

Experimentos de Física para Bachillerato



Washington Caraguay Ambuludi
Geovanny Alvarado Villa
Luis Benavides Castillo
Cecilia Tobar Espinoza





Experimentos de Física para Bachillerato

*Metodologías aplicadas a prácticas
experimentales*

*Washington Caraguay Ambuludi
Geovanny Alvarado Villa
Luis Benavides Castillo
Cecilia Tobar Espinoza
2023*

UNIVERSIDAD ESPÍRITU SANTO

Km. 2,5 Vía a Samborondón - Ecuador

Teléfono: (593-4) 5000950

ceninv@uees.edu.ec

www.uees.edu.ec

Autores:

Washington Caraguay Ambuludi

Geovanny Alvarado Villa

Luis Benavides Castillo

Cecilia Tobar Espinoza

Editor:

Fernando Espinoza Fuentes

Coordinadora editorial:

Natascha Ortiz Yáñez

Cita:

(Caraguay Ambuludi, Alvarado-Villa, Benavides Castillo & Tobar Espinoza, 2023)

Referencia Bibliográfica:

Caraguay Ambuludi, W., Alvarado-Villa, G., Benavides Castillo, L., & Tobar Espinoza, C. (2023). Experimentos de Física para Bachillerato. Universidad Espíritu Santo - Ecuador

Portada:

Universidad Espíritu Santo

Foto:

Geovanny Alvarado Villa, (generada por Midjourney)

Diseño e impresión:

TRIBU Soluciones Integrales

Urdesa Norte Av. 2da. #315

Teléfono: (593-4) 2383926

eperalta@tribuec.net

EDICIÓN:

Primera, mayo 2023

ISBN-E:

978-9978-25-189-8

Derechos reservados. Prohibida la reproducción parcial o total de esta obra, por cualquier medio, sin la autorización escrita de los editores. Esta obra pasó por proceso de revisión de pares (peer review).

Prólogo

El conocimiento de la asignatura de Física está estrechamente relacionado con las demás ciencias de la Ingeniería, es la base para la formación científica de los estudiantes y el desarrollo tecnológico actual. Su conocimiento es imprescindible en los alumnos para progresar en el estudio de otros aspectos de las ciencias experimentales y más aún vinculadas con las prácticas de laboratorio que juegan un papel primordial en el proceso de enseñanza - aprendizaje (Rivera, Román, Moncayo, & Ordonez, 2009). Sin embargo, en los últimos años la tasa de deserción universitaria en las carreras de ingeniería, es un número que ha ido incrementándose, tanto a nivel nacional como internacional se encuentra entre el 17 % y 40%, dependiendo de las áreas de estudio (Bravo, 2016)

Considerando la problemática expuesta, de forma paralela, se observa una escasa motivación de los estudiantes, tanto de educación media como superior, por el estudio de la asignatura de Física. Las investigaciones realizadas resaltan diversas falencias existentes dentro del ámbito educativo, entre ellos: el no poseer la infraestructura adecuada donde se puedan desarrollar las prácticas experimentales ya sea por: falta de presupuesto, falta de personal capacitado, carencia de equipos, entre otros factores.

Entonces, si se considera el desarrollo de las prácticas experimentales como un componente fundamental en la enseñanza de la Física, el presente libro propone un modelo innovador de Experimentos de Laboratorio de Física, que consiste en la implementación de dos metodologías para llevar a cabo seis prácticas experimentales que contribuyan a mejorar la enseñanza de Física.

Las metodologías aplicadas a las prácticas de laboratorio, expuestas en esta obra, están apegadas al método científico y se trata de un modelo innovador con base en experimentos y simulaciones, familiarizando al estudiante con el uso de las matemáticas, la computación, el uso de sensores como instrumentos de medida, como también el uso de herramientas tecnológicas de apoyo fundamental en el análisis de fenómenos físicos. La primera metodología implementada, hace uso de sensores y de una Interfaz Gráfica de Usuario. Para la implementación de la segunda metodología, se hace uso del software Tracker, el mismo que es de carácter abierto, pero requiere de procedimientos para su operación, los mismos que han sido desarrollados en el presente texto.

Contenido

Prólogo.....	3
CAPÍTULO 1	9
Metodologías Aplicadas a los Experimentos de Física.....	9
1.1 Metodología para el desarrollo de Prácticas Experimentales de Física con Instrumentos y Equipos de Medición.....	9
A. Planteamiento del problema.....	10
B. Montaje del experimento.....	11
C. Informe de resultados.....	12
1.2 Metodología para el Desarrollo de Prácticas Experimentales Simuladas de Física con el Uso del Software Tracker.....	12
B. Producción del video.....	13
C. Simulación del fenómeno físico.....	14
CAPÍTULO 2	17
Instrumentos, Equipos de Medición y Software a Utilizar en las Prácticas de Laboratorio.....	17
2.1 Descripción de los Equipos y Estructuras Utilizados en el Desarrollo de las Prácticas.....	17
2.2 Software a Utilizar en el Desarrollo de las Prácticas Simuladas.....	20
2.3 Pruebas Básicas Realizadas con los Equipos e Instrumentos.....	19
Prueba 1.....	20
Prueba 2.....	22
CAPÍTULO 3	25
Implementación de la Metodología para el Desarrollo de Prácticas Experimentales de Física con Instrumentos y Equipos de Medición.....	25
3.1. Práctica Experimental 1: Mediciones, Errores y Determinación de la Densidad.....	25
I. Introducción.....	25

II. Objetivo.....	25
III. Conceptos, leyes y principios físicos.....	26
IV. Montaje del Experimento y Lista de Materiales.....	28
V. Esquema del fenómeno y modelo matemático.....	30
VI. Tabla de Resultados y Análisis.....	32
VII. Conclusiones.....	32
VIII. Bibliografía.....	32
3.2. Práctica Experimental 2: Descomposición Vectorial de Vectores Fuerza.	33
I. Introducción.....	33
II. Objetivo.....	33
III. Conceptos, leyes y principios físicos.....	33
IV. Montaje del Experimento.....	36
V. Esquema del fenómeno y modelo matemático.....	40
VI. Tabla de Resultados y Análisis.....	40
VII. Conclusiones.....	41
VIII. Bibliografía.....	41
3.3. Práctica Experimental 3: Fuerzas de Fricción o Rozamiento.....	41
I. Introducción.....	41
II. Objetivo.....	41
III. Conceptos, leyes y principios físicos.....	42
IV. Montaje del Experimento y Lista de Materiales.....	43
V. Esquema del fenómeno y modelo matemático.....	45
VI. Tabla de Resultados y Análisis.....	45
VII. Conclusiones.....	47
VIII. Bibliografía.....	47
CAPÍTULO 4.....	49
Implementación de la Metodología para el Desarrollo de Prácticas Simuladas de Física con el Uso del Software Tracker.....	49

4.1. Práctica Simulada 1: Movimiento Rectilíneo Uniformemente Variado.....	49
I. Introducción.....	49
II. Objetivo.....	49
III. Conceptos, leyes y principios físicos.....	50
IV. Lista de materiales y montaje del experimento.....	51
V. Producción del video.....	53
VI. Configuración del software Tracker.....	54
VII. Simulación del experimento.....	54
VIII. Tabla de resultados, gráficas y análisis.....	56
IX. Conclusiones.....	59
X. Bibliografía.....	60
4.2. Práctica Simulada 2: Cinemática Rotacional.....	60
I. Introducción.....	60
II. Objetivo.....	60
III. Conceptos, leyes y principios físicos.....	61
IV. Lista de materiales y montaje del experimento.....	63
V. Producción del video.....	63
VI. Configuración del software Tracker.....	64
VII. Simulación del experimento.....	64
VIII. Tabla de resultados, gráficas y análisis.....	65
IX. Conclusiones.....	68
X. Bibliografía.....	68
4.3. Práctica Simulada 3: Ley de la Conservación de la Energía.....	69
I. Introducción.....	69
II. Objetivo.....	69
III. Conceptos, leyes y principios físicos.....	69
IV. Lista de materiales y montaje del experimento.....	71
V. Producción del video.....	72

VI. Configuración del software Tracker.....	72
VII. Simulación del experimento.....	72
VIII. Tabla de resultados, gráficas y análisis.....	74
IX. Conclusiones.....	79
X. Bibliografía.....	79
Referencias Bibliográficas.....	79

CAPÍTULO 1

Metodologías aplicadas a los experimentos de Física

Para el desarrollo del presente capítulo, previamente se realizó una investigación exploratoria de diferentes estrategias metodológicas aplicadas en cursos de Física de diferentes instituciones de educación media y superior del país. Con base en la revisión bibliográfica realizada, se presenta la aplicación de dos metodologías para el desarrollo de prácticas de Física: la primera expone el uso de equipos e instrumentos de medida y la segunda expone el uso de simulaciones haciendo uso del software libre *Tracker*. Las metodologías aplicadas, tienen un enfoque constructivista (Chávez Flores & Freire Torres, 2017) y se ajusta a las teorías de (Ausay, 2016), (Gavilánez, 2017), (Parra, Zambrano, Varela, & García, 2017).

1.1 Metodología para el desarrollo de prácticas experimentales de física con instrumentos y equipos de medición

Con base en el método científico y ajustado a instrumentos y equipos de laboratorio de fácil consecución en el mercado local, la *Tabla 1*, plantea la propuesta metodológica para el desarrollo de prácticas experimentales de Física con instrumentos y equipos de medición.

Tabla 1. Propuesta metodológica para el desarrollo de prácticas experimentales de Física con instrumentos y equipos de medición

Actividad	Descripción
A. Planteamiento del Experimento	Tema e Introducción
	Planteo de objetivos
	Consulta de teorías
B. Montaje del Experimento	Selección de equipos y sensores a utilizar
	Esquemas del fenómeno y modelos matemáticos
C. Informe de resultados	Tablas de resultados y análisis
	Comparación y validación
	Conclusiones

Nota: Adaptado y ajustado de los estudios realizados por (Ausay, 2016; Gavilánez, 2017; Parra, Zambrano, Varela, & García, 2017)

A continuación, se describe cada una de las actividades de la propuesta planteada:

A. Planteamiento del problema

En esta actividad se seleccionan a los integrantes que realizarán la práctica, así como también se plantean los objetivos en los cuales debe estar evidenciado que es lo que se va a desarrollar, cómo se lo llevará a cabo y para qué se lo realizará. Posteriormente, se hace referencia a los principios físicos relacionados directamente con la práctica de laboratorio, por medio de un breve marco teórico, con sus respectivas fórmulas, resaltando las ecuaciones más relevantes y principios que guardan relación directa con la práctica experimental a tratar. Esta actividad involucra los siguientes apartados:

- Tema
- Introducción
- Objetivo principal
- Conceptos, leyes y principios físicos
- Tema

Dependiendo de la planificación del Syllabus, el docente facilitador ha de seleccionar un tema experimental que involucre el uso de equipos e instrumentos de medida como señores para el desarrollo de prácticas experimentales.

Introducción

Consiste en una descripción generalizada de la práctica a desarrollar. Se expondrá qué se va a desarrollar, qué métodos o principios físicos se utilizarán, cuál es la finalidad del desarrollo de la práctica y se finaliza indicando el método utilizado para la comprobación y validación de los resultados.

Objetivo

En el objetivo debe de estar evidenciado qué experimento se va a desarrollar, cómo se lo llevará a cabo y para qué se lo realizará.

Concepto, leyes y principios físicos

Consiste en realizar temas de consultas de concepto, leyes y principios físicos relacionados directamente con la práctica de laboratorio. Se describe un breve

marco teórico, con sus respectivas fórmulas, apoyándose en los principios teóricos vistos en clase o mediante consultas bibliográficas previamente realizadas sobre el tema. Se debe resaltar las ecuaciones más relevantes y principios que guardan relación directa con la práctica experimental a tratar. Esta sección se complementa con actividades extra clase como temas de consulta, y ejercicios de problemas de Física que el docente considere necesario.

B. Montaje del experimento

En esta actividad se realiza el montaje del experimento con los equipos, instrumentos y dispositivos electrónicos que serán utilizados en el desarrollo de la práctica, luego se procede a realizar un esquema del fenómeno y obtener formulaciones. Esta actividad involucra los siguientes apartados:

- Montaje del experimento y lista de materiales.
- Esquema del fenómeno y modelo matemático

A continuación, se describen las características de los apartados considerados.

Montaje del experimento y lista de materiales

En este apartado se exponen los equipos, instrumentos de medición y sensores que serán utilizados en el desarrollo de la práctica. Esta sección va acompañada de una imagen del experimento ensamblado completamente. Posteriormente, el estudiante deberá incluir entre tres a seis imágenes que involucren el proceso de montaje del experimento, detallando paso a paso el conjunto de acciones a llevar en el proceso de la práctica.

Esquema del fenómeno y modelo matemático

En esta sección el estudiante debe bosquejar el fenómeno físico de la práctica con la finalidad de que se evidencien la referencia y la mayoría de parámetros y variables que se involucran el caso. Consecuentemente, haciendo uso del esquema del fenómeno referenciado, se obtiene el modelo matemático del fenómeno físico. Considerando los valores de las condiciones iniciales y primeras mediciones, se obtendrán los primeros resultados de manera teórica, que luego serán comparadas con los resultados obtenidos del experimento.

C. Informe de resultados

En esta actividad se interpretan los resultados obtenidos con el fin de emitir un criterio sobre el experimento realizado. Mediante tablas y gráficas el estudiante informa los resultados alcanzados en la experimentación en función de los objetivos planteados. Esta actividad involucra los siguientes apartados:

- Tabla de resultados y análisis
- Conclusiones
- Bibliografía

A continuación, se describen las características de los apartados considerados.

Tabla de resultados y análisis

En esta sección se realizan mediciones, cálculos y se completa la tabla de resultados, consecuentemente se realizan las gráficas funcionales entre variables independientes y dependientes. Además, se realizan comparaciones entre los resultados teóricos y los experimentales, por lo cual el estudiante debe determinar su porcentaje de error y emitir un criterio de los resultados obtenidos.

Conclusiones

En este apartado el estudiante sintetiza y concluye los resultados alcanzados en la experimentación con base en el objetivo planteado en la práctica.

Bibliografía

En esta sección se exponen las referencias bibliográficas que se hacen uso en el desarrollo de la práctica de laboratorio, los mismos que pueden ser libros, artículos de revistas, recurso multimedia, recurso electrónico y de internet, referencias de tesis, entre otros, con base en normas APA.

1.2 Metodología para el desarrollo de prácticas experimentales simuladas de física con el uso del software *Tracker*

Debido a la importancia de que el estudiante tenga una herramienta de simulación en la cual pueda explorar, obtener datos y analizar fenómenos físicos, se ha realizado una metodología a implementar que se expone a continuación. La *Tabla*

2 expone la propuesta metodológica para el desarrollo de prácticas experimentales simuladas con el uso del software *Tracker*.

Tabla 2. Propuesta metodológica para el desarrollo de prácticas experimentales simuladas con el uso del software *Tracker*

Actividad	Descripción
A. Planteamiento del Experimento	Tema e Introducción
	Planteo de objetivos
	Consulta de teorías
B. Producción del Video	Selección de equipos y dispositivos a utilizar
	Identificación y adecuación del entorno donde se realizará el fenómeno
	Ejecución y filmación del fenómeno físico
C. Simulación del fenómeno físico	Configuración del software <i>Tracker</i>
	Simulación del experimento
D. Informe de resultados	Tablas de resultados y análisis
	Comparación y validación
	Conclusiones

Nota: Adaptado y ajustado de los **estudios** realizados por (Ausay, 2016; Gavilánez, 2017; Parra, Zambrano, Varela, & García, 2017)

Las actividades A y D son similares a las expuestas en la sección 1.1, por lo que solo se describirán las actividades B y C.

B. Producción del video

Esta actividad se inicia seleccionando los equipos y dispositivos que serán utilizados en el desarrollo de la práctica. Se busca un entorno apropiado para el correcto desarrollo del experimento para posteriormente llevar a cabo la filmación de video, el cual se lo realiza con algún dispositivo electrónico que permita grabar, ya sea celular, Tablet o cámara fotográfica, etc. Esta actividad involucra los siguientes apartados:

- Lista de materiales y montaje del experimento
- Identificación del entorno donde se realizará el video
- Adecuación del entorno, ejecución y filmación del video

A continuación, se describen las características de los apartados considerados.

Lista de materiales y montaje del experimento

En este apartado se exponen los equipos, instrumentos de medición y materiales que serán utilizados en el desarrollo de la práctica y será utilizado para la producción del video del fenómeno.

Identificación del entorno donde se producirá el video

En esta sección hace referencia a identificar el sitio más apropiado para realizar una excelente filmación del fenómeno físico a simular, donde previamente se encuentre ya ensamblado el experimento.

Adecuación del entorno, ejecución y filmación del fenómeno físico

Esta fase involucra realizar una adecuación del entorno, lo que consiste en ubicar un indicador de medida, como lo es una cinta métrica, con la finalidad que el software *Tracker* correlacione las unidades de medidas físicas, se realiza la filmación del fenómeno físico a través de alguna herramienta con las que se filme el experimento, para luego proceder a enviarlo a la computadora y realizar su respectiva edición y simulación.

C. Simulación del fenómeno físico

En esta actividad lo primero que se realiza es cargar el video dentro del software *Tracker* dándole las configuraciones iniciales para la correcta edición del video, las mismas que se encuentran detalladas en el Anexo A, para posteriormente realizar la simulación del experimento, obteniendo como resultado las diversas gráficas del fenómeno físico en estudio. Esta fase involucra los siguientes apartados:

- Configuración del software Tracker.
- Simulación del experimento.

A continuación, se describen las características de los apartados considerados.

Configuración del software Tracker

En esta sección se realiza las configuraciones iniciales necesarias del software *Tracker*, iniciando con el video, el cual se encuentra previamente cargado a la computadora, para proceder con la correcta simulación. Como primer paso se debe realizar la edición del video, para lo cual se recomienda ajustar el video en los tiempos que precisa el movimiento, eliminando los momentos irrelevantes.

Simulación del experimento

Con el video previamente editado, se procede a realizar la simulación del experimento, iniciando con el sistema de referencia del fenómeno físico, lo cual se lo realiza por medio de la vara de calibración, indicándole cuales son los valores referenciales a utilizar para la correcta simulación. El siguiente paso es colocar un sistema de coordenadas para determinar el origen o el punto de referencia del sistema a simular, así como también para indicar donde se inicia el movimiento. Se finaliza con la creación de una masa puntual, con el objetivo de que el software identifique la trayectoria del movimiento y consecuentemente obtener los valores y gráficas requeridos del fenómeno físico, para lo cual el software utiliza una función de seguimiento o tracking, la misma que puede ser automática o manual.

CAPÍTULO 2

Instrumentos, equipos de medición y software a utilizar en las prácticas de laboratorio

A modo de inducción, en este capítulo se describen los equipos e instrumentos utilizados para llevar a cabo el desarrollo de las prácticas experimentales. Se procederá a identificar y reconocer los equipos, instrumentos y materiales utilizados a lo largo del desarrollo de experimentos de este libro. Como muestra de su funcionamiento se realizarán pruebas básicas de medición de masa, haciendo uso de una balanza digital y para medición del tiempo se utilizarán compuertas fotoeléctricas.

2.1 Descripción de los equipos y estructuras utilizados en el desarrollo de las prácticas

Los equipos e instrumentos con los que se desarrollarán las prácticas han sido adquiridos de proveedores de las marcas comerciales: PHYWE® y Vernier®, (PHYWE, 2020; Vernier, 2020). A continuación, se realiza una breve descripción de ellos.

Interfaz gráfica de usuario LabQuest 2

Vernier LabQuest 2, ver *Figura 1*, es una interfaz analógica y digital que recopila los datos de los sensores con aplicaciones integrada de análisis y gráficos (Vernier, 2020).

Figura 1. Interfaz gráfica de usuario LabQuest 2



Posee una pantalla táctil de alta resolución y la transferencia de datos puede hacerse de manera inalámbrica como también vía USB. Posee puertos para entrada de sensores analógicos y digitales

Sensor de fuerza de rango dual

Es un sensor de propósito general para medir fuerzas de empuje y tracción. Sus rangos le permiten medir fuerzas tan pequeñas como 0.01 N, y tan grandes como 50 N (Vernier, 2020). La *Figura 2*, muestra el sensor de fuerza de rango dual. Este sensor envía una señal del tipo analógica a la interfaz *LabQuest 2* para su procesamiento.

Figura 2. Sensor de fuerza de rango dual



Cronómetro temporizador 2-1 y foto-compuertas digitales para medición de tiemposEl cronómetro temporizador 2-1 cuenta con indicador digital de cuatro dígitos. Su principal función es la medición de tiempos para lo cual trabaja en conjunto con foto-compuertas digitales que, a través de un selector de disparo, pueden ser configuradas como interruptores de tiempo inicial y final, ver *Figura 3*. Posee un rango de medición entre 0.000 y 9.999 segundos, con una resolución de 1 milisegundo (PHYWE, 2020). Posee tres puertos de conexión para cada foto-

compuerta digital, dos de ellos de alimentación (rojo y azul) y el restante indicador de señal (amarillo). Para un correcto funcionamiento se recomienda poner a cero el temporizador al inicio de cada medición, acción que se la realiza pulsando el botón “Reset”, ubicado en la parte inferior del temporizador.

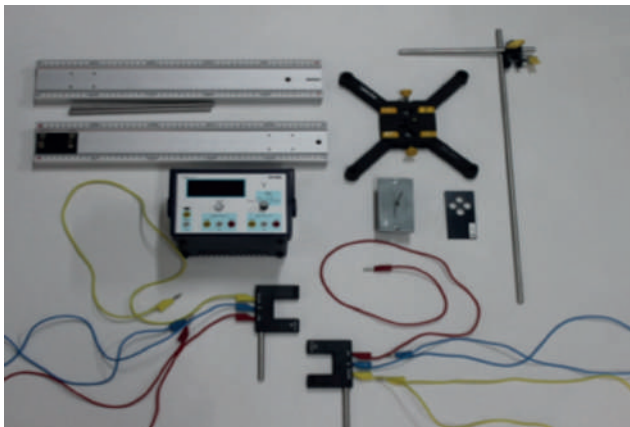
Figura 3. Cronómetro temporizador 2-1 y foto-compuertas digitales para medición de tiempos



Estructuras para montaje de los experimentos.

Se hace uso de soportes verticales, varillas medianas y largas hasta 0.5 m, así como también masas de 0.1 y 0.5 kg, carritos móviles, bloques de madera, como también pistas de aluminio, todos sugeridos por el fabricante PHYWE®, ver *Figura 4*.

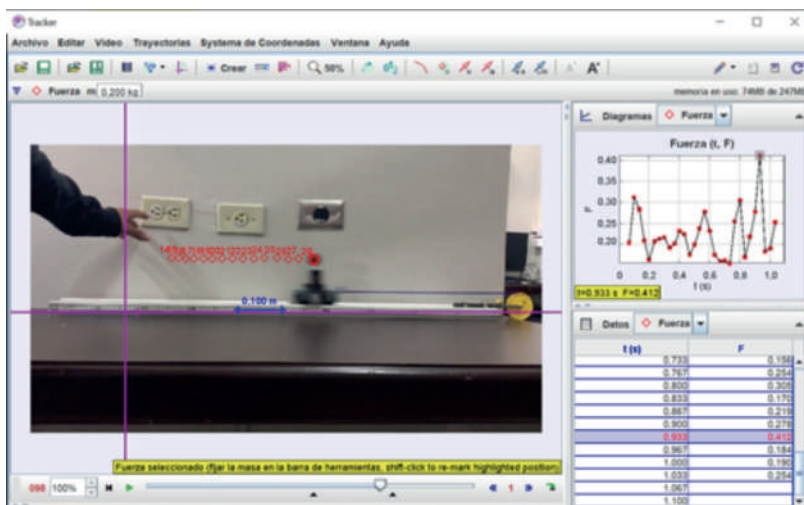
Figura 4. Estructuras para montaje de los experimentos



2.2 Software a utilizar en el desarrollo de las prácticas simuladas

Para el desarrollo de las prácticas simuladas, se hace uso del software *Tracker*, el mismo que es un paquete de análisis de video construido sobre una plataforma *Java Open Source Physics* (OSP), (Brown, 2020). Se utilizarán características que incluyen: trayectoria, posición, velocidad y aceleración lineal, con sus respectivas gráficas. Hay que mencionar que para su configuración y uso, inicialmente debe ser guiado por un instructor. La *Figura 5*, muestra el software *Tracker* configurado y en ejecución de un experimento.

Figura 5. Software Tracker configurado y en ejecución



2.3 Pruebas básicas realizadas con los equipos e instrumentos

Prueba 1

Uso de la balanza digital

En esta prueba se realizarán mediciones de masa de ciertos elementos de masa definida. Se utilizará como instrumento de medida la balanza digital, la misma que se muestra en la *Figura 6*. La lista de equipos, instrumentos y materiales se listan en la *Tabla 3*. Un dato importante a considerar para una correcta toma de datos, es poner a cero la balanza digital antes de cada medición, acción que se realiza con la tecla “*Tare*”, pintada de color verde en la balanza. También, se debe

tomar muy en cuenta las unidades con las que se va a trabajar. Para esta prueba las medidas se las realizará en gramos.

Tabla 3. Lista de equipos, instrumentos y materiales

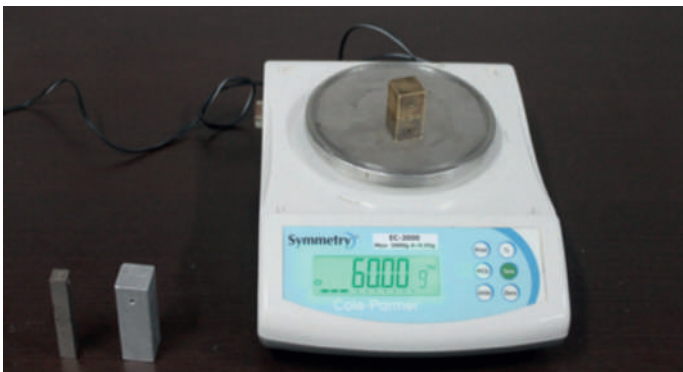
Equipos e Instrumentos	Cantidad
Balanza digital	1
Cubo de aleación cobre/zinc	1
Barra de aluminio	1
Barra de hierro	1

Figura 6. Balanza y elementos a ser medidos



La Figura 7, evidencia la toma de medidas de masa de un cubo de aleación cobre/zinc.

Figura 7. Medición del peso del elemento cubo de aleación cobre/zinc



En la *Tabla 4*, se expone las medidas realizadas a los diferentes elementos.

Tabla 4. *Medidas de masa de diferentes elementos*

Elementos	Masa
Barra de Aluminio (Al)	60.15 g
Barra de Hierro (Fe)	45.10 g
Cubo de Cobre/zinc (Cu/Zn)	59.90 g

Prueba 2

Uso del Cronómetro temporizador 2-1 y foto-compuertas digitales

En esta prueba se procederá a realizar la toma de medidas de tiempo de un móvil que se desplaza por una pista de aluminio de 1 metro de longitud. Para lo cual se utiliza el cronómetro temporizador y dos foto-compuertas digitales que me indicarán el punto inicial y final. Para darle dinamismo al móvil, este partirá desde el reposo sobre la pista de aluminio inclinada a 30° respecto a la horizontal. La *Tabla 5*, lista los equipos, instrumentos y materiales utilizados en esta prueba y la *Figura 8* y *Figura 9*, el montaje de la estructura listo para las pruebas.

Tabla 5. *Lista de equipos y materiales*

Equipos y materiales	Cantidad
Cronómetro 4-4	1
Foto-compuertas	2
Pista de un metro	1
Carrito móvil	1
Soporte vertical	1

Figura 8. Montaje del experimento listo para las pruebas

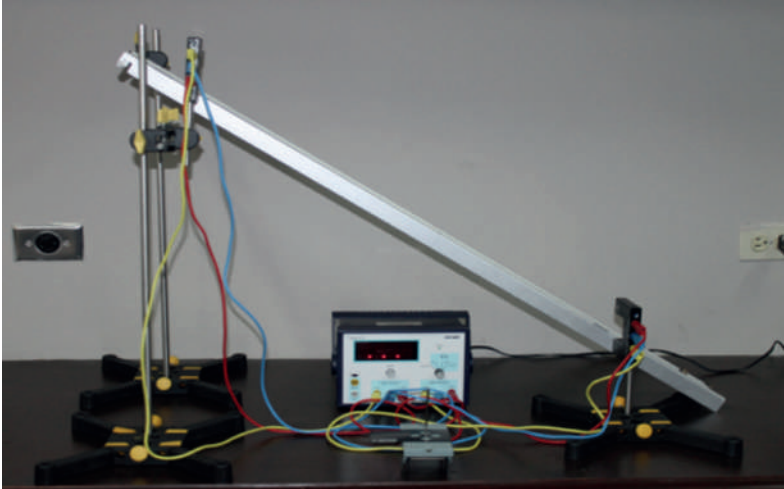
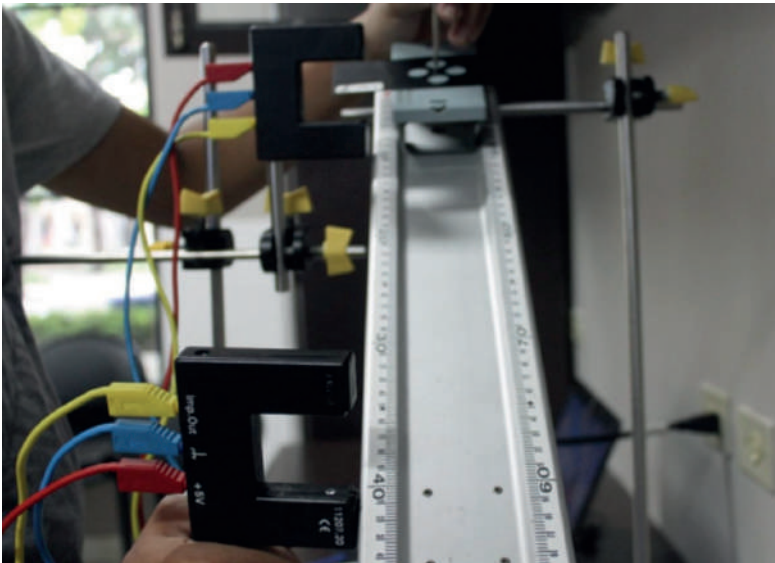


Figura 9. Posición de la foto-compuertas sobre la pista



La *Tabla 6*, muestra la toma de medidas de tiempo realizadas en el recorrido del móvil a diferentes distancias.

Tabla 6. *Medidas de tiempo tomadas a diferentes distancias.*

Ángulo (°)	Distancia (m)	Tiempo 1 (s)	Tiempo 2 (s)	Tiempo 3 (s)
30	0.4	0.383	0.387	0.376
	0.5	0.436	0.440	0.430
	0.6	0.490	0.480	0.486

Se puede observar, que las mediciones de tiempo realizadas en los diferentes eventos no fueron exactas, debido a errores ya sea del tipo sistemáticos o aleatorios

CAPÍTULO 3

Implementación de la metodología para el desarrollo de prácticas experimentales de física con instrumentos y equipos de medición.

En este capítulo se presenta la aplicación de la metodología para el desarrollo de prácticas experimentales de física con instrumentos y equipos de medición. Se ha considerado el desarrollo de tres prácticas experimentales, debido a que sus temáticas son comunes en los cursos universitarios de Física I de la mayoría de las universidades que ofertan carreras de ingeniería. Las temáticas de las prácticas a considerar son:

- Mediciones, errores y determinación de la densidad
- Descomposición vectorial de vectores fuerza
- Fuerzas de fricción o rozamiento

A continuación, se describen las tres prácticas expuestas:

3.1. Práctica experimental 1: mediciones, errores y determinación de la densidad

I. Introducción

En esta práctica de laboratorio se procederá a determinar la densidad de los elementos, haciendo uso del método geométrico y poniendo en práctica la Teoría de Errores. Se utilizarán elementos con formas geométricas conocidas y como instrumento de medición de precisión media se hará uso del calibrador Vernier, también conocido como Pie de Rey. Los resultados obtenidos serán comparados con las medidas de las densidades expuestas en la literatura convencional.

II. Objetivo

Determinar la densidad de ciertos elementos mediante mediciones de masa y volumen, ajustando su medición con la aplicación correcta de la teoría de errores.

III. Conceptos, leyes y principios físicos

El proceso de medición en el laboratorio

Medir es comparar y determinar una magnitud específica de un objeto, para lo cual se requiere de un instrumento de medición y de un sistema de unidades. Sin embargo, las limitaciones propias del proceso de medición por causas sistemáticas o aleatorias hacen que el proceso sea sólo una aproximación o estimación de la medida real (Gil, 2014). Algunas de estas causas son:

- La exactitud de los instrumentos utilizados
- La observación del experimentador en la medición
- Entornos de medición no adecuados

En el campo de la ingeniería, el error de una medición está asociado al concepto de incertidumbre (se aclara que son conceptos distintos). De esta manera, a la medición se la debe especificar dentro de un intervalo el mejor valor de su magnitud, a esta magnitud se la define como x .

$$x = \underline{x} \pm \Delta x$$

Donde:

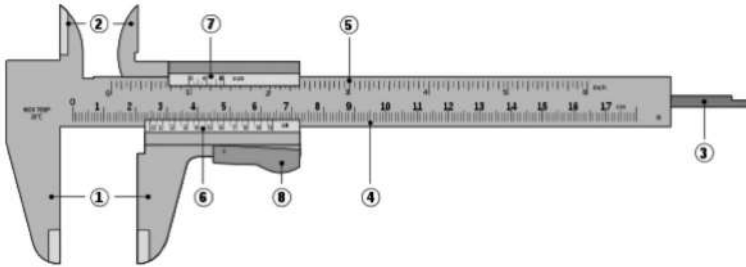
x : Resultado de la medición

\underline{x} : Valor más representativo de la medición

Δx : Incertidumbre de la medición

Un caso muy común ocurre cuando dos personas utilizando los mismos instrumentos miden las dimensiones del mismo objeto, obtienen resultados distintos. Para la aplicación de las mediciones y el cálculo de errores, se utilizará en la presente práctica el calibrador vernier o pie de rey. La escala vernier fue inventada por Petrus Nonius, matemático portugués por lo que se le denomina nonio. El diseño actual de escala deslizante debe su nombre al francés Pierre Vernier quien lo perfeccionó. El calibrador vernier fue elaborado para satisfacer las necesidades de un instrumento de lectura directa que pudiera brindar una medida fácilmente, y en una sola operación tomar tres tipos de medición: exteriores, interiores y profundidades. Está compuesto por una regla fija que es donde están graduadas las escalas de medición ya sea en milímetros, en pulgadas o mixtas. La *Figura 10*, muestra el calibrador de vernier con sus respectivas partes.

Figura 10. Calibrador Vernier



Fuente: (Cuautitlán, 2010)

Componentes:

1. Mordazas para medidas externas.
2. Mordazas para medidas internas.
3. Varilla para medida de profundidades.
4. Escala con divisiones en centímetros y milímetros.
5. Escala con divisiones en pulgadas y fracciones de pulgada.
6. Nonio para la lectura de las fracciones de milímetros en que esté dividido.
7. Nonio para la lectura de las fracciones de pulgada en que esté dividido.
8. Botón de deslizamiento y freno.

Densidad de los cuerpos

La densidad de un cuerpo se la define mediante la relación de masa por unidad de volumen "V". Su unidad de medida es de acuerdo al Sistema Internacional: kg/m_3

$$\rho = \frac{m}{V}$$

La densidad es una propiedad intrínseca de cada elemento, es decir no depende de la cantidad de materia que compone el cuerpo, sino solo de su composición, en otras palabras, la densidad es una característica de la sustancia de la que está compuesto. Por tanto, conociendo el valor de su densidad, se identifica fácilmente con que elemento se está experimentando (Giancoli, 2008; Serway & Jewett, 2008; Young & Freedman, 2009). La literatura convencional, tiene identificado el valor de las densidades de muchas sustancias. En la *Tabla 7* se exponen los valores de las densidades de algunos elementos conocidos.

Tabla 7. Elementos y sus respectivas densidades

Material	Densidad (kg/m ³)
Líquidos	
Mercurio	13600
Agua a 4 °C	1000
Agua de mar	1030
Sólidos	Sólidos
Hierro	7800
Aluminio	2700
Madera Ligera	500
Gases	Gases
Aire seco a 20 °C	0.121
Hidrógeno	0.0090

Nota: Tomado y adaptado de (Giancoli, 2008; Serway & Jewett, 2008; Young & Freedman, 2009)

A diferencia de la densidad, la masa es la medida que indica la cantidad de materia que tiene un cuerpo. Un cuerpo corresponde a una porción de materia que puede encontrarse en estado sólido, líquido o gaseoso, el cual puede estar formado por materiales de igual o diferente naturaleza. La unidad de medida de la masa en el Sistema Internacional es el kilogramo (*kg*) y el instrumento para medir la masa de un elemento es la balanza (Ablanque, Benito, Losada, & Gómez, 2010).

IV. Montaje del Experimento y Lista de Materiales

La *Figura 11* y la *Tabla 8*, muestran los instrumentos y algunos elementos que se utilizarán para el desarrollo de la presente práctica. Con la balanza de digital se medirá la masa del elemento y con el uso del vernier se medirán las respectivas dimensiones de cada elemento para calcular su volumen.

Figura 11. Equipos y elementos que utilizar



Tabla 8. Lista de equipos y materiales

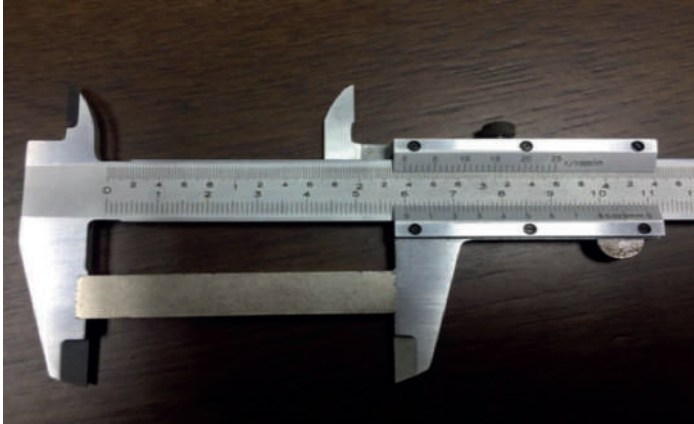
N°	Equipos y Materiales	Cantidad
1	Balanza digital	1
2	Calibrador Vernier	1
3	Barra de hierro	1
4	Barra de aluminio	1
5	Barra de Madera	1
6	Esfera de hierro	1

La Figura 12 y Figura 13, muestran el procedimiento en la toma de medidas de los elementos.

Figura 12. Medición de la masa de la barra de hierro



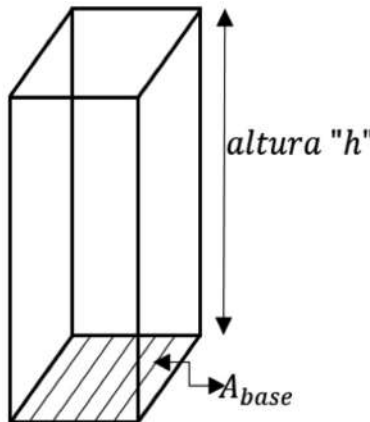
Figura 13. Medición de las dimensiones de la barra de hierro



V. Esquema del fenómeno y modelo matemático

Para hacer uso de la definición matemática de la densidad, se deben encontrar los valores de masa y volumen V . La masa se la determina midiendo en la balanza digital, en el ejemplo se tiene una masa de 45.65 g. Para la determinación del volumen, se debe tener en cuenta la forma geométrica del elemento a considerar. Por ejemplo, si se trata analizar el volumen de un prisma rectangular, como se presenta la barra de hierro, se deben considerar las mediciones del área de la base y su altura, como muestra la *Figura 14*.

Figura 14. Modelo geométrico de la barra de hierro



Considerando el modelo geométrico de la barra de aluminio, el volumen está definido por:

$$V = A_{base} * h$$

Se puede apreciar que la base de la barra de hierro es rectangular por lo que su área está definida por:

$$A_{base} = lado * lado$$

Con base en las mediciones logradas de las dimensiones de la barra en mención:

$$A_{base} = 1 \text{ cm} * 1 \text{ cm}$$

$$A_{base} = 1 \text{ cm}^2$$

Aplicando la fórmula para determinar el volumen, se tiene:

$$V = A_{base} * h$$

$$V = 1 \text{ cm}^2 * 6 \text{ cm}$$

$$V = 6 \text{ cm}^3$$

De esta manera la densidad del hierro es:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho = \frac{45.65 \text{ g}}{6 \text{ cm}^3}$$

$$\rho = 7.608 \text{ g/cm}^3$$

Cantidad que llevada a las unidades que exige el Sistema Internacional en kg/m^3 , es:

$$\rho = 7608 \text{ kg/m}^3$$

Para comprobar la validez del resultado obtenido, se hace uso de la determinación de su porcentaje de error $\% \epsilon$, considerando la fórmula clásica.

$$\% \epsilon = \left| \frac{V_T - V_M}{V_T} \right| * 100$$

Donde:

V_T : Valor teórico

V_M : Valor medido

Considerando los valores de la densidad teórica (tablas) y la medida o calculada:

$$\% \epsilon = \left| \frac{\rho_T - \rho_M}{\rho_T} \right| * 100$$

$$\% \epsilon = \left| \frac{7800 - 7608}{7800} \right| * 100$$

$$\% \epsilon = 2.46 \%$$

Cuando los valores obtenidos del se encuentra entre un 0% y 20% dependiendo del tamaño de las mediciones, se da por validada la prueba. Considerando el procedimiento expuesto, se deja al lector el cálculo las densidades de todos los elementos restantes.

- a) Cálculos de la barra de aluminio
- b) Cálculos de la barra de madera
- c) Cálculos de la esfera de hierro

VI. Tabla de resultados y análisis

Una vez determinados los valores de las densidades de los diferentes elementos considerados, sus resultados son expuestos en la *Tabla 9*. Se deja al estudiante considerar otros elementos para hacer uso del procedimiento empleado.

Tabla 9. *Tabla de Resultados*

Elemento	ρ_T [kg/m ³]	ρ_M [kg/m ³]	%ε
Barra de hierro	7800	7608	2.46 %
Barra de aluminio			
Barra de madera			
Esfera de hierro			

VII. Conclusiones

Se deja al lector la redacción de las conclusiones, las mismas que deben estar en función del objetivo propuesto, ¿se cumplió o no?

VIII. Bibliografía

- Ablanque, X., Benito, R., Losada, J., & Gómez, L. (2010). *Laboratorio de Física con soporte interactivo en moodle*. Madrid: Pearson.
- Giancoli, D. C. (2008). *Física para ciencias e ingeniería*. Pearson.
- Gil, S. (2014). *Experimentos de Física*. México: Alfaomega.
- Serway, R., & Jewett, J. (2008). *Física para ciencias e ingeniería* (7ma ed., Vol. 1). Cengage Learning.

Young, H., & Freedman, R. (2009). *Física Universitaria* (12ava ed., Vol. 1). México: Pearson Educación.

3.2. Práctica Experimental 2: Descomposición Vectorial de Vectores Fuerza

I. Introducción

En esta práctica de Laboratorio se procederá a identificar las componentes de los vectores que conforman un sistema de fuerzas en equilibrio. Se utilizarán sensores de medición de fuerza y con la ayuda de un graduador se medirán los ángulos propuestos. Una masa de 0.1 kg hará las veces de carga de prueba del sistema. Además, haciendo uso de métodos analíticos y gráficos se procederá a comprobar la primera Ley de Newton. Los resultados obtenidos serán validados por observaciones y comparaciones.

II. Objetivo

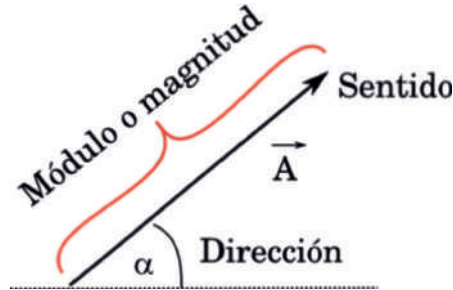
Identificar las componentes de los vectores de un sistema equilibrado de fuerzas mediante métodos analíticos y gráficos, comprobando lo postulado en la primera Ley de Newton.

III. Conceptos, leyes y principios físicos

Vectores

Cualquier cantidad que requiera tanto magnitud como dirección para su descripción completa es una cantidad vectorial, *Figura 15*. Una cantidad vectorial se representa con una flecha. Entre los ejemplos de cantidades vectoriales están la fuerza, el desplazamiento, la velocidad y la aceleración. Por otra parte, una cantidad que se describe sólo con su magnitud, y no implica dirección, se denomina cantidad escalar. La masa, la rapidez y el tiempo son cantidades escalares. Dependiendo de las aplicaciones los vectores pueden ser modelados en dos como en tres dimensiones.

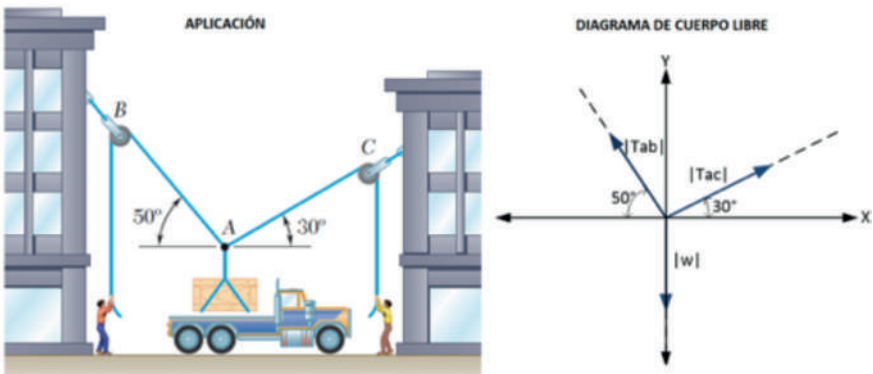
Figura 15. Descripción gráfica de los componentes de un vector en dos dimensiones



Fuerza

La fuerza es una cantidad vectorial que mide el grado de interacción entre dos cuerpos o entre un cuerpo y su entorno. Ejemplos de fuerzas aplicadas se pueden apreciar cuando alguna o varias personas empujan un vehículo, este se acelera en la dirección de esa fuerza; como también cuando un gimnasta levanta barra de 25 kg en cada uno de sus extremos, en ese caso está realizando una acción en contra de la fuerza gravitacional existente llamada peso. De tal manera que aunque las fuerzas no se puedan ver, ellas siempre estarán presentes, incluso en un cuerpo que se encuentra en equilibrio, como es el caso de la fuerza normal (Beer, Johnston, Mazurek, & Einsenberg, 2010). Para representar las fuerzas existentes se utilizan los Diagramas de Cuerpo Libre “DLC”, como muestra la *Figura 16*.

Figura 16. Fuerzas aplicadas y su representación en Diagrama de Cuerpo Libre.



Nota. Tomado y Adaptado de *Mecánica Vectorial Para Ingenieros Estática* (Beer, Johnston, Mazurek, & Einsenberg, 2010).

Componentes de un vector

Matemáticamente, un vector se descompone en dos componentes si se trata de un vector bidimensional o tres componentes si es tridimensional (Marghitsu, Dupac, & Madsen, 2013). Considerando un vector en 3 dimensiones, \vec{V} , como muestra la *Figura 17*, se observan sus componentes v_x , v_y y v_z proyectadas sobre los ejes coordenados x , y , z . De esta manera el vector está definido por la suma vectorial de sus componentes:

$$\vec{V} = v_x i + v_y j + v_z k$$

Donde i, j, k son vectores unitarios que indican la dirección respecto a los ejes coordenados. La magnitud del vector, está definida como:

$$|\vec{V}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$$

Es importante definir los vectores unitarios, estos representan la dirección del vector.

$$\vec{U}_V = \frac{\vec{V}}{|\vec{V}|} = \frac{v_x}{|\vec{V}|} i + \frac{v_y}{|\vec{V}|} j + \frac{v_z}{|\vec{V}|} k$$

Donde cada componente que conforma el vector unitario \vec{U}_V , se denominan cosenos directores e indican la dirección del vector: α, β, γ , respecto a sus ejes coordenados: x, y, z .

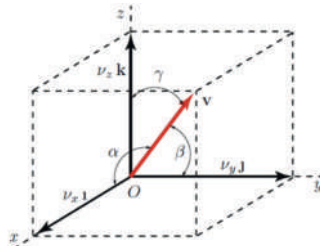
$$\cos \alpha = \frac{v_x}{|\vec{V}|}$$

$$\cos \beta = \frac{v_y}{|\vec{V}|}$$

$$\cos \gamma = \frac{v_z}{|\vec{V}|}$$

Se cumple que la magnitud del vector unitario $|\vec{U}_V|$ es 1. La *Figura 17*, expone de manera gráfica las componentes en tres dimensiones del Vector \vec{V} .

Figura 17. Representación gráfica de las componentes de un vector en tres dimensiones



Nota. Tomado de *Statics with MATLAB* (Marghitsu, Dupac, & Madsen, 2013)

IV. Montaje del Experimento

La *Figura 18* y la *Tabla 10*, muestran los instrumentos y los distintos materiales que se utilizarán para el desarrollo del experimento. Se muestran los sensores de fuerza ubicados en la parte posterior del soporte vertical y la interface gráfica de usuario *Lab Quest 2*, para mostrar la medida de sus magnitudes respectivas. Se utilizará una masa de 100 gramos incluyendo el portamasas.

Figura 18. Montaje del Experimento y Equipos a utiliza

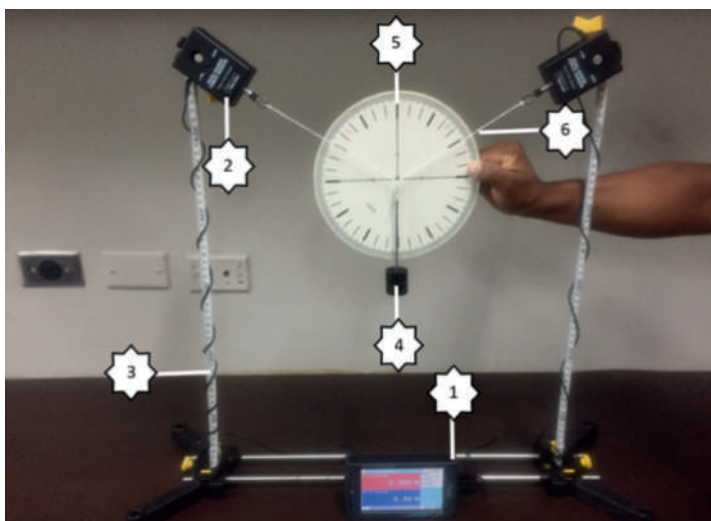


Tabla 10. Lista de equipos y materiales

N°	Equipos y materiales	Cantidad
1	Interface Lab Quest	1
2	Sensor de Fuerza	2
3	Soporte Vertical	1
4	Portamasas	1
5	Graduador	1
6	Cuerda fina	1

Las *Figuras desde el 19* hasta el *24*, muestran el procedimiento a llevar en para el montaje del experimento y la toma de medidas.

Figura 19. Montaje de la base del soporte vertical

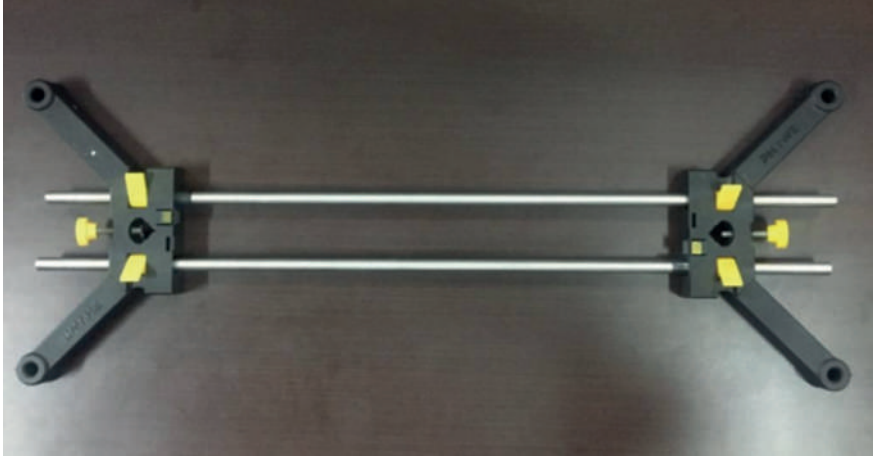


Figura 20. Soporte vertical ensamblado



Figura 21. Ubicación de los sensores de fuerza



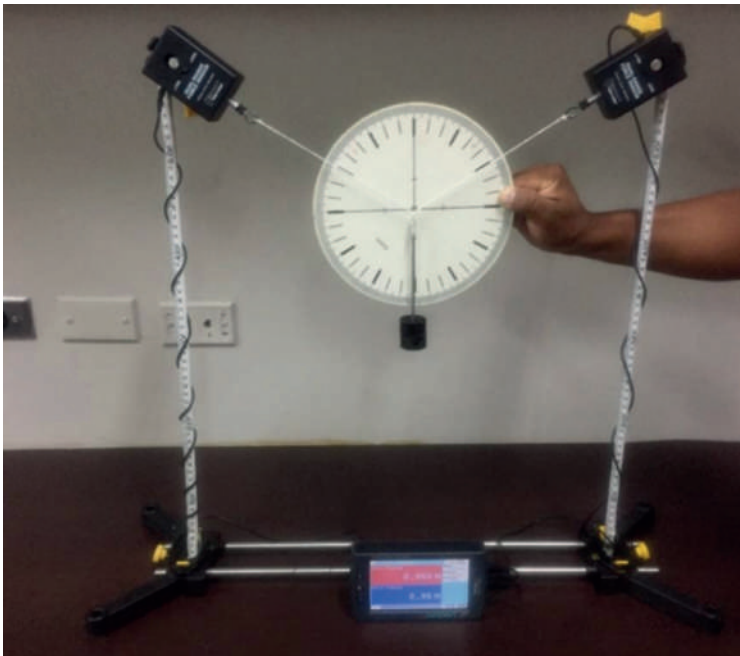
Figura 22. Portamasas con masas de 10 y 50 gramos



Figura 23. Puertos de conexión de la Interface LabQuest2 para los sensores de fuerza

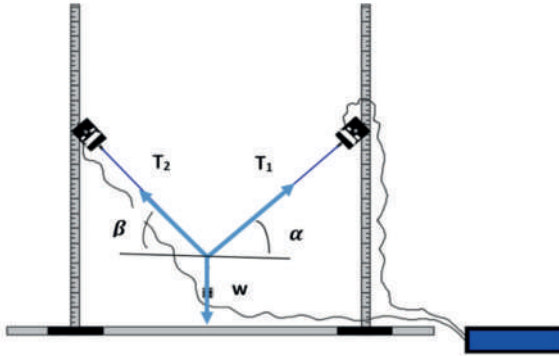


Figura 24. Medición de tensiones a 30°



V. Esquema del fenómeno y modelo matemático

Figura 25. Esquema del Experimento.



Considérese ($\alpha=45^\circ$ $\beta=45^\circ$) y las lecturas de los dinamómetros: $T_1 = 0.69\text{ N}$ y $T_2 = 0.70\text{ N}$

$$T_{1x} = 0.69 \cdot \cos 45^\circ = 0.48\text{ N}$$

$$T_{1y} = 0.69 \cdot \sin 45^\circ = 0.48\text{ N}$$

$$T_{2x} = 0.70 \cdot \cos 45^\circ = 0.49\text{ N}$$

$$T_{2y} = 0.70 \cdot \sin 45^\circ = 0.49\text{ N}$$

$$W = mg = (0.10)(9.8) = 0.98\text{ kg}$$

$$\Sigma F_x = 0.48 - 0.49 = (-0.01\text{ i})\text{ N}$$

$$\Sigma F_y = 0.48 + 0.49 - 0.98 = (-0.01\text{ j})\text{ N}$$

$$|F_R| = \sqrt{(-0.01)^2 + (-0.01)^2} = 0.01\text{ N}$$

VI. Tabla de Resultados y Análisis.

Considérese ($\alpha=30^\circ$ $\beta=30^\circ$) las lecturas de los sensores de fuerza: $T_1 = 0.96\text{ N}$ y $T_2 = 0.96\text{ N}$ y complete la *Tabla 11*.

Tabla 11. Tabla de Resultados

$\alpha(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	$T_1\text{ (N)}$	$T_2\text{ (N)}$	$ F_R \text{ (N)}$
45	45	0.69	0.70	0.01
30	30	0.96	0.96	

Como se observa en la Tabla 11, la fuerza resultante determinada es cero para ambos casos, este resultado es de esperarse, debido a que el sistema se encuentra en equilibrio.

VII. Conclusiones

Se deja al lector la redacción de las conclusiones, las mismas que deben estar en función del objetivo propuesto, ¿se cumplió o no?

VIII. Bibliografía

Beer, F., Johnston, R., Mazurek, D., & Einsenberg, E. (2010). *Mecánica Vectorial Para Ingenieros Estática*. México: Mc Graw Hill.

Marghitu, D., Dupac, M., & Madsen, N. (2013). *Statics with MATLAB*. London: Springer

3.3. Práctica experimental 3: fuerzas de fricción o rozamiento

I. Introducción

En esta práctica de laboratorio se procederá a determinar el coeficiente de fricción estático, mediante el rozamiento de las superficies en contacto entre dos objetos de materiales distintos. Para lo cual se utilizará una pista plana de aluminio horizontal y sobre ella un bloque de madera, donde un dinamómetro intentará romper la inercia del bloque. Para la determinación del coeficiente de fricción se hará uso del método gráfico de los mínimos cuadrados haciendo uso del software EXCEL y gráficas de dispersión, queda al estudiante realizar la respectiva comprobación utilizando hojas milimetradas y determinando la pendiente de la gráfica.

II. Objetivo

Determinar el coeficiente de fricción estático entre las superficies de dos materiales distintos a través de las medidas de fuerza de un dinamómetro comprobando la validez de los resultados.

III. Conceptos, leyes y principios físicos

Fricción

Se conoce también como rozamiento, a la fuerza que se opone al movimiento dentro del contacto entre dos superficies (fricción dinámica) o al inicio del mismo (fricción estática). Está relacionada con el material y la forma de los objetos, es decir su coeficiente de fricción y la fuerza normal que actúa entre un cuerpo sobre otro (Serway & Jewett, 2008). Cuando un objeto es halado a lo largo de una superficie por una fuerza aplicada, la fuerza de fricción se opone al movimiento. (Young & Freedman, 2009), expone los siguientes conceptos de fricción:

Fricción estática

Es la fuerza que actúa sobre un objeto en reposo provocando que éste se resista al movimiento cuando el objeto está a punto de deslizarse. Se define como:

$$f \leq \mu_s n$$

Donde μ_s , es el coeficiente de fricción estática y n es la fuerza normal que ejerce una superficie sobre otra.

Fricción cinética

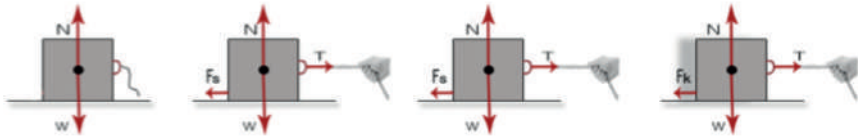
Cuando un cuerpo está en movimiento a lo largo de una superficie, la fricción cinética actúa en sentido opuesto al movimiento del objeto. La magnitud de la fuerza de fricción cinética es aproximadamente proporcional a la magnitud de la fuerza normal. De manera que escribimos la proporcionalidad entre las magnitudes de la fuerza de fricción y la fuerza normal n , a través de una constante de proporcionalidad μ_k . Se define como:

$$f_k = \mu_k n$$

Comportamiento de las fuerzas de fricción ante la acción de una fuerza de tensión

El fenómeno de fricción estática aparece justo antes de romper la inercia de un objeto ante la acción de una fuerza externa como muestra la *Figura 26*. Una vez que el objeto entra en movimiento, la fuerza de fricción estática se convierte en fuerza de fricción cinética. Se puede observar la dirección de la fuerza de fricción, en sentido contrario al movimiento del objeto.

Figura 26. Fuerza de fricción estática ante la acción de una fuerza de tensión.



Tomado de (Young & Freedman, 2009)

IV. Montaje del experimento y lista de materiales

La *Figura 27* y la *Tabla 12*, muestran los instrumentos y los distintos elementos que se utilizarán para el desarrollo de la presente práctica.

Figura 27. Equipos y elementos a utilizar.

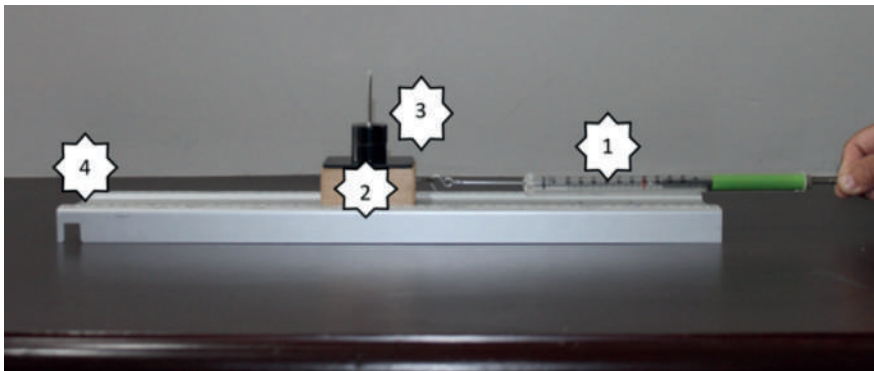


Tabla 12. Lista de equipos y materiales

Nº	Equipos y materiales	Cantidad
1	Dinamómetro	1
2	Bloque de madera de 0.1 kg	1
3	Masas de 0.05 kg	4
4	Pista de Aluminio	1

La *Figura 28*, *Figura 29*, *Figura 30* y *Figura 31*, muestran paso a paso el procedimiento en la toma de medidas de la fuerza de fricción estática entre los dos materiales. Tomar en cuenta que la masa del bloque de madera es de 0.1 kg y en cada prueba se agregan masas adicionales de 0.05 kg.

Figura 28. Medición de la fuerza de fricción estática entre el bloque con masa de 0.1 kg y la pista de aluminio. Obsérvese la medida que indica el dinamómetro



Figura 29. Medición de la fuerza de fricción estática entre el bloque con masa de 0.15 kg y la pista de aluminio. Obsérvese la medida que indica el dinamómetro.

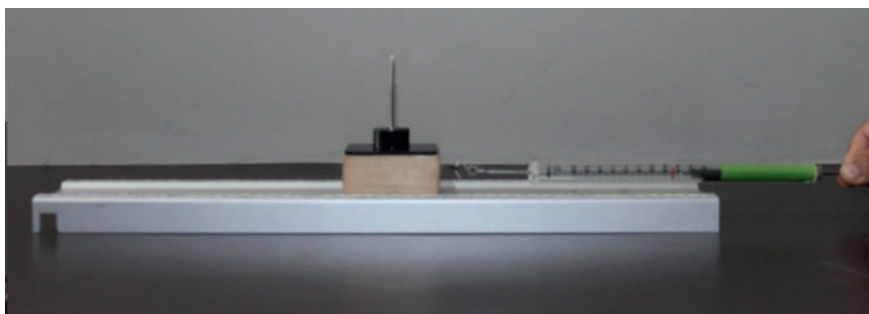
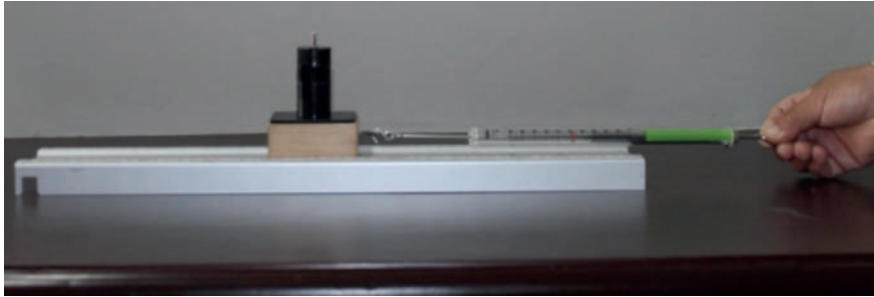


Figura 30. Medición de la fuerza de fricción estática entre el bloque con masa de 0.25 kg y la pista de aluminio. Obsérvese la medida que indica el dinamómetro

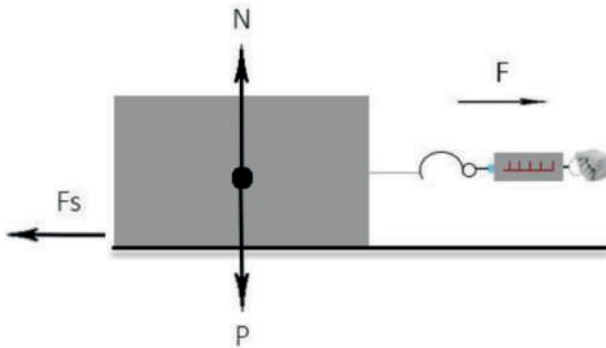


Figura 31. Medición de la fuerza de fricción estática entre el bloque con masa de 0.3 kg y la pista de aluminio. Obsérvese la medida que indica el dinamómetro.



V. Esquema del fenómeno y modelo matemático

Figura 32. Esquema del Experimento.



Tomado y adaptado de (Young & Freedman, 2009).

Modelo Matemático del fenómeno en estudio:

$$\begin{array}{lll} \Sigma F_x = 0 & \Sigma F_y = 0 & f_s = U_s \cdot n \\ F_{ext} - f_s = 0 & N - W = 0 & F_{ext} = U_s \cdot W \\ F_{ext} = f_s & N = W & U_s = \frac{F_{ext}}{W} \end{array}$$

VI. Tabla de resultados y análisis

Para la determinación del coeficiente de fricción , se requiere el uso de la relación matemática $F_{ext} (N)$ vs $w (N)$, para lo cual se procedió a medir la fuerza externa

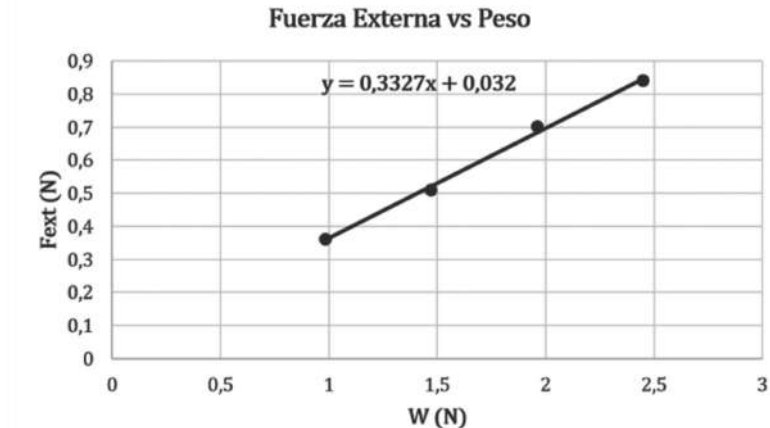
a partir del movimiento de las masas en conjunto con el bloque. Se hace uso de la *Tabla 13*, para lograr el registro de los resultados.

Tabla 13. Medición del dinamómetro ante la acción de una fuerza externa

Masa (kg)	W (N)	Fext. (N)
0.1	0.98	0.36
0.15	1.47	0.51
0.20	1.96	0.7
0.25	2.45	0.84
0.3	2.94	1.08

Con los resultados proporcionados por el dinamómetro (F_{ext}), el estudiante haciendo uso de una hoja milimetrada deberá realizar una gráfica $F_{ext} (N)$ Vs. $W (N)$ y determinando la pendiente de la gráfica, obtener el coeficiente de fricción estática, *Figura 33*. En el caso, utilizando el software EXCEL, mediante gráficas de dispersión y un ajuste lineal se obtiene la pendiente de la relación que es equivalente al coeficiente de fricción estática.

Figura 33. Gráfica de la relación F_{ext} Vs. W .



Observando la pendiente de la gráfica, redondeando, se obtiene el coeficiente de fricción estática: $\mu_s = 0.33$

VII. Conclusiones

Se deja al lector la redacción de las conclusiones, las mismas que deben estar en función del objetivo propuesto, ¿se cumplió o no?

VIII. Bibliografía

- Serway, R., & Jewett, J. (2008). *FÍSICA para ciencias e ingeniería* (7ma ed., Vol. 1). Cengage Learning.
- Young, H., & Freedman, R. (2009). *Física Universitaria* (12ava ed., Vol. 1). México: Pearson Educación.

CAPÍTULO 4

Implementación de la Metodología para el Desarrollo de Prácticas Simuladas de Física con el Uso del Software *Tracker*

En este capítulo se presenta la aplicación de la metodología para el desarrollo de prácticas simuladas de Física con el uso del software *Tracker*. Se ha considerado el desarrollo de tres prácticas experimentales, debido a que sus temáticas son comunes en los cursos universitarios de Física I de la mayoría de Universidades que ofertan carreras de Ingeniería. Las temáticas de las prácticas a considerar son:

- Movimiento rectilíneo uniformemente variado
- Cinemática rotacional
- Ley de conservación de la energía.

A continuación, se describen las tres prácticas expuestas:

4.1. Práctica simulada 1: movimiento rectilíneo uniformemente variado

I. Introducción

En esta práctica de laboratorio se procederá a comprobar un movimiento con aceleración constante a través del desplazamiento de un móvil que parte del reposo sobre una pista inclinada con ángulo de 20° . Haciendo uso del software libre, *Tracker* (Brown, 2019), se podrá analizar gráficas y tablas de resultados de parámetros como son el tiempo, velocidad y aceleración. Se realizan comparaciones y se validan resultados obtenidos.

II. Objetivo

Obtener el modelo cinemático de un móvil, a través del movimiento de un carrito, que se desplaza bajo aceleración constante en una pista inclinada con ángulo previamente definido de 16° , aplicando el software *Tracker* para la obtención de gráficas de posición, velocidad y aceleración.

III. Conceptos, leyes y principios físicos

Movimiento rectilíneo uniformemente variado

La bibliografía contemporánea afirma que la cinemática es parte de la mecánica que estudia el movimiento de los cuerpos sin considerar las causas que lo producen (Giancoli, 2008; Hewitt, 2007; Serway & Jewett, 2008; Young & Freedman, 2009). La representación de la posición de una partícula se logra con un punto en un sistema de referencia, si el sistema es unidimensional el desplazamiento involucra exclusivamente la posición en un eje, sea en x , en y o en z , si el sistema es bidimensional la posición es tanto en el eje x como en el eje y , y si el sistema es tridimensional se deben considerar las posiciones tanto en el eje x , como en el eje y , y en el eje z . Si la partícula se desplaza en línea recta, el movimiento es uniforme cuando la partícula recorre distancias iguales en tiempos iguales, de esta manera la velocidad se define como:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_o}{t_f - t_o}$$

Donde:

v : Velocidad

Δx : Variación de posición

x_o : Posición inicial

x_f : Posición final

Δt : Variación de tiempo

t_o : Tiempo inicial

t_f : Tiempo final

Sin embargo, aunque existen movimientos a velocidad constante, como por ejemplo, el viaje de un meteorito en el espacio, alrededor de nuestro entorno los movimientos son acelerados como por ejemplo el movimiento de un móvil, el vaivén de un péndulo, la caída de una canica, entre otros fenómenos. El concepto de movimiento acelerado involucra determinar una velocidad instantánea bajo una aceleración constante, cual para su definición se hace uso del cálculo diferencial. Por tanto, considerando una función de posición $x(t)$:

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} = \text{velocidad instantánea, "v(t)"}"$$

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = \text{aceleración instantánea, "a(t)"}"$$

Dónde:

$x(t)$: Posición instantánea

$v(t)$: Velocidad instantánea

$a(t)$: Aceleración instantánea

Las ecuaciones de posición, velocidad y aceleración conforman el modelo cinemático de una partícula u objeto rígido en movimiento, considerando si la partícula se desplaza de manera rectilínea con movimiento uniformemente variado. Matemáticamente es conocido, que dada la ecuación de posición en función del tiempo, su primera derivada es la velocidad y su segunda derivada es la aceleración.

Es de mucha importancia aclarar que durante el desarrollo de esta práctica se consideran movimientos con aceleraciones constantes, consecuentemente los modelos cinemáticos para la posición será una ecuación cuadrática y para la velocidad una ecuación lineal. Por tanto, las ecuaciones cinemáticas para un móvil que se desplaza de manera rectilínea con aceleración constante son:

$$x_f - x_o = v_o t + \frac{1}{2} a (t_f - t_o)^2$$

$$v_f = v_o + a(t_f - t_o)$$

$$a = \frac{v_f^2 - v_o^2}{2(x_f - x_o)}$$

Es importante resaltar que bajo “aceleración constante”, la gráfica de $v(t)$, representa una línea recta y la gráfica de $x(t)$ representa una parábola.

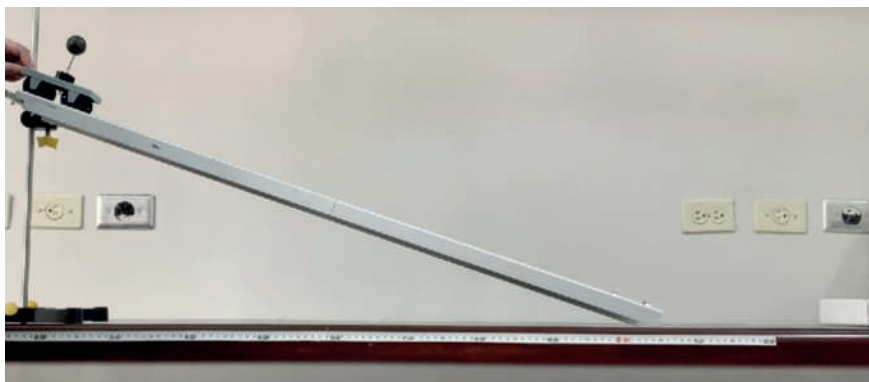
IV. Lista de materiales y montaje del experimento

La *Figura 34* muestra el montaje de la estructura donde se producirá el fenómeno. Se utilizará una masa adicional de 0.05 Kg., que sumada a la masa del carrito de carrito *PHYWE*, dan un total de 0.1 kg. La *Tabla 14*, lista los equipos y materiales a utilizar.

Tabla 14. Lista de equipos y materiales

N°	Equipos y materiales	Cantidad
1	Soporte vertical	1
2	Pista de aluminio 1m.	1
3	Carrito PHYWE	1
4	Masa de 0.1 Kg.	1
5	Cinta métrica de 1,20m.	1
6	Software Tracker	1

Figura 34. Montaje de la estructura donde se producirá el fenómeno

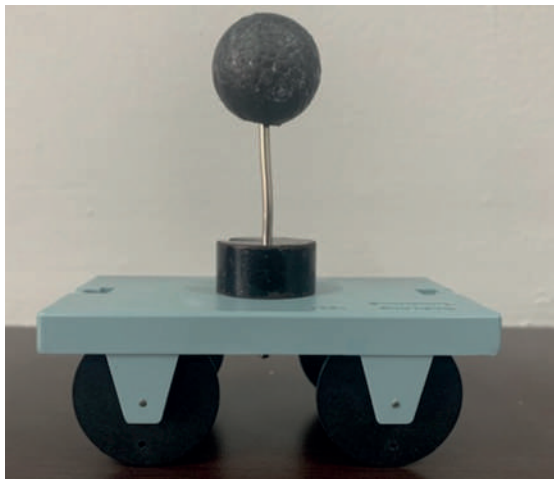


La *Figura 35*, muestra cómo obtener el ángulo de inclinación de la pista de aluminio. Así mismo la *Figura 36*, muestra el carrito *PHYWE* que realizará el movimiento.

Figura 35. Angulo de inclinación de la pista de aluminio



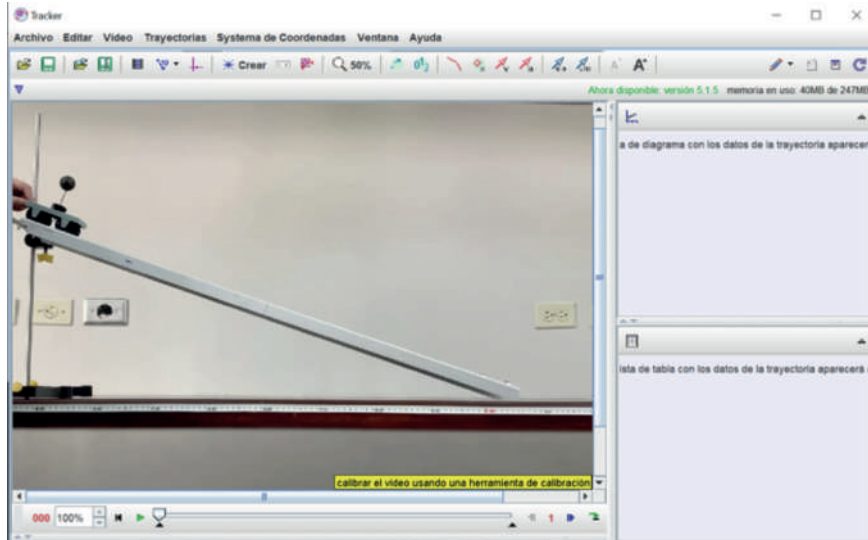
Figura 36. Carrito PHYWE con masa adicional de 0.05 Kg.



V. Producción del video

Se ha adecuado el entorno donde se producirá el fenómeno para su posterior producción, colocándole una cinta métrica de 1 metro en dirección horizontal donde se encuentra ensamblada la estructura del experimento, con el fin de que el software correlacione las unidades físicas con las unidades de resolución del video. La *Figura 37*, muestra el video cargado en el software *Tracker*.

Figura 37. Video cargado del experimento en el software Tracker



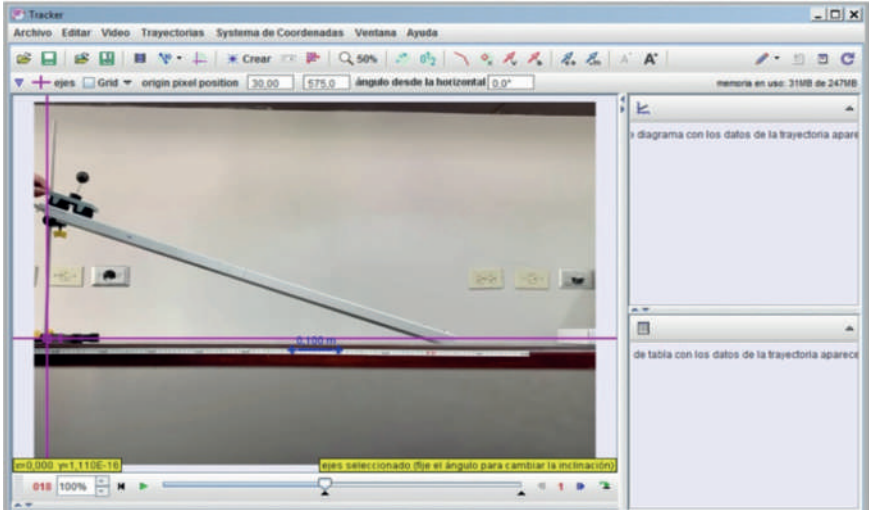
VI. Configuración del software Tracker

Se realiza la edición del video previamente cargado en la computadora. Se selecciona un cuadro inicial de 18 y cuadro final de 40. Estos valores se los determina previo análisis de los momentos irrelevantes del fenómeno físico.

VII. Simulación del experimento

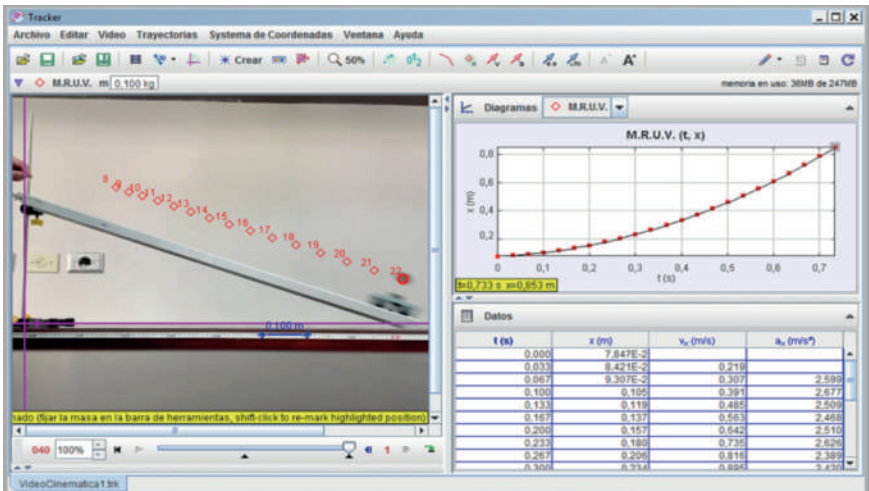
Para poder marcar una medida de referencia en el software Tracker se necesita la ayuda de la vara de calibración. El siguiente paso es ubicar un sistema de coordenadas para determinar el origen o el punto de referencia donde se inicia el movimiento del fenómeno a simular. La Figura 38, muestra el video a simular con la vara de calibración y el sistema de coordenadas referenciado.

Figura 38. Vara de calibración y sistema de coordenadas



El siguiente paso es crear una masa puntual con el objetivo de que el software identifique la trayectoria del movimiento y consecuentemente puedan medirse valores de posición, velocidad y aceleración. Se modifican los parámetros de la masa por el valor de L . La Figura 39, muestra el tracking del movimiento del carrito PHYWE, donde se expone la gráfica de posición y la tabla de datos de posición, velocidad y aceleración.

Figura 39. Trayectoria del recorrido del móvil



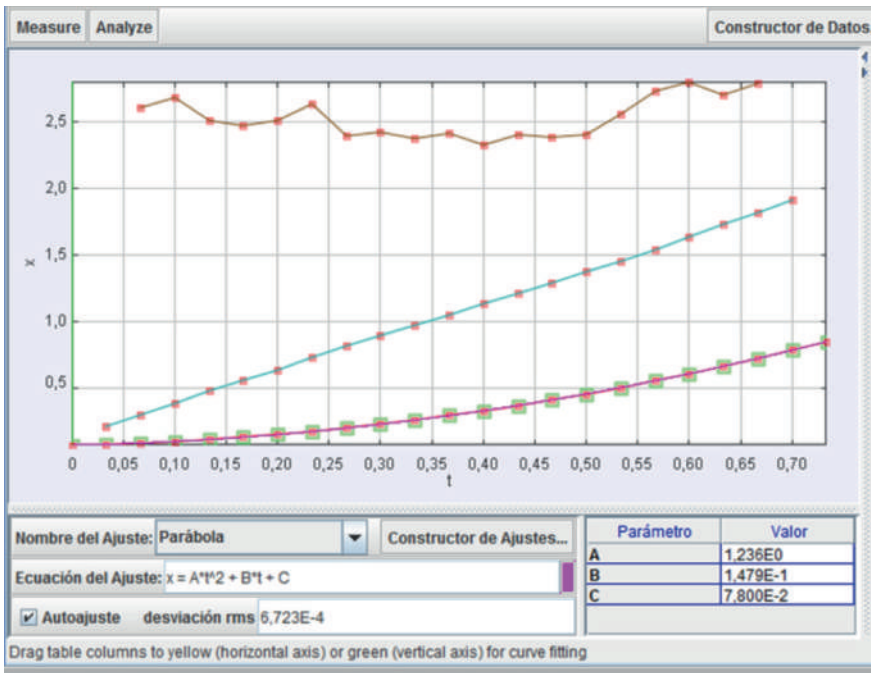
VIII. Tabla de resultados, gráficas y análisis

Al momento de ejecutar el tracking, la gráfica que inicialmente se muestra es , en conjunto con su tabla de datos de posición y tiempo, ver *Figura 39*. En sí, lo que realiza *Tracker*, es un muestreo de la trayectoria que realiza el móvil, permitiendo seleccionar las variables que se desean analizar. Para la presente práctica los parámetros a considerar son:

- x*: posición en [m]
- v*: velocidad en [m/s]
- a*: aceleración en [m/s²]
- t*: tiempo en [s]

Consecuentemente, se procede a realizar el respectivo ajuste de la curva de posición, lo cual se visualiza en la *Figura 40*.

Figura 40. Ajuste de curva posición



Conocido el movimiento a aceleración constante, es fácil identificar el ajuste a realizar, siendo para la posición un ajuste parabólico. Así se exponen los siguientes parámetros:

$$x = At^2 + Bt + C$$

$$A = 1.24$$

$$B = 0.15$$

$$C = 0.078$$

Ajustando al contexto del fenómeno y considerando las consideraciones iniciales que en $t = 0$, $v_x = 0$ y $x = 0$, y , se identifica que:

$$B = 0.15 \approx 0$$

$$C = 0.078 \approx 0$$

Con base en el marco teórico expuesto, se conoce que la ecuación que modela la posición en función del tiempo es:

$$x_f - x_o = v_o t + \frac{1}{2} a (t_f - t_o)^2$$

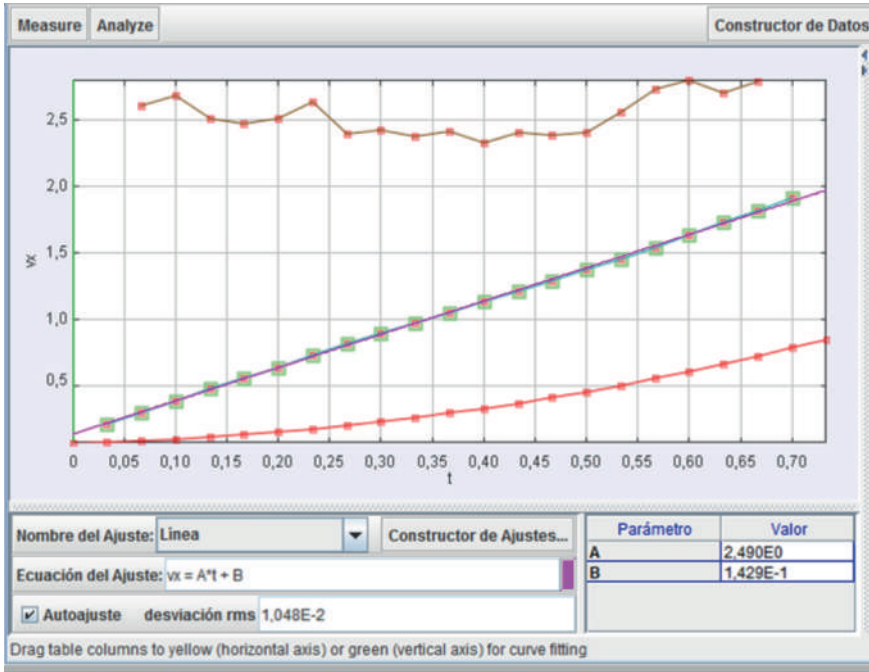
$$x = 1,24 t^2$$

Para el ajuste de velocidad, se identifica que es un modelo lineal, donde su modelo matemático, expuesto en el marco teórico al inicio de la práctica es:

$$v_f = v_o + a (t_f - t_o)$$

En la *Figura 41*, se muestra la ecuación del ajuste de la curva velocidad.

Figura 41. Ajuste de curva velocidad



Considerando las condiciones iniciales, en $t = 0, v = 0$, se tiene: $v = at$

Donde:

$$A = a = 2.49 \text{ m/s}^2$$

$$B = v_0 = 0.14 \approx 0$$

De esta manera el modelo matemático de la velocidad queda:

$$v = at$$

$$v = 2.49 t$$

Si bien es cierto, la gráfica de la aceleración debe ser constante, pero debido a las irregularidades de la pista y del mecanismo rotacional del carrito, no se puede obtener una gráfica completamente constante, pero los valores de aceleración oscilan entre $2,33 \text{ m/s}^2$ y $2,79 \text{ m/s}^2$. En la ecuación de velocidad es fácil identificar que la aceleración es de 2.49 m/s^2 .

De esta manera, el modelo matemático del movimiento rectilíneo uniformemente variado del carrito PHYWE que baja por una rampa inclinada a 16° , que da definido por:

$$x(t) = 1,24 t^2$$

$$v(t) = 2,49 t$$

Donde su valor de aceleración es:

$$a = 2,49 \text{ m/s}^2$$

Como método de comprobación de la aceleración se puede hacer uso de la dinámica del sistema, considerando la componente horizontal del peso, al rodar sin fricción. Así, aplicando la Segunda Ley de Newton en el movimiento del carrito sobre la pista inclinada en 16° , se tiene:

$$a = g \sin \theta$$

$$a = (9.8) \sin 16^\circ$$

$$a = 2.70 \text{ m/s}^2$$

También se puede determinar el error a partir del valor medido de la aceleración, utilizando el resultado proporcionado por el software *Tracker* y como valor teórico la aceleración que se obtiene aplicando las fórmulas de dinámica. Así, se obtiene el siguiente porcentaje de error.

$$\% \varepsilon = \frac{a_t - a_m}{a_t} \times 100$$

$$\% \varepsilon = \frac{2.70 - 2.49}{2.70} \times 100$$

$$\% \varepsilon = 7.78$$

El resultado de 7.78 %, obtenido del error, confirma la validez del método.

IX. Conclusiones

Se ha logrado comprobar el modelo cinemático de un móvil que persigue un movimiento rectilíneo uniforme, en el cual se evidencia que la posición tiene una tendencia parabólica, mientras que la velocidad tiene una tendencia lineal y la

aceleración es constante, pero es importante indicar que las variaciones en los valores de aceleración se deben a fenómenos como la fricción en el desplazamiento del carrito, la misma que se ha considerado despreciable.

X. Bibliografía

- Giancoli, D. (2008). *Física para ciencias e ingeniería* (Vol. I). México: PEARSON Educación.
- Hewitt, P. (2007). *Física conceptual* (Décima ed.). México: PEARSON Educación.
- Serway, R., & Jewett, J. (2008). *Física para ciencias e ingeniería* (Séptima ed. Vol. I): Cengage Learning.
- Young, H., & Freedman, R. (2009). *Física universitaria* (Vol. I). México: PEARSON Educación.
- Brown Douglas. (2019). *Tracker* (Versión 5.1.3). Recuperado de <https://physlets.org/tracker/>

4.2. Práctica Simulada 2: Cinemática Rotacional

I. Introducción

En la presente práctica de laboratorio se procederá a comprobar el movimiento rotacional de dos masas que giran a velocidad angular constante, alrededor de un eje fijo. Haciendo uso del software *Tracker* se podrá analizar gráficos y tablas de resultados de parámetros en el tiempo. Se realizan comparaciones y se validan resultados obtenidos (Brown, 2019).

II. Objetivo

Obtener el modelo cinemático del movimiento rotacional de una masa que gira alrededor de un eje fijo mediante el uso del software *Tracker* comprobando la validez de los resultados mediante la velocidad angular.

III. Conceptos, leyes y principios físicos

Cinemática Rotacional

Según Young y Freedman (2009) cuando una partícula se mueve en un círculo con rapidez constante, tiene un movimiento circular uniforme. El vector de aceleración centrípeta es perpendicular a la trayectoria y, por lo tanto, se dirige hacia el centro del círculo. Esto causa el cambio en la dirección de la velocidad, sin cambiar su rapidez. Teniendo así la fórmula para la aceleración centrípeta.

Donde:

$v =$ velocidad tangencial

$r =$ radio de la trayectoria circular

La literatura contemporánea afirma que el movimiento rotatorio de un objeto girando alrededor de un eje fijo, se lo considera como un conjunto de partículas, cada una con sus propias velocidades y aceleraciones lineales (Giancoli, 2008; Hewitt, 2007; Serway & Jewett, 2008; Young & Freedman, 2009). Existen ocasiones, como por ejemplo el giro de un carrusel, donde inicialmente el carrusel se encuentra en reposo mientras se suben los usuarios, luego comienza a incrementar su rapidez de giro, en este caso estamos ante la presencia de un movimiento rotacional acelerado. Las ecuaciones para este modelo físico son las siguientes:

$$\omega_f = \omega_i + \alpha t$$

$$\theta_f = \theta_i + \omega_i t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

$$\omega_f^2 = \omega_i^2 + 2\alpha (\theta_f - \theta_i)$$

$$\theta_f = \theta_i + \frac{1}{2} (\omega_i + \omega_f) t$$

Donde:

ω_f : Velocidad Angular Final

ω_i : Velocidad Angular Inicial

α : Aceleración Angular

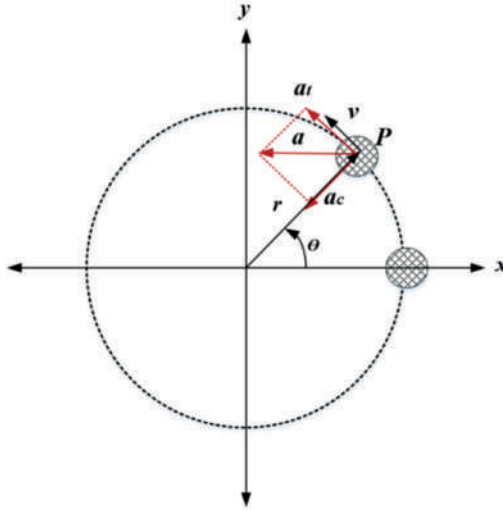
θ_f : Posición Angular Final

θ_i : Posición Angular Inicial

t : Tiempo

Se puede representar la aceleración de una partícula que se mueve en torno a un eje fijo en término de sus componentes que son aceleración centrípeta y aceleración tangencial, tal como se muestra en la *Figura 42*.

Figura 42. Movimiento rotatorio de una partícula



La componente tangencial de la aceleración, actúa cambiando la magnitud de la velocidad de la partícula y es igual a la razón de cambio de la rapidez. Entonces, se tiene:

$$a_t = r\alpha$$

Esta componente de la aceleración de una partícula siempre es tangente a la trayectoria circular de la partícula. La componente centrípeta de aceleración, está asociada con el cambio de dirección de la velocidad de la partícula. Entonces expresando en términos de velocidad angular:

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$$

Esta ecuación se cumple en todo instante, aún si ω y r no son constantes. La componente centrípeta de la aceleración siempre apunta hacia el eje de rotación. La suma vectorial de las componentes centrípeta y tangencial de la aceleración de una partícula en un cuerpo en rotación es la aceleración lineal.

$$\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_c$$

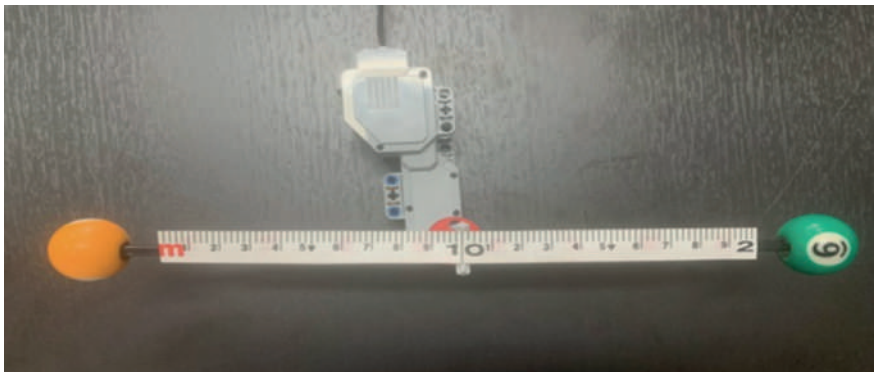
IV. Lista de materiales y montaje del experimento

La *Figura 43* muestra el montaje de la estructura donde se producirá el fenómeno. Para equilibrar el sistema rotatorio, se utilizará una masa similar en el otro extremo, como se muestra.

Tabla 15. Lista de equipos y materiales

Nº	Equipos y materiales	Cantidad
1	Mecanismo giratorio LEGO	1
2	Masa de 0.016 Kg.	2
3	Software <i>Tracker</i>	1

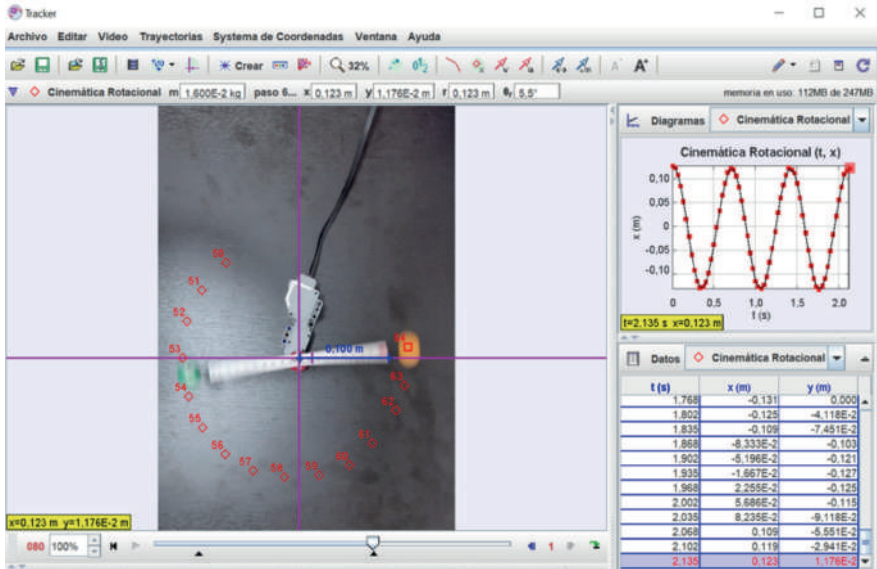
Figura 43. Mecanismo Lego donde se producirá el fenómeno



V. Producción del video

Se ha adecuado el entorno donde se producirá el fenómeno para su posterior producción, colocándole una cinta métrica de 0.2 metros sobre el mecanismo giratorio, con el fin de que el software correlacione las unidades físicas con las unidades de resolución del video. La *Figura 44* muestra el video cargado en el software *Tracker*.

Figura 45. Ejecución inicial de la simulación.



Para la ejecución del tracking se sugiere realizar el seguimiento de la masa de manera manual, debido a que si se realiza el auto tracking o seguimiento de manera automática, el software va a requerir de un mayor tiempo de procesamiento debido al movimiento circular de la masa, requiriendo un tiempo mayor para la simulación.

VIII. Tabla de resultados, gráficos y análisis

Si bien es cierto, la gráfica que inicialmente se muestra en la ejecución de la simulación, es , como se observa es una función coseno de 3 ciclos, ver *Figura 45*. En esta práctica no se tratará el análisis de esta función, dejando al profesor la evidencia de utilizar *Tracker* para prácticas de Movimiento Armónico Simple, en experimentos posteriores. Lo que *Tracker* realiza inicialmente, es el muestreo de la trayectoria que realiza la masa, permitiendo seleccionar las variables que se desean analizar. Para la presente práctica las variables a considerar son:

x : posición en el eje horizontal en [m]

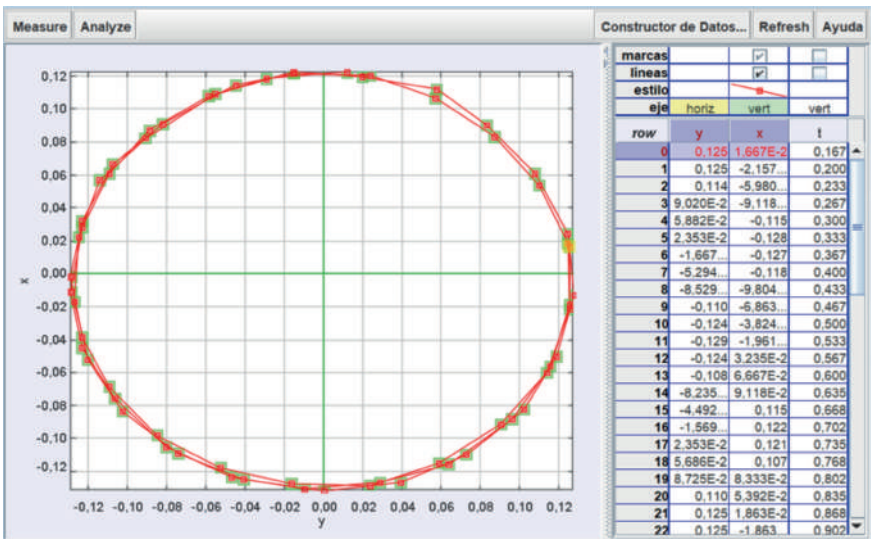
y : posición en el eje vertical en [m]

r : radio en [m]

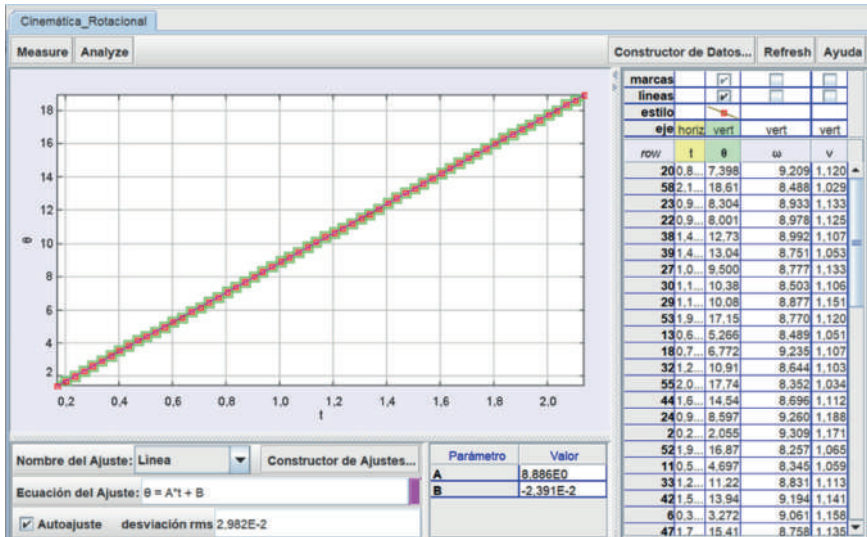
- θ : ángulo de rotación en [rad]
- ω : velocidad angular en [rad/s]
- t : tiempo en [s]

En esta práctica interesa identificar los parámetros del movimiento rotacional. Por lo que el primer parámetro a identificar es el radio de la trayectoria circular. Por tanto, se realiza la configuración respectiva y se obtiene la *Figura 46*, que corresponde a una gráfica, que muestra la trayectoria circular del movimiento. En donde es observable que la trayectoria circular de la masa es de 0.125 m.

Figura 46. Gráfica x vs y



Sin embargo, al tratarse de un movimiento circular uniforme, es necesario comprobar que su velocidad angular sea constante. La *Figura 47*, expone la gráfica

Figura 47. Ajuste de Gráfica θ vs. t 

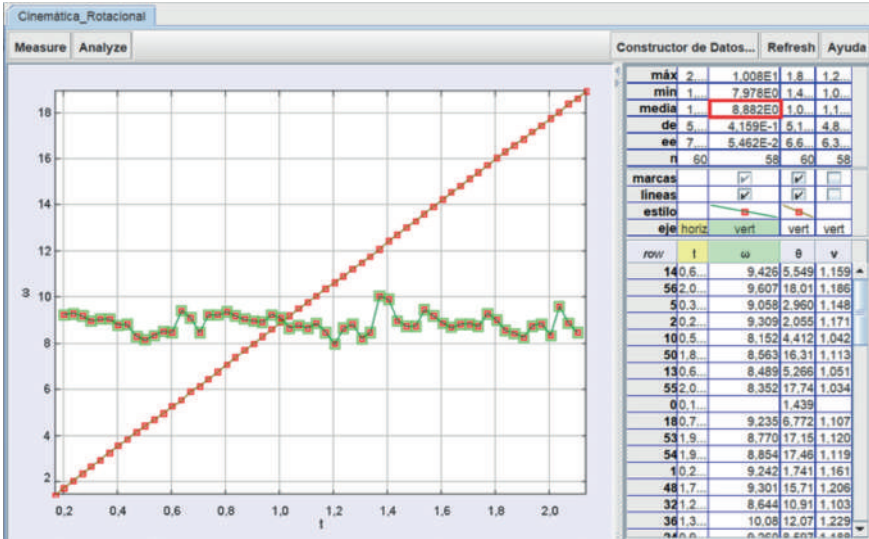
La Figura 47 muestra la gráfica ajustada a un modelo matemático. Así, considerando un ajuste lineal se tiene el siguiente modelo:

$$\theta = At$$

Por comparación, se observa que el valor de A que muestra el software en la ecuación de ajuste, es el valor de ω , del fenómeno en estudio, el mismo que es constante e igual a 8.87 rad/s.

Como método de comprobación, se muestra la gráfica de la velocidad angular, en todo el tiempo de la trayectoria. La Figura 48 muestra la gráfica ω , la misma que tiene un carácter constante.

Figura 48. Gráfica ω vs. t , de carácter constante



La media que muestra el software de la velocidad angular es de 8.88 rad/s, confirmando la validez de los resultados.

IX. Conclusiones

Se concluye que las dos masas giran sobre un eje fijo a una velocidad angular constante de 8.88 rad/s. Mediante el análisis de gráficas del movimiento rotacional, validar el modelo matemático de la cinemática rotacional.

X. Bibliografía

- Giancoli, D. C. (2008). *Física para ciencias e ingeniería*. Pearson.
- Serway, R., & Jewett, J. (2008). *FÍSICA para ciencias e ingeniería* (7ma ed., Vol. 1). Cengage Learning.
- Young, H., & Freedman, R. (2009). *Física Universitaria* (12ava ed., Vol. 1). México: Pearson Educación.

4.3. Práctica Simulada 3: Ley de la conservación de la Energía

I. Introducción

En la presente práctica de laboratorio se procederá a comprobar la ley de conservación de la energía de una masa que rueda por una rampa con curvatura partiendo del reposo. Haciendo uso del software *Tracker*, se analizará las variaciones de la energía cinética y la energía potencial gravitacional, evidenciando como la energía mecánica se mantiene constante durante todo el fenómeno. Se desprecia el fenómeno de la fricción. Finalmente, se realizan comparaciones y se validan los resultados obtenidos.

II. Objetivo

Comprobar la ley de la conservación de la energía mecánica a través del movimiento de una masa que rueda por una rampa con curvatura desde una altura definida considerando las variaciones de energía cinética y energía potencial gravitacional haciendo uso del software *Tracker* para el análisis de sus resultados.

III. Conceptos, leyes y principios físicos

Con base en la literatura contemporánea se expone el siguiente marco conceptual (Giancoli, 2008; Hewitt, 2007; Serway & Jewett, 2008; Young & Freedman, 2009).

Energía Cinética

La energía cinética de una partícula es una cantidad escalar, que depende de la masa y la rapidez de la partícula pero no de la dirección de su movimiento. La energía cinética de una partícula es igual al trabajo total que se efectuó para acelerarla desde el reposo hasta una rapidez final. La unidad de la energía es el Joule, . La ecuación para la energía cinética es:

$$K = \frac{1}{2}mv^2$$

Donde:

K: energía cinética

m: masa

v: velocidad del objeto

Energía potencial gravitacional

La energía potencial gravitacional, es un tipo de energía que se almacena en el campo gravitacional, es decir que la gravedad ejecuta un trabajo que define esta energía y que siempre se dirige hacia abajo. La cantidad de energía gravitacional depende de la masa del objeto y de la altura que tenga con respecto al nivel de referencia definido. Por tanto, mientras más alto o elevado este la masa del objeto, mayor será su energía potencial gravitacional. En consecuencia, se puede identificar a la energía potencial gravitacional de la siguiente manera:

$$U_g = mgh$$

Donde:

U_g: energía potencial gravitacional

m: masa del cuerpo

g: valor de la gravedad

h: altura de la masa respecto al nivel de referencia

Fuerzas Conservativas y Ley de la Conservación de la energía

Una fuerza que puede tener una conversión bidireccional entre energías cinética y potencial es una fuerza conservativa. El trabajo realizado por una fuerza conservativa tiene las siguientes propiedades:

- Se puede expresar como la diferencia entre el valor inicial y final de una función de energía potencial.
- Es reversible.
- Es independiente de la trayectoria del cuerpo y depende sólo de los puntos inicial y final.
- Si los puntos inicial y final es el mismo, el trabajo total es cero.
- Si las únicas fuerzas que efectúan el trabajo son fuerzas conservativas, la energía mecánica total del sistema, es constante.

La energía mecánica total de un sistema se define como la suma de la energía cinética y la energía potencial:

$$E_m = K + U$$

Dónde:

E_m : Energía Mecánica

K : Energía Cinética

U : Energía Potencial

IV. Lista de materiales y montaje del experimento

La *Figura 49* muestra el banco experimental donde se producirá el fenómeno, el mismo que dispone de dos superficies: una rectilínea y otra circular, para este experimento se utilizará la superficie circular. Es importante mencionar que la masa del objeto que rueda (una pelotita) es de . La *Tabla 16*, lista los equipos y materiales a utilizar.

Tabla 16. Lista de equipos y materiales

N°	Equipos y materiales	Cantidad
1	Rampa con curvatura	1
2	Masa de 0.016Kg.	1
3	Cinta métrica de 1.00 m	1
4	Software Tracker	1

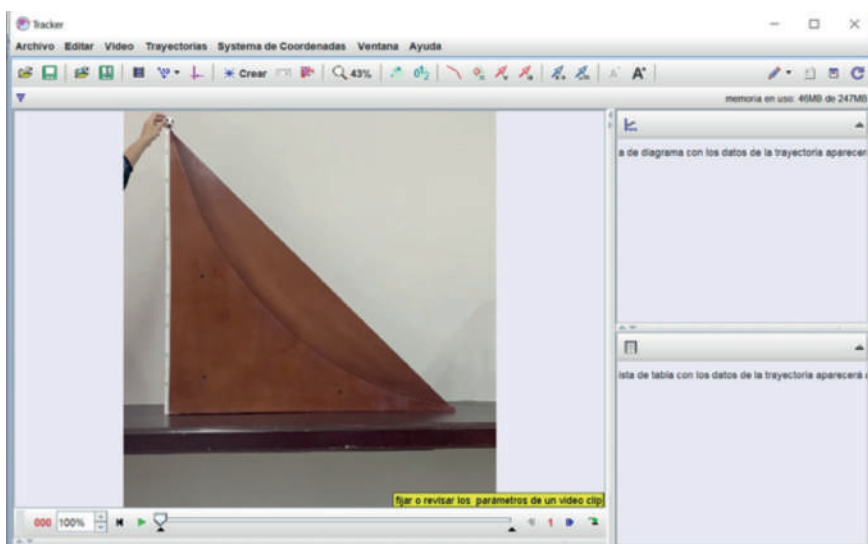
Figura 49. Banco experimental para pruebas de variaciones de energía.



V. Producción del video

Se ha adecuado el entorno donde se producirá el fenómeno para su posterior producción, colocando una cinta métrica de 1.00 m., de manera vertical, con el fin de que el software correlacione las unidades físicas con las unidades de resolución del video. Como se observa en la *Figura 49*, respecto a una referencia, la dirección del movimiento sería negativa, por lo que al cargar el video en el software se realiza un efecto espejo para darle una dirección positiva al movimiento. La *Figura 50*, muestra el video cargado en el software.

Figura 50. Video cargado del experimento en el software Tracker



VI. Configuración del software Tracker

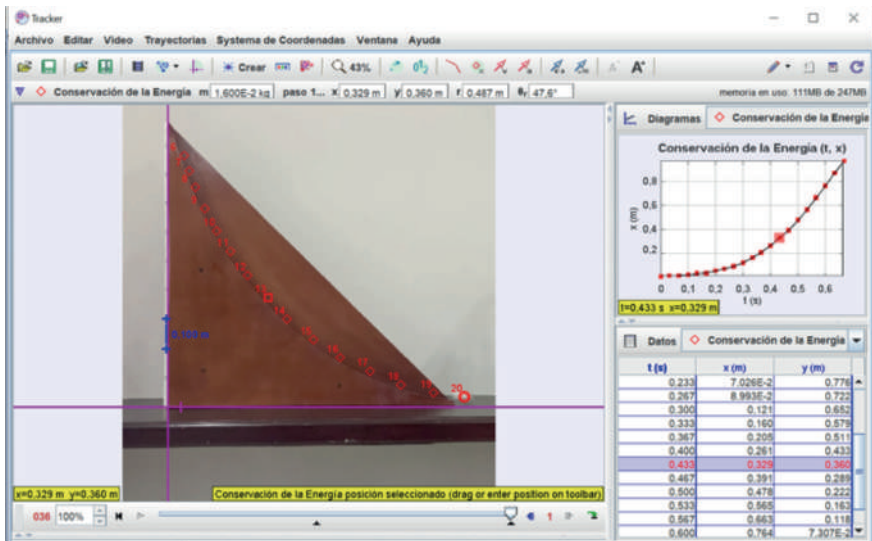
Se realiza la edición del video previamente cargado en la computadora. Se selecciona un cuadro inicial de 16 y cuadro final de 36. Estos valores se los determina previo análisis de los momentos irrelevantes del fenómeno físico, dejando exclusivamente solo el momento en el que se ejecuta el movimiento.

VII. Simulación del experimento

Con la finalidad que el software correlacione las unidades físicas con las unidades

de resolución del video, se hace uso de la vara de calibración (línea vertical de color azul), guiado por la cinta métrica ubicada en el acondicionamiento del entorno para la ejecución del fenómeno. Luego, se posiciona un sistema de coordenadas (líneas perpendiculares de color violeta), el mismo que determina el origen o punto de referencia del sistema, para indicar donde se inicia el movimiento, seguidamente se crea la masa puntual y se configura la masa con su medida real de 0.016 kg. Finalmente, se realiza el respectivo match con la finalidad que el software identifique la trayectoria del movimiento y consecuentemente lograr resultados mediante tablas y gráficas. La *Figura 51*, muestra la ejecución inicial de la simulación.

Figura 51. Ejecución inicial de la simulación.



Para la ejecución del tracking se sugiere realizar el seguimiento de la masa de manera manual, debido a que, si se realiza el auto tracking o seguimiento de manera automática, el software va a requerir de un mayor tiempo de procesamiento debido a la rapidez del movimiento de rodadura de la masa, presentando oclusiones que tenderían a errores en la selección de las diferentes posiciones de la masa realizadas por el software.

VIII. Tabla de resultados, gráficas y análisis

La gráfica que inicialmente se muestra en la ejecución de la simulación, que es , ver *Figura 51*, no es motivo de análisis en este experimento. En esta práctica se procederá a analizar el comportamiento de la energía cinética en función de la velocidad, como también el comportamiento de la energía potencial gravitacional en función de la altura y finalmente el comportamiento de la energía mecánica verificando la ley de la conservación de la energía. Por lo tanto, en la presente práctica los parámetros a considerar son:

y: altura en [m]

v: velocidad en [m/s]

t: tiempo en [s]

m: masa en [kg]

g: gravedad en [m/s²]

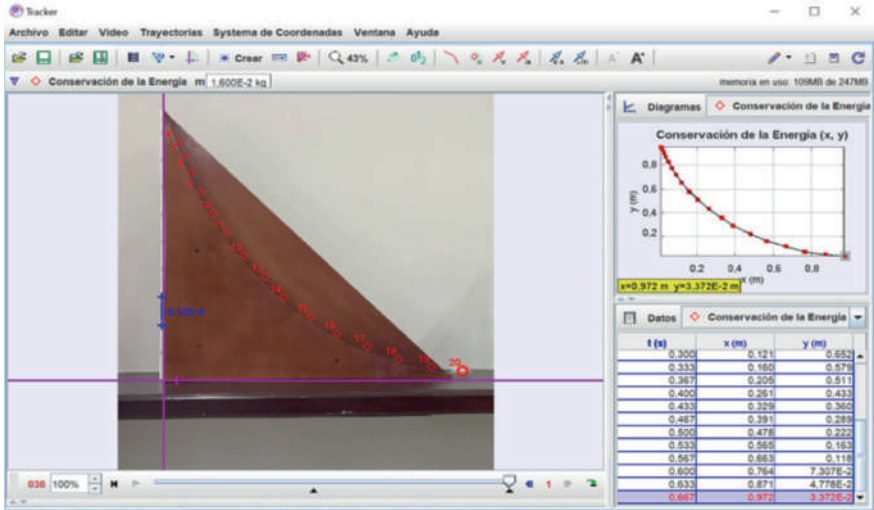
K = energía cinética en [J]

U_g: energía potencial gravitacional en [J]

E_m = energía mecánica en [J]

El análisis comienza configurando las variables que involucran la observación de trayectoria, , la misma que debe ser similar a la curvatura de la rampa del banco experimental, donde se puede identificar los puntos de posición durante el recorrido de la masa al rodar por la superficie circular. La *Figura 52* muestra la gráfica de la trayectoria de la masa.

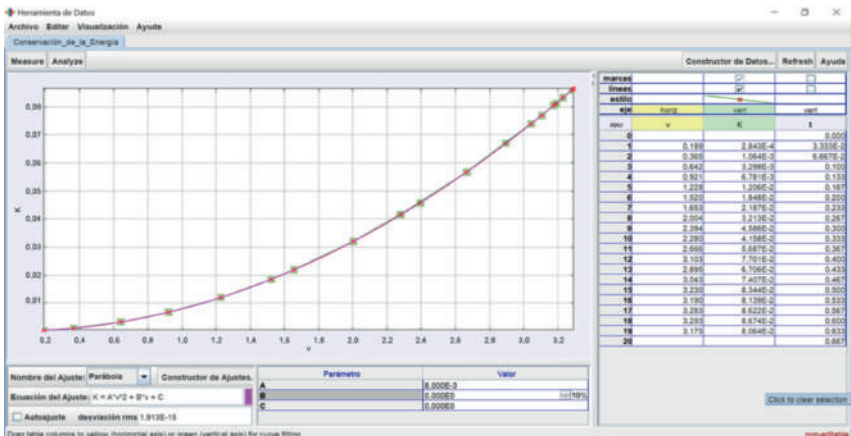
Figura 52. Gráfica de la trayectoria de la masa



La gráfica mostrada evidencia la curvatura de su recorrido y precisa una posición inicial en la coordenada $(0,0.96)m$ y una posición final en $(0.97,0)m$.

Considerando la ecuación de la energía cinética $K = \frac{1}{2} mv^2$, su gráfica debe tener un comportamiento cuadrático creciente, es decir, a medida que el cuerpo rueda hacia abajo, su velocidad se incrementa de manera cuadrática, consecuentemente su energía cinética. La Figura 53 muestra el comportamiento de la energía cinética del caso en estudio.

Figura 53. Comportamiento de la energía cinética



La ecuación de ajuste del analizador, muestra el siguiente resultado: $K = Av^2$ indicando un valor de $A = 0.008$. Si se compara con la fórmula de la energía cinemática $K = \frac{1}{2}mv^2$, se tiene la siguiente igualdad:

$$0.008 = \frac{1}{2} m$$

$$m = 0.016$$

Que es el valor de la masa de la pelotita que rueda en *kg*. Así, queda definido el modelo de la energía cinética en función de la velocidad de la siguiente manera:

$$K = 0.008 v^2$$

Considerando la ecuación de la energía potencial gravitacional $U_g = mgh$, su gráfica debe tener un comportamiento lineal decreciente, es decir, a medida que el cuerpo rueda hacia abajo, su altura disminuye, consecuentemente su energía potencial va reduciéndose. Sin embargo, *Tracker* al ser un software, carece de razonamiento, por lo que va a considerar al caso como si la masa estuviera ganando altura, por lo que va a mostrar una gráfica creciente, cuando debe ser interpretado de manera reversada. Además, aunque *Tracker* proporciona la mayoría de parámetros mecánicos del movimiento, algunos de ellos deben de ser formulados de manera externa, para lo cual se usa la función: “*Constructor de datos*”. Es el caso de la energía potencial gravitacional U_g . Por lo que este parámetro fue definido haciendo uso de la mencionada función. También, tomar en cuenta que *Tracker* considera con la letra *y*, al parámetro altura, *h*. La *Figura 54* muestra el comportamiento de la energía potencial gravitacional del caso en estudio.

Figura 54. Comportamiento de la energía potencial gravitacional



La ecuación de ajuste del analizador, muestra el siguiente resultado: $U_g = Ay$, indicando un valor de $A = 0.157$. Si se compara con la fórmula de la energía potencial gravitacional $U_g = mgh$, se tiene la siguiente igualdad:

$$0.157 = mg$$

$$m = \frac{0.157}{9.81}$$

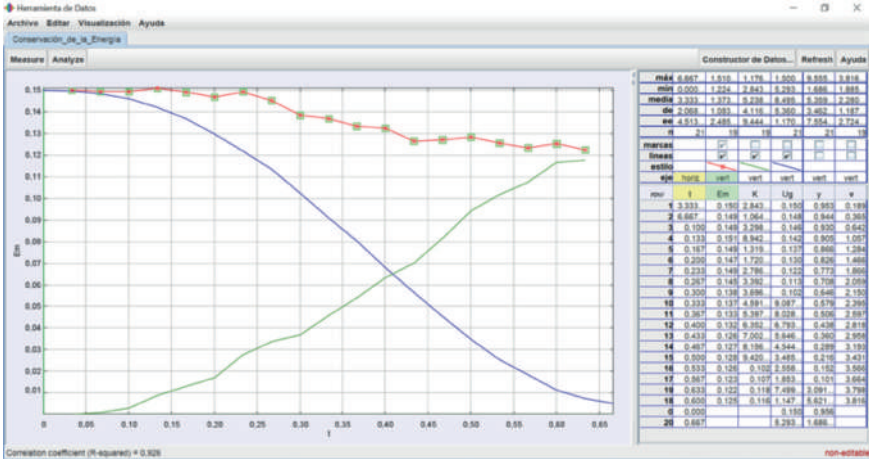
$$m = 0.016$$

Que es el valor aproximado de la masa de la pelotita que rueda en kg . Así, queda definido el modelo de la energía potencial gravitacional en función de la altura de la siguiente manera:

$$U_g = 0.157 h$$

Una vez analizados los comportamientos tanto de la energía cinética como de la energía potencial, se procede a verificar el comportamiento de la energía mecánica del sistema, considerando el caso como un sistema aislado y sin la presencia de fuerzas no conservativas. Las curvas de energía que muestra la Figura 55, están en función del tiempo. También, del mismo modo como se definió la energía potencial haciendo uso de la función *constructor de datos*, se define la energía mecánica del sistema: $E_m = K + U_g$.

Figura 55. Comportamiento de la energía potencial gravitacional



La *Figura 55* muestra el efecto conservador de la ley de la conservación de la energía, se observa que mientras la energía cinética se incrementa, la energía potencial gravitatoria se reduce. Sin embargo, con base en el resultado expuesto, no es posible asumir la no presencia de fuerzas no conservativas, es la razón por la cual el fenómeno de la fuerza de fricción, f_k , hace que la gráfica de la energía mecánica no sea una constante durante su trayectoria recorrida, d . Por tanto, el modelo matemático de la ecuación de la ley de la conservación de la energía mecánica queda:

$$\begin{aligned} \Delta E_m + f_k d &= 0 \\ \Delta E_m &= -f_k d \\ E_{mf} &= E_{mi} - f_k d \\ K_f + U_{gf} &= K_i + U_{gi} - f_k d \end{aligned}$$

Considerando a , debido a que inicialmente la masa se encuentra en reposo y a su vez, $U_{gf} = 0$, debido a que una vez que haya descendido la masa, su altura es cero. Entonces, la ecuación se simplifica a:

$$\begin{aligned} f_{kd} &= U_{gi} - K_f \\ f_{kd} &= mgh_i - \frac{1}{2} mv_f^2 \\ f_{kd} &= 0.157 (0.96) - 0.008 v^2 \\ \Delta E_m &= 0.149 - 0.008v^2 \end{aligned}$$

Donde la expresión f_{kd} , corresponde a la energía que se pierde durante el recorrido de la masa en función de la velocidad.

IX. Conclusiones

Aplicando adecuadamente el software *Tracker* se logró comprobar la ley de la conservación de la energía de una esfera, que rueda por una trayectoria circular, mediante el análisis de gráficas de energía cinética y energía potencial gravitacional. Se pudo evidenciar el efecto conservador de la energía, el mismo que en primera instancia se asumió la no presencia de fuerzas no conservativas, por lo que la gráfica de la energía mecánica tenía que ser una función constante. Sin embargo, los resultados logrados evidenciaron las pérdidas de energía producto de la fricción durante el recorrido de la esfera.

X. Bibliografía

- Giancoli, D. (2008). *Física para ciencias e ingeniería* (Vol. I). México: PEARSON Educación.
- Hewitt, P. (2007). *Física conceptual* (Décima ed.). México: PEARSON Educación.
- Serway, R., & Jewett, J. (2008). *Física para ciencias e ingeniería* (Séptima ed. Vol. I): Cengage Learning.
- Young, H., & Freedman, R. (2009). *Física universitaria* (Vol. I). México: PEARSON Educación.
- Brown Douglas. (2019). *Tracker* (Versión 5.1.3). Recuperado de <https://physlets.org/tracker/>

Referencias Bibliográficas

- Ablanque, X., Benito, R., Losada, J., & Gómez, L. (2010). *Laboratorio de Física con soporte interactivo en moodle*. Madrid: Pearson.
- Ausay, C. C. (2016). *Desarrollo de un laboratorio virtual interactivo para la enseñanza de Física para el primer año bachillerato general unificado*. Ambato.
- Beer, F., Johnston, R., Mazurek, D., & Einsenberg, E. (2010). *Mecánica Vectorial Para Ingenieros Estática*. Mexico: Mc Graw Hill.
- Brown, D. (2020, Junio 09). *Tracker Video Analysis and Modeling Tool*. Retrieved from Tracker: <https://physlets.org/tracker/>

- Chávez Flores, E. L., & Freire Torres, M. J. (2017). *Metodologías de aprendizaje en las prácticas experimentales de Física: un estudio bibliográfico*. Milagro. Cuautilán, F. d. (2010). *Metrología Dimensional*. México.
- Gavilánez, I. (2017). *Análisis comparativo entre el laboratorio virtual y experimental utilizado en la asignatura de física, en el bloque curricular movimiento de los cuerpos en dos dimensiones y su influencia en el rendimiento académico*. Riobamba.
- Giancoli, D. C. (2008). *Física para ciencias e ingeniería*. Pearson.
- Gil, S. (2014). *Experimentos de Física*. México: Alfaomega.
- Marghitu, D., Dupac, M., & Madsen, N. (2013). *Statics with MATLAB*. London: Springer.
- Parra, R., Zambrano, D., Varela, E., & García, I. (2017). Laboratorios virtuales vs. Laboratorios reales, caso de estudio: Materia Redes Eléctricas. *Memorias de la Décima Sexta Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática (CISCI 2017)*, (pp. 436-439). Guayaquil.
- PHYWE. (2020, 06 09). *PHYWE*. Retrieved from PHYWE: <https://www.phywe.com/en>
- Rivera, L., Román, M., Moncayo, J., & Ordonez, D. (2009). Laboratorio Virtual de Física. *Revista de Informática Educativa y Medios Audiovisuales*, 8-12.
- Serway, R., & Jewett, J. (2008). *FÍSICA para ciencias e ingeniería* (7ma ed., Vol. 1). Cengage Learning.
- Vernier. (2020, Junio 09). *Vernier Physics*. Retrieved from Vernier Physics: <https://www.vernier.com/physics/>
- Young, H., & Freedman, R. (2009). *Física Universitaria* (12ava ed., Vol. 1). México: Pearson Educación.



Washington Caraguay Ambuludi
wcaraguay@gmail.com

Fue profesor de Física y Robótica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Espíritu Santo, Ecuador. Es Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones por la Escuela Superior Politécnica del Litoral y Máster en Automática y Robótica por la Universidad Politécnica de Madrid. Colaboró con el Centro de Investigaciones de la UEES como director del proyecto, "Aplicación de metodologías modernas en la enseñanza de la Física con el uso de tecnologías de vanguardia en los cursos de 3ro bachillerato".



Geovanny Alvarado Villa
galvarado@uees.edu.ec

Se desempeña como profesor a tiempo completo de Biofísica y Bioestadística en la Facultad Ciencias Médicas de la Universidad Espíritu Santo, Ecuador. Es Licenciado en educación de Física-Matemática, con un Máster en Enseñanza de la Física. Es autor de varias publicaciones científicas y trabaja en proyectos de investigación relacionados con la validación de instrumentos. Ha sido docente en el Parque de las Ciencias Ajá de la ESPOL, impartiendo la cátedra de Física.



Luis Benavides Castillo
lbenavides@uees.edu.ec

Profesor a tiempo completo de las cátedras de redes de comunicación, teoría electromagnética, líneas de transmisión, transmisión de datos y protocolos y matemáticas en la Escuela de Ingeniería en Sistemas y Telecomunicaciones, de la Universidad Espíritu Santo. Es ingeniero en electricidad, especialidad electrónica, magister en administración de empresas, y en auditoría de tecnologías de la información. Trabajo durante 25 años en compañías relacionadas a las telecomunicaciones.



Cecilia Tobar Espinoza
ctobar@uees.edu.ec

Ingeniera en Electrónica en UEES.
Es madre y gusta de la enseñanza de las Ciencias Exactas con sus hijos.



Centro
de Investigaciones



[uees_ec](https://twitter.com/uees_ec)

[universidadespíritusanto](https://www.facebook.com/universidadespíritusanto)

www.uees.edu.ec

Km. 2,5 La Puntilla,
Samborondón

ceninv@uees.edu.ec

Teléfono: (593-4) 500 0950 Ext: 1319 - 1317