278932 | 0.485068687 |
| 40 | 0.212815688 | 0.254014213 | 0.466829901 |
| 30 | 0.25335201 | 0.196070045 | 0.449422055 |
| 20 | 0.298955372 | 0.134174059 | 0.433129431 |

**Comportamiento de la energía mecánica, potencial y cinética.**

Figura 1. Análisis de Resultados Conservación de la Energía.

En la gráfica anterior aprecia que la energía cinética, en términos del tiempo corresponde a una función creciente, lo que indica que esta aumenta su magnitud conforme avanza el tiempo; a mientras que el valor de la energía potencial disminuye conforme avanza el tiempo debido a que esta corresponde a una función decreciente. Esto se da debido a que la ley de conservación de la energía mecánica en sistemas carentes de fuerzas disipativas, donde se afirma que la energía mecánica del sistema debe mantener un valor constante por lo que la energía cinética se transforma en energía potencial gravitatoria y viceversa.

Del mismo modo, al analizar el movimiento descrito por el carrito al pasar por las fotoceldas se ha determinado que este parte de una cierta altura dejándose caer, lo que permite concluir que su energía cinética inicial es cero, y cuando el carrito empieza su movimiento esta energía aumenta llegando a su punto máximo cuando pasa el fotosensor (final del recorrido). Mientras la energía potencial posee su máximo valor en el momento inicial, conforme el carrito comience a avanzar, la energía potencial empieza a disminuir hasta llegar al origen de referencia donde su valor es cero.

Por otra parte, la gráfica indica que la magnitud de la energía cinética aumenta conforme avanza el tiempo y la energía potencial comienza a disminuir de tal forma que genera se da una Inter- conversión de energía, cuya suma representa la energía mecánica del sistema.

Si se compara los valores máximos obtenidos para la energía cinética (0,5 J) y potencial (0,3 J) se puede notar que el valor máximo de la energía cinética 0,2 J mayor que el de la energía potencial y es aquí donde se nota algunos errores en la medición, y a su vez posibles fuentes de error como lo podría ser malas prácticas en el momento de la medición, detalles en el montaje del equipo o errores en los cálculos. A pesar de este detalle, que la energía cinética es levemente mayor que la potencial, los valores obtenidos fueron bastante certeros, y el comportamiento esperado de las energías fue similar a la muestra de las instrucciones del examen.

**Conclusiones**

La ley de conservación de la energía mecánica de un cuerpo se puede determinar de manera experimental al lanzar un carrito por plano inclinado a 5° al calcular la magnitud de ciertos parámetros como la masa, la velocidad, el tiempo, la distancia horizontal, la diferencia de alturas, entre otros, necesarios para aplicar la definición de energía mecánica para poder determinar la gráfica de esta y de esta manera apreciar que se trata de una línea semejante a una línea recta, lo que indica que la energía mecánica se conserva en el tiempo.

Al analizar la variación de la energía cinética y potencial gravitacional que experimenta un cuerpo conforme avanza el tiempo al descender por un plano inclinado se puede asegurar que la energía cinética aumenta su valor mientras que la energía potencial disminuye su magnitud, acción que se justifica mediante la relación matemática E=U+K.

Se ha determinado que la energía no se crea ni se destruye, únicamente se transforma lo que justifica el hecho dé una inter-conversión entre la energía cinética y potencial gravitacional que experimenta un cuerpo en ausencia de fuerzas no conservativas.

**Apéndices**

**Anexo 1**

**Mediciones del tiempo respecto a una distancia recorrida**

En las siguientes tablas se muestran los datos obtenidos en la medición del tiempo para la determinación de la rapidez inicial de salida del carrito, así como su valor promedio

Tabla 1.2. Medición del tiempo en segundos del carrito en recorrer 80 cm.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| N. | Distancia (±0, 0,029) cm | Tiempos  (± 0,000058) s | Promedio(s) |
| 1 | 80 | 1.1857 | 1.19275 |
| 2 | 1.2127 |
| 3 | 1.1888 |
| 4 | 1.1862 |
| 5 | 1.2096 |
| 6 | 1.1839 |
| 7 | 1.2041 |
| 8 | 1.1823 |
| 9 | 1.1837 |
| 10 | 1.1905 |

Tabla 1.3. Medición del tiempo en segundos del carrito en recorrer 70 cm.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| N. | Distancia (±0, 0,029) cm | Tiempos  (± 0,000058) s | Promedio(s) |
| 1 | 70 | 1.1294 | 1.10431 |
| 2 | 1.1216 |
| 3 | 1.1319 |
| 4 | 1.1172 |
| 5 | 1.0943 |
| 6 | 1.1146 |
| 7 | 1.1274 |
| 8 | 1.0947 |
| 9 | 1.0953 |
| 10 | 1.0167 |

Tabla 1.4. Medición del tiempo en segundos del carrito en recorrer 60 cm.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| N. | Distancia (±0, 0,029) cm | Tiempos  (± 0,000058) s | Promedio(s) |
| 1 | 60 | 1.0349 | 1.02481 |
| 2 | 1.0191 |
| 3 | 1.0182 |
| 4 | 1.0531 |
| 5 | 1.0253 |
| 6 | 1.0151 |
| 7 | 1.0102 |
| 8 | 1.0352 |
| 9 | 1.0142 |
| 10 | 1.0228 |

Tabla 1.5. Medición del tiempo en segundos del carrito en recorrer 50 cm.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| N. | Distancia (±0, 0,029) cm | Tiempos  (± 0,000058) s | Promedio(s) |
| 1 | 50 | 0.9152 | 0.91192 |
| 2 | 0.9079 |
| 3 | 0.9149 |
| 4 | 0.8944 |
| 5 | 0.9126 |
| 6 | 0.9217 |
| 7 | 0.9123 |
| 8 | 0.9160 |
| 9 | 0.9082 |
| 10 | 0.9160 |

Tabla 1.6. Medición del tiempo en segundos del carrito en recorrer 40 cm.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| N. | Distancia (±0, 0,029) cm | Tiempos  (± 0,000058) s | Promedio(s) |
| 1 | 40 | 0.8077 | 0.80955 |
| 2 | 0.8085 |
| 3 | 0.8090 |
| 4 | 0.8086 |
| 5 | 0.8105 |
| 6 | 0.8099 |
| 7 | 0.8121 |
| 8 | 0.8106 |
| 9 | 0.8081 |
| 10 | 0.8105 |

Tabla 1.7. Medición del tiempo en segundos del carrito en recorrer 30 cm.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| N. | Distancia (±0, 0,029) cm | Tiempos  (± 0,000058) s | Promedio(s) |
| 1 | 30 | 0.6963 | 0.69108 |
| 2 | 0.6886 |
| 3 | 0.6904 |
| 4 | 0.6913 |
| 5 | 0.6891 |
| 6 | 0.6914 |
| 7 | 0.6902 |
| 8 | 0.6898 |
| 9 | 0.6889 |
| 10 | 0.6948 |

Tabla 1.8. Medición del tiempo en segundos del carrito en recorrer 20 cm.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| N. | Distancia (±0, 0,029) cm | Tiempos  (± 0,000058) s | Promedio(s) |
| 1 | 20 | 0.5536 | 0.55694 |
| 2 | 0.5586 |
| 3 | 0.5538 |
| 4 | 0.5586 |
| 5 | 0.5540 |
| 6 | 0.5587 |
| 7 | 0.5563 |
| 8 | 0.5580 |
| 9 | 0.5596 |
| 10 | 0.5582 |

**Referencias**

Pérez, H. (2016). *Física I.* Cuidad de México: Grupo Editorial Patria.