UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE CIENCIAS

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

“PROPUESTA PARA LA MEJORA DEL PROCESO ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LA FÍSICA GENERAL MEDIANTE EXPERIMENTOS DE LABORATORIO USANDO TECNOLOGÍA ACTUAL”

Para obtener el título profesional de Ingeniero Físico.

Elaborado por

Limaco Olivar Perez

0009-0001-3964-0414

Asesor

Dr. Walter Francisco Estrada López

0000-0003-4337-6887

LIMA – PERÚ

2024

Citar/How to cite	Olivar Perez [1]
Referencia/Reference Estilo/Style: IEEE (2020)	[1] L. Olivar Perez, "*Propuesta para la mejora del proceso enseñanza-aprendizaje de la física general mediante experimentos de laboratorio usando tecnología actual*" [Trabajo de suficiencia profesional]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2024.

Citar/How to cite	(Olivar, 2024)
Referencia/Reference Estilo/Style: APA (7ma ed.)	Olivar, L. (2024). *Propuesta para la mejora del proceso enseñanza-aprendizaje de la física general mediante experimentos de laboratorio usando tecnología actual*. [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.

Dedicatoria

A mis padres y esposa por su apoyo continuo,

a mi hijo por su ánimo único.

Resumen

El presente trabajo de Suficiencia Profesional se ha elaborado para destacar las ventajas del diseño experimental en el desarrollo de laboratorios de física general, utilizando tecnología actual en el ámbito de estudios universitarios de pregrado (entiéndase como tecnología actual aquellos dispositivos electrónicos o sensores empleados para recolectar datos). Con este objetivo, se ha diseñado el montaje experimental para cada experimento, seleccionando la frecuencia de muestreo y los gráficos orientados a alcanzar los objetivos específicos de cada uno. Con ello se pretende que constituya una guía importante para el proceso enseñanza-aprendizaje de la Física General.

Se presentan catorce guías de laboratorio, cada una con su respectivo informe, que incluye los objetivos, el fundamento teórico, los materiales, el procedimiento y el análisis de resultados. Además, se anexan videos que muestran paso a paso el desarrollo de los experimentos mencionados. Los experimentos abarcan una variedad de temas típicos, tales como: movimiento rectilíneo uniforme y uniformemente acelerado, caída libre, movimiento armónico simple, máquina de Atwood, gases ideales, ley de Ohm, determinación de la constante de Planck, equilibrio térmico, calor específico de un metal, campo magnético de un solenoide, campo magnético de un imán, ley de Faraday, carga y descarga de un capacitor y circuitos RLC. Estos experimentos fueron seleccionados debido a la complejidad inherente de realizarlos de manera artesanal y la dificultad de obtener datos precisos.

Los resultados se presentan con sus respectivas incertidumbres y se comparan con valores de referencia, encontrando diferencias porcentuales menores al 10%. Con el diseño propuesto, los datos se obtienen de manera amigable, rápida y con alta precisión en comparación con el método tradicional. Además, estos datos se presentan de manera visual mediante gráficos y tablas para una mejor comprensión y análisis. Esta propuesta también puede ser utilizada como complemento a las técnicas

tradicionales.

Palabras clave – Experimentos de laboratorio, Tecnología actual, Física general, Proceso enseñanza-aprendizaje.

Abstract

This report was prepared in the frame of Professional Sufficiency Work to showcase the advantages of experimental design in the development of general physics laboratories using current technology in the undergraduate university setting (Current technology is understood as electronic devices or sensors used for data collection). To this end, experimental setups have been designed for each experiment, with sampling frequency and graphs selected to achieve the specific objectives of each experiment. This is intended to constitute an important guide for the teaching-learning process of General Physics.

For this purpose, fourteen laboratory guides are presented, each accompanied by its respective report, including objectives, theoretical foundation, materials, procedure, analysis, and results. Additionally, videos demonstrating the step-by-step development of the mentioned experiments are attached. The experiments cover a variety of topics, such as kinematics (constant velocity motion and constant acceleration motion), free fall, simple harmonic motion, Atwood's machine, ideal gases, electrical resistance and Ohm's Law, determination of Planck's constant, thermal equilibrium, specific heat of a metal, magnetic field of a solenoid, magnetic field of a magnet, Faraday's law, capacitor charging and discharging, and RLC circuits. These experiments were selected due to their inherent complexity in manual execution and the difficulty in obtaining data.

Results are presented with their respective uncertainties and are compared with reference values, revealing differences of less than 10%. With this proposed design, data is acquired in a user-friendly, quick, and highly precise manner compared to traditional methods. Furthermore, this data is visually presented through graphs and tables for better comprehension and analysis. This proposal can also be used as a complement to traditional techniques.

Keywords - Laboratory experiments, Current technology, General physics, Teaching-learning process.

Tabla de contenido

Dedicatoria iii
Resumen iv
Abstract vi
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo 1
1.1 Antecedentes 1
1.2 Principales ventajas 2
1.3 Alternativas tecnológicas para el laboratorio de física general 3
1.3.1 PASCO Scientific 3
1.3.2 Leybold 4
1.3.3 Vernier Software & Technology 4
1.4 Preferencia de algunas universidades de Lima 5
Capítulo II. Formulación del problema 8
2.1 Problema general 8
2.2 Problema específico 9
2.3 Objetivo General 9
2.4 Objetivo Específico 9
Capítulo III. Marco teórico para un diseño experimental 11
3.1 Antecedentes de la problemática 11
3.2 Conceptos básicos para un diseño experimental 14
Capítulo IV. Método y materiales 23
4.1 PASCO Scientific 23
4.2 Software Pasco Capstone 24
4.3 Interfaz universal 850 PASCO (UI-5000) 25
4.4 Tipos de sensores 25
4.5 Principales sensores 26
Capítulo V. Resultados y análisis 29
5.1 LABORATORIO N°1: CINEMÁTICA (MRU y MRUV) 29
5.2 LABORATORIO N°2: CAIDA LIBRE 41
5.3 LABORATORIO N°3: MOVIMIENTO ARMONICO SIMPLE 46
5.4 LABORATORIO N°4: MAQUINA DE ATWOOD 61
5.5 LABORATORIO N°5: GASES IDEALES 69
5.6 LABORATORIO N°6: RESISTENCIA ELECTRICA Y LEY DE OHM 77
5.7 LABORATORIO N°7: DETERMINACION DE LA CONSTANTE DE PLANCK 85
5.8 LABORATORIO N°8: EQUILIBRIO TERMICO 95
5.9 LABORATORIO N°9: CALOR ESPECÍFICO DE UN METAL 101
5.10 LABORATORIO N°10: CAMPO MAGNÉTICO DE UN SOLENOIDE 107
5.11 LABORATORIO N°11: CAMPO MAGNETICO DE UN IMAN 113
5.12 LABORATORIO N°12: LEY DE FARADAY 119
5.13 LABORATORIO N°13: CARGA Y DESCARGA DE UN CAPACITOR 124
5.14 LABORATORIO N°14: CIRCUITOS RLC 132
Conclusiones 142
Recomendaciones 143
Referencias bibliográficas 144

Lista de Tablas

Tabla 1 Marcas usadas en la enseñanza de física general en universidades de Lima 5
Tabla 2 Sistema de polea y fotopuerta (ME-6838A) 27
Tabla 3 Rango y resolución de los principales sensores 28
Tabla 4 Pendiente de la gráfica x vs t 37
Tabla 5 Registro de datos de aceleración del carrito 39
Tabla 6 Registro de datos de una pelotita en caída libre 45
Tabla 7 Determinación de la constante del resorte 55
Tabla 8 Tabla para el ajuste lineal 57
Tabla 9 Tabla de datos en el experimento de máquina de Atwood 66
Tabla 10 Tabla de especificaciones técnicas de la polea 67
Tabla 11 Tabla de datos para el experimento de máquina de Atwood (polea con I) 67
Tabla 12 Tabla de datos de presión y volumen 75
Tabla 13 Tabla de datos de resistencias de carbón 84
Tabla 14 Tabla de longitudes de ondas de los LED caracterizados 87
Tabla 15 Tabla de datos para el experimento de la constante de Planck 93
Tabla 16 Datos de equilibrio térmico 99
Tabla 17 Determinación de la temperatura de equilibrio 100
Tabla 18 Calores específico referencial 105
Tabla 19 Calor específico experimental del cobre 106
Tabla 20 Calor específico experimental del cobre, ensayo 2 106
Tabla 21 Calor específico experimental del aluminio 106
Tabla 22 Calor específico experimental del latón 107
Tabla 23 Múltiplos de tiempo de vida media 130
Tabla 24 Tiempo de vida media en la descarga de un capacitor 130

Lista de Figuras

Figura 1 Gráfica de regresión lineal de datos 20
Figura 2 Partes del programa Pasco Capstone 24
Figura 3 Partes de 850 Interfaz universal 25
Figura 4 Evolución de modelos de sensores 26
Figura 5 Principales sensores de PASCO 28
Figura 6 Cinemática usando la rueda de Maxwell 30
Figura 7 Gráfica x vs t y v vs t del MRU 31
Figura 8 Graficas x vs t, v vs t y a vs t para el MRUV 32
Figura 9 Equipos para el experimento de MRU 33
Figura 10 Equipos para el experimento de MRUV 34
Figura 11 Posición y velocidad de un móvil con MRU que se mueve hacia +x 36
Figura 12 Posición y velocidad de un móvil con MRU que se mueve hacia -x 36
Figura 13 Posición y velocidad de un móvil con MRUV 38
Figura 14 Equipo para medir la gravedad por caída libre 41
Figura 15 Equipos para el experimento de caída libre 43
Figura 16 Caída libre de una pelotita, caso I 44
Figura 17 Diagrama para realizar el experimento de MAS 46
Figura 18 Cambio de la posición de equilibrio de un sistema bloque resorte vertical 49
Figura 19 Gráfico de un sistema bloque resorte experimental 50
Figura 20 Gráfica fuerza versus elongación 51
Figura 21 Gráfica posición, velocidad y aceleración versus tiempo 52
Figura 22 Medida del periodo de oscilación 53
Figura 23 Gráfica para determinar la constante del resorte – masa 1 55
Figura 24 Cinemática del MAS 56
Figura 25 Periodo de oscilación de masa 1 57
Figura 26 Gráfica masa versus periodo al cuadrado 58
Figura 27 Gráfica fuerza versus aceleración 59
Figura 28 Máquina de Atwood 61
Figura 29 Representación y DCL de una máquina de Atwood 62
Figura 30 Fotografía del armado para el experimento 64
Figura 31 Gráfica aceleración versus relación de masas (polea ideal) 66
Figura 32 Gráfico aceleración versus relación de masa (polea con I) 68
Figura 33 Equipo para verificar la Ley de Boyle 69
Figura 34 Diagrama pV para el proceso isotérmico 71
Figura 35 Armado de equipos para el experimento de gases 72
Figura 36 Volumen de jeringa con manguerita 73
Figura 37 Gráfica presión versus volumen en el proceso isotérmico 73
Figura 38 Gráfica volumen versus 1/presión con ajuste lineal 75
Figura 39 Circuito para caracterizar un resistor 78
Figura 40 Diagrama de flujo de cargas convencionales en un campo eléctrico 79
Figura 41 Gráfica corriente versus voltaje para materiales óhmicos y LED 80
Figura 42 Circuito básico con voltímetro y amperímetro 81
Figura 43 Gráfica I vs V para el foquito incandescente, LED y resistencia de carbón. 82
Figura 44 Gráfica I vs V para tres resistencias de carbón 84
Figura 45 Método tradicional para determinar h 85
Figura 46 Gráfico del espectro de emisión de la LED rojo 87

Figura 47 Gráfico del espectro de emisión de la LED naranja 87
Figura 48 Gráfico del espectro de emisión de la LED verde 88
Figura 49 Gráfico del espectro de emisión de la LED azul 88
Figura 50 Gráfico del espectro de emisión de la LED violeta 88
Figura 51 Gráfico del efecto de fotoemisividad de una LED 89
Figura 52 Gráfico del diagrama de una LED 89
Figura 53 Circuito de conexión de una LED con voltímetro y amperímetro 90
Figura 54 Diagrama de conexión de sensor de voltaje y sensor de corriente 91
Figura 55 Gráfica I vs V indicando el voltaje de activación 92
Figura 56 Gráfica voltaje de activación versus inversa longitud de onda 93
Figura 57 Equipos para determinar el equilibrio térmico 97
Figura 58 Temperatura de agua caliente y equilibrio 99
Figura 59 Equipos para determinar el calor específico 103
Figura 60 Temperatura de equilibrio del agua y cobre 105
Figura 61 Diagrama para determinar B en una bobina usando una balanza 108
Figura 62 Equipos para determinar el campo magnético en un solenoide 110
Figura 63 Circuito de conexión para determinar B 110
Figura 64 Campo B versus I en un solenoide 112
Figura 65 Campo magnético de un imán 114
Figura 66 Equipos para medir el B de un imán (foto y esquema) 115
Figura 67 Campo B en función de r producido por un imán 117
Figura 68 Experimento de la ley de Faraday 119
Figura 69 Equipos para el experimento de Ley de Faraday (foto y esquema) 121
Figura 70 Sentido de la corriente en la bobina utilizada 122
Figura 71 B de un imán con el polo norte apuntado hacia la bobina y fem inducido 122
Figura 72 B de un imán con el polo sur apuntado hacia la bobina y fem inducido 123
Figura 73 Osciloscopio y generador de funciones 124
Figura 74 Circuito RC serie 125
Figura 75 Equipos para el experimento de carga y descarga de un capacitor 128
Figura 76 Gráfica de voltajes Vf y Vc versus tiempo 129
Figura 77 Gráfica de ln(Vc/Vf) versus tiempo 131
Figura 78 Esquema del circuito RLC 133
Figura 79 Circuito RCL en serie 133
Figura 80 Diagrama de fasores del circuito RCL 134
Figura 81 Izquierda, circuito RCL, derecha conexión de sensores 136
Figura 82 Gráfica de voltajes para un voltaje Vo de 20 kHz 137
Figura 83 Gráfica de voltajes para un voltaje Vo de 30 kHz 138
Figura 84 Gráfica de voltajes para un voltaje Vo de 50 kHz 139
Figura 85 Gráfica de la frecuencia de resonancia 140

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Antecedentes

En este trabajo se presenta una propuesta de guía de laboratorio de física general utilizando tecnología actual, con el objetivo de contribuir a la mejora del proceso de enseñanza-aprendizaje. Se ha titulado a este informe "Propuesta para la mejora del proceso de enseñanza-aprendizaje de la física general mediante experimentos de laboratorio usando tecnología actual".

Las tecnologías referidas incluyen sensores y dispositivos electrónicos que se conectan a una computadora a través de un software. Estos dispositivos son comúnmente utilizados en los laboratorios de física de algunas universidades y están disponibles para su adquisición en el mercado nacional.

Tradicionalmente, los laboratorios de física general suelen realizarse utilizando dispositivos analógicos, e incluso en algunos casos, de manera artesanal. Estos métodos son importantes para que el estudiante adquiera habilidades en el manejo de equipos de laboratorio y se vuelva diestro en el campo de la experimentación. Sin embargo, el procedimiento tradicional tiene limitaciones en cuanto a la resolución de las medidas, ya que carece de los relojes digitales de las computadoras que controlan los procesos en los sensores.

Estos experimentos pueden mejorarse sustancialmente mediante el empleo de la tecnología actual, como sensores y dispositivos electrónicos conectados a una computadora por medio de un cable o de manera inalámbrica.

La tecnología actual permite realizar mediciones más precisas y con una frecuencia de muestreo más alta comparada con la que pueda realizar de manera individual una persona, ya que estas tecnologías utilizan, por ejemplo, el reloj de la CPU de la computadora que está en el orden de los gigahertz. Sin embargo, es importante tener en cuenta que las tecnologías actuales solo complementan y

mejoran los métodos tradicionales; estos en general son importantes por su carácter formativo, ya que permiten que los estudiantes adquieran destreza en el manejo de equipos y procesos experimentales.

1.2 Principales ventajas

Las principales ventajas de usar las tecnologías actuales en los laboratorios de física son:

- **Mayor precisión y exactitud de las mediciones**: La utilización de un sensor conectado a una computadora ofrece una mayor precisión y exactitud en las mediciones. Esto se debe a que permite medir de manera precisa una magnitud física dentro de un rango específico, reduciendo así el error humano que suele ser común en los métodos tradicionales de medición. Además, permite medir de manera constante a una alta frecuencia de datos por segundo.
- **Automatización y velocidad:** Los sensores pueden recopilar datos de forma continua a una tasa de muestreo elevada, superando la capacidad de una persona. Esto es fundamental en experimentos que demandan mediciones durante periodos prolongados. Además, es posible programar el inicio y el fin de la toma de datos, lo que agrega una ventaja de control y eficiencia al proceso experimental.
- **Monitoreo en tiempo real:** Los datos recopilados pueden visualizarse en la computadora de manera inmediata. Esto permite al experimentador detectar cambios o tendencias de forma rápida, facilitando la toma de decisiones para corregir cualquier inconveniente que pueda surgir durante el experimento.
- **Reducción de la frustración del estudiante:** Los estudiantes suelen desanimarse cuando las mediciones no permiten obtener los resultados esperados, especialmente si la toma de datos es compleja o si el

experimento implica riesgos. Los sensores ayudan a mitigar estos riesgos y a disminuir los errores humanos asociados al experimento, proporcionando un entorno más seguro y confiable para el aprendizaje práctico. Esto, a su vez, ayuda a los estudiantes a sentirse más motivados y comprometidos con el proceso experimental.

- **Simplificación del almacenamiento y análisis de datos:** El uso de sensores simplifica significativamente el almacenamiento y análisis de datos. Los datos recopilados pueden procesarse de forma digital, lo que permite obtener resultados de manera rápida y eficiente. Además, se pueden almacenar y procesar grandes volúmenes de datos, facilitando la realización de análisis más detallados y complejos. Esta capacidad para procesar datos de manera eficiente es fundamental para la investigación científica y el desarrollo experimental, ya que permite obtener información valiosa de manera oportuna.

1.3 Alternativas tecnológicas para el laboratorio de física general

El mercado nacional e internacional ofrece una variedad de alternativas para realizar los experimentos de física general usando tecnología actual. Entre ellos resaltan las siguientes marcas comerciales:

1.3.1 PASCO Scientific

Esta marca estadounidense fundada en 1964 por Paul Stokstad, es conocida por su amplia gama de equipos de laboratorio para física, ciencias e ingeniería. Ofrece sistemas de adquisición de datos, sensores, equipos para experimentos de mecánica, electricidad, magnetismo y óptica, así como software educativo y recursos para la enseñanza 38. (*The PASCO Story - About Us*, 2019). Sus principales bondades son:

- Equipos robustos y duraderos.
- Alta precisión y fiabilidad.

- Interfaces fáciles de usar y software intuitivo.
- Versatilidad y una amplia gama de equipos.
- Precios en el rango medio-alto debido a la robustez y versatilidad.

1.3.2 Leybold

Esta marca tiene larga historia, fue fundada en 1850 por Ernst Leybold en Colonia, Alemania, inicialmente, la empresa se centraba en la fabricación de equipos de laboratorio, bombas de vacío y tecnologías relacionadas con la física experimental. Con el tiempo, Leybold se ha expandido para ofrecer una amplia gama de soluciones para la investigación científica y la industria, incluyendo tecnologías de vacío, instrumentación de análisis y sistemas de prueba (*Nuestra historia*, 2022). Sus productos son valorados por:

- Alta calidad y durabilidad.
- Instrumentos precisos en el área de tecnología del vacío.
- Equipos amigables y manuales detallados.
- Variedad de equipos, desde básicos hasta avanzados.
- Precios en el rango medio-alto.

1.3.3 Vernier Software & Technology

Esta marca estadounidense fundada en 1981 por David Vernier y Christine Vernier, se especializa en equipos y software para la enseñanza de ciencias, incluida la física. Sus productos incluyen sensores de medición, interfaces de datos, software de análisis y experimentos preconfigurados. Son especialmente populares en entornos educativos debido a su facilidad de uso y enfoque en la enseñanza práctica, (*The Vernier Story*, 2011). Sus características son:

- Los equipos pueden ser menos robustos en comparación con los de PASCO y Leybold, pero siguen siendo de calidad adecuada.
- Equipos aceptables en precisión y exactitud.

- Enfoque en la simplicidad y la accesibilidad, con software y hardware diseñados para ser fáciles de usar.
- Variedad de sensores, interfaces y software educativo.
- Precios más asequibles.

1.4 Preferencia de algunas universidades de Lima

Se ha realizado un estudio de mercado centrado en las marcas de equipos de laboratorio de física que utilizan tecnología actual en diversas universidades de Lima. Este estudio se basó en la revisión de las páginas web de las universidades relevantes, así como en entrevistas con personas familiarizadas con el tema. Se ha encontrado la siguiente información en la tabla 1:

Tabla 1

Marcas usadas en la enseñanza de física general en universidades de Lima

Universidad	Marca de equipo
Universidad de Lima	Pasco
Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur	3 scientific y Phywe
Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle	Pasco, Leybold
Pontificia Universidad Católica del Perú	Pasco, Phywe
Universidad Peruana Cayetano Heredia	Pasco y vernier
Universidad Ricardo Palma	Pasco
Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas S.A.C.	Pasco
Universidad San Ignacio de Loyola S.A.	Pasco
Universidad Nacional Mayor de San Marcos	Pasco
Universidad Nacional de Ingeniería	Pasco, Leybold
Universidad Nacional del Callao	Pasco
Universidad Continental S.A.C	Pasco
Universidad Nacional Federico Villarreal	Pasco
Universidad Tecnológica del Perú	Vernier
Universidad Privada del Norte	Vernier

Nota: Elaboración propia

La información recopilada muestra que el 80% de las 15 universidades consideradas usan equipos de la marca PASCO, mientras que el 20% utilizan

equipos de la marca Vernier. Respecto a la marca Leybold, no se ha encontrado suficiente información que indique que universidades la utilizan en los laboratorios de física general. Según los entrevistados, la marca Leybold se usa mayormente en laboratorios de investigación o en cursos avanzados de Física, como ocurre en la UNI.

Se ha elegido utilizar en este trabajo los experimentos de la marca PASCO Scientific como modelo, debido a su uso difundido en la mayoría de las universidades limeñas y sus destacadas calidades; las mismas incluyen buena calidad de construcción, durabilidad, precisión, exactitud, facilidad de uso, versatilidad y una amplia gama de productos disponibles. Aunque el precio de los equipos de PASCO es generalmente más elevado en comparación con otras marcas, se ha observado que las universidades prefieren esta marca al implementar sus laboratorios de física general con tecnología de punta. Además, es importante destacar que el autor de este trabajo obtuvo el permiso necesario para utilizar estos equipos en los experimentos descritos en este informe.

En consecuencia, con el presente trabajo el docente universitario encontrará una serie de guías de laboratorio listos para implementar en su cátedra. Estas guías de laboratorio se han elaborado con el objetivo de simplificar la labor del catedrático y, al mismo tiempo, reducir la frustración del estudiante durante la toma de datos y el análisis, por ende, contribuir a una mejora del proceso enseñanza-aprendizaje de la física general. Por esta razón, se propone ofrecer las guías de laboratorio en formato Word, junto con documentos adicionales como hojas de cálculo en Excel y programas en formato Capstone. Además, se proporcionarán videos que muestran el procedimiento de cada experimento paso a paso, las precauciones necesarias, el manejo de las herramientas del software y, finalmente, el análisis de los resultados obtenidos.

A continuación, se detalla los siguientes experimentos realizados.

- LABORATORIO N°1: Cinemática (MRU y MRUV)
- LABORATORIO N°2: Caída Libre
- LABORATORIO N°3: Movimiento armónico simple
- LABORATORIO N°4: Máquina de Atwood
- LABORATORIO N°5: Gases Ideales
- LABORATORIO N°6: Resistencia eléctrica y Ley de Ohm
- LABORATORIO N°7: Determinación de la constante de Planck
- LABORATORIO N°8: Equilibrio térmico
- LABORATORIO N°9: Calor específico de un metal
- LABORATORIO N°10: Campo magnético de un solenoide
- LABORATORIO N°11: Campo magnético de un imán
- LABORATORIO N°12: Ley de Faraday
- LABORATORIO N°13: Carga y descarga de un capacitor
- LABORATORIO N°14: Circuitos RLC

Los experimentos mencionados han sido elegidos debido a su inherente complejidad para su reproducción manual, es decir no son fáciles de reproducir de manera artesanal, ya que las mediciones implican la recopilación de una cantidad significativa de datos en un período de tiempo corto para ser tomado por una persona. Por ejemplo, el experimento de caída libre requiere la utilización de un cronómetro para registrar el tiempo de caída de un móvil, sin embargo, la velocidad de reacción humana constituye un factor crucial en el experimento que con frecuencia influye en la medición, dificultando la medición del tiempo y posición. Además, este experimento requiere medir con alta precisión las variables involucradas. En resumen, su reproducción no es fácil de realizar, sino que exige el uso de sensores que puedan tomar datos a una elevada tasa de muestreo, agilizando así la adquisición de datos y garantizando una alta precisión en las mediciones.

Capítulo II. Formulación del problema

Hoy en día, gestionar el tiempo es fundamental para que los estudiantes puedan cumplir con sus actividades académicas de manera eficiente, particularmente en actividades como los laboratorios de física general.

La física experimental, como disciplina dentro de las ciencias naturales, nos brinda la oportunidad de comprender y explorar el mundo a través de una experiencia tangible y concreta de los conceptos teóricos. Esto se logra mediante la observación, la medición y la manipulación directa de las variables involucradas en los fenómenos físicos, lo que nos permite verificar las leyes y principios que rigen la realidad natural.

Los laboratorios de física general en las universidades están diseñados para que los estudiantes puedan convertir sus abstracciones en realidades tangibles a través de la experimentación, a fin de comprobar, verificar e incluso deducir los principios físicos, facilitando así su comprensión. En esencia, los laboratorios actúan como un puente entre la teoría y la práctica, proporcionando a los estudiantes una conexión directa con los principios físicos.

Tradicionalmente, los experimentos de física general se llevan a cabo utilizando equipos analógicos que, en cierta medida, podrían considerarse artesanales debido a su baja precisión y exactitud en comparación con los equipos electrónicos de última generación, los cuales hacen uso de la tecnología actual en el proceso de toma de datos.

2.1 Problema general

Debido al avance de las tecnologías y la automatización de procesos integrados a la tecnología en los laboratorios de física general, se hace la siguiente pregunta:

¿En qué medida el diseño de experimentos de laboratorio usando tecnología actual mejora el proceso enseñanza-aprendizaje de la física general en los estudiantes de pregrado de una universidad?

2.2 Problema específico

¿En qué medida el diseño de experimentos de laboratorio usando tecnología actual mejora el aprendizaje de las leyes físicas en los estudiantes de pregrado de una universidad?

¿Hasta qué punto el diseño de experimentos de laboratorio usando tecnología actual mejora la precisión en los datos experimentales en los laboratorios de física general en los estudiantes de pregrado de una universidad?

2.3 Objetivo General

Proponer el uso de la tecnología actual en el trabajo experimental de los estudiantes de Física General de las universidades peruanas para una mejor comprensión de las leyes físicas y contribuir a la mejora del proceso de enseñanza-aprendizaje en esta área en la universidad.

2.4 Objetivo Específico

- Diseñar catorce experimentos típicos de física general en los que sea crucial utilizar tecnología actual en su desarrollo.

- Mostrar la buena precisión de las medidas de las magnitudes físicas en un experimento, usando la tecnología actual, en un corto tiempo (tiempo usualmente asignado para un típico laboratorio de física experimental universitario).

- Demostrar que las mediciones realizadas con tecnología actual son amigables para el análisis de datos, la obtención de resultados y las conclusiones.

En general, el propósito de este trabajo es proponer una alternativa mejorada para realizar los experimentos de física general en comparación con el método

tradicional. Esta guía servirá de apoyo al docente en el diseño de experimentos de laboratorio de física general utilizando la tecnología actual. De esta manera, el docente puede optar por desarrollar los experimentos de manera tradicional o aprovechar los avances tecnológicos disponibles, siempre y cuando tenga acceso a los instrumentos, sensores y equipos necesarios.

Capítulo III. Marco teórico para un diseño experimental

3.1 Antecedentes de la problemática

En este capítulo se hará una revisión de propuestas y conceptos relativos a la problemática planteada en este trabajo. Según el informe técnico de Gutiérrez (2023), titulado “Comparación entre las experiencias de laboratorio con método tradicional y con equipos PASCO”, compara el desarrollo de los laboratorios de física que utilizan equipos con sensores con respecto a los laboratorios clásicas sin equipamiento. Realiza un esquema de diagrama de flujo para visualizar el proceso, junto con la metodología y la propuesta didáctica para el desarrollo de los laboratorios en la facultad de Ciencias Naturales y Matemática equipados con equipos PASCO SCIENTIFIC. Compara 5 experiencias de laboratorio de los temas de cinemática, dinámica y movimiento armónico simple (MAS).

El informe técnico de Cabrera (2017), titulado “Experimentos de física I usando el equipo Xplorer GLX y sus sensores”, señala la escasez de material bibliográfico de nivel universitario en Lima relacionado con experimentos de física I, especialmente aquellos que involucran el uso del equipo Xplorer GLX y sus sensores electrónicos. También, indica que en instituciones educativas de renombre en los Estados Unidos y América Latina existe una preferencia por incorporar equipos y sensores electrónicos en actividades experimentales, prácticas y experiencias de laboratorio. Finalmente comenta que este enfoque permite a los estudiantes de ciencias e ingeniería familiarizarse con la tecnología actual y abordar problemas del mundo real, cumpliendo así con los objetivos de una enseñanza y formación profesional adecuada.

En su tesis de maestría, titulada “Estudio metrológico y determinación de la incertidumbre del tiempo que tarda una esfera en recorrer una rampa inclinada”, Moreno (2021) se centra en la determinación de la incertidumbre asociada al tiempo

que una esfera tarda en recorrer una rampa inclinada. El propósito principal de su trabajo es asegurar la calidad en el proceso de medición llevado a cabo por los estudiantes en laboratorios de física como parte de su proceso de aprendizaje. Además, busca instruir a los estudiantes sobre los conceptos de metrología e incertidumbre, destacando su aplicación en la medición y el tratamiento de datos experimentales, así como la estimación de las incertidumbres asociadas. El objetivo de su tesis es desarrollar en los estudiantes la habilidad de trabajar con instrumentos y aparatos de cierta precisión, para obtener valores cercanos al valor verdadero de la cantidad física medida. Para ello, incorpora un proceso estadístico que implica determinar el valor más probable o promedio, la varianza estadística, la desviación estándar y la incertidumbre aleatoria. Este enfoque permite especificar el intervalo de valores en el cual se encuentra la medida del objeto. Asimismo, este trabajo considera factores de incertidumbre relacionados con la instrumentación y las características de los equipos utilizados en el proceso experimental.

En el artículo "Enseñanza de la Física Utilizando Tecnologías Modernas: Experimentos Controlados por Computadora", Akimkhanova et al. (2020) mencionan que la enseñanza de la física constituye un ámbito fascinante y complejo que demanda una constante investigación. En este sentido, las tecnologías modernas de la información desempeñan un papel crucial. Sin embargo, en la actualidad resulta desafiante captar el interés de los estudiantes, especialmente en esta época de sobrecarga informativa que puede llevar a almacenar recursos de manera temporal en la memoria. Por lo tanto, uno de los principales requisitos para los educadores es su capacidad para emplear de manera eficiente las nuevas tecnologías en cada sesión de clase. Estas tecnologías de información se utilizan para modelar, crear y evaluar recursos temáticos, así como sus componentes esenciales y didácticos, con el objetivo de desarrollar cualidades personales como la reflexividad, la capacidad

crítica frente a la información, la responsabilidad, la toma de decisiones independientes, la tolerancia, la creatividad y las habilidades comunicativas.

En el contexto de las lecciones de física, la implementación de tecnología moderna puede aumentar el interés en el estudio del tema y ampliar las posibilidades de demostrar experimentos mediante representaciones visuales. Se reconoce que los docentes tienen una oportunidad única para hacer que las lecciones sean más interesantes, visuales y dinámicas al incorporar las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en el proceso educativo. El artículo describe investigaciones realizadas por académicos de la Universidad Nicolás Copérnico y la Universidad Nacional Kazajstán al-Farbi en "Albert Abraham Michelson" en Strzelno, y en una escuela secundaria en Kwidzyn, Polonia.

El siguiente autor, Ellermeijer (2019), en el estudio “Tecnología en la Enseñanza de la Física: Beneficios, Desafíos y Soluciones”, plantea las siguientes preguntas: ¿Cómo podemos hacer que la enseñanza de la física sea más desafiante, relevante y atractiva para nuestros estudiantes de secundaria? ¿Cómo podemos fomentar el desarrollo del pensamiento creativo, la resolución de problemas y otras habilidades cognitivas avanzadas? En muchos países, los gobiernos buscan promover la ciencia y la tecnología en las escuelas, y en esta dirección, STEM (o STEAM), MINT (en Alemania) e IBSE son las siglas más recientes que forman parte del complejo panorama educativo.

La tecnología puede contribuir a que la enseñanza de la física sea más pertinente, más conectada con la vida real y auténtica, al mismo tiempo que brinda mayores oportunidades para que los estudiantes realicen sus propias investigaciones. Así, la tecnología no solo ofrece otra forma de enseñar los mismos conceptos, sino que realmente añade valor. Aunque este conocimiento existe desde hace décadas, aún se implementa en una escala relativamente limitada. Un desafío

significativo radica en la preparación de los docentes para utilizar la tecnología en esta dirección.

Recientemente, los autores exploraron el desarrollo de un curso eficaz y breve destinado a preparar a los profesores para el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) y tecnología en las lecciones de Enseñanza de Ciencias Basada en la Indagación (ECBI). Este curso se centró no solo en la adquisición de habilidades en TIC, sino también en la conciencia de sus beneficios y en la motivación. Para alcanzar estos objetivos, se aplicaron varios principios pedagógicos, como el enfoque en el ciclo de profundización y un ciclo de teoría y práctica. La configuración final del curso se basó en varias rondas de pruebas y mejoras y se implementó en los Países Bajos, la República Eslovaca y Vietnam.

3.2 Conceptos básicos para un diseño experimental

Motivación y tendencias actuales

Actualmente hay propuestas de modernización del trabajo experimental con el objetivo de hacer más eficiente el proceso de enseñanza-aprendizaje, particularmente en la física general. Por ejemplo, según Robinson (1979; como se cita en Nuñez, 2016), el laboratorio tradicional utiliza experimentos para confirmar las leyes y hechos explicados en clases o en libros de texto. Los estudiantes reciben instrucciones detalladas sobre qué hacer y conocen los resultados que se esperan obtener. No tienen la oportunidad de pensar, investigar o probar diferentes enfoques.

En contraste, los laboratorios alternativos buscan simular un entorno de investigación real. En estos laboratorios, los estudiantes aprenden a manejar equipos modernos y a analizar resultados, además de ser alentados a consultar diversas fuentes, cuestionar, reflexionar y desarrollar sus propias iniciativas.

Para superar las limitaciones del método tradicional, Roth (1991; como se cita en Nuñez, 2016) sugiere considerar los siguientes aspectos:

Para superar las limitaciones del método tradicional, Roth (1991; como se cita en Nuñez, 2016) enfatiza la importancia de los siguientes puntos:

- Utilizar problemas de contexto real.
- Integrar el uso de computadoras, para facilitar el aprendizaje conceptual, encontrar soluciones aproximadas y crear representaciones gráficas.
- Relacionar situaciones problemáticas con modelos matemáticos.
- Aplicar las habilidades adquiridas en los laboratorios experimentales para abordar y analizar en profundidad otros problemas de contexto real.

Medición

Acción de medir una magnitud física asignando un valor (número), unidad de medida e incertidumbre y según el Instituto Nacional de Calidad (INACAL, 2012), se define la medición como el "*proceso que consiste en obtener experimentalmente uno o varios valores que pueden atribuirse razonablemente a una magnitud".*

Una medida se expresa (valor ± incertidumbre) unidades, por ejemplo (125 ± 4) cm. Existen dos tipos de medición:

Medición directa cuyo valor de la magnitud se observa directamente en el instrumento de medición.

Medición indirecta o calculada, la cual se obtiene mediante el empleo de una fórmula matemática que involucran una o varias variables físicas medidas directamente.

Cifras significativas

En toda medición es importante considerar el concepto de las cifras significativas, ya que estas aportan información de la medición. Por ejemplo, al medir una tarjeta de crédito con una regla milimétrica se obtiene un resultado de 85,0 mm, lo que indica que la

medición tiene tres cifras significativas. Por otro lado, al emplear un calibrador vernier, se obtiene un resultado de 85,45 mm, lo que muestra que la medición posee cuatro cifras significativas. Este contraste en el número de cifras significativas resalta la diferencia en la precisión entre ambos instrumentos.

Exactitud, precisión y sensibilidad

La *exactitud de una medición* es el grado de concordancia entre un valor medido y un valor verdadero de un mensurando, mientras que la *presión de una medición* es el grado de concordancia entre los valores medidos obtenidos en mediciones repetidas de un mismo objeto, o de objetos similares, bajo condiciones especificadas. Mientras que la sensibilidad de un instrumento es el valor mínimo de una magnitud que se puede apreciar que generalmente coincide con la división más pequeña de la escala de medida.

Error o incertidumbre

Al realizar mediciones, es crucial comprender que ningún procedimiento es absolutamente preciso. Esto significa que el valor medido de una magnitud X no coincide necesariamente con su valor real. Siempre hay cierto grado de incertidumbre asociado a cualquier medición, debido a varios factores, como las limitaciones en la precisión de los instrumentos de medición, los errores experimentales inherentes al proceso de medición y las fluctuaciones en las condiciones ambientales.

El error, representado por la diferencia entre el valor medido (x_{med}) y el valor real (x_{real}), es desconocido en la mayoría de los casos. Sin embargo, podemos estimar cotas para su valor. Estas cotas suelen ser iguales y se denominan error o incertidumbre de la medida, representado comúnmente por Δx

El resultado de la medida de una magnitud física se representa por la siguiente expresión:

$$x_{med} \pm \Delta x$$

Donde, ΔX es la incertidumbre o también conocida como incertidumbre absoluta. Mientras que la relación $\delta_x = \frac{\Delta x}{x_{med}}$ se denomina incertidumbre relativa.

Tipos de error o incertidumbre

- Errores Sistemáticos: Estos errores permanecen constantes en mediciones repetidas y afectan a todas las mediciones con el mismo valor numérico. Son ocasionados por problemas de calibración del instrumento, condiciones experimentales inadecuadas, errores en la apreciación del observador, entre otros. Este tipo de error afecta la exactitud de la medida (INACAL, 2012).
- Errores Aleatorios: Estos errores varían de manera impredecible en mediciones repetidas y se deben a causas difíciles de controlar, como fluctuaciones ambientales o errores en la apreciación del observador. Este tipo de error afecta la precisión de la medida.

Cálculo de la incertidumbre en una medición directa

En lecturas de una sola medida, la principal fuente de error radica en la lectura de escala del instrumento. La estimación de la incertidumbre asociada a esta lectura requiere conocer la sensibilidad o precisión del instrumento de medición, esto es la lectura más pequeña que se puede apreciar en un instrumento.

Las incertidumbres experimentales se redondean a UNA cifra significativa (casi siempre). Sin embargo, si la primera cifra es 1, se conservan dos cifras (convenio). La última cifra significativa de la medida debe ser del mismo orden de magnitud que la incertidumbre (Taylor, 2018).

Sin embargo, la estimación de incertidumbre total no solo pasa por considerar el error de la lectura de escala, sino requiere un cuidadoso control de la calibración del instrumento y de los procedimientos de medición.

En mediciones con repeticiones, se suele usar la estadística como herramienta para determinar el valor representativo, promedio y su incertidumbre. Las principales causas que contribuyen a esta incertidumbre son el error aleatorio debido a factores ambientales y el error sistemático debido a la precisión del instrumento.

Cálculo de la incertidumbre en una medición directa

Supongamos que se ha medido varias variables magnitudes físicas $x, y, \ldots$ con sus respectivas incertidumbres $\Delta x, \Delta y, \ldots$

Incertidumbre tipo A la estimación de este error se realiza a partir de observaciones de mediciones repetidas cuyo valor es aleatorio y se determina por métodos estadísticos.

Resultado de la medida: $\bar{x} = \frac{\sum_{i=0}^{n} x_i}{n}$

Incertidumbre típica: $\Delta x_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{n} (\bar{x} - x_i)^2}{n(n-1)}}$

Para número de medidas pequeño (n<10) (Aguilera, s.f., diapositiva 12): $\Delta x_A = \frac{x_{maximo} - x_{minimo}}{6}$

Incertidumbre tipo B este error está asociada a la resolución del instrumento de medición.

Resultado para una medida: valor directamente medido.

Instrumento analógico (Medina, 2017). $\Delta x_B = \frac{\text{Resolucion del instrumento}}{2}$

Instrumento digital (Álvarez, s.f.). $\Delta x_B = \text{Resolucion del instrumento}$

Incertidumbre típica de medida

$$\Delta x = \sqrt{(\Delta x_A)^2 + (\Delta x_B)^2}$$

En instrumentos digitales, el instrumento efectúa un redondeo electrónicamente, de manera que, se toma la incertidumbre de escala como una unidad de la última cifra mostrada como primera aproximación.

Cálculo de la incertidumbre en una medición indirecta

Muchas medidas no se pueden determinar de manera directa sino requieren una o varias magnitudes y a partir de ellos, mediante una ecuación o modelo se determina la variable, (Taylor, 2018). Este procedimiento es una medición indirecta.

Suma	$p = x + y$	$\Delta p = \Delta x + \Delta y$
Diferencias	$p = x - y$	$\Delta p = \Delta x + \Delta y$
Producto	$p = xy$	$\frac{\Delta p}{p} = \frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y}$
División	$p = \frac{x}{y}$	$\frac{\Delta p}{p} = \frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y}$
Potencia	$p = x^n$	$\frac{\Delta p}{p} = n\frac{\Delta x}{x}$

En general, una medida indirecta Y se determina mediante la fórmula a partir de mediciones directas independientes $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ mediante la expresión.

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

La incertidumbre de Y tiene como límite superior a (Días, 2020):

$$\Delta Y = \left|\frac{\partial f}{\partial x_1}\right| \Delta x_1 + \left|\frac{\partial f}{\partial x_2}\right| \Delta x_2 + \cdots + \left|\frac{\partial f}{\partial x_n}\right| \Delta x_n$$

Donde $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$ son las incertidumbres de las medidas directas

Para ciertos experimentos las reglas indicadas anteriormente pueden sobreestimar la incertidumbre, para mejores resultados se determina la incertidumbre cuadrática media dada por (Aguilera, s.f. diapositiva 14)

$$\Delta Y = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\Delta x_1\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\Delta x_2\right)^2 + \cdots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n}\Delta x_n\right)^2}$$

Casos particulares

Cambio de escala	$Y = cx$	$\Delta Y = \lvert c\rvert \Delta x$
Potencia	$Y = cx^n$	$\Delta Y = Y\lvert n\rvert \frac{\Delta x}{x}$
Potencia	$Y = cx_1^p x_2^q$	$(\Delta Y)^2 = Y^2\left(\left(p\frac{\Delta x_1}{x_1}\right)^2 + \left(q\frac{\Delta x_2}{x_2}\right)^2\right)$
Suma o diferencia	$Y = x_1 \pm x_2$	$(\Delta Y)^2 = (\Delta x_1)^2 + (\Delta x_2)^2$
Producto	$Y = x_1 x_2$	$(\Delta Y)^2 = Y^2\left(\left(\frac{\Delta x_1}{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta x_2}{x_2}\right)^2\right)$

Incertidumbre en grafica de ajuste lineal por mínimos cuadrados

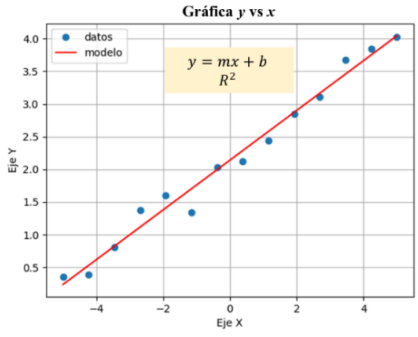
En muchos fenómenos físicos las variables están relacionados de manera lineal, ver figura 1. Es decir, la variable dependiente y y la variable independiente x tiene la forma.

$$y = mx + b$$

Donde m es la pendiente de la recta que los relaciona y b es la ordenada en el origen. Además, el término R^2 es el coeficiente de determinación.

Figura 1

Gráfica de regresión lineal de datos



Nota: Adaptado de *Ajuste de modelos a datos* (s.f.)

Usamos las siguientes notaciones:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{N};\ \bar{y} = \frac{\sum y_i}{N}$$

$$\Delta = N\sum x_i^2 - \left(\sum x_i\right)^2$$

El cálculo de la pendiente por el método de mínimos cuadrados nos da como resultado, Taylor (2018):

$$m = \frac{N\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\Delta} = \frac{\overline{xy} - (\bar{x})(\bar{y})}{\overline{x^2} - (\bar{x})^2}$$

$$b = \frac{N\sum x_i^2 \sum y_i - \sum x_i \sum x_i y_i}{\Delta} = \bar{y} - a\bar{x}$$

La desviación estándar en y

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum(y_i - mx_i - b)^2}{N-2}}$$

Sus incertidumbres de m y b son respectivamente:

$$\sigma_m = \sigma_y\sqrt{\frac{\sum x_i^2}{\Delta}}$$

$$\sigma_b = \sigma_y\sqrt{\frac{N}{\Delta}}$$

El coeficiente de correlación (r) nos indica hasta qué punto están correlacionados o aproximados las variables x y y mediante la función lineal. Si $r \approx 0$ la correlación es inexistente, mientras que si $r \approx \pm 1$ hay correlación completa, los datos se ajustan mejor a la recta.

$$r^2 = \frac{(N\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i)^2}{\left(N\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2\right)\left(N\sum y_i^2 - (\sum y_i)^2\right)}$$

Para fines prácticos usaremos el coeficiente de correlación R^2para estimar la incertidumbre, además se cumple que $r^2 = R^2$.

La incertidumbre de la pendiente queda reducido a:

$$\Delta m = m(1 - R^2)$$

Capítulo IV. Método y materiales

El método utilizado en este trabajo es de carácter experimental evaluativa mostrando las ventajas del uso de la tecnología actual para el proceso de enseñanza y aprendizaje de los estudiantes de ingeniería en los primeros ciclos universitarios.

4.1 PASCO Scientific

La compañía Pasco Scientific se especializa en el diseño y producción de equipos de laboratorio de alta calidad destinados a disciplinas como la física y las ingenierías. Además, ofrece soluciones curriculares que incluyen tanto libros impresos como digitales. Actualmente, la compañía está a la vanguardia tecnológica al incorporar sensores inalámbricos que hacen uso de tecnologías como Bluetooth y Wireless. Estos sensores se integran perfectamente con una variedad de dispositivos, incluyendo computadoras con sistemas operativos Windows o Mac, teléfonos inteligentes, tabletas y otros dispositivos compatibles. Esta innovadora integración tecnológica permite a los usuarios una mayor flexibilidad y comodidad en el monitoreo y análisis de datos en tiempo real en sus experimentos y proyectos educativos.

Desde su fundación en 1964, la empresa ha mantenido una constante adaptación a los avances tecnológicos de la era digital. Entre sus líneas de equipos destacados se encuentran la línea negra, integrada con la interfaz 750; la línea azul, integrada con la interfaz 850; y la línea blanca, que hace uso de tecnología Bluetooth o Wireless. Además de esto, la empresa también ofrece soluciones para cubrir necesidades de portabilidad, como la serie GLXplore. En cuanto al software de control de equipos, ha evolucionado a lo largo del tiempo, pasando de Data Studio a software como PASCO Capstone™ y SPARKvue, entre otros. Este continuo desarrollo y adaptación a las nuevas tecnologías garantiza que los equipos y soluciones ofrecidos por la empresa estén a la vanguardia, proporcionando a sus

usuarios herramientas de alta calidad y rendimiento para sus proyectos y experimentos en el ámbito educativo y científico.

En el campo de la física, los sensores y equipos ofrecidos por la empresa pueden cubrir las ramas de mecánica, fluidos y densidad, rotación, termodinámica, electromagnetismo, ondas y ópticas entre otros campos.

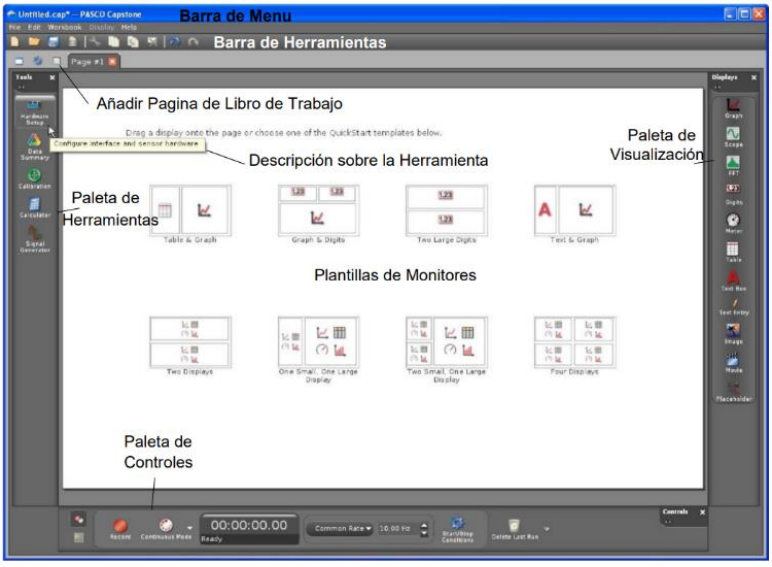
En el presente trabajo, se utilizó la línea, con la interfaz 850, junto con el software PASCO Capstone™. El procedimiento básico de funcionamiento consiste en la conexión de los sensores a la interfaz a través de cables, y posteriormente la interfaz se conecta a una computadora.

4.2 Software Pasco Capstone

Es el software de recopilación y análisis de datos más avanzado en la enseñanza de ciencias, cuya interfaz de trabajo está compuesto por el libro de trabajo o page, la barra de menús y herramientas, paleta de herramientas, paleta de controles y paleta de visualización se muestran en la figura 2.

Figura 2

Partes del programa Pasco Capstone



Nota. Adaptado de https://www.pasco.com

4.3 Interfaz universal 850 PASCO (UI-5000)

La Interfaz Universal 850 PASCO® es un equipo que sirve de intermediario, facilitando la conectividad entre los sensores y la PC para la de adquisición de datos a través del puerto USB de la PC. La interfaz requiere el software PASCO Capstone para su funcionamiento. A continuación, en la figura 3 se detallan las partes que componen la interfaz: Botón de encendido con indicador led, puertos de entrada digital, puertos de entrada analógico, puertos de entrada para sensores PASSPORT, puerto de salida (conector tipo banana) y puerto de salida tipo BNC. 19. (PASCO 850 Interfaz Universal. s.f.).

Figura 3

Partes de 850 Interfaz universal

Nota. Adaptado de https://www.pasco.com

4.4 Tipos de sensores

Sensores Inalámbricos (línea blanca), son sensores de última generación utilizan tecnología Bluetooth para conectarse a cualquier dispositivo compatible como una PC laptop, tableta, celulares, Ipads, Iphones, Mac sin necesidad de cables o interfaz (*Tipos de sensores*, s.f.).

Sensores PASPORT (línea azul), tienen convertidor analógico a digital incorporado, son reconocidos por la PC automáticamente al ser conectado mediante cable, tecnología Plug and play. Tienen una frecuencia de muestreo de hasta 1000 Hz (*Tipos de sensores*, s.f.).

Sensores de ScienceWorkshop (línea negra), son sensores con salida analógico donde algunos pueden alcanzar hasta una frecuencia de los 10 MHz. Esta evolución de modelos de sensores se muestra en la figura 4.

Figura 4

Evolución de modelos de sensores

Nota. Adaptado de https://www.pasco.com

4.5 Principales sensores

La descripción y especificaciones de los siguientes sensores se adaptaron de (*Tipos de sensores*, s.f.) y se muestran cada uno en la figura 5.

- **Sensor de movimiento PASPORT (PS-2103A).** Mide con precisión la posición, velocidad y aceleración de un objetivo usando tecnología de ultrasonido como un haz amplio o estrecho. El cabezal del sensor es giratorio y puede alcanzar hasta 360°, el rango de distancia que puede registrar es desde una distancia mínima de 0,15 metros hasta 8 metros.
- **Sensor de fuerza de alta resolución Pasport (PS-2189).** Sensor para mediciones de tracción y empuje en alta resolución 0,002 N.

- **Fotogate (ME-9498A).** Monitorea el movimiento de los objetos que pasan a través de su puerta, contando los eventos a medida que el objeto rompe el rayo infrarrojo.
- **Sensor de temperatura Pasport (PS-2125).** Equipo con sonda empleado para medir la temperatura del medio.
- **Sensor de presión absoluta PASPORT (PS-2107).** Este sensor detecta la presión de un gas por encima y debajo de la presión ambiental.
- **Sensor de voltaje (UI-5100).** Registra el voltaje mediante el puerto analógico.
- **Sensor de corriente (CI-6556).** Mide la corriente indirectamente midiendo el voltaje que atraviesa una resistencia interna de 1,00 Ω.
- **Sensor de campo magnético (CI-6520A).** Este sensor detecta el campo magnético en el eje axial o radial, en tres rangos de escala completa de 10, 100 y 1000 gauss.
- **Sistema de polea y fotopuerta (ME-6838A).** Este sistema se usa para medir el movimiento de una polea de baja fricción. En la tabla 2 se detallan las especificaciones de la polea y fotopuerta.

Tabla 2

Sistema de polea y fotopuerta (ME-6838A)

Especificación	Descripción
Diámetro de la polea	5,1 cm (2")
Masa de la polea (aprox.)	5 g
Circunferencia exterior de la polea	16 cm (6,3")
Circunferencia de la ranura de la polea	15 cm (5,9")
Coeficiente de fricción de la polea	$<7\times10^{-3}$
Momento de inercia de la polea (aprox.)	1.8×10^{-6} kg*m^2
Tiempo de caída de la señal Photogate	< 50 ns
Resolución espacial de Photogate	< 1 mm
Resolución de tiempo	0,1 milisegundos

Nota. Adaptado de Pasco. https://www.pasco.com

Figura 5

Principales sensores de PASCO

Nota. Adaptado de https://www.pasco.com

En la tabla 3 se muestra un resumen de las especificaciones técnicas de los principales sensores descritos y mostrados en la figura 5.

Tabla 3

Rango y resolución de los principales sensores

Sensor	Rango	Resolución	Otro
Sensor de movimiento	0,15 m - 8m	1 mm	Hasta 250 Hz
Sensor de fuerza de alta resolución	±50 N	±0,002 N	Hasta 75 N
Fotogate		0,1 ms	< 1mm
Sensor de temperatura	-35°C a +135°C	0,0025°C	Exactitud ±0,5°C
Sensor de presión absoluta	0 a 700 kPa	0,1 kPa	Exactitud ±2 kPa
Sensor de voltaje	±20 V		
Sensor de corriente		5 mA	max 1,5 A, 1,5 V
Sensor de campo magnético	±10 G (100X)	50 mG	precisión de 1 G
	±100 G (10X)	50 mG	precisión de 10 G
	±1000 G (1X)	500 mG	precisión de 100 G

Nota. Adaptado de https://www.pasco.com

Capítulo V. Resultados y análisis

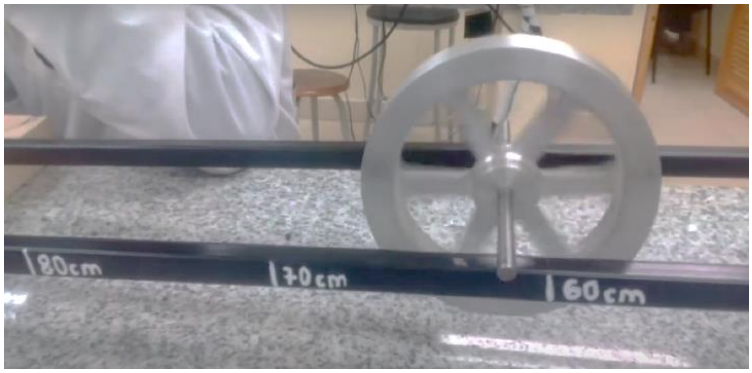
A continuación, se presenta el diseño de experimentos de física general usando tecnología actual, así como los resultados y análisis correspondientes a cada uno. Estos experimentos fueron seleccionados debido a la necesidad de utilizar sensores para las mediciones más precisos y utilización de software para procesamiento de datos. Además, en cada experimento se describe el procedimiento para llevarlo a cabo utilizando el método tradicional, destacando las ventajas comparativas del método que hace uso de la tecnología actual frente al método tradicional.

5.1 LABORATORIO N°1: CINEMÁTICA (MRU y MRUV)

Tradicionalmente, según el manual de prácticas de laboratorio de física (UNI-FC, 2009) este experimento se lleva a cabo utilizando una rueda de Maxwell, una regla, un cronometro y un soporte de varillas paralelas, como se muestra en la figura 6. El procedimiento consiste principalmente en nivelar las varillas paralelas con una inclinación específica para que la rueda desarrolle un movimiento acelerado mientras desciende. En las varillas se marcan cada cierta distancia usando la regla. Luego se suelta la rueda desde el reposo y simultáneamente que se inicia la medición del tiempo con el cronómetro. A medida que la rueda desciende y pasa por cada marca en las varillas, se registra el tiempo respectivo para cada posición en una tabla. Este proceso se repite varias veces para reducir el error en la medición. Utilizando los datos registrados, se determina la velocidad media, la velocidad instantánea de la rueda. Finalmente se calcula la aceleración de la rueda.

Figura 6

Cinemática usando la rueda de Maxwell



Fuente: Adaptado de https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=SuuOWhQuNAA

A continuación, se propone realizar este experimento usando la tecnología actual.

a. Objetivos

- Determinar la velocidad de un móvil con MRU.
- Determinar la magnitud de la aceleración de la gravedad terrestre mediante el análisis de un MRUV en un plano inclinado.
- Interpretar gráficas posición versus tiempo y velocidad versus tiempo.

b. Fundamento teórico

El movimiento de un móvil depende de las condiciones al cual está sometido. El caso simple es el movimiento de una partícula en una trayectoria rectilínea y con velocidad constante, este es conocido como movimiento rectilíneo uniforme (MRU). Las características principales de este tipo de movimiento son:

- La trayectoria es rectilínea.
- La velocidad es constante.
- Aceleración nula.

La ecuación del movimiento para este caso es 1 (Serway y Jewett, 2008):

$$\vec{x}_{(t)} = \vec{x}_0 + \vec{v} \cdot t \qquad (1)$$

Donde:

$\vec{x}$ posición del móvil (m)

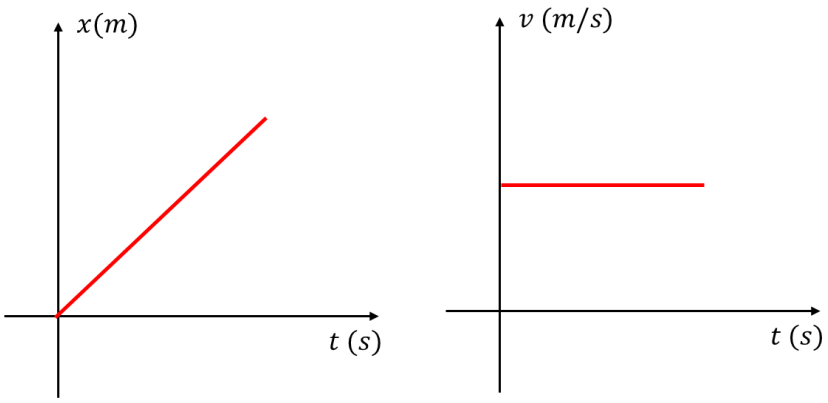
$\vec{v}$ representa la velocidad (m/s)

t, tiempo (s)

Las gráficas posición versus tiempo y velocidad versus tiempo del MRU se representa en la figura 7.

Figura 7

Gráfica x vs t y v vs t del MRU



Un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (MRUV) implica una aceleración constante, es decir la magnitud de la velocidad aumenta o disminuye uniformemente. En este caso las principales ecuaciones son:

$$\vec{x}_{(t)} = \vec{x}_0 + \vec{v}_0 \cdot t + \frac{1}{2}\,\vec{a}\,\cdot t^2 \qquad (2)$$

$$\vec{v}_{(t)} = \vec{v}_0 + \vec{a} \cdot t \qquad (3)$$

Donde:

$\vec{x}_{(t)}$ posición del móvil en metros en el instante t

$\vec{x}_0$ posición inicial del móvil

$\vec{v}_{(t)}$ velocidad del móvil en (m/s) en el instante t

$\vec{v}_0$ velocidad inicial del móvil

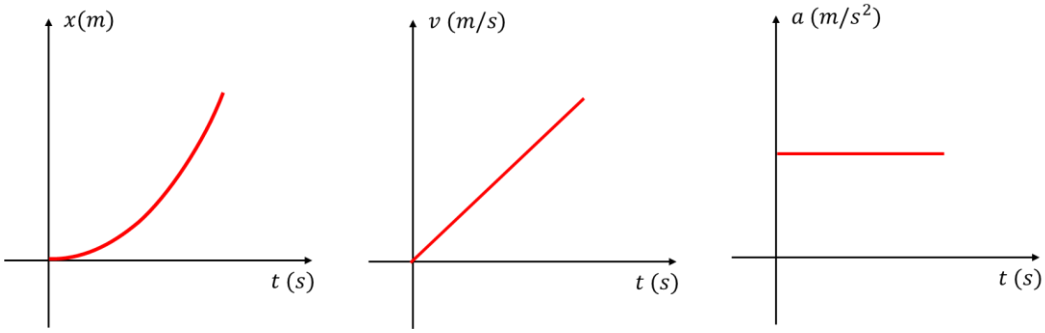
$\vec{a}$ aceleración del móvil en m/s^2

t, tiempo (s)

Las gráficas de MRUV se representa en la figura 8.

Figura 8

Graficas x vs t, v vs t y a vs t para el MRUV



c. Materiales

- Interfaz universal 850 (UI-5000)
- Computador con programa PASCO Capstone™ instalado
- Sensor de movimiento (PS-2103) (sensibilidad 1 mm)
- Carril de aluminio de 1.2 m (ME-9493)
- Carro con embolo (ME-9430)
- Indicador de ángulo (ME-9495A)
- Abrazadera de Varilla para Estructuras (ME-6986)
- Nivel

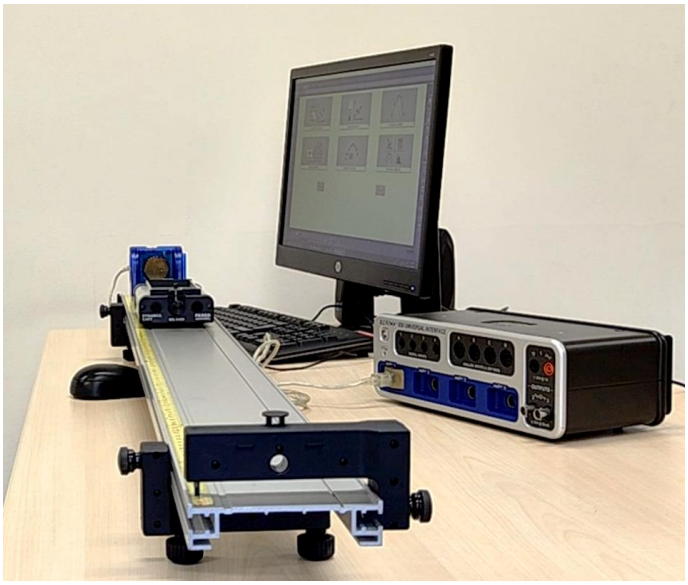
d. Procedimiento

CASO I: Estudio de un móvil con MRU

1. Arme los equipos (carril, sensor de movimiento e interfaz) tal como se muestra en la figura 9.

Figura 9

Equipos para el experimento de MRU



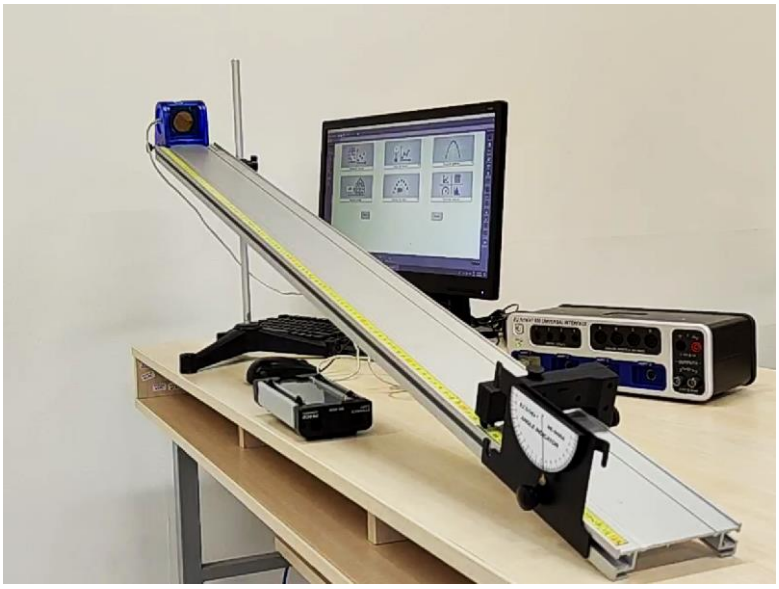
2. Nivelar horizontalmente el carril de aluminio girando la perilla de los soportes.
3. En el programa capstone escoge datos de sensor, luego elegir la gráfica posición versus tiempo y debajo velocidad versus tiempo.
4. La frecuencia de muestreo configurar en 50 Hz.
5. Aprieta Registrar en el software mientras la da un empujón al carrito alejando del sensor de movimiento. Luego este llegará al freno magnético regresando hacia el sensor de movimiento. Cuando el arrito se acerca al sensor apretar Detener la toma de datos.
6. Autoajustar la gráfica y realizar el ajuste lineal en la gráfica posición versus tiempo, la pendiente es la magnitud de la velocidad del móvil.
7. Repetir los pasos 5 y 6.
8. Determine la velocidad del móvil y analice si corresponde a un MRU.

CASO II: Estudio de un móvil con MRUV

1. Arme los equipos (carril, sensor de movimiento, indicador de ángulo, soporte e interfaz) tal como se muestra en la figura 10.

Figura 10

Equipos para el experimento de MRUV



2. Medir el ángulo de inclinación del carril de aluminio. Se recomienda colocar el carril entre 25,0º a 40,0º.
3. En el software capstone elija datos de sensor, luego elegir la gráfica posición versus tiempo y debajo velocidad versus tiempo.
4. La frecuencia de muestreo configurar en 50 Hz.
5. Aprieta **Registrar** en el software luego de un instante suelta al carrito desde el reposo, es importante que el carrito este a más de 15,0 cm del sensor. Además, debe colocar su otra mano en la parte inferior del carril cercano al freno magnético para detener el carrito.
6. Cuando haya detenido el carrito, apriete **Detener** la toma de datos en el software capstone.
7. Autoajustar la gráfica y realizar el ajuste lineal en la gráfica velocidad versus tiempo, la pendiente es la magnitud de la aceleración del móvil.
8. Repetir los pasos 5 al 7 dos veces más.
9. Determine la aceleración del móvil y analice si corresponde a un MRUV.

e. Análisis y resultados

El método gráfico permite determinar las variables desconocidas el caso más común es cuando estas variables están relacionadas de manera lineal. La ecuación de la recta que relacionan las variables se determina mediante el ajuste por mínimos cuadrados. Este nos da la pendiente "m" y el término R^2 que se denomina coeficiente de determinación y su significado es cuanto más cercano a 1, la dependencia es perfecta.

CASO I: Estudio de un móvil con MRU

En un MRU las gráficas obtenidas son lineales por secciones, con la siguiente ecuación de ajuste:

$$y = m \cdot x + b \qquad (4)$$

Comparando con la ecuación (1) de posición, se tiene:

$$\vec{x}_{(t)} = \vec{x}_0 + \vec{v} \cdot t$$

Se tiene que

$$\vec{v} = m = pendiente \qquad (5)$$

El error de la pendiente está relacionado a la estadística

$$\Delta pendiente = pendiente(1 - R^2) \qquad (6)$$

Los datos registrados por el sensor de movimiento se muestran en el programa Capstone en los gráficos posición versus tiempo y velocidad versus tiempo. Estos datos corresponden cuando el carrito se mueve hacia la derecha y luego rebota moviéndose hacia la izquierda en el carril de aluminio alineado horizontalmente. Las figuras 11 y 12 muestran los datos registrados, además mediante la herramienta de ajuste del gráfico se obtuvo la ecuación de la recta con su correspondiente coeficiente de correlación "r".

Figura 11

Posición y velocidad de un móvil con MRU que se mueve hacia +x

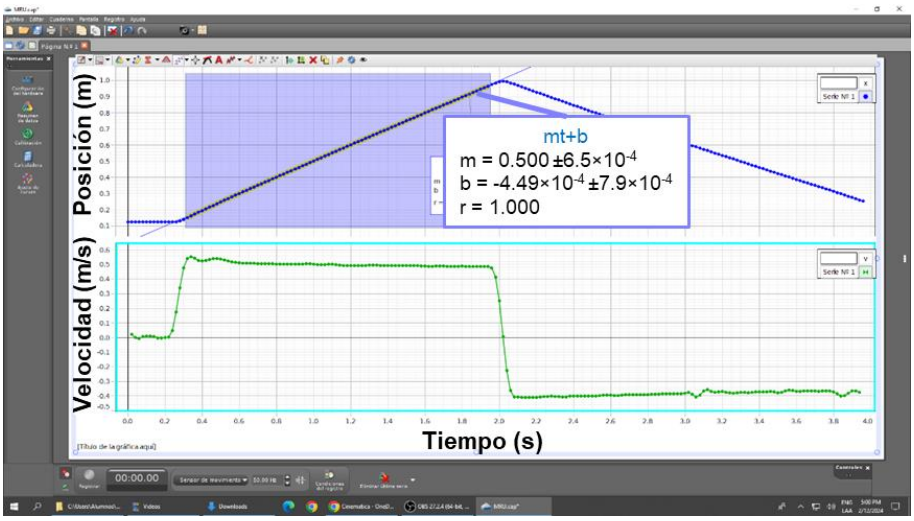
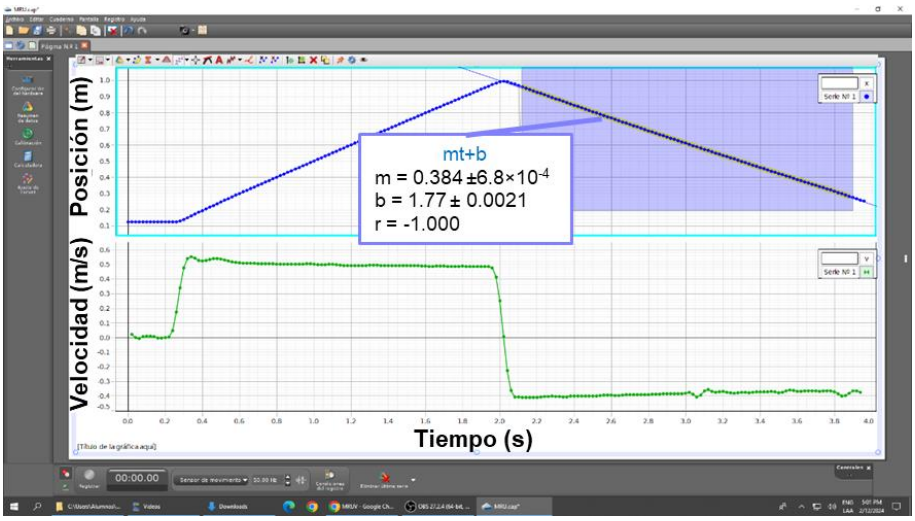


Figura 12

Posición y velocidad de un móvil con MRU que se mueve hacia -x



Los resultados obtenidos en la gráfica posición versus tiempo se resumen en la tabla 4. En la gráfica posición versus tiempo, la velocidad del móvil es su pendiente. La pendiente es positiva es cuando el móvil se mueve hacia la derecha, mientras que la pendiente negativa representa el movimiento del móvil hacia la izquierda. El primer caso el móvil se mueve con velocidad de $(0{,}500 \pm 0{,}000)\,\hat{\imath}\frac{m}{s}$, luego del rebote su velocidad es$-0{,}384\,\hat{\imath}\frac{m}{s}$. En el segundo caso el móvil se mueve con velocidad de $0{,}533\,\hat{\imath}\frac{m}{s}$ y luego

del rebote es $(-0{,}402 \pm 0{,}000)\,\hat{\imath}\frac{m}{s}$. La incertidumbre es nula según la ecuación 6 porque los datos tienen correlación perfecta (r=1,00).

Tabla 4

Pendiente de la gráfica x vs t

	***v* = Pendiente (m/s)**	**r**	**Δv =ΔPendiente (m/s)**
Móvil 1, hacia +*x*	0,500	1,00	0,000
Móvil 1, hacia -*x*	-0,384	1,00	0,000
Móvil 2, hacia +*x*	0,533	1,00	0,000
Móvil 2, hacia -*x*	-0,402	1,00	0,000

Los resultados obtenidos muestran una correlación perfecta entre la posición y el tiempo (r=1,00), es decir los datos se ajustan perfectamente a una recta, por ello el movimiento del móvil es con velocidad constante (MRU).

Las gráficas velocidad versus tiempo indica una tendencia lineal horizontal en las secciones seleccionadas donde el movimiento es MRU.

CASO II: Estudio de un móvil con MRUV

De manera similar al caso I, los datos se registran con el programa Capstone y se analiza la pendiente en la gráfica velocidad versus tiempo que corresponde al movimiento carrito que desciende sobre una rampa de aluminio inclinado un ángulo α. Los datos se ajustan a una ecuación lineal:

$$y = m \cdot x + b$$

Comparado con la ecuación (3) de movimiento del MRUV

$$\vec{v}_{(t)} = \vec{v}_0 + \vec{a} \cdot t$$

Comparando, se tiene: $a = m = pendiente$ y su incertidumbre $\Delta a = a(1 - r^2)$.

La figura 13 muestra el comportamiento de la posición versus el tiempo y la velocidad versus el tiempo mientras el carrito desciende por la rampa inclinada. La gráfica posición versus tiempo indica una dependencia cuadrática en la zona

seleccionada mientras que en la gráfica velocidad versus tiempo muestra una dependencia lineal.

La relación entre la aceleración y la gravedad terrestre es mediante el ángulo de inclinación de la rampa, para un caso de un movimiento sin fricción:

$$g \cdot \sin\theta = a \qquad (7)$$

$$g = \frac{a}{\text{sen}\,\theta} \qquad (8)$$

Esta última relación es la aceleración de la gravedad terrestre experimental y su incertidumbre es la siguiente expresión:

$$\Delta g = \left|\frac{\partial g}{\partial a}\right| \Delta a + \left|\frac{\partial g}{\partial \theta}\right| \Delta\theta$$

$$\Delta g = \frac{1}{\sin\theta}\Delta a + \left|\frac{a(-1)\cos\theta}{\text{sen}^2\,\theta}\right| \Delta\theta \qquad (9)$$

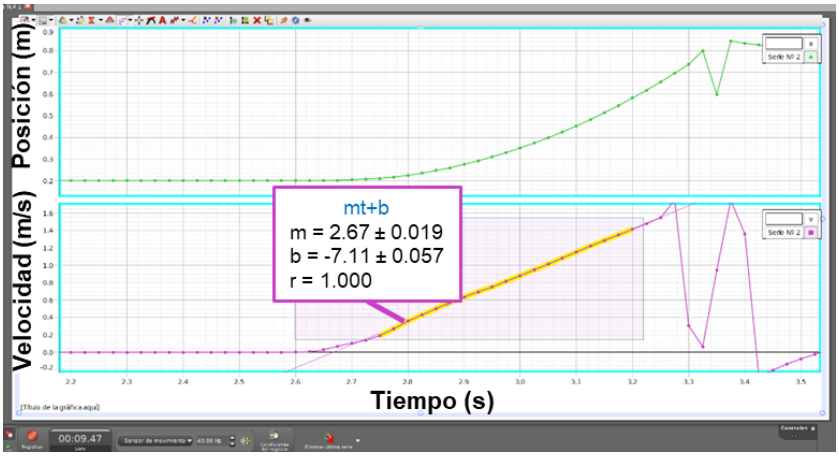
El porcentaje error considerando $a_{\text{referencial}} = g \cdot \sin\theta$ es:

$$\%Error = \left|\frac{a_{\text{referencial}} - a_{exp}}{a_{\text{referencial}}}\right| \times 100\% \qquad (10)$$

La figura 13 representa las gráficas posición versus tiempo, parte superior y velocidad versus tiempo en la parte inferior.

Figura 13

Posición y velocidad de un móvil con MRUV



A partir de la figura 13, por comparación $a = pendiente = 2{,}67\ m/s^2$ y su incertidumbre $\Delta a = a(1 - r^2) = 2{,}67(1 - 1^2) = 0{,}00\ m/s^2$. Luego la aceleración es:

$$a \pm \Delta a = (2{,}67 \pm 0{,}00)\ m/s^2$$

La aceleración de la gravedad terrestre de la ecuación (8) es:

$$g = \frac{a}{\operatorname{sen}\theta} = \frac{2{,}67}{\operatorname{sen}(16{,}5°)} = 9{,}40\ m/s^2$$

Su incertidumbre se determina usando la ecuación (9).

$$\Delta g = \frac{1}{\sin(16{,}5°)}0{,}00 + \left|\frac{2{,}67(-1)\cos(16{,}5°)}{\operatorname{sen}^2(16{,}5°)}\right|\left(0{,}5°\,\frac{\pi}{180°}\right) = 0{,}27\ m/s^2$$

La aceleración de la gravedad terrestre experimental determinado el movimiento de un carrito por una rampa inclinada lisa es.

$$g \pm \Delta g = (9{,}40 \pm 0{,}27)\ m/s^2$$

El error porcentual en esta medición es.

$$\%Error = \left|\frac{a_{\text{referencial}} - a_{exp}}{a_{\text{referencial}}}\right| \times 100\% = \left|\frac{9{,}81 - 9{,}40}{9{,}81}\right| \times 100\% = 4{,}2\ \%$$

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 5 y muestra una correlación perfecta (r=1,000) entre la velocidad y el tiempo, es decir el movimiento que realizó el móvil es con aceleración constante (MRUV).

Tabla 5

Registro de datos de aceleración del carrito

	CASO
Gravedad teórica (m/s^2)	9,81
Angulo (°)	16,5
Aceleración referencial gsenθ (m/s^2)	2,786
Aceleración experimental (m/s^2)	2,67
g=Gravedad experimental (m/s^2)	9,40
∆g incertidumbre de g (m/s^2)	0,27
Coeficiente de correlación, r	1,000
%Error	4,2%

La aceleración del móvil es $(2{,}67 \pm 0{,}00)\ m/s^2$, la inclinación de la rampa fue $(16{,}5° \pm 0{,}5°)$. La aceleración de la gravedad terrestre experimental es $(9{,}40 \pm 0{,}27)\ m/s^2$ y se determinó con error del 4,2% respecto al valor referencial.

Contraste entre la forma tradicional y el uso de la tecnología actual

Las principales ventajas entre la forma tradicional y la propuesta de usar tecnología actual son:

- La forma tradicional presenta error notorio en cuanto a las mediciones. Al usar un cronometro, aunque el instrumento es altamente preciso, el accionar del estudiante introduce error debido al tiempo de respuesta desde que observa el móvil hasta accionar el cronometro. Al usar la tecnología actual este proceso de medir el tiempo se encarga el microprocesador del PC, y los datos que registra lo realiza a una alta tasa de muestreo, lo cual reduce significativamente el error.
- Las marcas en el carril presentan baja precisión en comparación con las posiciones que registra el sensor de movimiento.
- Los datos en la forma tradicional se analizan personalmente, mientras en la forma tradicional se automatizan los procesos de obtención de variables.
- El método con tecnología actual permite registrar las medidas a una alta tasa de muestreo y el software muestra estos datos en tablas y gráficos fáciles de procesar y analizar.

5.2 LABORATORIO N°2: CAIDA LIBRE

Ejecutar este experimento mediante el método tradicional presenta dificultad en cuanto a la medición del tiempo. Usualmente se utiliza un cronometro, una cinta métrica y un móvil para determinar el valor de la gravedad. El mercado ofrece equipos como el que se muestra en la figura 14, para medir la gravedad mediante el método de caída libre, este equipo usa un electroimán para accionar el tiempo al momento de soltar y llegar al piso, permitiendo medir el tiempo, lo cual reduce el error asociado a la persona.

Figura 14

Equipo para medir la gravedad por caída libre

Nota: Equipo para medir la gravedad por caída libre, tomado de https://proserquisa.com/principal/inicio/articulo/628

A continuación, se propone realizar este experimento usando la tecnología actual.

a. Objetivos

- Determinar la magnitud de la aceleración de la gravedad
- Interpretar gráficas posición versus tiempo y velocidad versus tiempo.

b. Fundamento teórico

El movimiento de un cuerpo bajo la influencia de la atracción terrestre omitiéndose el efecto de aire, es básicamente con aceleración constante para alturas

pequeñas comparado al radio terrestre. Galileo afirmó que los cuerpos caen con la misma aceleración constante independiente de su peso.

La aceleración de un cuerpo en caída libre es constante y se denota con la letra g, el valor referencia a considerar será:

$$\vec{g}_{\text{referencial}} = -9{,}81\,\hat{\jmath}\,\frac{m}{s^2} \qquad (1)$$

Es decir, caída libre es un caso particular de MRUV en la vertical, luego las ecuaciones asociadas de manera vectorial son (Young y Freedman, 2009):

Ecuación de la posición

$$\vec{y} = \vec{y}_0 + \vec{v}_{0y}t + \frac{1}{2}\vec{g}t^2 \qquad (2)$$

Ecuación de la velocidad

$$\vec{v}_y = \vec{v}_{0y} + \vec{g}t \qquad (3)$$

Las gráficas del movimiento en caída libre son similares a las gráficas del MRUV.

c. Materiales

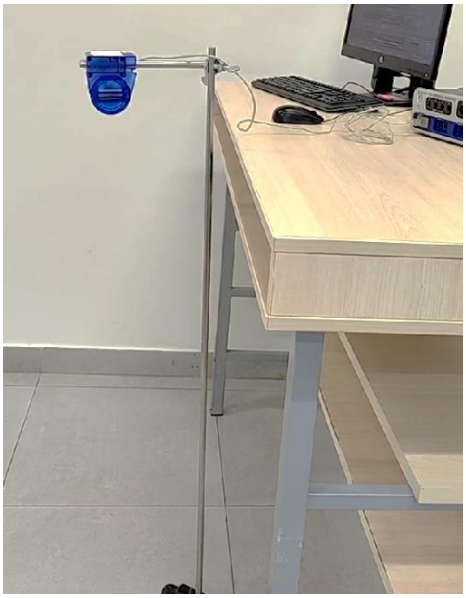
- Interfaz universal 850 (UI-5000)
- Computador con programa PASCO Capstone™ instalado
- Sensor de movimiento (PS-2103) (sensibilidad 1 mm)
- Soporte universal con nuez y varilla
- Una pelota (móvil)
- Abrazadera de Varilla para Estructuras (ME-6986)

d. Procedimiento

1. Arme los equipos (sensor de movimiento, soporte universal e interfaz) tal como se muestra en la figura 15.

Figura 15

Equipos para el experimento de caída libre



2. En el capstone escoge datos de sensor, luego elegir la gráfica posición versus tiempo y debajo velocidad versus tiempo.
3. La frecuencia de muestreo configurar en 50 Hz.
4. Aprieta el botón **Registrar** en el software. Luego de un instante, soltar la pelotita desde el reposo. La pelotita descenderá y rebotará
5. Cuando la pelotita da el segundo rebote, apriete **Detener** en el capstone.
6. Autoajustar la gráfica y realizar el ajuste lineal en la gráfica velocidad versus tiempo, la pendiente es la magnitud de la aceleración de la gravedad.
7. Repetir los pasos 4 al 6 tres veces mas.
8. Determine la aceleración de la gravedad y analice si corresponde a un movimiento de caída libre.

e. Análisis y resultados

Se analiza la pendiente en la gráfica velocidad versus tiempo de un móvil en caída libre, cuando la pelotita rebota, donde la ecuación de ajuste lineal es

$$y = m \cdot x + b \qquad (4)$$

Comparado con la ecuación (3).

$$\vec{v}_{(t)} = \vec{v}_0 + \vec{g} \cdot t$$

Comparando, se tiene:

$$\vec{g} = m = pendiente \qquad (5)$$

Su incertidumbre es:

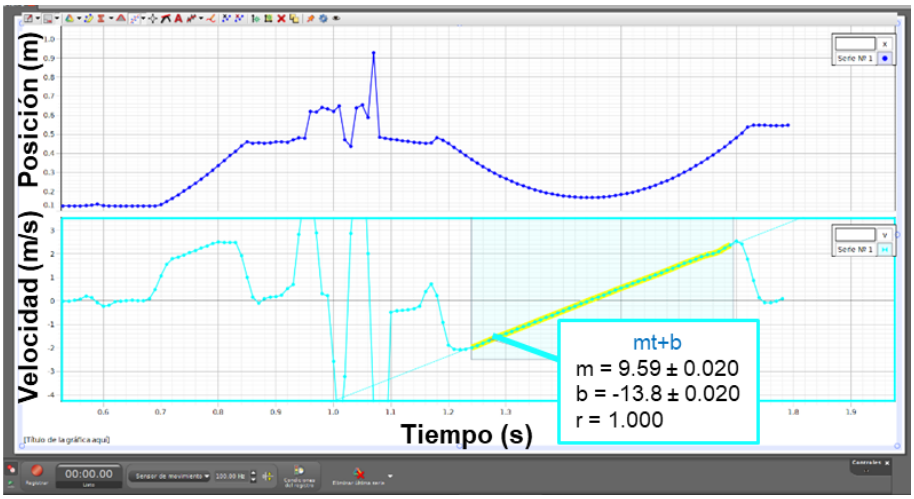
$$\Delta g = \Delta pendiente = g(1 - R^2) \qquad (6)$$

La figura 16 muestra las gráficas posición versus el tiempo y la velocidad versus el tiempo. La gráfica posición versus tiempo indica una dependencia cuadrática en la zona seleccionada, esta gráfica es simétrica debido a que el móvil luego de rebote se aleja del piso y luego cae, mientras que la gráfica velocidad versus tiempo una dependencia lineal y también se observa velocidad positiva y negativa.

En este caso el sensor de movimiento se encuentra en la parte superior por lo que detecta posiciones medidas desde el sensor y no desde el piso razón el por cual la parábola tiene concavidad hacia arriba, así como la pendiente es positiva en la gráfica velocidad versus tiempo. En este caso el sistema de coordenados está girado. El eje +y esta hacia abajo.

Figura 16

Caída libre de una pelotita, caso I



La tabla 6 muestra el resumen de las mediciones obtenidas de manera indirecta usando el método de ajuste lineal por mínimos cuadrados. La incertidumbre de la gravedad en los tres casos es 0,00 debido a que los datos analizados tienen correlación perfecta (r=1,000).

Tabla 6

Registro de datos de una pelotita en caída libre

	CASO I	**Caso II**	**CASO III**
Gravedad teórica (m/s^2)	9,81	9,81	9,81
Aceleración experimental (m/s^2)	9,59±0,00	9,67±0,00	9,69±0,00
Coeficiente de correlación, r	1,000	1,000	1,000
Error	2,2%	1,4%	1,2%

Las mediciones indican una correlación perfecta (r=1,000) entre la velocidad y el tiempo y el valor de la gravedad experimental determinado es $(9{,}59 \pm 0{,}00)\frac{m}{s^2}$, $(9{,}67 \pm 0{,}00)\frac{m}{s^2}$ y $(9{,}69 \pm 0{,}00)\frac{m}{s^2}$ que son cercano al referencial con un error inferior a 2,2%

Contraste entre la forma tradicional y el uso de la tecnología actual

Las principales ventajas entre la metodología tradicional y la propuesta de usar tecnología actual son:

- Al usar la tecnología actual se reduce el error asociado a la medida del tiempo debido a que los sensores registran con mayor precisión y exactitud las mediciones en comparación con lo que una persona puede obtener usando un cronómetro.
- El sensor de posición puede registrar en cada instante la posición del móvil mientras realiza la caída, permitiendo analizar su trayectoria en cada instante.
- EL software muestra los datos de la medida amigablemente, procesa y presenta los resultados en gráficos

5.3 LABORATORIO N°3: MOVIMIENTO ARMONICO SIMPLE

Este experimento se realiza de manera tradicional utilizando un resorte colocado en un soporte universal que a su vez tienen una regla milimétrica y un juego de masas como se muestra en la figura 17. Se mide la longitud natural del resorte luego se coloca en el extremo del resorte una masa, cuando ha alcanzado la posición de equilibrio, se mide la longitud. Usualmente se colocan unas pinzas o ganchitos. Se registra los datos en una tabla de las diferentes posiciones y masas para posteriormente determinar la constante de elasticidad del resorte. Para realizar el experimento de movimiento armónico simple se deja caer la masa unido al resorte y se observa la posición más baja y se coloca un ganchito. Usando un cronómetro se determina el periodo de oscilación, repitiendo las medidas se disminuye el error asociado (UNI-FC, 2009).

Figura 17

Diagrama para realizar el experimento de MAS

Fuente: Imagen tomado de google https://celqusb.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/09/i-06-ley-de-hooke-y-oscilador-masa-resorte.pdf

A continuación, presento el procedimiento para realizar este experimento usando tecnología actual.

a. Objetivos

- Determinar la constante de elasticidad del resorte.

- Determinar la ecuación de la posición, velocidad y aceleración de un sistema masa – resorte.
- Determinar experimentalmente el periodo de oscilación.
- Comprobar las ecuaciones dinámicas de un sistema masa – resorte.

b. Fundamento teórico

Ley de Hooke: Una fuerza restauradora siempre empuja o jala del objeto hacia la posición de equilibrio ($x = 0$). Esta fuerza en los resortes se puede determinar mediante la siguiente expresión:

$$F_e = -kx \qquad (1)$$

Donde x, es el desplazamiento del objeto desde su posición de equilibrio ($x = 0$) y k es la constante del resorte o constante de elasticidad.

Sistema masa-resorte: En un sistema masa resorte sobre una superficie liso realizará un movimiento armónico simple (MAS). Donde la fuerza restauradora obedece a la ley de Hooke.

La **amplitud (A)** es la distancia máxima del objeto desde su posición de equilibrio.

El **periodo (T)** es el tiempo en realizar una oscilación completa.

La **frecuencia (f)** es el número de oscilaciones por unidad de tiempo.

Usando la segunda ley de Newton, al caso un sistema masa resorte en una superficie horizontal libre de fricción se tiene (Young y Freedman, 2009):

$$F_e = ma \qquad (2)$$

$$-kx = m\frac{d^2x}{dt^2}$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}\,x = 0 \qquad (3)$$

Esta última expresión es la ecuación diferencial del MAS, cuya solución son las

funciones armónicas senoidales.

$$x_{(t)} = A\cos(\omega t + \phi) \qquad (4)$$

Donde A es la amplitud de oscilación (m)

$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ es la frecuencia angular (rad/s)

ϕ es el ángulo de fase (rad)

La frecuencia angular también está relacionada con el periodo de oscilación, mediante la expresión:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \qquad (5)$$

Luego, el periodo de oscilación se reduce a:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \ldots\ldots (6)$$

También se obtiene la masa a partir de la ecuación 6.

$$m = \frac{k}{4\pi^2}T^2 \qquad (7)$$

Al realizar una gráfica m vs T^2, donde *m* está en la vertical y T^2 en la horizontal, la pendiente en esta gráfica representa el término $\frac{k}{4\pi^2}$

$$k = 4\pi^2 * pend \qquad (8)$$

Su incertidumbre

$$\Delta k = k(1 - R^2) \qquad (9)$$

Si derivamos la posición respecto al tiempo, tenemos los parámetros cinemáticos velocidad y aceleración del MAS

$$v_{(t)} = -A\omega\,\mathrm{sen}(\omega t + \phi) \qquad (10)$$

$$a_{(t)} = -A\omega^2\cos(\omega t + \phi) \qquad (11)$$

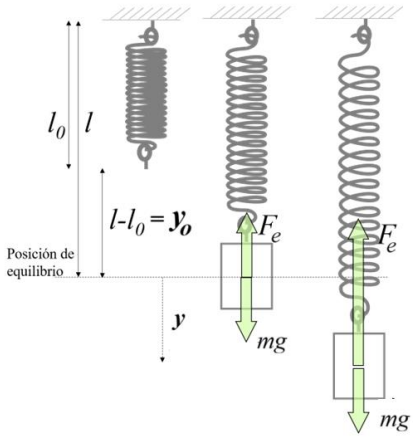
Luego la fuerza elástica

$$F_e = -kx = -kA\cos(\omega t + \phi) \qquad (12)$$

Un sistema masa resorte vertical, figura 18, presenta un cambio de su posición de equilibrio al colocar la masa en su extremo, sin embargo, el sistema puede oscilar con MAS respecto a la nueva posición de equilibrio.

Figura 18

Cambio de la posición de equilibrio de un sistema bloque resorte vertical



En la posición de equilibrio

$$F_e = mg \qquad (13)$$

$$-ky_0 = -mg$$

$$ky_0 = mg \qquad (14)$$

al oscilar el sistema, la fuerza restauradora es:

$$F_R = -k(y_0 + y) + mg = -ky \qquad (15)$$

Es decir, la fuerza restauradora es proporcional al desplazamiento de la nueva posición de equilibrio.

Se puede realizar una gráfica Fr vs x y realizar un ajuste lineal, el valor absoluto de la pendiente representa la constante de elasticidad

$$F_e = kx$$

$$k = pendiente \qquad (16)$$

La incertidumbre de la constante de elasticidad es

$$\Delta k = k(1 - R^2) \qquad (17)$$

c. Materiales

- Interfaz universal 850 (UI-5000)
- Computador con programa PASCO Capstone™ instalado
- Sensor de fuerza (PS-2104) (sensibilidad 0,03 N)
- Sensor de movimiento (PS-2103) (sensibilidad 1 mm)
- Juego de resortes (ME-8999)
- Soporte universal con nuez y varilla
- Balanza de precisión Ohaus (sensibilidad 0,01 g)

d. Procedimiento

1. Arme los equipos tal como se muestra en la figura 19, el sensor de fuerza alineado con el sensor de posición. Ambos equipos conectados a la interfaz 850.

Figura 19

Gráfico de un sistema bloque resorte experimental

2. Para alinear el sistema masa resorte con el sensor de movimiento, colocar el resorte en el gancho del sensor de fuerza y luego colocar el portamasas en el

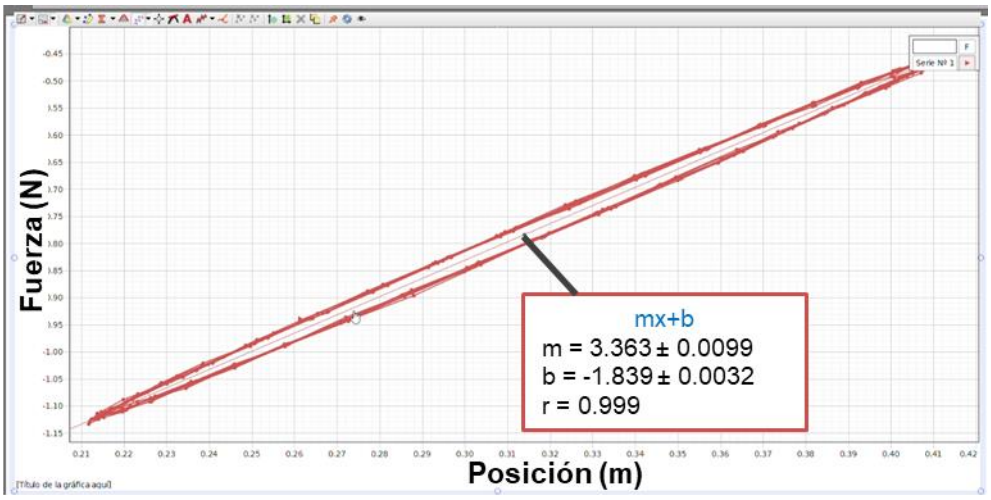
resorte. El portamasas desciende hasta alcanzar la posición de equilibrio. Luego, alinear el sensor de movimiento con el sistema masa resorte por dos ejes perpendiculares.

Primer estudio: Determinación de la constante del resorte

3. Abrir el programa Capstone y escoger la opción “Datos del sensor”
4. En la gráfica, escoger en la vertical la *fuerza (N)* y en la horizontal la *posición (m)* como se muestra en la figura 20.

Figura 20

Gráfica fuerza versus elongación



5. Colocar la frecuencia de muestreo en el Capstone en la opción *frecuencia común* a una tasa de 40 Hz.
6. Calibrar el sensor de fuerza, con el resorte colocado en el gancho del sensor, apretando el botón Zero del sensor.
7. Apretar el botón registrar del Capstone. Se debe registrar una fuerza prácticamente cero. Luego apretar detener.
8. Colocar el portamasa 80g en el extremo libre del resorte, subir la portamasa aproximadamente 5 cm de su posición de equilibrio, luego soltar y dejar oscilar mientras registra los datos. Debe formar una gráfica fuerza versus posición lineal.

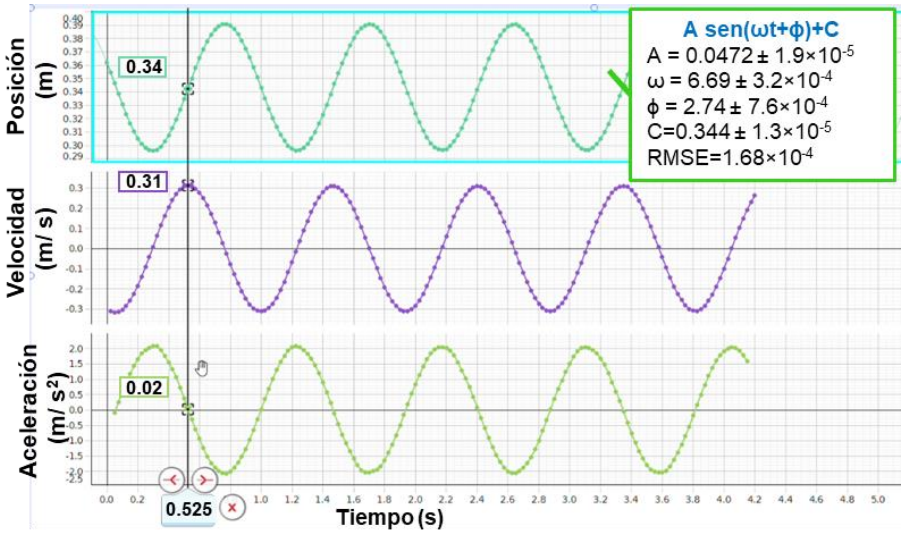
9. En la herramienta del gráfico, seleccionar ajuste de curva y función lineal ($y = mx + b$)
10. La pendiente representa la constante del resorte.
11. Determine la incertidumbre de la constante del resorte con la ecuación
12. Repetir los pasos 8 al 10 para dos masas diferentes adicionales.
13. Sacar el promedio de las pendientes.

Segundo estudio: Cinemática del MAS (posición, velocidad y aceleración)

1. Crear una nueva pestaña en el Capstone luego insertamos dos gráficos adicionales por debajo
2. En los gráficos, seleccionar las opciones posición, velocidad y aceleración y en la horizontal el tiempo. En la figura 21 se muestra este paso.

Figura 21

Gráfica posición, velocidad y aceleración versus tiempo



3. Colocar la frecuencia de muestreo a 40 Hz.
4. Colocar el portamasas en el extremo del resorte
5. Levantar ligeramente el portamasas desde la posición de equilibrio y soltar el sistema. Mientras el sistema oscila, registrar los datos con el software, luego de cuatro oscilaciones detener la toma de datos.

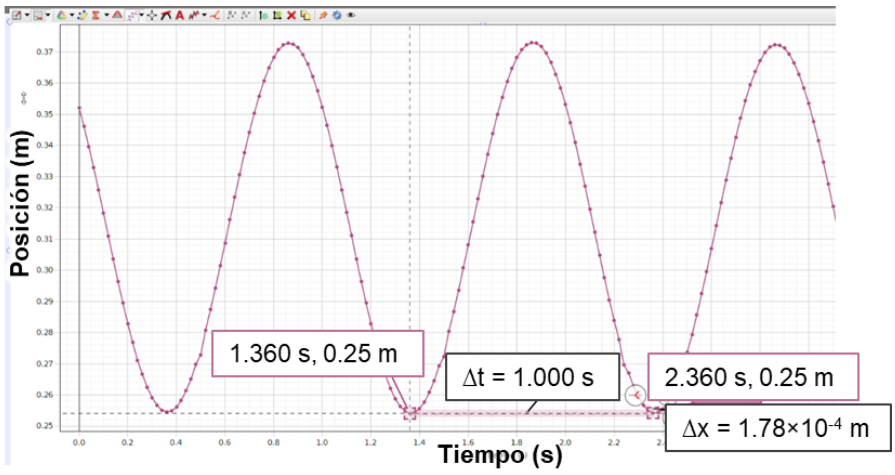
6. En la gráfica posición tiempo, realizar el ajuste a una función sinusoidal
7. Con la herramienta de coordenadas múltiples ubicar en la posición de equilibrio
8. Analizar el desfase, la velocidad y aceleración respectiva.

Tercer estudio: Periodo de oscilación

1. Crear una nueva pestaña en el Capstone luego seleccionar la opción posición versus tiempo.
2. Colocar la frecuencia de muestreo a 50 Hz.
3. Colocar el portamasas en el extremo del resorte
4. Levantar ligeramente el portamasas desde la posición de equilibrio y soltar el sistema. Mientras el sistema oscila, registrar los datos con el software luego de varias oscilaciones detener la toma de datos.
5. En la gráfica posición tiempo, escoger la herramienta del gráfico de coordenadas inteligente añadir la ***herramienta de coordenadas delta*** y ubicamos en un valle o cresta de la gráfica posición versus tiempo, luego ubicar el mouse sobre el recuadro activado y hacer clic derecho, elegir ***mostrar herramienta delta*** y jalamos la segunda diagonal y ubicar en el valle consecutivo. El recuadro Δt nos representa el periodo. La figura 22 muestra este paso.

Figura 22

Medida del periodo de oscilación



6. Medir la masa suspendida en una balanza.
7. Repetir los pasos 3 al 6 para tres masas diferentes.
8. En el Excel de apoyo registrar las masas y sus periodos respectivos y formar la gráfica m vs T^2, identificar la pendiente y el coeficiente de determinación R^2.
9. Determinar la constante de elasticidad y su incertidumbre.

Cuarto estudio: Dinámica del MAS

1. Crear una nueva pestaña en el Capstone luego seleccionar la opción fuerza versus aceleración.
2. Colocar la frecuencia de muestreo a 40 Hz.
3. Colocar el resorte en ganchito del sensor de fuerza, luego calibrar el sensor apretando el botón *zero*.
4. Colocar el portamasas en el extremo del resorte
5. Levantar ligeramente el portamasas desde la posición de equilibrio y soltar el sistema. Mientras el sistema oscila, registrar los datos con el software, luego de varias oscilaciones detener la toma de datos.
6. Realizar un ajuste lineal en la figura e identificar la pendiente y el coeficiente de correlación.
7. Determinar la masa y su incertidumbre.

e. Resultados y análisis

Primer estudio: Determinación de la constante del resorte

Mediante el método del grafico se determina la constante del resorte realizando el gráfico fuerza (N) versus la posición (m), seguidamente se realiza el ajuste lineal a

$$y = m.x + b$$

Comparando con el modelo físico

$$F_e = kx$$

Comparando, la constante del resorte es igual a la pendiente (m)

$$k = m$$

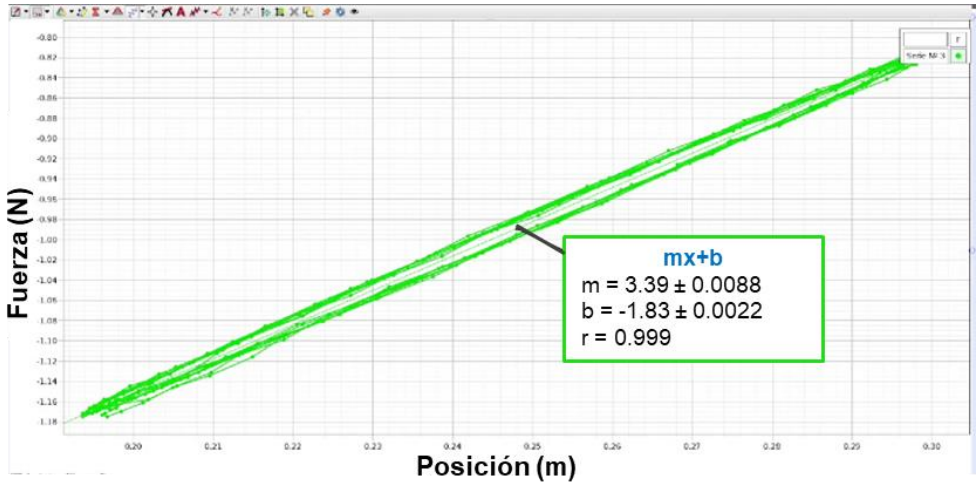
Y su incertidumbre correspondiente

$$\Delta k = \Delta m = m(1 - R^2) = k(1 - R^2)$$

Se obtuvo las gráficas fuerza versus posición mostrado en la figura 23.

Figura 23

Gráfica para determinar la constante del resorte – masa 1



Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 7.

Tabla 7

Determinación de la constante del resorte

masa (kg)	k (N/m)	R^2	Δk (N/m)
0,07992	3,39	0,999	0,00
0,06998	3,37	0,998	0,01
0,06000	3,36	0,997	0,01
Total	**3,38**		

La constante del resorte es:

$$k \pm \Delta k = (3{,}38 \pm 0{,}01)\frac{N}{m}$$

Segundo estudio: Cinemática del MAS (posición, velocidad y aceleración)

Las gráficas posición, velocidad y aceleración versus tiempo, simultáneamente permite observa el desface en la figura 24 y las ecuaciones de (4), 810) y (11).

$$x_{(t)} = A\cos(\omega t + \phi)$$

$$v_{(t)} = -A\omega\,\mathrm{sen}(\omega t + \phi)$$

$$a_{(t)} = -A\omega^2\cos(\omega t + \phi)$$

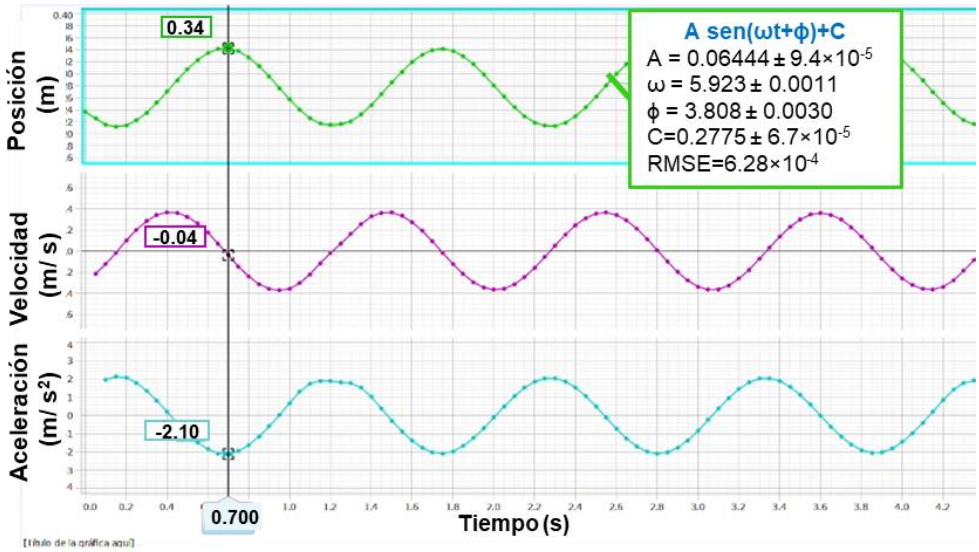
El ajuste sinusoidal encontrado es

$$x = A\,\mathrm{sen}(\omega t + \phi) + C$$

$$x_{(t)} = (0{,}0644\,\mathrm{sen}(5{,}923t + 3{,}808) + 0{,}2774)\ m$$

Figura 24

Cinemática del MAS



La frecuencia angular en el ajuste de la gráfica x vs t de la figura 24 es $\omega = 5{,}923\frac{rad}{s}$. La masa oscilante medido en una balanza es 0,09033 kg y comparando la frecuencia angular referencial.

$$\omega_{ref} = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{3{,}38}{0{,}09033}} = 6{,}11\frac{rad}{s}$$

El porcentaje de error es

$$\%Error = \left|\frac{\omega_{ref} - \omega_{medido}}{\omega_{ref}}\right| 100\% = \left|\frac{6{,}11 - 5{,}9223}{6{,}11}\right| 100\% = 3\%$$

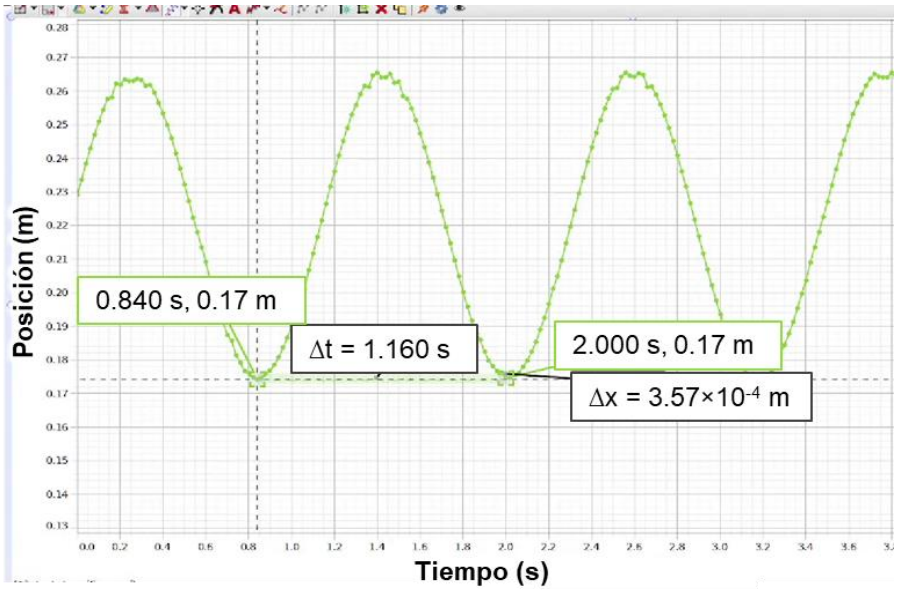
Se observa en la figura 24, cuando la posición es máxima, la velocidad es nula y la aceleración es mínima.

Tercer estudio: Periodo de oscilación y k

Se midió los periodos de oscilación de cada masa. La figura 25 muestra la gráfica posición versus tiempo y el periodo medido en la primera masa.

Figura 25

Periodo de oscilación de masa 1



Los datos medidos de los periodos se registran en la tabla 8.

Tabla 8

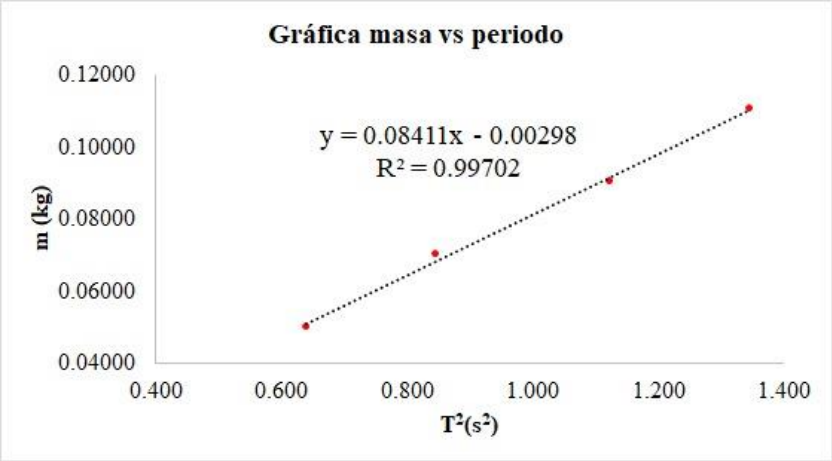
Tabla para el ajuste lineal

m (kg)	T (s)	T^2 (s)
0,11053	1,160	1,346
0,09033	1,060	1,124
0,07007	0,920	0,846
0,04990	0,800	0,640

La gráfica masa (m) versus periodo^2 (T^2) se muestra en la figura 26 y los datos se ajustan por regresión lineal.

Figura 26

Gráfica masa versus periodo al cuadrado



Los resultados: $pendiente = 0{,}08411\ s^2$

La constante del resorte según la ecuación (8) es

$$k = 4\pi^2 * pend$$

$$k = 4\pi^2 * 0{,}08411 = 3{,}3205\frac{N}{m}$$

$$k = 3{,}32\frac{N}{m}$$

Su incertidumbre según la ecuación (9) es

$$\Delta k = k(1 - R^2)$$

$$\Delta k = 3{,}32(1 - 99702) = 0{,}01\frac{N}{m}$$

La constante del resorte

$$k \pm \Delta k = (3{,}32 \pm 0{,}01)\frac{N}{m}$$

Comparando la constante del resorte con el resultado obtenido en estudio 1,

$k_{ref} = 3{,}37\ N/m$, el error porcentual es

$$\%Error = \left|\frac{k_{ref} - k_{exp}}{k_{ref}}\right| * 100\% = \left|\frac{3{,}37 - 3{,}32}{3{,}37}\right| * 100\% = 1{,}5\%$$

Cuarto estudio: Dinámica del MAS

Resultados de las mediciones realizadas

Masa oscilante medido con la balanza $m_{ref} = 0{,}070\ 11\ kg$

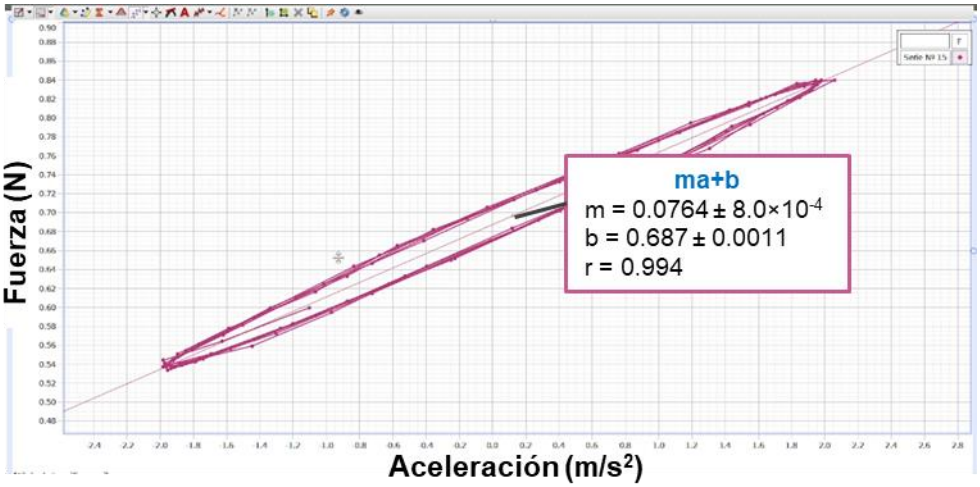
Según la ecuación

$$F_e = ma$$

Al realizar la gráfica Fe versus a, mostrado en la figura 27, la pendiente representa la masa del sistema.

Figura 27

Gráfica fuerza versus aceleración



$$m = pendiente = 0{,}0764\ kg$$

Su incertidumbre es:

$$\Delta m = m(1 - R^2) = 0{,}0764(1 - 0{,}994^2) = 0{,}0009\ \text{kg}$$

La masa oscilante es:

$$m \pm \Delta m = (0{,}0764 \pm 0{,}0009)\ \text{kg}$$

Comparando el resultado anterior con la masa medida en la balanza $m_{ref} = 0{,}07011\ \text{kg}$ el error porcentual es:

$$\%Error = \left|\frac{m_{ref} - m_{exp}}{m_{ref}}\right| * 100\% = \left|\frac{0{,}07011 - 0{,}764}{0{,}07011}\right| * 100\% = 10\%$$

Este último ensayo la medición indirecta de la masa tiene porcentaje de error.

Contraste entre la forma tradicional y el uso de la tecnología actual

Las principales ventajas de usar tecnología actual frente al método tradicional son:

- Al emplear tecnología actual, se logra el registro de la posición del móvil a una alta tasa de frecuencia de muestreo. Esto permite analizar la trayectoria descrita por el móvil mientras realiza movimiento armónico simple.
- Para determinar la constante de elasticidad del resorte usando tecnología actual, se observa el movimiento oscilatorio de una masa. El empleo de un sensor de movimiento registra la posición de la masa con una alta frecuencia de muestreo. Esto facilita el análisis de la relación entre la fuerza del resorte y la posición registrada, lo que permite determinar de manera precisa la constante de elasticidad del resorte a partir de la pendiente de la gráfica fuerza versus posición.
- La adquisición de datos a través de los sensores posibilita la derivación instantánea de las ecuaciones de posición, velocidad y aceleración respecto al tiempo.
- Determinar el período de oscilación de un MAS es más amigable con el uso de la tecnología actual, ya que se dispone de una gráfica de la posición versus el tiempo en el cual es más fácil medir con precisión la distancia entre dos crestas o valles consecutivas que representa el periodo. En contraste, el método tradicional, que implica la medición manual del tiempo de oscilación mediante un cronómetro, tiende a generar errores.

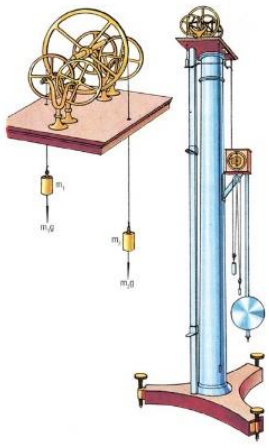
- El método tradicional presenta mayores dificultades en la medición de la amplitud de oscilación, debido a su naturaleza y a la influencia del observador. En contraste, el empleo de tecnología actual posibilita la visualización de los datos en una computadora, lo que facilita la determinación objetiva y precisa de la amplitud de oscilación.

5.4 LABORATORIO N°4: MAQUINA DE ATWOOD

Determinar la gravedad mediante este experimento requiere medir el tiempo con alta precisión y exactitud. Se ha encontrado que Atwood diseñó su máquina donde se colocan dos masas iguales sobre los extremos de las cuerdas que pasa por una polea con baja fricción luego se rompe el equilibrio agregando otra pequeña masa, figura 28. Se mide la distancia recorrida por esta masa y el tiempo, luego se determina la aceleración de la gravedad.

Figura 28

Máquina de Atwood



Fuente: tomado de Google https://estatica31.blogspot.com/2010/10/maquina-de-atwood.html

A continuación, presento la propuesta de realizar este experimento usando tecnología actual:

a. Objetivos

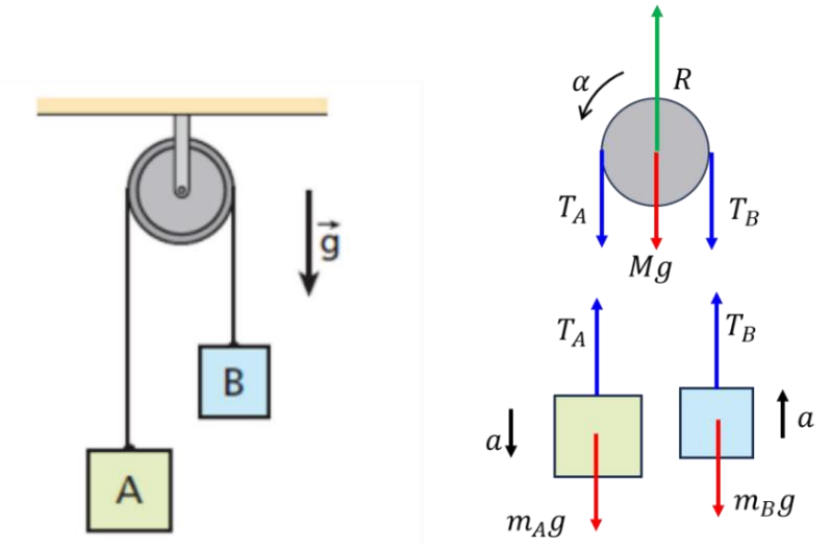
- Determinar experimentalmente la magnitud de la aceleración de la gravedad con una máquina de Atwood.
- Describir el movimiento de una masa considerando polea ideal.

b. Fundamento teórico

George Atwood (1745-1807) Físico inglés diseño un dispositivo con el fin de ilustrar las leyes de Newton. Este dispositivo experimental es utilizado en la física para estudiar el movimiento de los objetos bajo la influencia de la gravedad (*Zabaljauregui, Nicolás*, 2022). Cuya representación principalmente es como se muestra en la figura 29.

Figura 29

Representación y DCL de una máquina de Atwood



Nota. Adaptación personal

Planteamos las ecuaciones dinámicas (Young y Freedman, 2009), segunda ley de Newton, considerando $m_A > m_B$:

Masa m_B

$$T_B - m_B g = m_B a \qquad (1)$$

Masa m_A

$$m_A g - T_A = m_B a \qquad (2)$$

Polea dinámica rotacional $\alpha = \frac{a}{R}$

$$T_A R - T_B R = I \frac{a}{R} \qquad (3)$$

De (1), (2) y (3)

$$a = g\left(\frac{m_A - m_B}{m_A + m_B + \frac{I}{R^2}}\right) \qquad (4)$$

Si consideramos polea ideal, tenemos la siguiente aproximación

$$a = g\left(\frac{m_A - m_B}{m_A + m_B}\right) \qquad (5)$$

c. Materiales

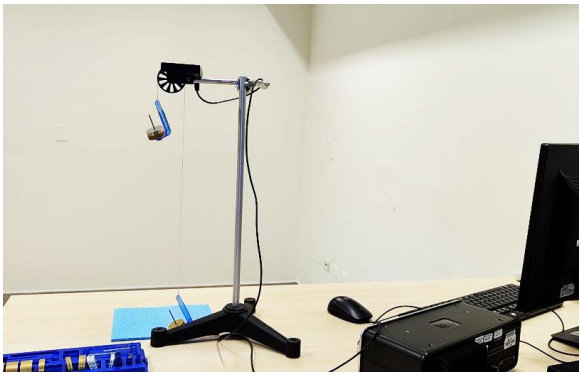
- Interfaz universal 850 (UI-5000)
- 1 polea con varilla de montaje (ME-9499)
- Soporte universal con nuez y varilla
- 1 cuerda de pescar
- Photogate (ME-9498A)
- Set de masas (ME-8979)
- Balanza de precisión Ohaus (sensibilidad 0,01 g)

d. Procedimiento

1. Arme los equipos (polea, fotograbe, interfaz) tal como se muestra en la figura 30.

Figura 30

Fotografía del armado para el experimento



Nota. Fotografía tomada en laboratorio

2. Se recomienda colocar una espuma en la mesa para amortiguar el golpe
3. En el capstone escoge una gráfica velocidad versus tiempo
4. Aprieta **Registrar** en el software mientras suelta la masa
5. Autoajustar la gráfica y realizar el ajuste lineal, la pendiente es la magnitud de la aceleración
6. Mida en la balanza las masas de las pesas.
7. Identifique la masa que no se cambiará y considere m_A y la masa que variará identifique como m_B.
8. Repetir los pasos 4 al 6 para masas, para 5 casos diferentes. Dejando constante la masa m_A y variando la masa m_B.
9. Registre sus datos en el Excel de apoyo y determine el valor de la gravedad considerando polea ideal y polea con momento de inercia.
10. Determine el porcentaje de error.

e. Análisis

Considerando la relación de ajuste lineal de la curva

$$y = m.x + b$$

CASO I: Considerando polea ideal

$$a = g\left(\frac{m_A - m_B}{m_A + m_B}\right)$$

Donde:

$$y = a$$

$$x = \left(\frac{m_A - m_B}{m_A + m_B}\right)$$

La gravedad está dada por la siguiente expresión:

$$pendiente = m = g$$

La incertidumbre de la gravedad es

$$\Delta g = g(1 - R^2)$$

CASO II: Polea con masa

$$a = g\left(\frac{m_A - m_B}{m_A + m_B + \frac{I}{R^2}}\right)$$

Donde:

$$y = a$$

$$x = \left(\frac{m_A - m_B}{m_A + m_B + \frac{I}{R^2}}\right)$$

La gravedad está dada por la siguiente expresión:

$$pendiente = m = g$$

La incertidumbre de la gravedad es

$$\Delta g = g(1 - R^2)$$

Calculamos el porcentaje de error considerando $g_{teórico} = 9{,}81\ \mathrm{m/s^2}$

$$\%E = \left|\frac{g_{teórico} - g_{exp}}{g_{teórico}}\right| \times 100\%$$

f. Resultados

Se determinó el valor de la gravedad terrestre empleando el experimento de la máquina de atwood,

Considerando la polea como ideal, los resultados se detallan en la tabla 9.

Tabla 9

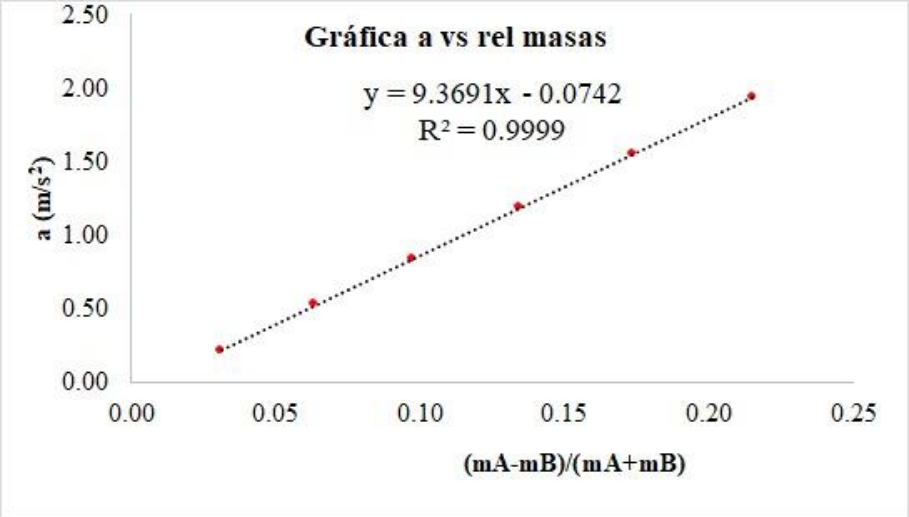
Tabla de datos en el experimento de máquina de Atwood

Masa m_A (g)	**Masa m_B (g)**	**Aceleración (m/s²)**	$\left(\frac{m_A - m_B}{m_A + m_B}\right)$
85,11	79,95	0,211	0,0313
85,11	74,94	0,528	0,0635
85,11	69,95	0,842	0,0978
85,11	64,94	1,190	0,1344
85,11	59,95	1,550	0,1734
85,11	54,95	1,940	0,2153

La figura 31 muestra la relación de los datos considerando polea ideal:

Figura 31

Gráfica aceleración versus relación de masas (polea ideal)



$$g = pendiente = 9{,}3691\ m/s^2 = 9{,}37\ m/s^2$$

El porcentaje de error es

$$\%E = \left|\frac{g_{teórico} - g_{exp}}{g_{teórico}}\right| \times 100\% = \left|\frac{9{,}81 - 9{,}37}{9{,}81}\right| \times 100\%$$

$$\%E = 4{,}5\%$$

Considerando la polea como cuerpo rígido, se considera los datos brindados por el fabricante en la tabla 10.

Tabla 10

Tabla de especificaciones técnicas de la polea

Especificaciones	**Característica**
Diámetro de la polea	5,1 cm (2")
Polea fuera de la circunferencia	16 cm (6.3")
Circunferencia de la ranura de la polea	15 cm (5.9")
Masa de la polea (aprox.)	5 g
Momento de inercia de la polea (aprox.)	$1{,}8\times10^{-6}$ kg*m^2

Los resultados del análisis se muestran en la tabla 11

Tabla 11

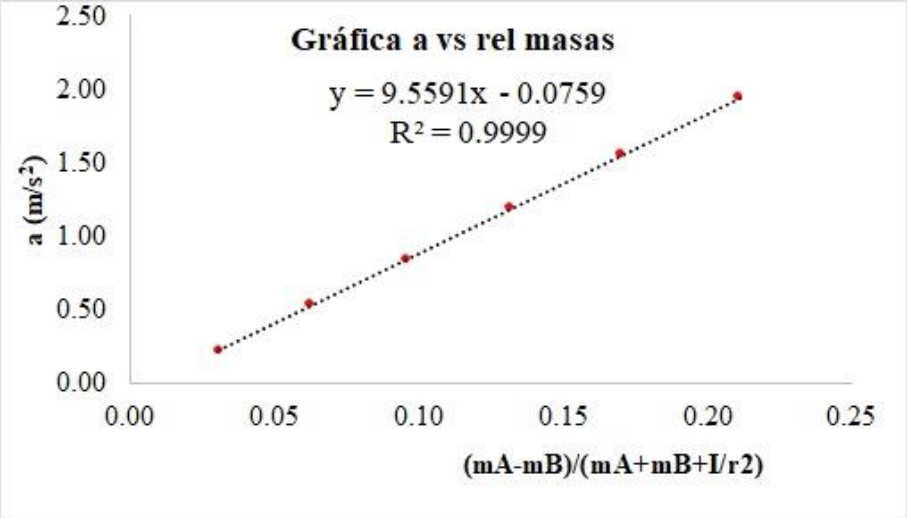
Tabla de datos para el experimento de máquina de Atwood (polea con I)

Masa m_A (g)	**Masa m_B (g)**	**Aceleración (m/s^2)**	**$(m_A-m_B)/(m_A+m_B+I/r^2)$**
85,11	79,95	0,211	0,0307
85,11	74,94	0,528	0,0625
85,11	69,95	0,842	0,0961
85,11	64,94	1,190	0,1320
85,11	59,95	1,550	0,1702
85,11	54,95	1,940	0,2112

La relación entre la aceleración y relación de masas se muestran en la figura 32.

Figura 32

Gráfico aceleración versus relación de masa (polea con I)



$$g = pendiente = 9{,}5591\ m/s^2 = 9{,}56\ m/s^2$$

El porcentaje de error

$$\%E = \left|\frac{g_{teórico} - g_{exp}}{g_{teórico}}\right| \times 100\% = \left|\frac{9{,}81 - 9{,}56}{9{,}81}\right| \times 100\% = 2{,}5\%$$

Se determinó el valor de la gravedad mediante la máquina de Atwood resultando 9,37 m/s^2 al considerar la polea como ideal y 9,56 m/s^2 al considerar el momento de inercia de la polea. Para estos casos el porcentaje de error se reduce de 4,5% a 2,5%.

Contraste entre la forma tradicional y el uso de la tecnología actual

Las principales ventajas de usar tecnología actual frente al método tradicional son:

- Al emplear tecnología actual, se logra el registro de la velocidad de las pesas con el cual se determina la aceleración del sistema.
- Se obtienen resultados esperados con facilidad.

5.5 LABORATORIO N°5: GASES IDEALES

EL experimento de gases ideales requiere medir básicamente las variables termodinámicas como son temperatura, presión y volumen. Tradicionalmente el experimento para verificar la Ley de Boyle se usa una jeringa para medir el volumen y un manómetro para medir la presión que generalmente son de tiempo analógico como se muestra en la figura 33.

Figura 33

Equipo para verificar la Ley de Boyle

Fuente: Tomado de Google https://www.ventusciencia.com/aparato-ley-de-boyle.html#tabs

A continuación, se propone realizar este experimento usando la tecnología actual.

a. Objetivos

- Realizar una gráfica PV para un proceso isotérmico
- Determinar el número de moles
- Calcular el trabajo mecánico realizado sobre el gas

b. Fundamento teórico

Los gases según la teoría cinético molecular, presenta las siguientes características principales:

La materia está compuesta por partículas diminutas que se encuentran en constante movimiento aleatorio y pueden ser átomos, moléculas, iones.

Gran parte del del volumen es espacio vacío en el cual están en movimiento las partículas.

La energía cinética de los gases aumenta con la temperatura.

La colisión de las partículas son elásticas, es decir no hay pérdida de energía mecánica.

La presión de los gases es el resultado de las colisiones con las paredes del recipiente

Los gases pueden ser descritos por las variables de estado como son la presión, volumen, temperatura, masa o número de moles. Estas variables se relacionaban según la ecuación de estado denominada ecuación de gas ideal (Serway y Jewett, 2008).

$$pV = nRT \quad (1)$$

Donde:

p: Presión en Pa o atm

V: Volumen en m^3 o litros

n: número de moles en mol

$R = 8{,}31 \frac{J}{mol \cdot K}$ constante de los gases

T: temperatura en K

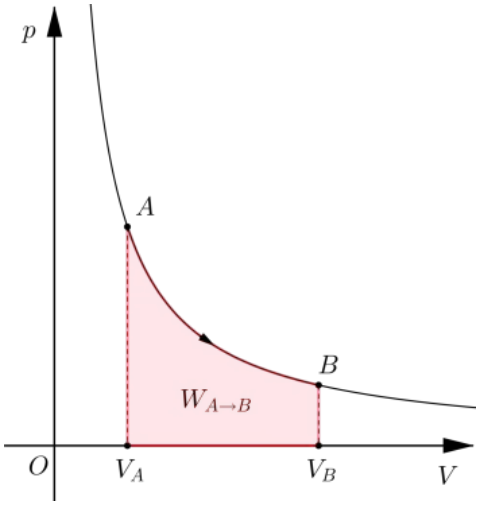
Los gases pueden cambiar de estado al cambiar las variables de estado. Un proceso sencillo es cuando el gas cambia de estado manteniendo la temperatura constante, a este proceso se denomina proceso isotérmico o también Ley de Boyle en honor a su descubridor. La ecuación de los gases ideales para un proceso isotérmico queda:

$$pV = k = constante \quad (2)$$

La gráfica pV para el proceso isotérmico corresponde a una rama de una hipérbola, figura 34.

Figura 34

Diagrama pV para el proceso isotérmico



El trabajo que realiza el gas siguiendo el proceso isotérmico está dado por

$$W = \int_{V_1}^{V_2} pdV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{k}{V} dV$$

$$W = k \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = nRT \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) \quad (3)$$

c. Materiales

- Interfaz universal 850 (UI-5000)
- Sensor de presión absoluta PASPORT (PS-2107) (Sensibilidad 0,1 kPa)
- Sensor de temperatura PASPORT (PS-2125) (Sensibilidad 0,5°C)
- Conector NIBP de manguito macho y hembra
- Jeringa de 20 mL (Sensibilidad 1 mL)

d. Procedimiento

1. Arme los equipos tal como se muestra en la figura 35, conecte el sensor de presión absoluta y el sensor de temperatura.

Figura 35

Armado de equipos para el experimento de gases

2. Coloque el émbolo de la jeringa en 20,0 ml luego conecte a la entrada del sensor de presión. Debe hacer girar en sentido horario hasta que el conector NIBP sueñe y se asegure la cámara.
3. El software PASCO Capstone configure una gráfica pV, una tabla de volumen (mL) y presión en kPa y un visor de temperatura en K todo en modo continuo.
4. Los datos de volumen son introducidos manualmente empezando en 20,0 ml, luego disminuyendo a 19,0 mL hasta 10,0 mL
5. Para 20,0 mL apriete **Vista previa** y luego mantener muestra
6. Variar el volumen de la jeringa a 19,0 mL luego repetir el paso 5 hasta llegar a 10,0 mL
7. En la gráfica pV seleccionar la herramienta de ajuste a la función inverso
8. Con la herramienta área del gráfico, determine el área en la gráfica pV

e. Análisis y resultados

En la gráfica pV se realizó un ajuste a la función inversa considerando el volumen adicional de la manguerita V_0, figura 36. La constante es $k = nRT$, la temperatura ambiente registrada es $T \pm \Delta T = (297{,}0 \pm 0{,}1)\ K$.

Figura 36

Volumen de jeringa con manguerita

Nota. Adaptación personal

Usando la ecuación (2)

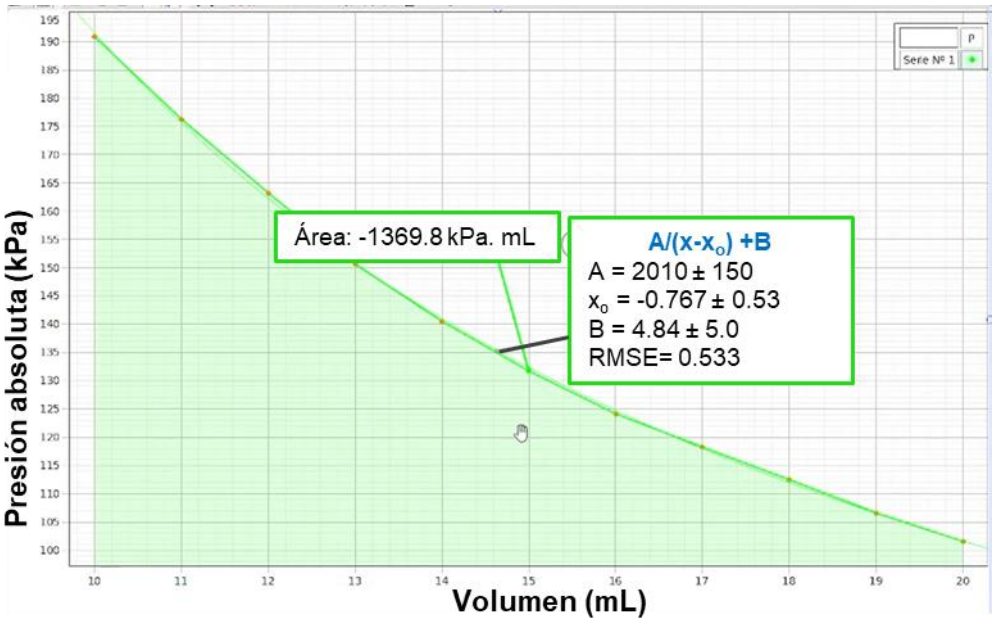
$$p(V + V_0) = k$$

$$p = \frac{k}{V + V_0} \quad (4)$$

La figura 37 muestra la gráfica presión versus volumen de los datos medido. La curva se ajusta a la ecuación (4).

Figura 37

Gráfica presión versus volumen en el proceso isotérmico



Comparando con la ecuación (4), en este caso se midió la presión en kPa y volumen en mL.

$$p = \frac{2010}{V + 0{,}767} + 4{,}84$$

Luego el volumen de la manguerita $V_0 = 0{,}767\ \text{mL}$ y

La constante $k = 2010\ kPa.mL = 2010 \times 10^3 \text{Pa} \times 10^{-6} \text{m}^3 = 2{,}010\ \text{Pa.m}^3$

$$k \pm \Delta k = (2{,}010 \pm 0{,}150)\ \text{Pa.m}^3$$

Cálculo de numero de moles del aire

Método I: Del ajuste de la gráfica p vs V, figura 37 y usando la ecuación (2) se determina el número de moles.

$$k = nRT$$

$$n = \frac{k}{RT}$$

$$n = \frac{2{,}010}{8{,}31 \times 297{,}0} = 8{,}14 \times 10^{-4}\ \text{mol}$$

Cálculo de la incertidumbre de n

$$\Delta n = n\left(|1|\frac{\Delta k}{k} + |-1|\frac{\Delta T}{T}\right)$$

$$\Delta n = 8{,}14 \times 10^{-4}\left(|1|\frac{0{,}150}{2{,}010} + |-1|\frac{0{,}1}{297{,}0}\right) = 0{,}61 \times 10^{-4}\ \text{mol}$$

Luego

$$n \pm \Delta n = (8{,}14 \pm 0{,}61) \times 10^{-4}\ \text{mol}$$

Método II: A partir del ajuste de la gráfica V vs 1/p

La ecuación de gases para procesos isotérmicos se tiene:

$$V = \frac{nRT}{p} \quad (5)$$

$$V_{jeringa} + V_{manguerita} = \frac{k}{p}$$

$$V_{jeringa} = \frac{k}{p} - V_{manguerita} \quad (6)$$

Los datos obtenidos de volumen y presión se muestran en la tabla 12.

Tabla 12

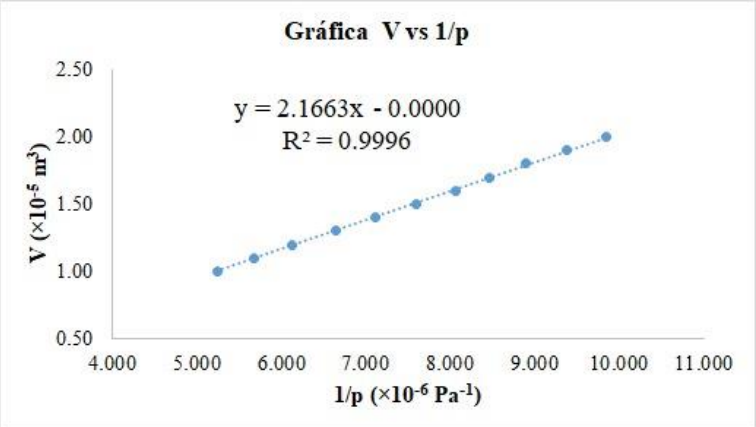
Tabla de datos de presión y volumen

Volumen (mL)	Presión (kPa)	1/p (Pa^{-1})	V (m^3)
20,0	101,5	9,852E-06	2,00E-05
19,0	106,6	9,381E-06	1,90E-05
18,0	112,5	8,889E-06	1,80E-05
17,0	118,2	8,460E-06	1,70E-05
16,0	124,1	8,058E-06	1,60E-05
15,0	131,7	7,593E-06	1,50E-05
14,0	140,5	7,117E-06	1,40E-05
13,0	150,6	6,640E-06	1,30E-05
12,0	163,2	6,127E-06	1,20E-05
11,0	176,3	5,672E-06	1,10E-05
10,0	190,8	5,241E-06	1,00E-05

Con los datos de la tabla 12, se gráfica V vs 1/p, figura 38. El ajuste lineal de los datos tiene por ecuación lineal cuya pendiente representa k.

Figura 38

Gráfica volumen versus 1/presión con ajuste lineal



Comparando

$$nRT = k = pendiente = 2{,}1663$$

El número de moles del aire en la jeringa es:

$$n = \frac{k}{RT} = \frac{2{,}1663}{8{,}31 \times 297{,}0} = 8{,}78 \times 10^{-4}\, mol$$

Su incertidumbre es

$$\Delta n = n\left(|1|\frac{\Delta k}{k} + |-1|\frac{\Delta T}{T}\right)$$

$$\Delta n = n\left(\frac{\Delta pendiente}{pendiente} + \frac{\Delta T}{T}\right)$$

$$\Delta n = n\left(\frac{pendiente(1 - R^2)}{pendiente} + \frac{\Delta T}{T}\right)$$

$$\Delta n = n\left((1 - R^2) + \frac{\Delta T}{T}\right)$$

$$\Delta n = 8{,}78 \times 10^{-4}\left((1 - 0{,}99958) + \frac{0{,}1}{297{,}0}\right)$$

$$\Delta n = 0{,}01 \times 10^{-4}\, mol$$

Luego

$$n \pm \Delta n = (8{,}78 \pm 0{,}01) \times 10^{-4}\, mol$$

Error entre el método I y II

$$\%E = \left|\frac{n_I - n_{II}}{n_I}\right| \times 100\% = \left|\frac{8{,}14 \times 10^{-4} - 8{,}78 \times 10^{-4}}{8{,}14 \times 10^{-4}}\right| \times 100\% = 7{,}9\%$$

Cálculo de trabajo del gas

Usando las herramientas del gráfico del software

$$Area = \ -1369{,}8\, kPa.mL = -1369{,}8 \times 10^{3}\mathrm{Pa} \times 10^{-6}\mathrm{m}^3$$

$$Area = W_{exp} \ = -1{,}3698\ \mathrm{Pa.\,m}^3$$

Comparando con la relación

$$W_{ref} = nRT \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = 2{,}010 \ln\left(\frac{10{,}0\ mL}{20{,}0\ mL}\right) = -1{,}393\ J$$

El porcentaje error es

$$\%E = \left|\frac{W_{ref} - W_{exp}}{W_{ref}}\right| \times 100\% = \left|\frac{-1{,}393 - -1{,}3698}{-1{,}393}\right| \times 100\%$$

$$\%E = 1{,}7\%$$

EL porcentaje de error indica que el experimento realizado por ambos métodos se obtiene resultados idénticos.

Contraste entre la forma tradicional y el uso de la tecnología actual

Las principales ventajas de usar tecnología actual frente al método tradicional son:

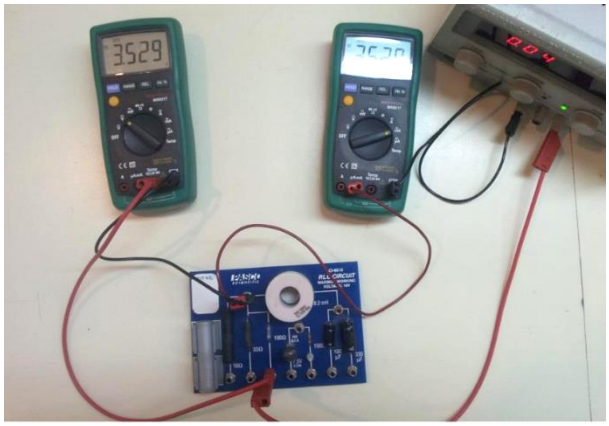
- Al emplear la tecnología actual se puede medir la presión de manera digital y con mejor precisión respecto a los instrumentos analógico. Por ejemplo, la sensibilidad del sensor usado es 1 Pa mientras que el dispositivo analógico presenta 0,5 N/cm^2 que equivale a 5 kPa.
- El procesamiento de datos se realiza de manera rápida con el software de ayuda.

5.6 LABORATORIO N°6: RESISTENCIA ELECTRICA Y LEY DE OHM

Realizar los estudios de caracterización de resistencia mediante las curvas I vs V requiere armar un circuito sencillo con una resistencia, una fuente de voltaje, figura 39. En el circuito se conecta un voltímetro y un amperímetro. Para un voltaje determinado se toma los datos de voltaje y corriente en el resistor, luego se varía el voltaje y se vuelve a medir ambos parámetros. El proceso se repite hasta obtener cierta cantidad de medidas representativas en un rango específico.

Figura 39

Circuito para caracterizar un resistor



Nota: tomado de Google https://fisica.uc.cl/images/Exp_4_Ley_de_Ohm.pdf

A continuación, se presenta este experimento realizado usando tecnología actual.

a. Objetivos

- Estudiar el comportamiento de la corriente frente al voltaje
- Identificar los materiales óhmicos
- Comprobar la ley de ohm

b. Fundamento teórico

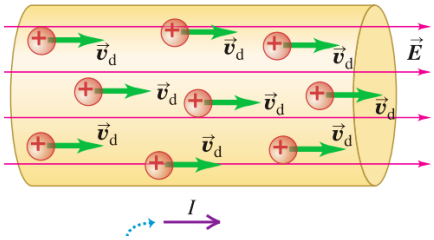
La corriente eléctrica es todo movimiento de carga de una región a otra. Los electrones de un material son direccionados a moverse contrario al campo eléctrico. Sin embargo, la corriente convencional es tratada como un flujo de cargas positivas moviéndose en la misma dirección del campo eléctrico, como se muestra en la figura 40. (Young y Freedman, 2009).

$$I = \frac{q}{t} \quad (1)$$

Unidad de medida: $1\ A = 1\frac{C}{s}$

Figura 40

Diagrama de flujo de cargas convencionales en un campo eléctrico



Nota. Tomado de (Young y Freedman, 2009), pag 848

La resistividad ρ de un material se define como

$$\rho = \frac{E}{J} \qquad (2)$$

Unidad de mediada: $\left(\frac{V \cdot m}{A} = \Omega \cdot m\right)$

Donde E es el campo eléctrico y J es la densidad de corriente. Luego a mayor resistividad se requiere mayor intensidad de campo eléctrico para generar una densidad de corriente. En un conductor metálico generalmente la resistividad aumenta con el aumento de la temperatura, mientras que en semiconductores disminuye con el aumento de temperatura. El inverso de la resistividad se denomina conductividad.

En ciertos materiales la resistividad es constante e independiente del campo eléctrico a estos se les denomina ***materiales óhmicos*** y que cumplen con la ley de Ohm.

La resistencia eléctrica para los materiales óhmicos queda

$$R = \rho \frac{L}{A} \qquad (3)$$

La ley de ohm estable una relación de proporcionalidad entre el voltaje aplicado a un material y la corriente que pasa por el mismo

$$V = RI \qquad (4)$$

Donde Ves el voltaje o diferencia de potencial (V)

R es la resistencia eléctrica (Ω)

I es la corriente eléctrica (A)

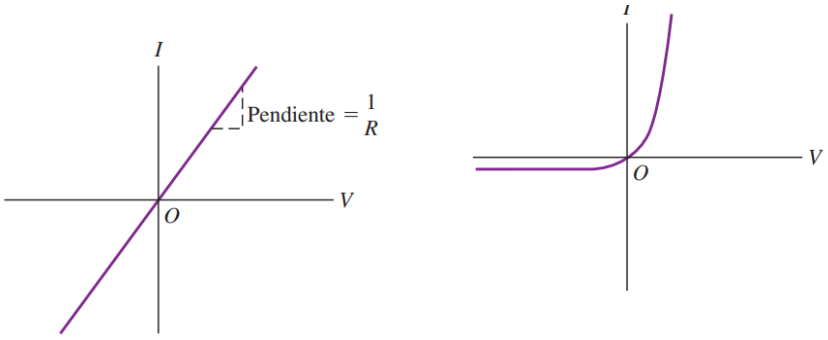
$$I = \frac{1}{R}V$$

$$I = f_{(V)} \quad (5)$$

Para estudiar el comportamiento de la corriente frente al voltaje tomaremos datos de corriente y voltaje y los representaremos en una gráfica I versus V. En materiales óhmicos la gráfica obtenida debe ser lineal donde la pendiente representa la inversa de la resistencia, mientras para materiales no óhmicos no, figura 41.

Figura 41

Gráfica corriente versus voltaje para materiales óhmicos y LED



Nota: Adaptado de (Young y Freedman, 2009)

c. Materiales

- Interfaz universal 850 (UI-5000)
- 1 foquito incandescente
- 1 LED
- 4 resistores de carbón de diferentes valores
- Fuente de voltaje DC
- Placa de laboratorio de electrónica AC/DC (EM-8656)
- Sensor de voltaje (UI-5100)

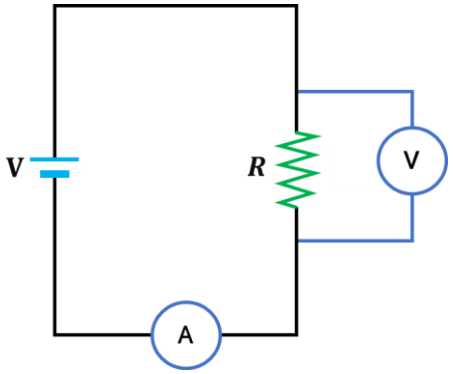
- Sensor de corriente (CI-6556) (Sensibilidad 5 mA)

d. Procedimiento

1. Arme el circuito mostrado en la figura 42, conecte el sensor de voltaje (Va) en los extremos de la LED y el sensor de corriente (A) después de R. Donde R será inicialmente el foquito incandescente, luego la LED y finamente los resistores de carbón.

   Figura 42

   Circuito básico con voltímetro y amperímetro



   Nota. Fuente elaboración propia

2. Coloque la perilla de la fuente de voltaje en 0 V y encienda la fuente luego encienda la interfaz.
3. En el software PASCO Capstone escoger datos de sensor.
4. Para que el software reconozca los sensores, hacer clic en el botón “configuración de hardware”, luego clic en la entrada A del sensor digital, escoger “sensor de voltaje” y el puerto B elegir “sensor de corriente”.
5. En la gráfica escoger corriente en la vertical y voltaje en la horizontal.
6. Escoger la frecuencia de toma de datos en 5,00 Hz.
7. Para el foquito incandescente luego de conectar los terminales de los sensores, en el software apriete el botón **Registrar** mientras simultánea y lentamente gira la

perilla de voltaje de la fuente hasta alcanzar un voltaje máximo de 2,50 V. Es recomendable tomas datos mientras se disminuye el voltaje hasta cero.

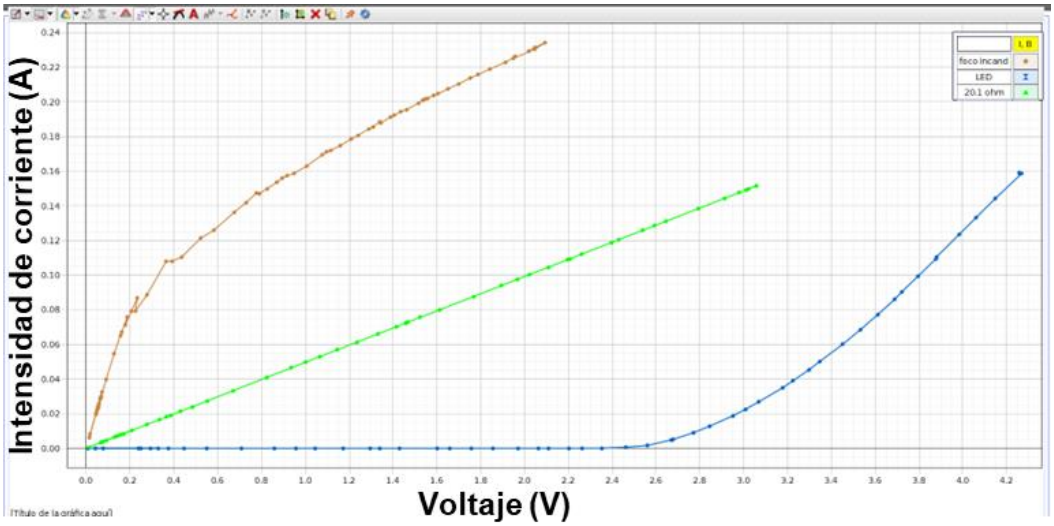
8. Con la herramienta de grafico del autoescala se puede mostrar mejor.
9. Repita los pasos 7 y 8 para el LED y para la resistencia de carbón.
10. Para los resistores de carbón realizar un ajuste lineal con las herramientas de gráfico y registrar la pendiente y el coeficiente de correlación.
11. Con un multímetro registre el valor de la resistencia de carbón en cada caso.

e. Resultados y análisis

Las mediciones realizadas de la corriente eléctrica para diferentes valores de voltaje muestran el comportamiento no lineal para el foco incandescente y el LED, sin embargo, el resistor de carbón se observa un comportamiento lineal, ver en la figura 43.

Figura 43

Gráfica I vs V para el foquito incandescente, LED y resistencia de carbón.



Se concluye que el resistor de carbón es un material óhmico, mientras que el foquito incandescente y LED son materiales no óhmicos.

Al realizar el ajuste lineal en el resistor de carbón se obtiene:

pendiente $m = 0{,}0495\ \Omega^{-1}$

Coeficiente de correlación $r = 1{,}000$

Comparando la ecuación

$$I = \frac{1}{R}V$$

con el ajuste lineal

$$y = mx + b \quad (1)$$

$$m = \frac{1}{R}$$

$$R = \frac{1}{m} = \frac{1}{0{,}0495} = 20{,}2\ \Omega$$

Su incertidumbre

$$\Delta R = \Delta(m^{-1}) = |-1|m(1 - R^2) = m(1 - R^2)$$

$$\Delta R = 0{,}0495(1 - 1{,}000^2) = 0{,}0\ \Omega$$

La resistencia eléctrica medida es

$$R \pm \Delta R = (20{,}2 \pm 0{,}0)\ \Omega$$

Calculamos el porcentaje error comparando la resistencia medida mediante un multímetro $R_{referencial} = 20{,}1\ \Omega$.

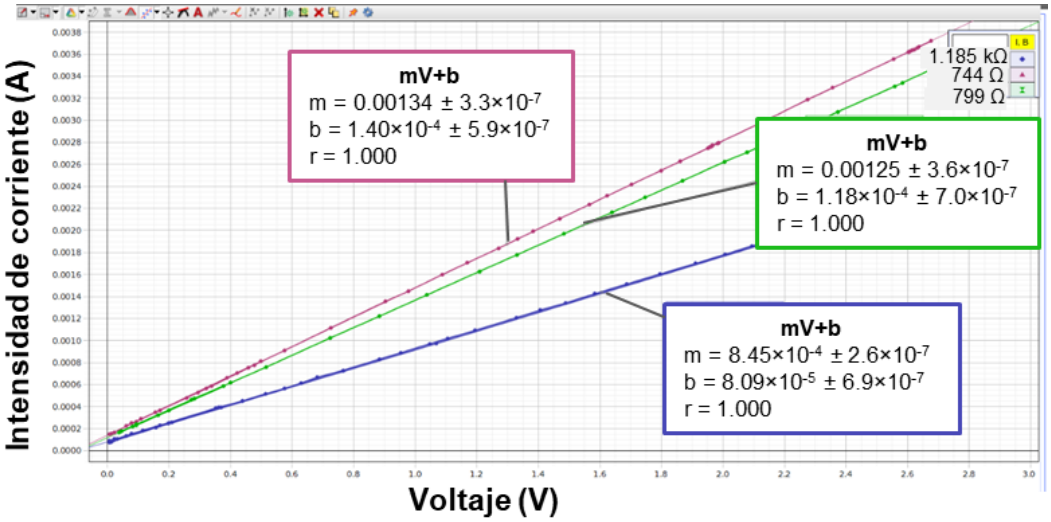
$$\%E = \left|\frac{R_{ref} - R_{exp}}{R_{ref}}\right| \times 100\%$$

$$\%E = \left|\frac{20{,}1 - 20{,}2}{20{,}1}\right| \times 100\% = 0{,}5\%$$

Se obtiene el valor de la resistencia $20{,}2\ \Omega$ con un error del 0,5%. Adicionalmente se realizaron mediciones para otras resistencias eléctricas, los datos registrados de I vs V se observan en la figura 44.

Figura 44

Gráfica I vs V para tres resistencias de carbón



Resultados de diferentes medidas de resistencias de carbón

Los resultados de la resistencia experimental de los resistores de carbón, su comparación con la resistencia referencial medido con un multímetro y el error porcentual se muestran en la tabla 13.

Tabla 13

Tabla de datos de resistencias de carbón

Pendiente (Ω^{-1})	coeficiente de correlación, r	Resistencia experimental (Ω)	Resistencia Referencial (Ω)	% Error
0,0495	1,00	20,2	20,1	0,5%
0,00134	1,00	746	744	0,3%
0,00125	1,00	800	799	0,1%
0,000845	1,00	1183	1185	0,1%

Los resistores de carbón presentan resistencias constantes y el comportamiento de la corriente frente al voltaje es lineal con coeficiente de correlación 1,000 lo que indica que la incertidumbre en la medida de la resistencia experimental es 0 Ω.

Contraste entre la forma tradicional y el uso de la tecnología actual

Las principales ventajas de usar tecnología actual frente al método tradicional son:

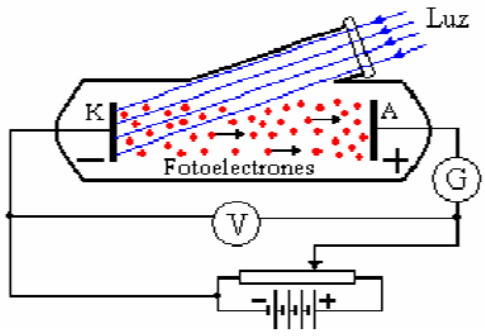
- Al emplear la tecnología actual se puede medir de manera rápida el voltaje y corriente en el resistor y realizar un barrido de manera rápida, es decir se obtiene una gráfica I vs V en tiempo real.
- El sensor de voltaje y corriente presenta ventajas en la medida por su conexión a la computadora y la alta frecuencia de muestreo.

5.7 LABORATORIO N°7: DETERMINACION DE LA CONSTANTE DE PLANCK

Realizar este experimento mediante el método tradicional requiere usar el efecto fotoeléctrico, usando una lampara de mercurio, un monocromador de prisma y a su salida una célula fotovoltaica, ver figura 45. Mediante este método es difícil medir la corriente porque está en el orden del nano ampere y se requiere usar instrumentos de alta sensibilidad como un galvanómetro.

Figura 45

Método tradicional para determinar h



Nota: tomado de Google https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/29083/II_Jornadas_fisica_Martin_Morelli_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y

A continuación, presento una variante de realizar este experimento usando tecnología actual.

a. Objetivos

- Determinar la constante de Planck h usando diodos LED y sensores.
- Determinar el voltaje de activación de los LED de colores.
- Realizar una gráfica I vs V de los LED.
- Graficar el ajuste lineal de V vs 1/λ.

b. Fundamento teórico

La constante de Planck juega un papel muy importante en el entendimiento de la materia a nivel subatómico, de hecho, es la piedra angular de la mecánica cuántica.

La constante de Planck fue denominada en honor al físico alemán Max Planck cuando descubrió que la energía de fotones está relacionada con la longitud de la onda.

$$E_p = h\frac{c}{\lambda} \qquad (1)$$

Donde:

- E_p es la energía de un foton,
- h es la constante de Planck
- $c = 2{,}9979 \times 10^8\ \mathrm{m/s}$ es la velocidad de la luz en el vacío y
- λ es la longitud de la onda

Los LED son dispositivos electrónicos que usan semiconductores dopados de unión tipo P-N el cual emite luz cuando se le somete a una diferencia de potencial, dependiendo del tipo de material semiconductor los LED emiten diferentes colores de luz que básicamente tienen un espectro de luz monocromática (Sá et al., 2014).

Previamente se ha realizado mediciones del espectro de emisión de los LED usando un espectrómetro de Ocean Optics UBS4000, los cuales se obtuvieron las

siguientes longitudes de onda detallados en la tabla 14.

Tabla 14

Tabla de longitudes de ondas de los LED caracterizados

Color	Longitud de onda λ (nm)
Rojo	630
NARANJA	605
Verde	520
Azul	470
Violeta	405

A continuación, en las figuras 46 a la figura 50 se muestran el registro de las longitudes de onda de cinco LEDs: Rojo, naranja, verde, azul y violeta que fueron medidos en laboratorio de la UNI usando un espectrofotómetro Ocean Optics USB4000 del laboratorio de películas delgadas.

Figura 46

Gráfico del espectro de emisión de la LED rojo

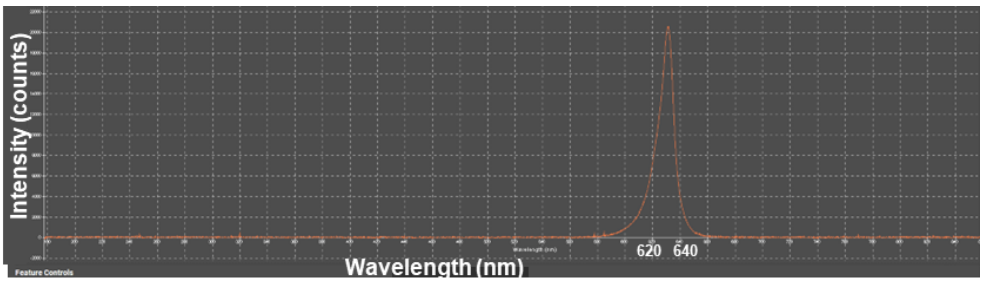


Figura 47

Gráfico del espectro de emisión de la LED naranja

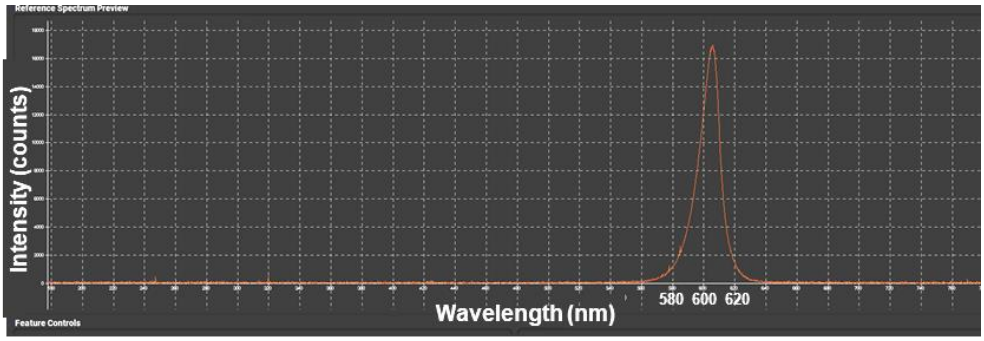


Figura 48

Gráfico del espectro de emisión de la LED verde

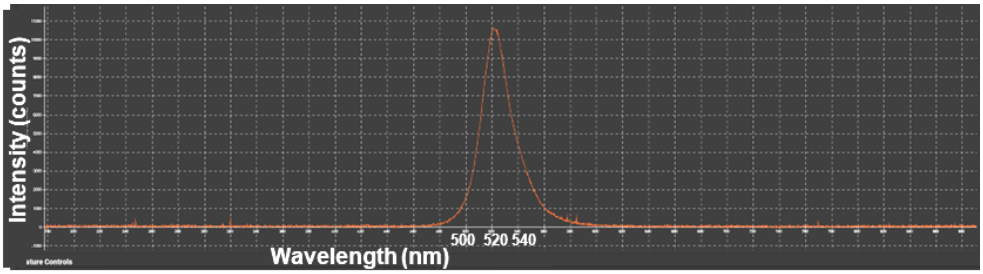


Figura 49

Gráfico del espectro de emisión de la LED azul

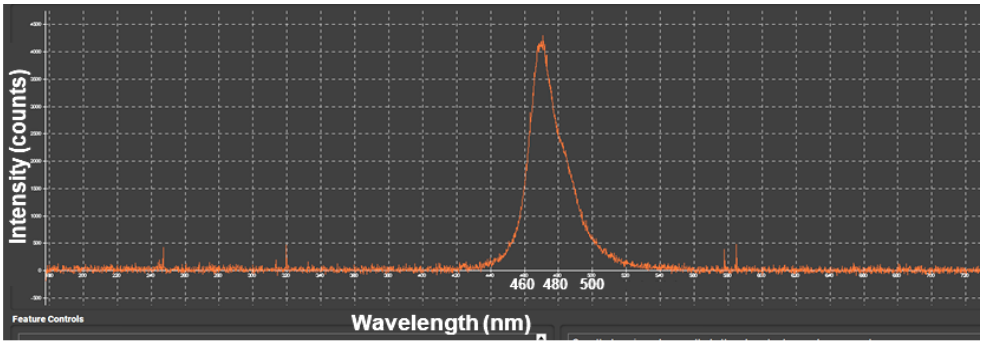
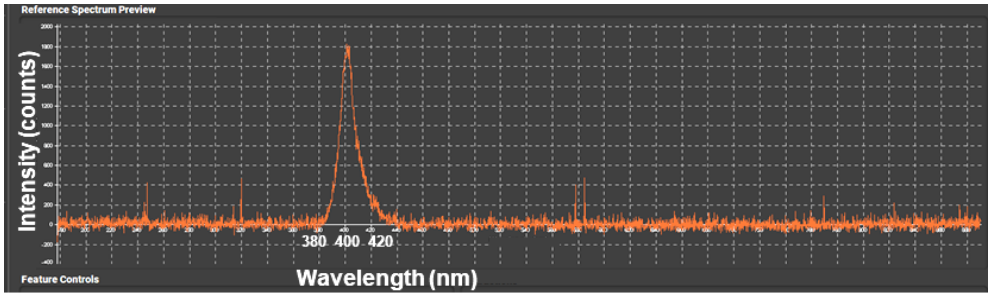


Figura 50

Gráfico del espectro de emisión de la LED violeta

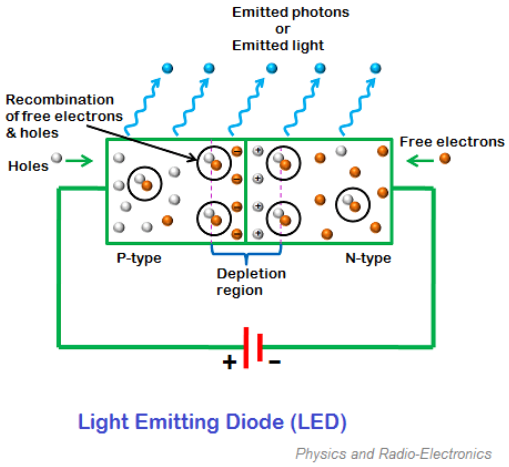


La LED al ser sometido a voltajes pequeños, la energía no es suficiente para emitir luz y la corriente es pequeña, sin embargo, al aumentar el voltaje en los extremos de la LED, los electrones son excitados en la banda de valencia, y a partir de un voltaje de activación va empiezan a emitir fotones de luz con energía según la ecuación (1) este fenómeno es conocido como fotoemisión (Gonzales, 2018), ver la figura 51 donde el

diagrama describe el proceso.

Figura 51

Gráfico del efecto de fotoemisividad de una LED

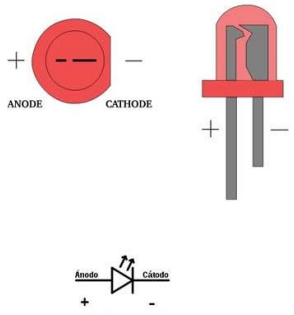


Nota. Tomado de physics and radio-electronics.

Los LED presentan dos pines con polaridad, ánodo es el pin más largo y cátodo es el extremo más corto, como se muestra en la figura 52.

Figura 52

Gráfico del diagrama de una LED



Nota. Tomado de physics and radio-electronics.

La energía de un fotón y el voltaje de activación están relacionado según

$$V_a = \frac{E_p}{e} + \frac{\phi}{e} \qquad (2)$$

Donde, $e = 1{,}6022 \times 10^{-19}$ C es la carga de un electrón y $\frac{\phi}{e}$ representa la perdida

de energía en la unión P-N del diodo (por sencilles supondremos que es similar en todos los LED)

$$V_a = \frac{hc}{e}\frac{1}{\lambda} + \frac{\phi}{e} \qquad (3)$$

A partir de esta última relación podremos medir el voltaje de activación de los distintos LED y con sus longitudes de onda previamente medido, se puede determinar la constante de Planck

c. Materiales

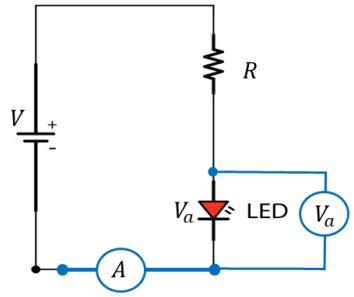
- Interfase universal 850 (UI-5000)
- Computador con programa PASCO Capstone™ instalado
- 5 leds de colores
- 1 Fuente de voltaje DC
- 1 placa de laboratorio de electrónica AC/DC (EM-8656)
- 1 resistencia de carbón de 220 Ω
- 1 sensor de voltaje (UI-5100) (sensibilidad 0,001 V)
- 1 sensor de corriente (CI-6556) (sensibilidad 5 mA)

d. Procedimiento

1. Arme el circuito mostrado en la figura 53, conecte el sensor de voltaje (Va) en los extremos de la LED y el sensor de corriente (A) después de la LED.

Figura 53

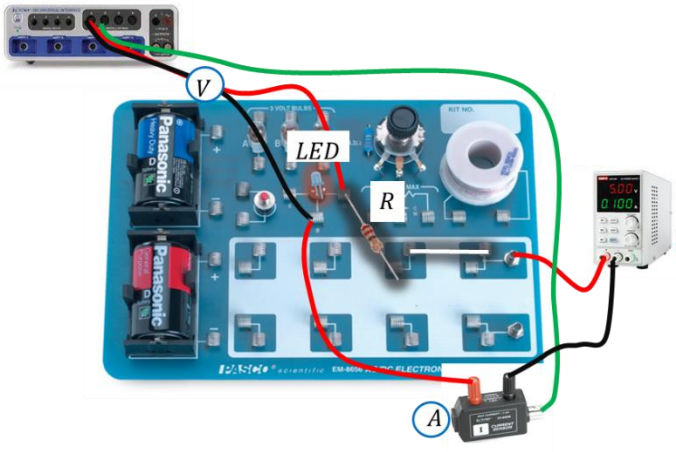
Circuito de conexión de una LED con voltímetro y amperímetro



La figura 54 muestra el diagrama del circuito de la figura 53 ubicado en la placa de laboratorio electrónico.

Figura 54

Diagrama de conexión de sensor de voltaje y sensor de corriente



2. Coloque la perilla de la fuente de voltaje en 0V y encienda el equipo (fuente e interfaz).
3. En el software PASCO Capstone apriete el botón **Registrar** mientras simultánea y lentamente gira la perilla de voltaje de la fuente aumentando gradualmente hasta observar una curva similar a gráfica.
4. Identifique el voltaje de activación Va de la LED en la gráfica I vs Va
5. Vuelva la perilla a 0 V y cambie la LED a otro color
6. Repita los pasos 3, 4 y 5
7. Registre sus datos en el Excel de apoyo.

Considerando la relación de la ecuación (3).

$$V_a = \frac{hc}{e}\frac{1}{\lambda} + \frac{\phi}{e}$$

Se realiza mediciones de voltaje de activación (Va) de cada LED y conociendo sus longitudes de onda previamente medido se puede determinar h por regresión lineal. Para lo cual debe construir una tabla agregando la columna 1/ λ y luego graficar en Excel

(tabla 15).

Comparando la pendiente (m) con la ecuación de la recta $y = mx + b$

$$m = \frac{hc}{e}$$

$$h = \frac{me}{c} \qquad (4)$$

La incertidumbre de h, considerando el coeficiente de determinación R^2está dado por:

$$\Delta h = \frac{e}{c}\Delta m = \frac{e}{c}m(1 - R^2) = h(1 - R^2) \qquad (5)$$

Calculamos el porcentaje error considerando $h_{teórico} = 6{,}626068957 \times 10^{-34}\ \mathrm{J.s}$

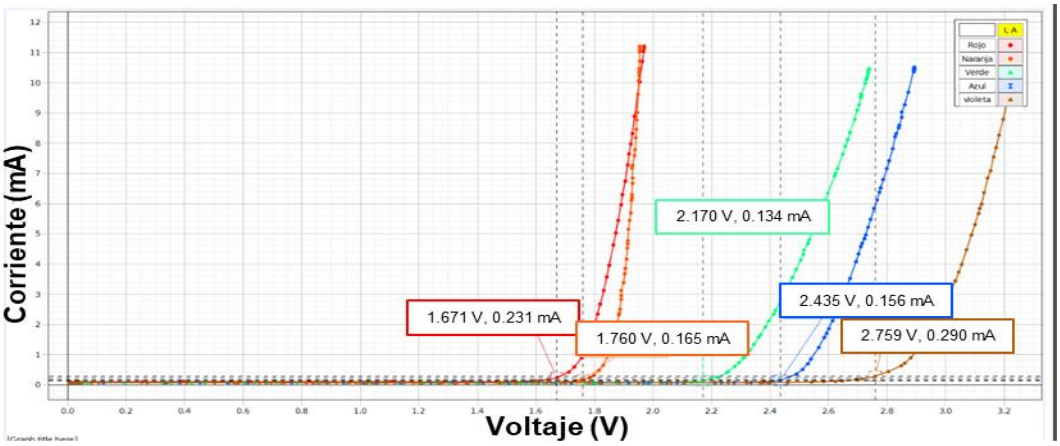
$$\%E = \left|\frac{h_{teórico} - h_{exp}}{h_{teórico}}\right| \times 100\% \qquad (6)$$

e. Análisis y resultados

Datos obtenidos mediante software capstone y usando la herramienta coordenada, se obtiene los voltajes de activación de cada LED, ver figura 55.

Figura 55

Gráfica I vs V indicando el voltaje de activación



Las mediciones de voltaje de activación Va se registran en la tabla 15.

Tabla 15

Tabla de datos para el experimento de la constante de Planck

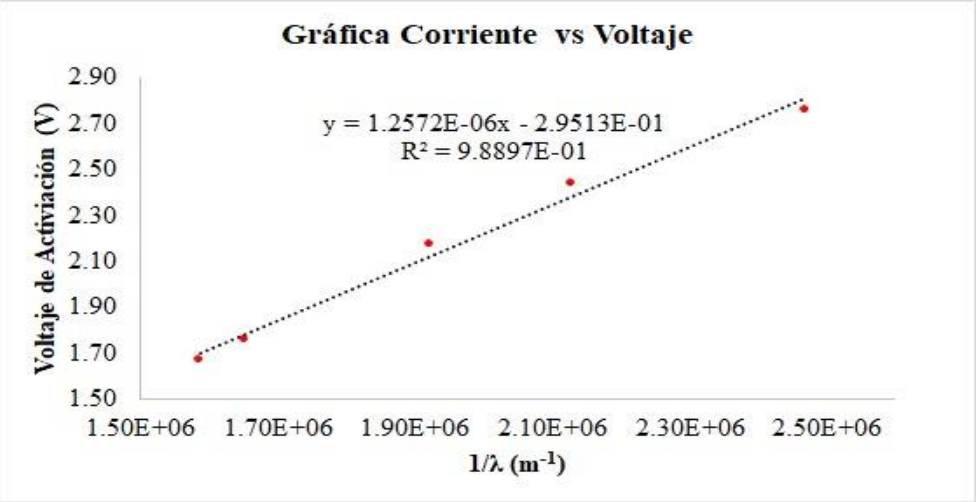
Color	Longitud de onda λ (nm)	1/λ (m^{-1})	Voltaje de activación (V)
Rojo	630	1,59E+06	1,671
NARANJA	605	1,65E+06	1,760
Verde	520	1,92E+06	2,170
Azul	470	2,13E+06	2,435
Violeta	405	2,47E+06	2,759

Nota. Fuente elaboración propia

Con la ayuda del programa Excel se construye la gráfica de la figura 56 (Voltaje de activación versus 1/λ) a partir de la tabla 15, y se obtiene su pendiente.

Figura 56

Gráfica voltaje de activación versus inversa longitud de onda



Pendiente, $m = 1{,}2572 \times 10^{-6}\ V.m$

Con la ecuación (4), se determina el valor de h

$$h = \frac{me}{c} = \frac{1{,}2572 \times 10^{-6}\ (1{,}6022 \times 10^{-19})}{2{,}9978 \times 10^{8}} = 6{,}72 \times 10^{-34}\ \text{J.s}$$

La incertidumbre de *h*, está dado por

$$\Delta h = h(1 - R^2)$$

$$\Delta h = 6{,}72 \times 10^{-34}(1 - 0{,}97780) = 0{,}07 \times 10^{-34}\ \mathrm{J.s}$$

La constante de Planck determinado

$$h \pm \Delta h = (6{,}72 \pm 0{,}07) \times 10^{-34}\ \mathrm{J.s}$$

considerando el valor de referencia $h_{teórico} = 6{,}626068957 \times 10^{-34}\ \mathrm{J.s}$

$$\%E = \left|\frac{h_{teórico} - h_{exp}}{h_{teórico}}\right| \times 100\%$$

$$\%E = \left|\frac{6{,}626068957 \times 10^{-34} - 6{,}72 \times 10^{-34}}{6{,}626068957 \times 10^{-34}}\right| \times 100\% = 1{,}4\%$$

El error porcentual obtenido indica que el resultado es confiable.

f. Conclusiones

- Se determinar la constante de Planck h usando diodos LED y sensores de voltaje y corriente obteniendo un valor con un error menor a 1%.
- Los sensores de voltaje nos permiten observar el comportamiento de la corriente en la LED en función del voltaje y en estas gráficas se determinó el voltaje de activación de cada LED.
- El análisis de gráficos en Excel nos permite determinar indirectamente la constante Planck.

Contraste entre la forma tradicional y el uso de la tecnología actual

Las principales ventajas de usar tecnología actual frente al método tradicional son:

- Al emplear la tecnología actual como los sensores de voltaje y corriente es posible realizar una gráfica I vs V de manera rápida y determinar el voltaje de activación de una LED.
- Este experimento requiere previamente caracterizar la longitud de onda de los LED.

5.8 LABORATORIO N°8: EQUILIBRIO TERMICO

Realizar este experimento requiere medir con precisión la temperatura del agua fría y agua caliente y la temperatura de la mezcla, usualmente para este fin se usa un termómetro de alcohol de amplio alcance de -10°C a 150°C cuya sensibilidad es 1°C esta mezcla se realiza en un calorímetro que usualmente posee capacidad calorífica despreciable. Para medir la masa del líquido se usa una balanza.

A continuación, presento la propuesta de realizar usando una sonde de temperatura conectado a una computadora.

a. Objetivos

- Determinar la temperatura de equilibrio de dos sustancias a diferentes temperaturas
- Determinar el calor ganado y perdido

b. Fundamento teórico

Según Sear Zemansky en su libro indica que el calor es la transferencia de energía a través de la frontera de un sistema debida a una diferencia de temperatura entre el sistema y sus alrededores, mientras que la energía interna es toda la energía de un sistema que se asocia con sus componentes microscópicos, átomos y moléculas.

El calor se mide en calorías (cal) y el equivalente mecánico del calor es $1\ \text{cal} = 4{,}186\ \text{J}$.

La temperatura es una medida de la energía cinética promedio de las partículas en un sistema. Se mide en grados Celsius (°C) o Kelvin (K). La temperatura es una propiedad que describe el estado térmico de un objeto o sustancia.

Un calorímetro es un dispositivo utilizado para medir la cantidad de calor absorbido o liberado por un sistema durante un proceso físico o químico. Al aislar el sistema del entorno, el calorímetro permite medir la transferencia de calor de manera

más precisa (Serway y Jewett, 2008).

Cuando dos sustancias con diferentes temperaturas iniciales se ponen en contacto térmico, el calor se fluye desde el objeto más caliente al más frío hasta que ambos alcancen la misma temperatura final y se alcance el equilibrio térmico. La sustancia de menor temperatura gana calor, mientras que la de mayor temperatura pierde calor.

El calor ganado o perdido por una sustancia se determina mediante la siguiente relación

$$Q = mc\Delta T \quad (1)$$

Donde

Q es el calor en (cal) o en (J)

m es la masa de la sustancia en (g) o (kg)

c es el calor específico en (cal/g°C) o en (J/kg.K)

$\Delta T = T_f - T_i$ es la variación de temperatura en (°C) o en (K)

Para una mezcla de agua fría y agua caliente sin considerar el calorímetro

$$Q_{frio} + Q_{caliente} = 0 \quad (2)$$

$$m_1 c\left(T_{eq} - T_1\right) + m_2 c\left(T_{eq} - T_2\right) = 0$$

Al ser ambas la misma sustancia (agua) tienen el mismo calor específico

$$T_{eq} = \frac{m_1 T_1 + m_2 T_2}{m_1 + m_2} \quad (3)$$

c. Materiales

- Interfaz universal 850 (UI-5000)
- PC con software Capstone
- Balanza de precisión Ohaus (sensibilidad 0,01 g)

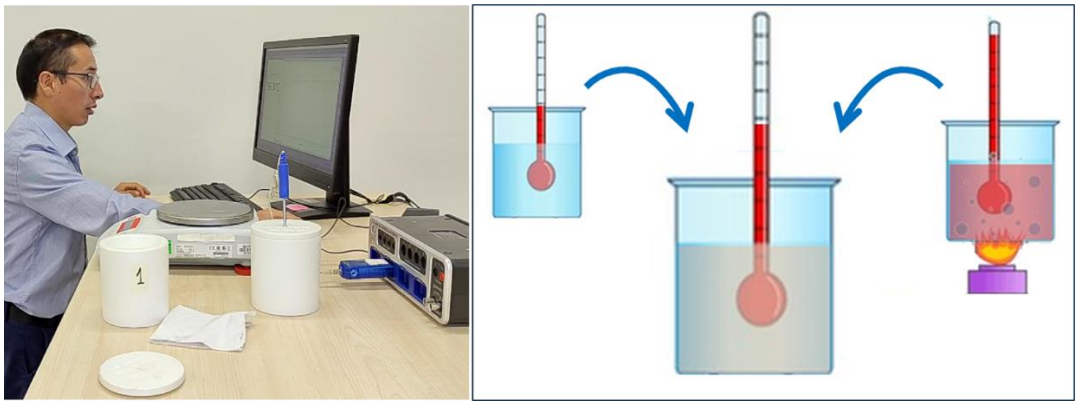
- Dos calorímetros
- Sensor de temperatura PASPORT (PS-2125)
- Una estufa
- Vaso de precipitado

d. Procedimiento

1. Conecte el sensor de temperatura al interfaz tal como se muestra en la figura 57.

Figura 57

Equipos para determinar el equilibrio térmico



2. Encienda la interfaz y configure en la opción datos de sensor, agregue la lectura digital para la temperatura, configure la frecuencia de muestreo a 2 Hz.
3. Mida la masa del calorímetro vacío y registre en la tabla 16.
4. Agregue cierta cantidad de agua a temperatura ambiente al calorímetro (se recomienda un aproximado de 150 ml)
5. Mida la masa del calorímetro con agua y registre en la tabla 16.
6. Determine la masa de agua agregado (diferencia de la masa del calorímetro con agua menos calorímetro vacío).
7. Coloque la sonda de temperatura en el vaso con agua fría y mida su temperatura
8. Coloque la sonda de temperatura en el vaso con agua caliente, espere que se estabilice y registre su temperatura
9. Agregue agua caliente al calorímetro que previamente tenía agua fría.

10. Coloque la sonda de temperatura en el calorímetro, esperar que se estabilice y registre su temperatura, esta temperatura de equilibrio.
11. Mida la masa total del calorímetro con agua fría y agua caliente, mediante la diferencia determine la masa de agua caliente.
12. Determine el porcentaje de error de la temperatura de equilibrio experimental y calculado.

e. Análisis y resultados

La temperatura de equilibrio para la mezcla de dos vasos con agua a diferentes temperaturas esta dado por la expresión de la ecuación (3).

$$T_{eq} = \frac{m_1 T_1 + m_2 T_2}{m_1 + m_2}$$

Masa de agua fría (menor temperatura)

$$\mathrm{m}_1 = \mathrm{m}_{\text{calorímetro + agua fria}} - \mathrm{m}_{\text{calorímetro}}$$

Incertidumbre de la balanza Δm

$$\Delta\mathrm{m}_1 = \Delta\mathrm{m}_{\text{calorímetro + agua fria}} + \Delta\mathrm{m}_{\text{calorímetro}}$$

$$\Delta\mathrm{m}_1 = 0{,}01 + 0{,}01$$

$$\Delta\mathrm{m}_1 = 0{,}02\ \mathrm{g}$$

Masa de agua caliente (mayor temperatura)

$$\mathrm{m}_2 = \mathrm{m}_{\text{calorímetro + agua fria + agua caliente}} - \mathrm{m}_{\text{calorímetro + agua fria}}$$

Incertidumbre de la masa de agua caliente

$$\Delta\mathrm{m}_2 = \Delta\mathrm{m}_{\text{calorímetro + agua fria + agua caliente}} + \Delta\mathrm{m}_{\text{calorímetro + agua fria}}$$

$$\Delta\mathrm{m}_2 = 0{,}01 + 0{,}01$$

$$\Delta\mathrm{m}_2 = 0{,}02\ \mathrm{g}$$

$$\Delta T = 0{,}1\ ^{\circ}\mathrm{C}$$

Las medidas obtenidas se muestran en la tabla 16.

Tabla 16

Datos de equilibrio térmico

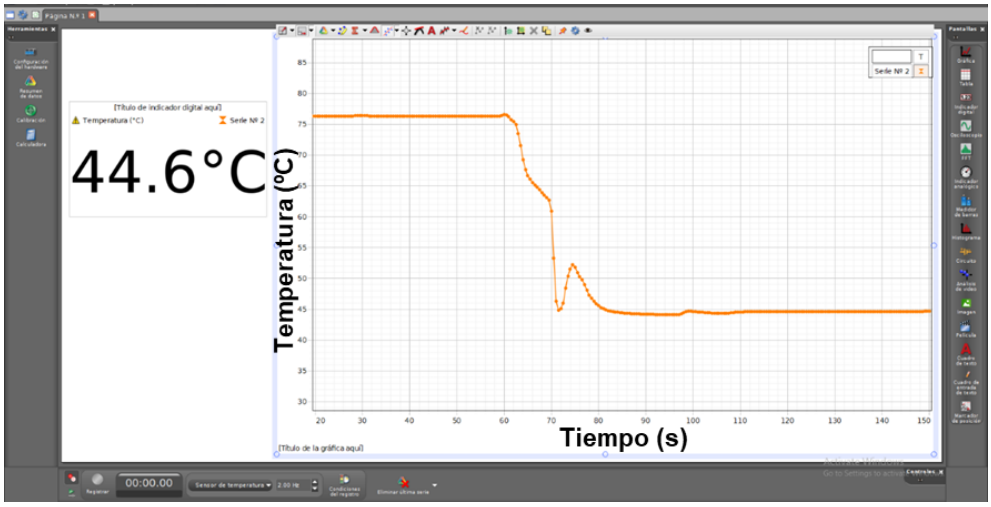
	Masa (g)	Temperatura (°C)
Calorímetro	15,04	
Calorímetro 1 + Agua fría	172,44	23,9
Calorímetro 1 + Agua fría + Agua caliente	278,04	76,3
Temperatura de Equilibrio (Experimental)		44,6

Nota: Elaboración propia

La temperatura es variable en la transición al estado de equilibrio, figura 58.

Figura 58

Temperatura de agua caliente y equilibrio



Se determinó el valor de temperatura de equilibrio, usando la formula

$$T_{eq} = \frac{m_1 T_1 + m_2 T_2}{m_1 + m_2}$$

$$T_{eq} = \frac{157{,}40 \times 23{,}9 + 105{,}60 \times 76{,}3}{157{,}40 + 105{,}60}$$

$$T_{eq} = 44{,}9\ °C$$

Incertidumbre de la temperatura de equilibrio

$$\Delta T_{eq} = T_{eq}\left(\frac{\Delta(m_1T_1 + m_2T_2)}{m_1T_1 + m_2T_2} + \frac{\Delta(m_1 + m_2)}{m_1 + m_2}\right)$$

$$\Delta T_{eq} = T_{eq}\left(\frac{m_1T_1\left(\frac{\Delta m_1}{m_1} + \frac{\Delta T_1}{T_1}\right) + m_2T_2\left(\frac{\Delta m_2}{m_2} + \frac{\Delta T_2}{T_2}\right)}{m_1T_1 + m_2T_2} + \frac{\Delta m_1 + \Delta m_2}{m_1 + m_2}\right)$$

$$\Delta T_{eq} = 44{,}94\left(\frac{157{,}40 \times 23{,}9\left(\frac{0{,}02}{157{,}40} + \frac{0{,}1}{23{,}9}\right) + 105{,}60 \times 76{,}3\left(\frac{0{,}02}{105{,}60} + \frac{0{,}1}{76{,}3}\right)}{157.40 \times 23.9 + 105.60 \times 76.3}\right.$$

$$\left. + \frac{0{,}02 + 0{,}02}{157{,}40 + 105{,}60}\right)$$

$$\Delta T_{eq} = 0{,}11445\ °C$$

$$\Delta T_{eq} = 0{,}1\ °C$$

La temperatura de equilibrio calculado es

$$T_{eq} = (44{,}9 \pm 0{,}1)\ °C$$

La tabla 17 resume los resultados obtenidos.

Tabla 17

Determinación de la temperatura de equilibrio

	Masa (g)	**Δm (g)**	**Temperatura (°C)**
Calorímetro	15,04	0,01	
Calorímetro 1 + Agua fría	172,44	0,01	
Calorímetro 1 + Agua fría + Agua caliente	278,04	0,01	
Masa agua fría (g)	157,40	0,02	23,9
Masa de agua caliente (g)	105,60	0,02	76,3
Temperatura de Equilibrio (Experimental)			44,6
Temperatura de Equilibrio (Calculado)			44,94
%Error			0,8%

Nota: Elaboración propia

Cálculo del calor ganado, ecuación (1).

$$Q = mc\Delta T$$

$$Q_1 = 157{,}40 \times 1{,}00 \times (44{,}6 - 23{,}9)$$

$$Q_1 = 3258{,}18 \text{ cal}$$

$$Q_1 = 3{,}26 \times 10^3 \text{ cal}$$

Calor perdido

$$Q_2 = 105{,}60 \times 1{,}00 \times (44{,}6 - 76{,}3)$$

$$Q_2 = -3347{,}52 \text{ cal}$$

$$Q_2 = 3{,}35 \times 10^3 \text{ cal}$$

Se determinó la temperatura de equilibrio con error del 0,8% respecto al calculado.

Se calculó el calor ganado y perdido por el sistema, siendo estos resultados similares.

Contraste entre la forma tradicional y el uso de la tecnología actual

La principal ventaja de usar tecnología actual frente al método tradicional es que al emplear la tecnología se logra medir la temperatura con mayor precisión y monitorear la evolución del sistema en tiempo real.

5.9 LABORATORIO N°9: CALOR ESPECÍFICO DE UN METAL

Determinar el calor especifico de un material sólido requiere determinar la capacidad calorífica del calorímetro usado. Para lo cual se mide la temperatura del agua frio, la temperatura del agua caliente y la temperatura de la mezcla. En un siguiente paso se coloca agua fría en el calorímetro y se coloca un bloque metálico previamente calentado a agua. Este experimento requiere medir con precisión la masa y temperatura, para este fin se suele usar una balanza y termómetro analógico, cuya sensibilidad

generalmente es 1°C (UNI-FC, 2009).

Continuación presento la propuesta de realizar usando el sensor de temperatura y una balanza analítica.

a. Objetivos

- Determinar el calor específico de un metal.
- Medir la temperatura de equilibrio térmico

b. Fundamento teórico

El calor especifico de un material es la cantidad de calor que se debe suministrar a un material para que un gramo de dicha sustancia aumente su temperatura en 1 °C. A partir de la relación

$$Q = mc\Delta T \quad (1)$$

Donde

Q es el calor en (cal) o en (J)

m es la masa de la sustancia en (g) o (kg)

c es el calor específico en (cal/g°C) o en (J/kg.K)

$\Delta T = T_f - T_i$ es la variación de temperatura en (°C) o en (K)

En este experimento se tienen agua a temperatura ambiente en un calorímetro y un cilindro de metal dentro de un recipiente con agua a temperatura superior. Se coloca el metal dentro del calorímetro con agua fría y se mide la temperatura de equilibrio (Serway y Jewett, 2008).

Gráfica de un cilindro metálico colocado en agua

$$Q_{agua} + Q_{metal} = 0 \quad (2)$$

$$m_{agua}c_{agua}\left(T_{eq} - T_1\right) + m_{metal}c_{metal}\left(T_{eq} - T_2\right) = 0$$

$$c_{metal} = -\frac{m_{agua} c_{agua} (T_{eq} - T_1)}{m_{metal} (T_{eq} - T_2)} \quad (3)$$

c. Materiales

- Interfaz universal 850 (UI-5000)
- PC con software Capstone
- Balanza de precisión Ohaus (sensibilidad 0,01 g)
- Dos calorímetros
- Dos sensores de temperatura PASPORT (PS-2125)
- Una estufa
- Vaso de precipitado
- Soporte universal con varilla y nuez
- Cuerda delgada para sujetar el cilindro metálico
- Cilindro de cobre, aluminio y latón

d. Procedimiento

1. Conecte los sensores de temperatura al interfaz tal como se muestra en la figura 59.

Figura 59

Equipos para determinar el calor específico

2. Encienda la interfaz y configure en la opción datos de sensor, agregue las lecturas digitales para la temperatura, configure la frecuencia de muestreo a 2 Hz.
3. Coloque el cilindro de metal en el soporte universal colgando de la varilla hasta que se sumerja completamente, y coloque la sonda de temperatura.
4. Mida la masa del calorímetro vacío y registre en la tabla
5. Agregue cierta cantidad de agua a temperatura ambiente al calorímetro (se recomienda un aproximado de 150 ml)
6. Mida la masa del calorímetro con agua y registre en la tabla 18
7. Determine la masa de agua agregado (diferencia de la masa del calorímetro con agua menos la masa del calorímetro vacío).
8. Coloque la sonda de temperatura en el calorímetro con agua fría y mida su temperatura. No retire la sonda.
9. Retire el cilindro del agua caliente y sumerja completamente en el primer calorímetro con agua
10. Agite suavemente el agua y mida la temperatura en el momento que alcance su máximo valor.
11. Determine el calor específico y el porcentaje de error experimental y calculado.

e. Análisis y resultados

Se ha elegido tres metales: Cobre, aluminio y latón para los cuales se determina el calor especifico. Usando una balanza se determina la masa de cada cilindro, los valores medidos se muestran en la tabla 18. Además, se muestra el calor específico referencial facilitado por el fabricante.

Tabla 18

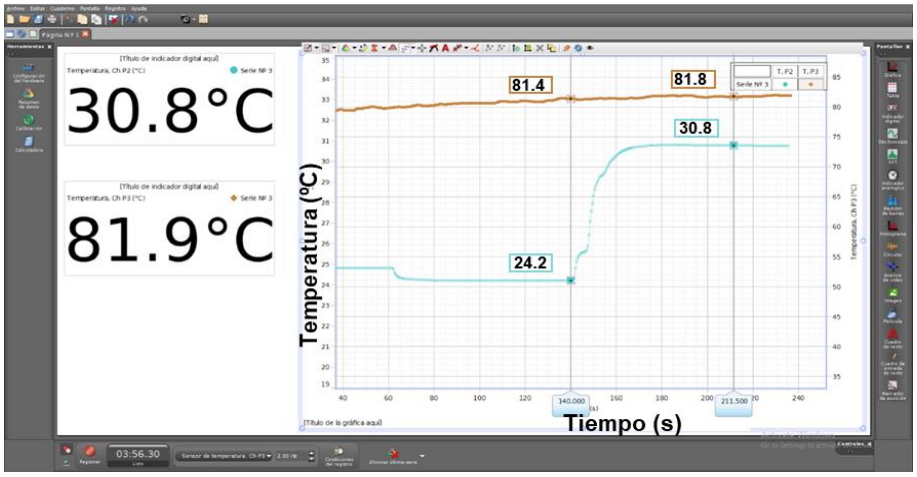
Calores específico referencial

Metal	Masa (g)	Ce referencial (cal/g°C)
Aluminio	66,64	0,215
Cobre	188,68	0,0923
Latón	207,70	0,0920

La figura 60 muestra el comportamiento de la temperatura del agua fría al colocar el cilindro de cobre que se encuentra a mayor temperatura.

Figura 60

Temperatura de equilibrio del agua y cobre



Se termina el calor específico del metal mediante la siguiente relación implementada en Excel, considerando el calor especifico del agua igual a 1,00 cal/g°C

$$c_{metal} = -\frac{m_{agua}c_{agua}(T_{eq} - T_1)}{m_{metal}(T_{eq} - T_2)}$$

Calculamos el porcentaje error

$$\%E = \left|\frac{\mathrm{c}_{\mathrm{referencial}} - \mathrm{c}_{\mathrm{experimental}}}{\mathrm{c}_{\mathrm{referencial}}}\right| \times 100\% \quad (4)$$

A continuación, en las tablas del 19 al 22, se detallan las mediciones para determinar el calor especifico del cobre, aluminio y latón.

Tabla 19

Calor específico experimental del cobre

Material: Cobre	Masa (g)	Temperatura (°C)
Calorímetro	15,68	
Calorímetro 1 + Agua fría	136,73	
Masa agua fría (g)	121,05	24,2
Masa metal (g)	188,68	80,6
Temperatura de Equilibrio (°C)		30,8
Ce agua (cal/g°C)		1,00
Ce metal experimental (cal/g°C)		0,0850
Ce metal referencial (cal/g°C)		0,0923
%Error		7,9%

Tabla 20

Calor específico experimental del cobre, ensayo 2

Material: Cobre	Masa (g)	Temperatura (°C)
Calorímetro	15,74	
Calorímetro 1 + Agua fría	136,36	
Masa agua fría (g)	120,62	24,6
Masa metal (g)	188,68	76,0
Temperatura de Equilibrio (°C)		30,7
Ce agua (cal/g°C)		1,00
Ce metal experimental (cal/g°C)		0,0861
Ce metal referencial (cal/g°C)		0,0923
%Error		6,7%

Tabla 21

Calor específico experimental del aluminio

Material: Aluminio	Masa (g)	Temperatura (°C)
Calorímetro	15,04	
Calorímetro 1 + Agua fría	149,62	
Masa agua fría (g)	134,58	24,6
Masa metal (g)	66,64	83,3
Temperatura de Equilibrio (°C)		29,9
Ce agua (cal/g°C)		1,00
Ce metal experimental (cal/g°C)		0,2004
Ce metal referencial (cal/g°C)		0,215
%Error		6,8%

Tabla 22

Calor específico experimental del latón

Material: Latón	Masa (g)	Temperatura (°C)
Calorímetro	15,7	
Calorímetro 1 + Agua fría	149,00	
Masa agua fría (g)	133,3	24,5
Masa metal (g)	207,70	82,9
Temperatura de Equilibrio (°C)		31,3
Ce agua (cal/g°C)		1,00
Ce metal experimental (cal/g°C)		0,0846
Ce metal referencial (cal/g°C)		0,0920
%Error		8,1%

Se determinó el calor especifico del cobre, aluminio y latón obteniendo los siguientes resultados: $c_{cu} = 0{,}0850 \frac{\text{cal}}{\text{g°C}}$ en el segundo ensayo $c_{cu} = 0{,}0861 \frac{\text{cal}}{\text{g°C}}$ cuyos porcentaje de error son del 7,9 % y 6,7 %, el calor específico del aluminio es $c_{Al} = 0{,}2004 \frac{\text{cal}}{\text{g°C}}$ con un error de 6,8 % , mientras que el calor específico del latón es $c_{latón} = 0{,}0846 \frac{\text{cal}}{\text{g°C}}$ cuyo error es del 8,1%

Contraste entre la forma tradicional y el uso de la tecnología actual

La principal ventaja de usar tecnología actual frente al método tradicional es que al emplear la tecnología actual como el sensor de temperatura y balanza analítica, nos permite medir la temperatura y masa con alta precisión lo cual se refleja en el resultado de calor especifico calculado.

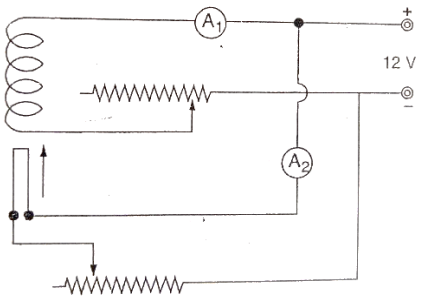
5.10 LABORATORIO N°10: CAMPO MAGNÉTICO DE UN SOLENOIDE

Tradicionalmente este experimento se realiza usando una bobina o solenoide por el cual se hace circular una corriente eléctrica que es regulado mediante los reóstatos. Para medir la corriente eléctrica se suele usar un multímetro en modo amperímetro y

para medir el campo magnético se usa la idea de una balanza magnética que consiste en un conductor en forma de U por cual se hace pasas otra corriente menor a la corriente en el solenoide, ver figura 61. Al circular ambas corrientes, el conductor en forma de U experimenta una fuerza magnética. Medir esta fuerza nos permite determinar indirectamente el campo magnético generado la bobina. Se realiza una gráfica de B en función de la corriente para estudiar su tendencia (UNI-FC, 2009).

Figura 61

Diagrama para determinar B en una bobina usando una balanza



Nota: Tomado del manual de prácticas de laboratorio de física FC-UNI

A continuación, presento la propuesta de realizar este experimento usando tecnología actual.

a. Objetivos

- Determinar el número de espiras de un solenoide.
- Medir el campo magnético en el interior de un solenoide.

b. Fundamento teórico

El campo magnético es una descripción matemática para explicar el comportamiento de una fuerza magnética. Los campos magnéticos son producidos por corrientes eléctricas y los materiales magnéticos como los imanes.

Un solenoide es un alambre conductor largo enrollado en forma de espiras. Al circular una corriente eléctrica a través del solenoide, se genera un campo magnético en

su alrededor. El campo magnético en el interior del solenoide se puede determinar haciendo uso de la ley de Ampere (Young y Freedman, 2009).

$$\oint \vec{B}.d\vec{l} = \mu_o I_{enc} \quad (1)$$

Donde

$\oint \vec{B}.d\vec{l}$ representa la circulación del campo magnético a lo largoi de una trayectoria cerra

μ_o es la permeabilidad magnética del vacío ($4\pi \times 10^{-7} \frac{T.m}{A}$)

I_{enc} es la corriente neta que atraviesa al camino encerrado

Para un solenoide ideal de longitud grande L, con N espiras muy juntas, por el que circula una corriente I, el campo magnético en su interior es aproximadamente uniforme y está dado por la fórmula:

$$B = \frac{\mu_0 N}{L} I \quad (2)$$

c. Materiales

- Interfaz universal 850 (UI-5000)
- PC con software Capstone
- 1 solenoide largo
- 1 fuente de voltaje DC
- 1 soporte universal con nuez y varilla
- 1 sensor de campo magnético (CI-6520A)
- 1 sensor de corriente (CI-6556) (sensibilidad 5 mA)
- 1 Resistencia de 20,0 Ω
- 4 cables de conexión

d. Procedimiento

1. Arme los equipos tal como se muestra en la figura 62 y figura 63.

Figura 62

Equipos para determinar el campo magnético en un solenoide

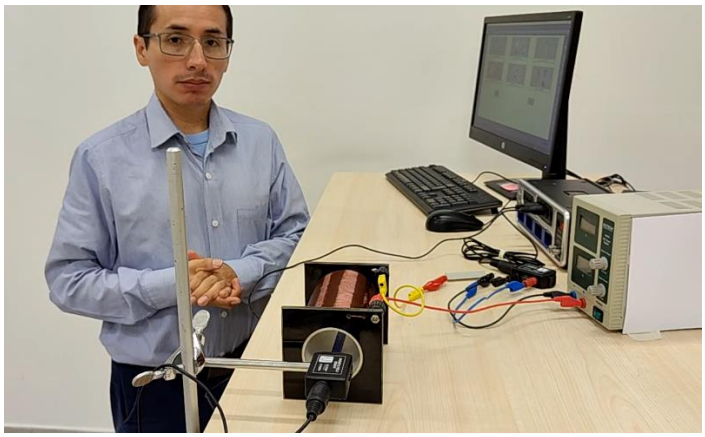
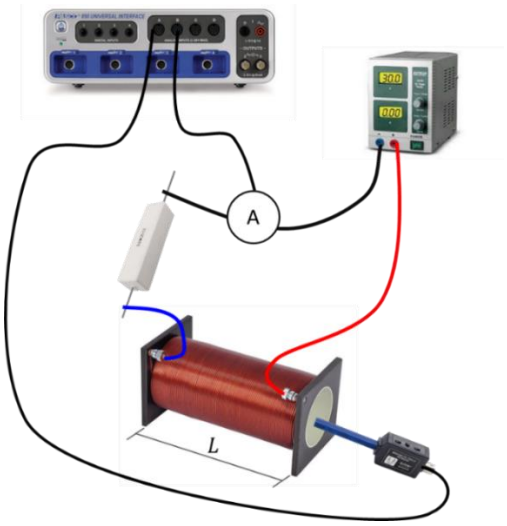


Figura 63

Circuito de conexión para determinar B



2. Usando una regla milimétrica mida la longitud L de la espira.
3. Encender la interfaz y configurar los sensores de corriente y campo magnético. Configure para que realice una gráfico B vs I y la frecuencia de muestreo común coloque en 2 Hz.
4. El campo magnético configure en la escala 10X.

5. Realice una lectura previa del campo magnético y apriete el botón de reseteo (tare)
6. Encender la fuente de voltaje y subir el voltaje gradualmente mientras registra los datos B y I. Debe tener cuidado que la corriente máxima no supere los 1,50 A
7. Realice el ajuste lineal y determine la pendiente.
8. Determine el número de espiras

e. Análisis

Las medidas registradas de B y I se muestran una dependencia lineal, según la ecuación (2) y comparando con la ecuación de la recta, se tiene:

$$B = \frac{\mu_0 N}{L} I$$

$$y = mx + b \quad (3)$$

La pendiente es

$$pendiente = m = \frac{\mu_0 N}{L}$$

El número de vueltas

$$N = \frac{m.L}{\mu_o} \quad (4)$$

La incertidumbre del número de vueltas es

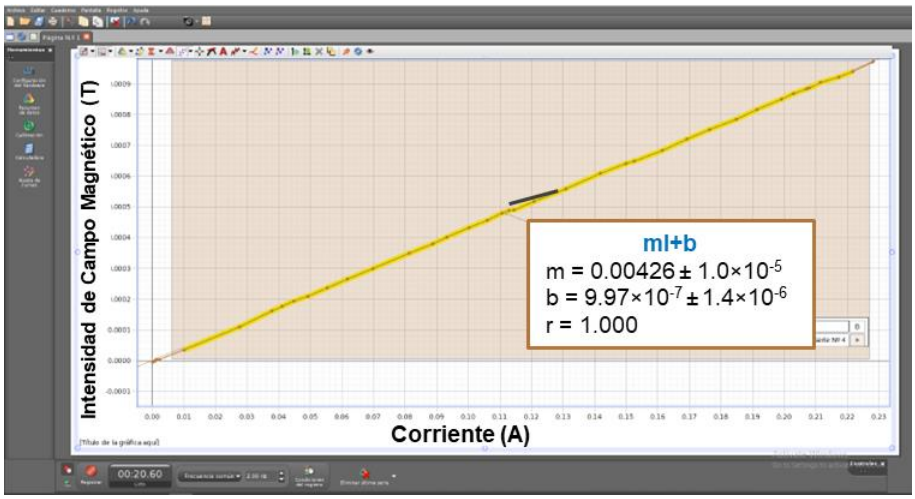
$$\Delta N = N\left(\frac{\Delta \mathrm{m}}{m} + \frac{\Delta \mathrm{L}}{L}\right)$$

$$\Delta N = N\left(1 - R^2 + \frac{\Delta \mathrm{L}}{L}\right) \quad (5)$$

Las medidas del campo B vs I se muestran en la figura 64

Figura 64

Campo B versus I en un solenoide



De la gráfica se observa, la pendiente es

$$m = 0{,}00426\frac{T}{A}$$

Y el coeficiente de determinación es $R^2 = 1{,}00$

La longitud del solenoide

$$L = 13{,}40\ \text{cm} = 0{,}1340\ \text{m}$$

Incertidumbre del instrumento

$$\Delta L = 0{,}5\ \text{mm} = 0{,}0005\ \text{m}$$

Cálculo de N

$$N = \frac{0{,}00426 \times 0{,}1340}{4\pi \times 10^{-7}}$$

$$N = 454\ \text{vueltas}$$

Incertidumbre de N

$$\Delta N = N\left(1 - R^2 + \frac{\Delta \text{L}}{L}\right)$$

$$\Delta N = 454\left(1 - 1^2 + \frac{0{,}0005}{0{,}1340}\right)$$

$$\Delta N = 2 \text{ vueltas}$$

El número de vueltas del solenoide es

$$N + \Delta N = (454 \pm 2) \text{ vueltas}$$

f. Resultados

Se determinó el número de vueltas del solenoide de manera indirecta resultando (454 ± 2) vueltas.

Se midió, en tiempo real, el campo magnético en el interior del solenoide producido por el paso de la corriente.

Contraste entre la forma tradicional y el uso de la tecnología actual

Las principales ventajas de usar tecnología actual frente al método tradicional son:

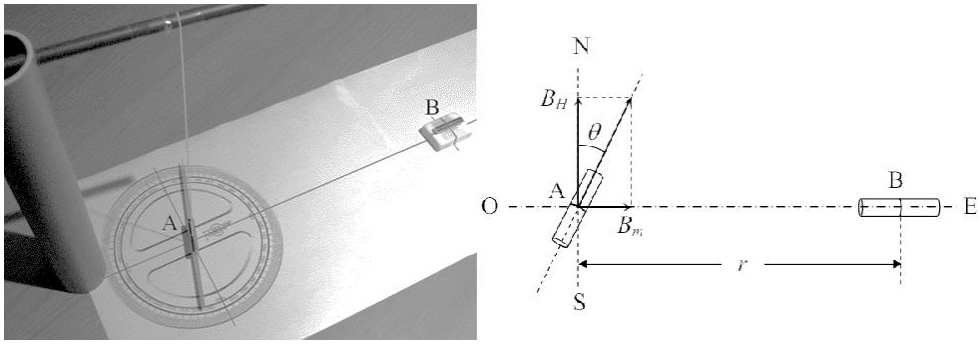
- Al emplear la tecnología actual como los sensores de campo magnético y sensor de corriente es posible realizar la gráfica de B versus I de manera rápida y precisa.
- Se reduce los errores asociados a las mediciones del campo magnético.
- El campo magnético se mide directamente.

5.11 LABORATORIO N°11: CAMPO MAGNETICO DE UN IMAN

Tradicionalmente realizar este experimento permite determinar con que potencia de la distancia decrece el campo gravitatorio de un imán en forma de barra pequeño. Para tal fin, se colocan un imán suspendido de una cuerda, que a su vez está sostenido por un tubo de PVC. Debajo de este imán se coloca un transportador, ver figura 65. El imán funciona como una brújula. El imán se alinea con el campo magnético terrestre en ausencia de otros imanes. Un segundo imán inicialmente muy lejos se va acercando y se mide el ángulo de desviación θ y la distancia r. Este procedimiento se repite varias veces y se pude determinar el valor del exponente de la distancia r.

Figura 65

Campo magnético de un imán



Nota: tomado de Google Real sociedad española de física https://rsef.es/images/Problemas/OEF2007/P-EXPERIMENTAL-OEF-2007.pdf

A continuación, presento la propuesta de realizar este experimento usando tecnología actual.

a. Objetivos

- Determinar el exponente “n” de la dependencia del campo magnético con la distancia.
- Medir el campo magnético de un imán.

b. Fundamento teórico

El magnetismo es una propiedad de ciertos minerales como la magnetita de atraer el hierro, níquel o cobalto mediante campos magnéticos. Esta interacción entre dichos minerales se denomina fuerza magnética.

El imán es un cuerpo magnetizado, también llamado dipolo magnético, este presenta dos polos magnéticos que se representa con las letras N y S. El campo producido

Un imán permanente es un dipolo magnético y el campo magnético producido en un punto a una distancia r del imán, tienen la forma.

$$B = \frac{k}{r^n} \quad (1)$$

Para determinar el exponente n, se toma logaritmo en cada lado de la igualdad

$$\ln B = \ln k - n.\ln r \quad (2)$$

Se realiza una gráfica $\ln B$ vs $\ln r$, la pendiente representa el valor de "-n"

c. Materiales

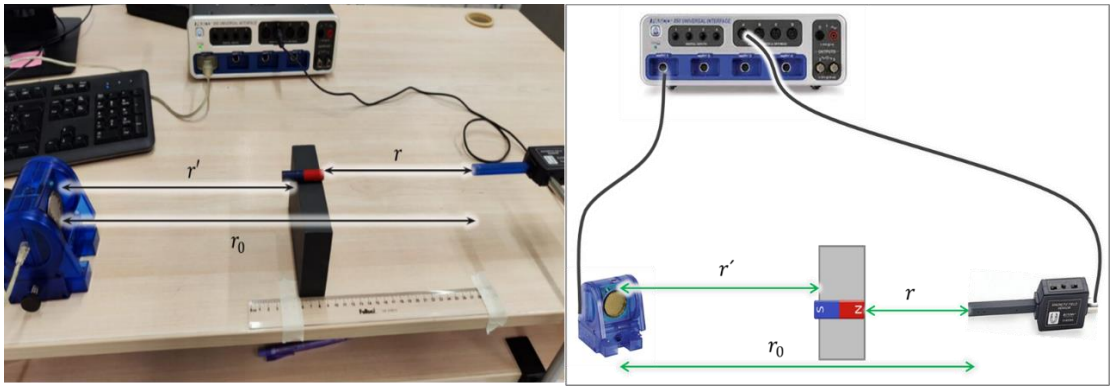
- Interfaz universal 850 (UI-5000)
- PC con software Capstone
- 1 imán permanente pequeño
- 1 sensor de campo magnético (CI-6520A)
- 1 sensor de movimiento (PS-2103A)
- 1 regla milimétrica
- 1 caja de soporte con superficie plana

d. Procedimiento

1. Arme los equipos tal como se muestra en la figura 66.

Figura 66

Equipos para medir el B de un imán (foto y esquema)



2. Se recomienda colocar una caja sobre el cual se coloca el imán. El sensor de movimiento registrará la posición de la cara de la caja.

3. Encienda la interfaz y configure los sensores y la frecuencia de muestreo elija 2 Hz
4. Aleje el imán del sensor de campo magnético, encienda la interfaz y mida el campo magnético. Luego apriete el botón tare.
5. La caja debe moverse tocando a la regla que se encuentra pegada a la mesa
6. Sin colocar el imán encima de la caja, acerque la caja al sensor de campo magnético hasta tocar, marque en la caja con un lápiz la posición del sensor y registre la posición de la caja, esta medida representa r_o.
7. En la calculadora del programa coloque r restando $r_o - posicion\ x\ (sensor)$, este representa la separación del extremo de la caja del sensor.
8. En la calculadora configure para obtener ln(B) y ln(r) y escoja la gráfica ln(B) vs ln(r)
9. Coloque la caja a unos 15 cm de distancia y coloque el imán encima en la marca previamente realizada en el paso 6, apriete registrar en el capstone y acerque la caja suavemente hacia el sensor de campo magnético, tener cuidado de no acercarse más de 2,00 cm
10. En la gráfica ln(B) vs ln(r) obtenga la pendiente y determine el valor de “n”.

e. Análisis

La dependencia del campo magnético B respecto a la distancia r de la ecuación (1) es

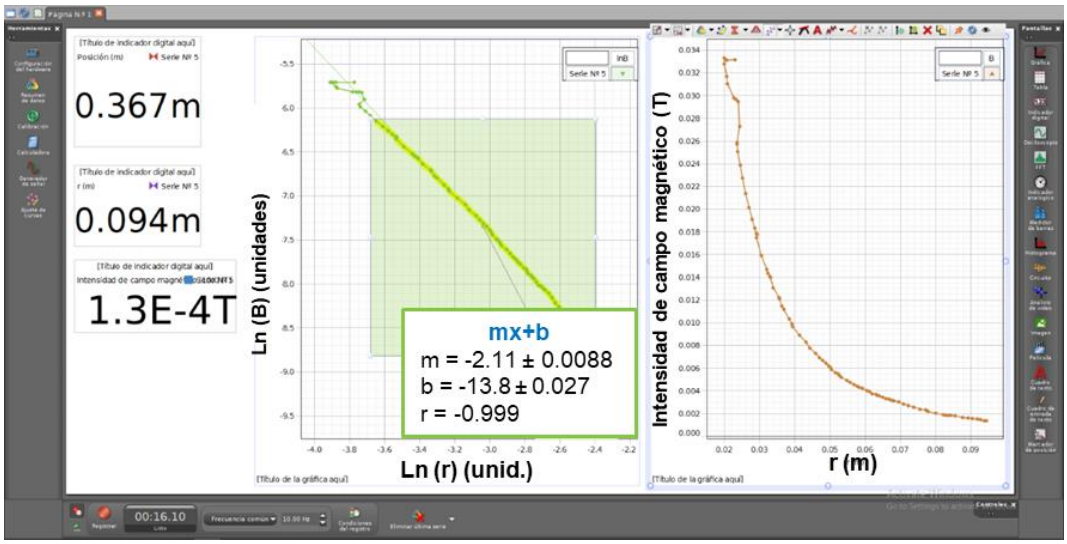
$$B = \frac{k}{r^n}$$

Para una fuente de campo de dimensiones pequeño esta dependencia es $n = 2$, se debe tener cuidado que el campo magnético cuando está muy cerca a la fuente, las dimensiones de la fuente influyen significativamente y el valor de n no es 2. Y en longitudes grandes el campo magnético terrestre es notorio.

La siguiente figura 67 muestra la gráfica Ln(B) versus Ln(r) en el lado izquierdo y la dependencia de B respecto a r en el lado derecho.

Figura 67

Campo B en función de r producido por un imán



De la figura 67, gráfica Ln (B) vs Ln(r), comparando el ajuste lineal se calcula n

$$-n = pendiente$$

$$n = -pendiente$$

$$n = -(-2{,}11) = 2{,}11$$

Incertidumbre de n

$$\Delta n = n(1 - R^2)$$

$$\Delta n = 2{,}11(1 - 0{,}999^2)$$

$$\Delta n = 0{,}00421 = 0{,}00$$

El valor de n es

$$\mathrm{n} \pm \Delta n = (2{,}11 \pm 0{,}00)$$

Calculamos el porcentaje error considerando $n_{teórico} = 2$

$$\%E = \left|\frac{n_{teórico} - n_{exp}}{n_{teórico}}\right| \times 100\%$$

$$\%E = \left|\frac{2 - 2{,}11}{2}\right| \times 100\%$$

$$\%E = 5{,}5\%$$

f. Resultados

Se determinó el valor n que representa el tipo de relación del campo magnético B en función de la distancia r, el resultado obtenido fue $n = 2{,}11$ que representa un error del 5,5%

Se midió el campo magnético producido por el imán en diferentes distancias y puede aproximarse al modelo:

$$B = \frac{k}{r^{2{,}11}}$$

Contraste entre la forma tradicional y el uso de la tecnología actual

Las principales ventajas de usar tecnología actual frente al método tradicional son:

- Al emplear la tecnología actual como el sensor de campo magnético, se puede medir con mayor facilidad y precisión el campo magnético del imán en la dirección radial.
- El uso del sensor de posición permite medir la distancia de imán al sensor de campo magnético en tiempo real.
- Se logra analizar con mayor facilidad el comportamiento del campo magnético del imán en función de la distancia.
- Se reduce el error en la medición del campo magnético.

5.12 LABORATORIO N°12: LEY DE FARADAY

Tradicionalmente este experimento se realiza usando una bobina, un imán y un multímetro en modo amperímetro y en ocasiones un galvanómetro que generalmente son analógico, ver figura 68. El imán se acerca ala bobina y luego se aleja mientras el amperímetro registra la corriente en la bobina. Otra opción es cuando la bobina está en un tubo, el imán se deja pasar por su interior y se observa la variación de la corriente en la bobina.

Figura 68

Experimento de la ley de Faraday

Nota: Tomado de Google https://www.ib.edu.ar/images/beca_ib_alum_niv_medio/trabajos/2007/LopezL.PDF

A continuación, presento la propuesta de realizar este experimento usando tecnología actual.

a. Objetivos

- Describir cualitativamente la ley de Faraday observando la fem inducida en una bobina.
- Medir la fem en una bobina.
- Obtener el sentido de la corriente en una bobina.

b. Fundamento teórico

Michael Faraday (1791-1867) científico inglés estudió el electromagnetismo y

entre sus principales descubrimientos incluye la inducción electromagnética, más conocido como ley de Faraday.

Ley de inducción de Faraday

El experimento de Faraday consiste básicamente en acercar un imán a una espira y usando un amperímetro se mide la corriente en una dirección en la bobina, al detener el imán instantáneamente la corriente es nula y al alejar el imán de la espira se registra corriente en dirección opuesta a la inicial.

La ley de inducción de Faraday establece una relación entre la variación del campo magnético en el tiempo y la *fem* inducida en una bobina de N espiras (Young y Freedman, 2009).

$$\varepsilon = -N\frac{d\Phi_B}{dt} \quad (1)$$

Donde ε es la fem inducida en la bobina y el flujo magnético es

$$\Phi_B = \oint \vec{B}.d\vec{A} \quad (2)$$

Al acercar el imán a la bobina el área se mantiene constante, pero el campo magnético varia en el tiempo.

c. Materiales

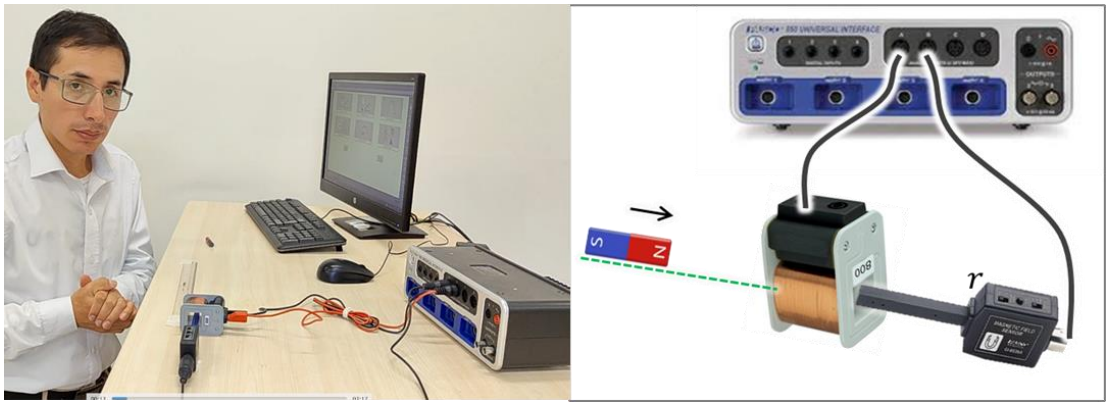
- Interfaz universal 850 (UI-5000)
- PC con software Capstone
- 1 bobina de 800 vueltas SF-8611
- 1 imán permanente pequeño
- 1 sensor de campo magnético (CI-6520A)
- 1 sensor de voltaje (UI-5100)

d. Procedimiento

1. Arme los equipos tal como se muestra en la figura 69.

Figura 69

Equipos para el experimento de Ley de Faraday (foto y esquema)



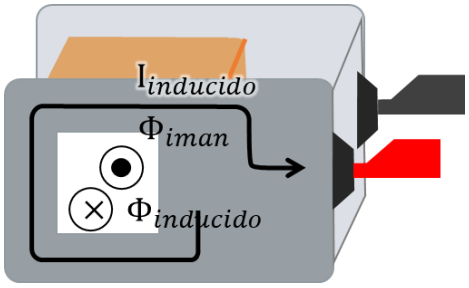
2. En el capstone escoja datos de sensor y configure el gráfico campo magnético, B versus tiempo, t (s) y debajo elija el voltaje de la bobina versus el tiempo.
3. Configure la frecuencia de muestreo en 100 Hz.
4. Aleje el imán del sensor y calibre el sensor de campo magnético apretando el botón tare, también calibre el sensor de voltaje en el programa capstone apretando el 0 al lado de la frecuencia de muestreo. Debe observar en la gráfica los datos alineados en cero.
5. Coloque el sensor de campo centrado en el interior de la bobina.
6. En el programa capstone apriete registrar mientras acerca el imán hacia la bobina con el polo norte apuntado hacia la bobina luego aleje el imán.
7. Mientras continúa registrando los datos acerque el imán, esta vez con el polo sur apuntado a la bobina y luego aleje.
8. En el programa capstone apriete el botón detener.

e. Análisis

Según la ley de Faraday y Lenz al cambiar el flujo magnético en el interior de una espira se induce una fem, cuya dirección de corriente es de acuerdo a la regla de la mano derecha contrarrestado la variación de flujo inicial, ver figura 70. En este caso, la corriente en la bobina es en sentido horario.

Figura 70

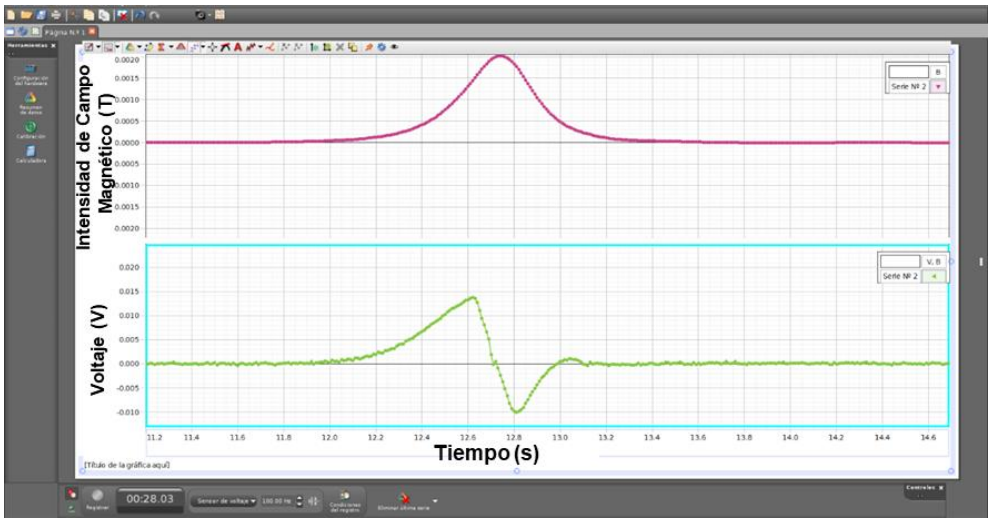
Sentido de la corriente en la bobina utilizada



La medida en el tiempo del campo B en el interior de la bobina y la medida del voltaje inducido se muestran en la figura 71, mientras se acerca el imán con el polo norte hacia la bobina.

Figura 71

B de un imán con el polo norte apuntado hacia la bobina y fem inducido



Al acercase el imán hacia la bobina, el flujo aumenta, sin embargo, esa variación aumenta y conforme se va deteniendo el imán la variación de flujo aumento, pero lentamente, por esta razón se observa en la gráfica voltaje versus tiempo el primer pico positivo.

Cuando se ha acercado lo máximo el imán a la bobina, se detiene instantáneamente aquí el campo registrado es máximo, mientras que el voltaje inducido

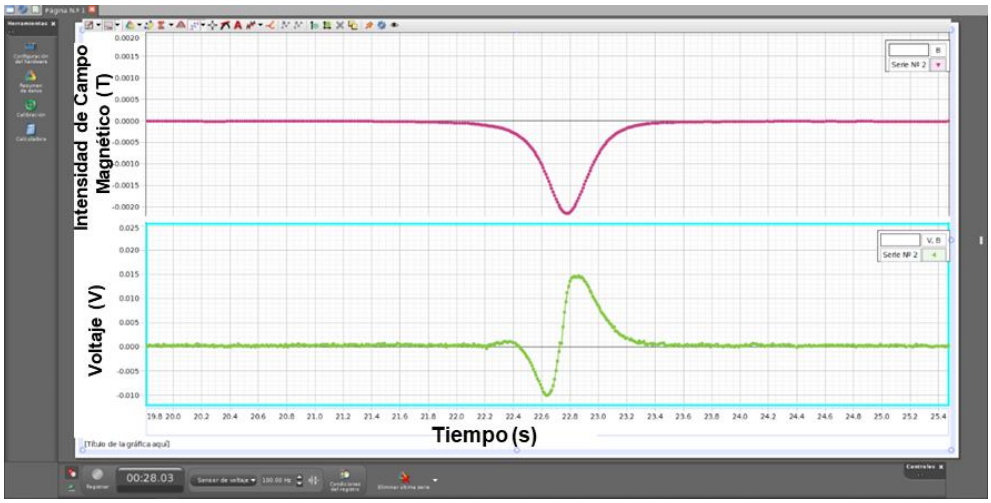
es cero.

Al alejar el imán de la bobina, el flujo magnético disminuye induciéndose una corriente, pero en dirección contraria a la inicial. Luego el campo prácticamente se hace nula en consecuencia el voltaje inducido es nulo.

Al acercar el imán con el polo sur hacia a la bobina, el campo magnético es negativo, mientras que el voltaje inducido en la bobina tiene un comportamiento opuesto a la inicial, ver figura 72.

Figura 72

B de un imán con el polo sur apuntado hacia la bobina y fem inducido



f. Resultados

Al acercar un imán a una bobina, en la bobina se induce un voltaje en sus extremos, cumpliéndose la ley de Faraday.

El sentido de la corriente inducida es de acuerdo con la regla de la mano derecha.

Contraste entre la forma tradicional y el uso de la tecnología actual

Las principales ventajas de usar tecnología actual frente al método tradicional son:

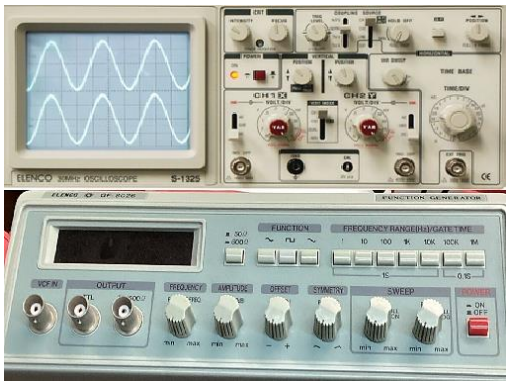
- Al usar el sensor de campo magnético, se mide el campo magnético del imán con mayor facilidad y precisión en tiempo real.
- El uso del sensor de voltaje permite medir la *f.e.m.* producida en la bobina en tiempo real y a una alta tasa de muestreo.
- Los datos registrados se analizan con mayor facilidad en una gráfica de voltaje versus tiempo.

5.13 LABORATORIO N°13: CARGA Y DESCARGA DE UN CAPACITOR

Tradicionalmente este experimento requiere el uso de un osciloscopio, un generador de funciones y un circuito RC, ver figura 73. El circuito RC se alimenta con una función cuadrada positiva y en el osciloscopio se visualiza el voltaje en el capacitor que es proporcional a la carga en el capacitor y el voltaje en el resistor que es proporcional a la corriente. Usando un multímetro se mide el valor de la resistencia. En el osciloscopio se mide τ, que es el tiempo cuando la corriente cae a un 36,8% de su valor inicial y se puede determinar el valor de la capacitancia (UNI-FC, 2009).

Figura 73

Osciloscopio y generador de funciones



Nota: Adaptado de Google [osciloscopio elenco S-1325 - Buscar con Google]

A continuación, presento la propuesta de realizar este experimento usando tecnología actual.

a. Objetivos

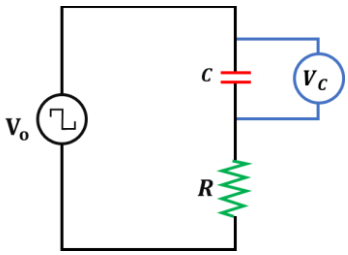
- Determinar el tiempo de vida media en el circuito RC
- Medir el voltaje en función del tiempo de la carga y descarga del capacitor

b. Fundamento teórico

Un capacitor o condensador eléctrico es un dispositivo electrónico que se usa para almacenar en forma de carga, en un campo eléctrico entre placas. Esta energía se puede liberar de manera rápida durante la descarga del capacitor. La figura 74, muestra el circuito básico RC para la carga y descarga del capacitor.

Figura 74

Circuito RC serie



Los condensadores presentan una característica denominado capacitancia, C la cual representa la cantidad de carga, Q almacenada en el dispositivo y el voltaje, V que lo causa. La unidad de medida de la capacitancia es el Faradio (F).

$$C = \frac{Q}{V_C} \quad (1)$$

Al aplicar las reglas de Kirchhoff

$$V_o = V_C + V_R$$

$$V_o = \frac{Q}{C} + RI$$

$$V_o = \frac{Q}{C} + R\frac{dQ}{dt} \quad (2)$$

Carga de un capacitor

En $t = 0\ s$ consideramos la carga del capacitor es 0, luego analizamos. La corriente máxima

$$I_{max} = \frac{V_0}{R} \quad (3)$$

Cuando el tiempo es suficiente grande el capacitor presenta carga máxima, la corriente es nula (Young y Freedman, 2009).

$$Q_{max} = CV_o \quad (4)$$

Durante el proceso de carga, la carga es

$$Q = CV_o\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$$

$$Q = Q_{max}\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) \quad (5)$$

El voltaje en el capacitor es

$$V_C = \frac{Q}{C} = V_o\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) \quad (6)$$

La corriente

$$I = \frac{dQ}{dt} = \frac{V_o}{R}e^{-\frac{t}{RC}} \quad (7)$$

La constante del tiempo se define

$$\tau = RC \quad (8)$$

Descarga del capacitor

En este caso, el voltaje de la fuente es, $V_o = 0\ V$

$$\frac{Q}{C} + R\frac{dQ}{dt} = 0 \quad (9)$$

La solución en este caso es

$$Q = Q_{max} e^{-\frac{t}{RC}} \quad (10)$$

El voltaje en el capacitor es

$$V_C = V_o e^{-\frac{t}{RC}} \quad (11)$$

El **tiempo de vida media** se define como el tiempo cuando el voltaje en el capacitor cargado al máximo cae a la mitad de valor.

$$V(t_{1/2}) = \frac{V_o}{2} = V_o\, e^{-\frac{t_{1/2}}{RC}} \quad (12)$$

Resolviendo

$$t_{1/2} = RC \ln 2 \quad (13)$$

c. Materiales

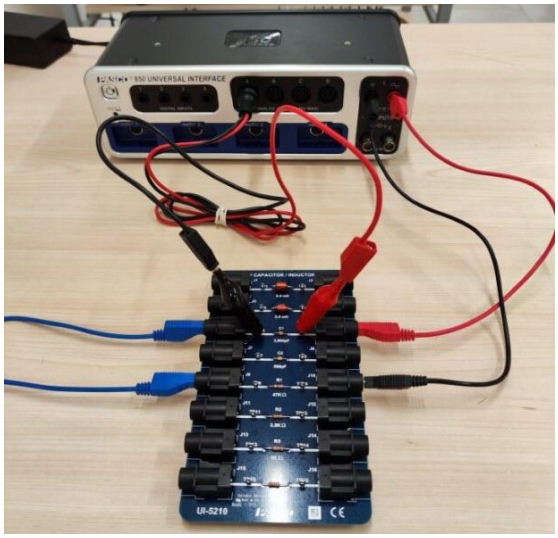
- Interfaz universal 850 (UI-5000)
- PC con software Capstone
- 1 placa con resistencia, capacitor e inductor (UI-5210)
- 1 sensor de voltaje (UI-5100)
- 4 cables de conexión

d. Procedimiento

1. Con un multímetro mida la resistencia R1 de la placa.
2. Arme el circuito de la figura 74, el sensor de voltaje debe estar conectado en los extremos del capacitor. Elija el capacitor de 3900 pF y la resistencia R1 de 47kΩ, tal como se muestra en la figura 75.

Figura 75

Equipos para el experimento de carga y descarga de un capacitor



3. Conectar digitalmente los sensores, voltaje en el capacitor y voltaje de salida.
4. Para visualizar la gran cantidad de datos escoja en el software la opción osciloscopio
5. En la herramienta generador de señal escoja la señal de salida una onda cuadrada positiva de 4V de amplitud y frecuencia 300 Hz y habilite el modo automático.
6. Escoja el modo de visualización rápida y la frecuencia de muestreo común del osciloscopio coloque que a 1 kHz
7. En el programa capstone apriete el botón registrar datos y cuando visualice la gráfica similar a la figura 76, apriete detener.
8. Active la herramienta de coordenadas múltiples y coloque en la parte superior la señal registrada donde inicia la descarga del capacitor. Haciendo clic derecho escoger la opción coordenadas delta y ubica el otro extremo en la señal donde el voltaje es la mitad del voltaje inicial.
9. Registre el tiempo de vida media, que es la diferencia horizontal.
10. Repita el paso 8 y 9 para voltajes que son la cuarta parte y octava parte de la inicial. Calcule el promedio

11. Repita los pasos 5 al 10 para una señal de entrad de 8 V.
12. Calcule el tiempo de vida media referencial y compare con los datos obtenidos.
13. Determine el porcentaje de error

e. Análisis

La resistencia R1 se midió con un multímetro digital $R1 = 49{,}2\ \text{k}\Omega$ y la capacitancia se tomó el valor que indica en la placa $C = 3900\ pF$.

Constante del tiempo es

$$\tau = RC = 49{,}2 \times 10^{3} \times 3900 \times 10^{-12}$$

$$\tau = 1{,}92 \times 10^{-4}\ \text{s}$$

El tiempo de vida media referencial

$$t_{1/2} = RC \ln 2$$

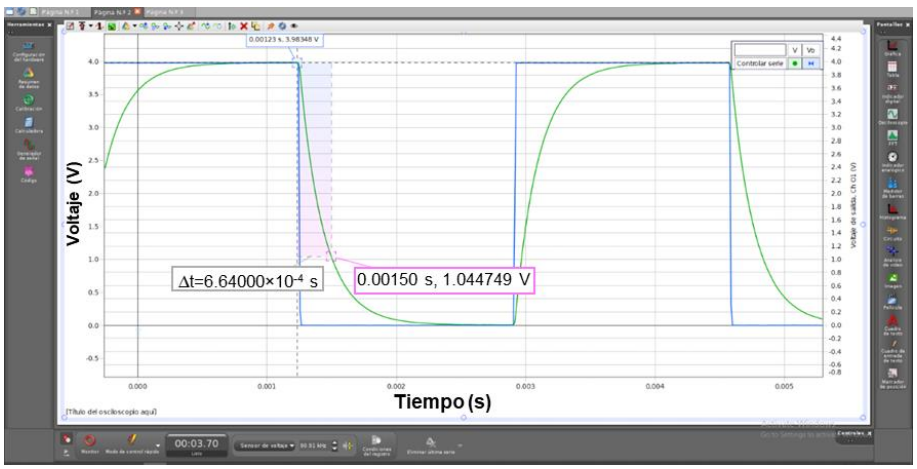
$$t_{1/2} = 49{,}2 \times 10^{3} \times 3900 \times 10^{-12} \times \ln 2$$

$$t_{1/2} = 1{,}33 \times 10^{-4}\ \text{s}$$

Los datos voltaje (En el capacitor y fuente) versus tiempo se registraron usando los sensores de voltaje y software, figura 76.

Figura 76

Gráfica de voltajes Vf y Vc versus tiempo



Las medidas de voltaje en el capacitor para tiempos de $t_{1/2}, 2t_{1/2}\ y\ 3t_{1/2}$ se registraron para voltaje s de salida de 4 v y 8V y se detallan en la tabla 23.

Tabla 23

Múltiplos de tiempo de vida media

Tiempo (s)	Voltaje de salida de la fuente (V)	
	Datos para Vo=4V	Datos para Vo=8V
$t_{1/2}$	1,30E-04	1,40E-04
$2t_{1/2}$	2,70E-04	2,70E-04
$3t_{1/2}$	4,00E-04	4,20E-04

Se calculó el tiempo de vida media y luego su promedio, los resultados se muestra en la tabla 24.

Tabla 24

Tiempo de vida media en la descarga de un capacitor

	Tiempo de vida media $t_{1/2}$ (s)	Tiempo de vida media $t_{1/2}$ (s)
Caso 1	0,000130	0,000140
Caso 2	0,000135	0,000135
Caso 3	0,000133	0,000140
Promedio	0,000133	0,000138
%Error	0,2%	4,0%

Comparando con el valor de tiempo de vida media referencial $t_{1/2} = 1{,}33 \times 10^{-4}$ s se observa que en el primer caso cuando el voltaje de salida es 4 V, el tiempo de vida media obtenido coincide, mientras que cuando el voltaje de salida es 8 V, se obtuvo un valor cercano con un error del 4,0 %

En la descarga del capacitor, tomamos el logaritmo

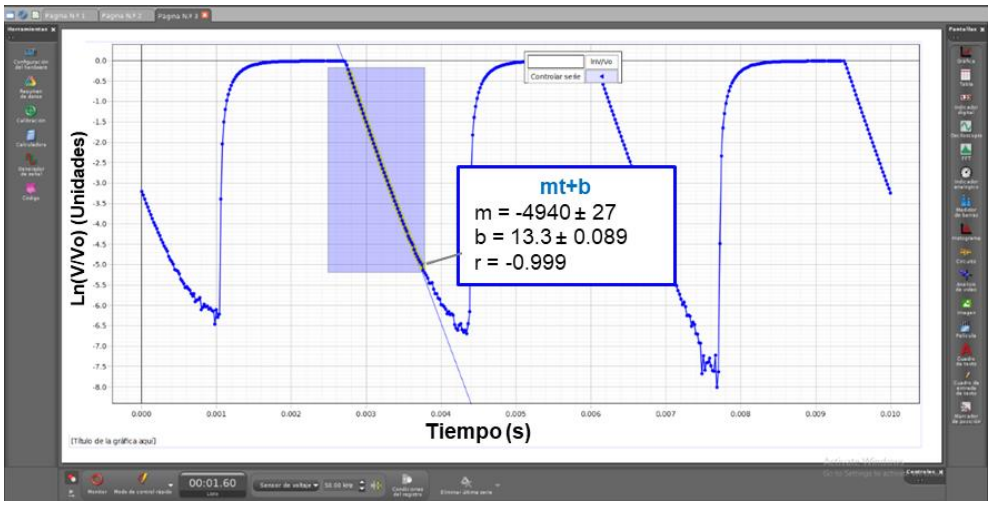
$$V_C = V_o e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$\ln\left(\frac{V_c}{V_o}\right) = -\frac{1}{RC}t \quad (13)$$

La figura 77, muestra esta relación lineal en la sección de descarga, de la ecuación (13) la pendiente es el negativo de la inversa de la constante de tiempo.

Figura 77

Gráfica de ln(Vc/Vf) versus tiempo



la pendiente representa

$$pendiente = -\frac{1}{RC}$$

$$pendiente = -4940\ s^{-1}$$

$$RC = \frac{1}{4940} = 2{,}024 \times 10^{-4}\ s$$

El tiempo de vida media

$$t_{1/2} = RC \ln 2$$

$$t_{1/2} = \frac{1}{4940}\ln 2$$

$$t_{1/2} = 1{,}40 \times 10^{-4}\ s$$

Calculamos el porcentaje error considerando $t_{1/2-ref} = 1{,}33 \times 10^{-4}\ s$ el error obtenido es 5,2 %.

f. Resultados

Se determinó el valor del tiempo de vida media en la descarga del capacitor obteniendo $t_{1/2} = 1{,}33 \times 10^{-4}\ s$ y se comparó por tres diferentes métodos.

Se midió el comportamiento del voltaje en el capacitor en el tiempo y la señal de entrada al mismo tiempo.

Durante la carga de capacitor se observa que el voltaje en el capacitor tiene comportamiento exponencial y se pega al valor del voltaje de entrada.

Contraste entre la forma tradicional y el uso de la tecnología actual

Las principales ventajas de usar tecnología actual frente al método tradicional son:

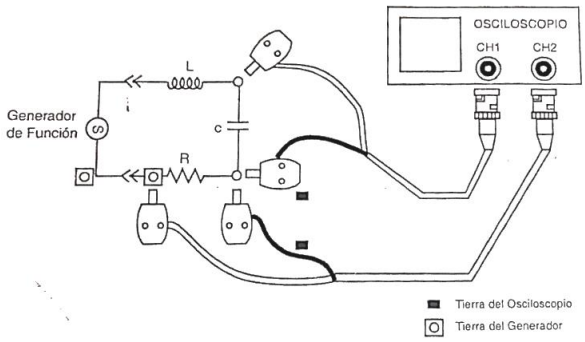
- El uso del sensor de voltaje permite medir el voltaje en la fuente y el voltaje en el capacitor a una alta frecuencia de muestreo.
- La interfaz 850 genera el voltaje de una onda cuadrada positiva, además este equipo tiene la opción de funcionar de osciloscopio que no permite medir el voltaje en múltiples canales en tiempo real.
- El software permite visualizar los datos en gráficas voltaje versus tiempos y permite medir la constante del tiempo τ de manera amigable.

5.14 LABORATORIO N°14: CIRCUITOS RLC

Este experimento tradicionalmente se realiza usando un osciloscopio como instrumento de medición, generador de función y un circuito RLC en serie, ver figura 78. Se verifica la frecuencia de resonancia del circuito RLC (UNI-FC, 2009).

Figura 78

Esquema del circuito RLC



Nota: Tomado del manual de prácticas de laboratorio de física FC-UNI

A continuación, presento la propuesta de realizar este experimento usando tecnología actual.

a. Objetivos

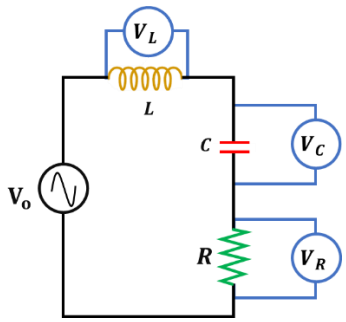
- Estudiar el desfase de los voltajes en el capacitor, resistencia, inductor y la fuente
- Determinar la frecuencia de resonancia del circuito RLC serie

b. Fundamento teórico

Un circuito RLC en serie es aquel que contiene un resistor, un capacitor y un inductor (figura 79).

Figura 79

Circuito RCL en serie



$$V = V_0 \sin(\omega t) \quad (1)$$

Al utilizar las reglas de Kirchhoff se tiene (Young y Freedman, 2009)

$$V_0 \sin(\omega t) - L\frac{dI}{dt} - \frac{q}{C} - RI = 0 \quad (2)$$

Además

$$I = \frac{dq}{dt} \quad (3)$$

Consideramos la notación compleja

$$V = V_o\, e^{i\omega t} \quad (4)$$

$$L\frac{d^2I}{dt^2} + R\frac{dI}{dt} + \frac{1}{C}I = i\omega V_o\, e^{i\omega t}$$

Cuya solución es

$$I = I_o e^{i\omega t} \quad (5)$$

Ley de ohm en forma compleja

$$V = IZ \quad (6)$$

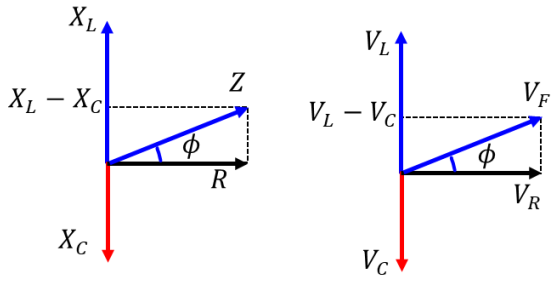
Donde Z es la impedancia, cuyo módulo es

$$|z| = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (7)$$

La reactancia inductiva $X_L = \omega L$ y la reactancia capacitiva $X_C = \frac{1}{\omega C}$, estos se representan en un diagrama de fasores, ver figura 80.

Figura 80

Diagrama de fasores del circuito RCL



En el diagrama de fasores se observa que V_C está $\frac{\pi}{2}$ rad detrás de V_R mientras que V_L está $\frac{\pi}{2}$ rad delante de V_R.

El ángulo de desface ϕ es el desface entre el voltaje en la fuente y el voltaje en el resistor.

La resonancia del circuito ocurre cuando $X_L = X_C$ y la fase $\phi = 0$ esto ocurre cuando la frecuencia angular es

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (8)$$

Luego la frecuencia de resonancia en Hz es

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (9)$$

Otra manera de determinar la frecuencia de resonancia es deduciendo que $V_L = V_C$ luego $V_o \approx V_R$, luego la relación

$$\frac{V_R}{V_o} \approx 1 \quad (10)$$

c. Materiales

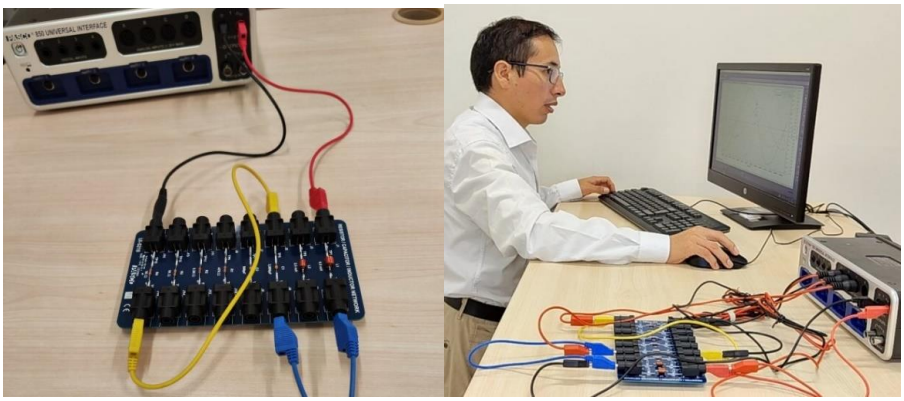
- Interfaz universal 850 (UI-5000)
- PC con software Capitonee
- 1 placa con resistencia, capacitor e inductor (UI-5210)
- 3 sensor de voltaje (UI-5100)
- 6 cables de conexión

d. Procedimiento

1. Arme el circuito de la figura 79, conecte los tres sensores de voltaje en los extremos de cada elemento, considerando su polaridad. La figura 81, muestra el circuito y los sensores conectados.

Figura 81

Izquierda, circuito RCL, derecha conexión de sensores



2. El sensor de voltaje del canal A conecte en los extremos del resistor, el sensor de voltaje del canal B conecte en los extremos del capacitor y el sensor del canal C en los extremos del inductor
3. Encienda la interfaz 850 y Conecte digitalmente los sensores en el programa capstone. En la salida active el sensor de voltaje digital interno.
4. Configure el osciloscopio y active los voltajes de cada elemento y voltaje de salida
5. En el generador de señal escoja señal senoidal a 30 kHz y amplitud 5V. Active encendido y apagado automático. Para registrar los datos active el modo de control rápido a una frecuencia común que se ajustará hasta ver ondas completas.
6. Registre los datos, estire la escala del tiempo hasta ver una onda completa.
7. Analice el desfase de cada señal respecto del voltaje del resistor. Para frecuencias de 30 kHz, 50 kHz y 20kHz.

Frecuencia de resonancia

1. Desconecto el sensor del canal C, y el sensor del canal B coloque en los extremos de la señal de salida. Actualice digitalmente en el programa capstone.
2. Conecte un osciloscopio y agregue los voltajes

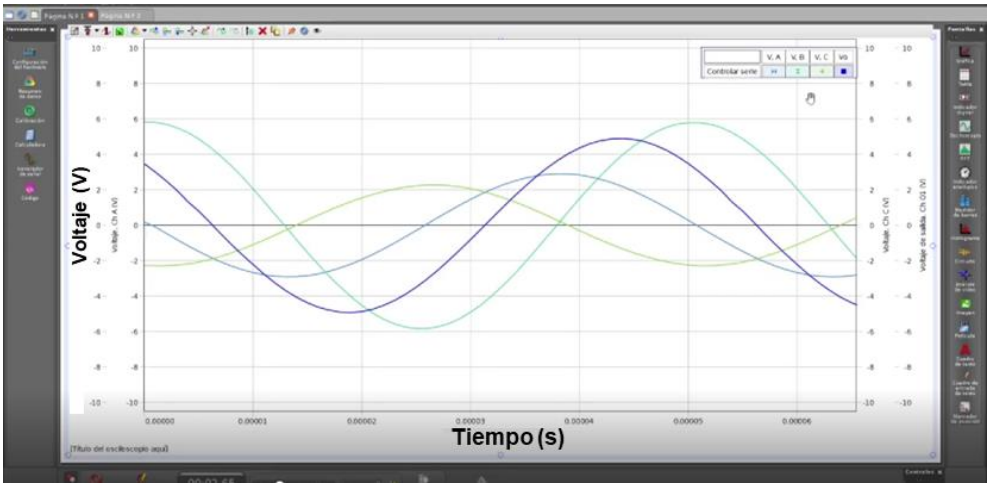
3. Agregue una hoja y agregue una tabla con datos de entrada de manera manual de dos columnas. La primera columna frecuencia (kHz) y Ratio de voltajes máximos VR/Vo. Usando la calculadora del capstone escriba el ratio del máximo VR entre Vo=5V
4. Agregue una gráfica del ratio versus la frecuencia.
5. La frecuencia de barrido será desde 10 kHz hasta 60kHz con puntos cada 5 kHz pero al redor de 30 kHz tomar cada 1 kHz.
6. En la hoja del osciloscopio agregue un visualizador digital de ratio
7. Genere la señal a 10 kHz y observe el ratio, luego en la tabla escriba el ratio encontrado, repita este paso hasta completar todas la frecuencias
8. Encuentra la frecuencia de resonancia.
9. Determine el porcentaje de error respecto al valor calculado

e. Análisis

Los datos de voltajes registrados con los sensores y la herramienta osciloscopio del software capstone se muestran en la figura 82. Para un voltaje Vo de 20 kHz.

Figura 82

Gráfica de voltajes para un voltaje Vo de 20 kHz



Comparando las amplitudes del voltaje en el capacitor e inductor, se observa

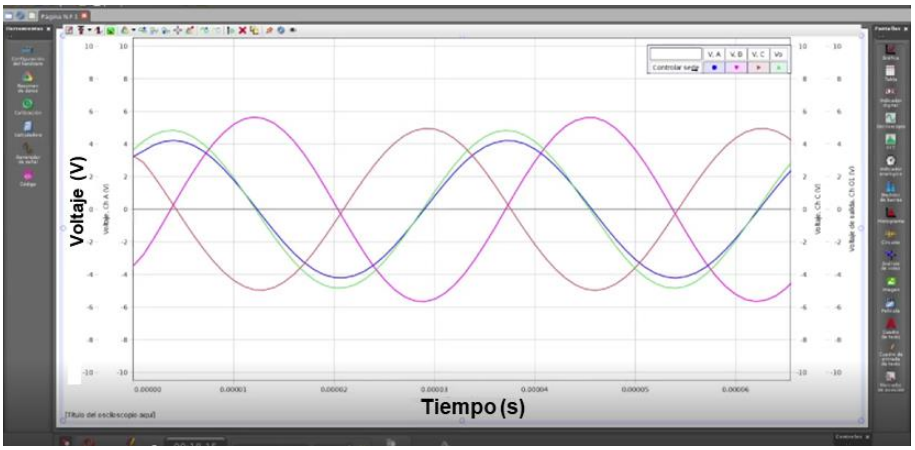
$$V_c > V_L$$

Luego la fase de la corriente es negativa, es decir V_F está por detrás de V_R, como se observa en la figura. Además, en la gráfica se observa que V_C y V_L se encuentran desfasados 180, mientras que respecto a V_R están desfasados $\frac{\pi}{2}$ rad.

Repitiendo el procedimiento, para 30 kHz se muestran la figura 83.

Figura 83

Gráfica de voltajes para un voltaje Vo de 30 kHz



En la gráfica, comparando las amplitudes del voltaje en el capacitor e inductor,

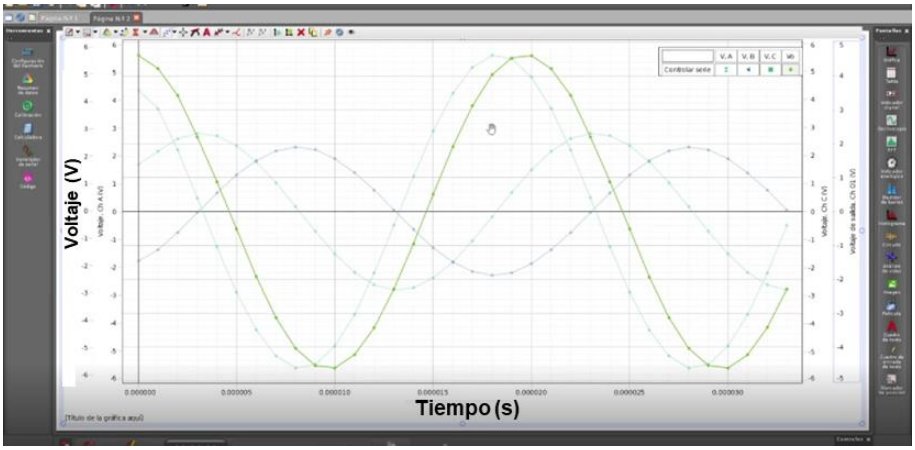
$$V_c \approx V_L$$

La fase de V_F está en fase con V_R, como se observa en la figura 83, esto ocurre cercano en la frecuencia de resonancia. Además, en la gráfica se observa que V_C y V_L se encuentran desfasados 180, mientras que respecto a V_R están desfasados $\frac{\pi}{2}$ rad.

Para 50 kHz se muestran la figura 84

Figura 84

Gráfica de voltajes para un voltaje Vo de 50 kHz



En la gráfica, comparando las amplitudes del voltaje en el capacitor e inductor

$$V_c < V_L$$

Luego la fase de la corriente es positiva, es decir V_F está por delante de V_R, como se observa en la figura 84. Además, en la gráfica se observa que V_C y V_L se encuentran desfasados 180, mientras que respecto a V_R están desfasados $\frac{\pi}{2}$ rad.

Frecuencia de resonancia.

Se calcula la frecuencia de resonancia de acuerdo con los datos nominales indicados por el fabricante

$$L = 6{,}8\ mH$$

$$C = 3900\ pF$$

$$R = 1\ k\Omega$$

Al reemplazar estos valores, se obtiene la frecuencia de resonancia

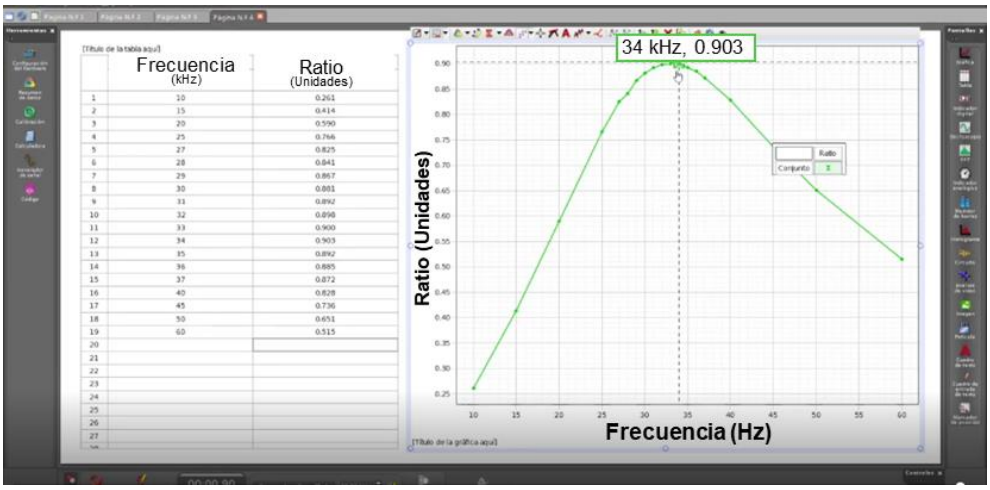
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{6{,}8 \times 10^{-3} \times 3900 \times 10^{-12}}}$$

$$f = 30{,}9\ \text{kHz}$$

Las mediciones de la frecuencia de la fuente (f) versus la ratio $\frac{V_R}{V_o}$ se muestran en la figura 85.

Figura 85

Gráfica de la frecuencia de resonancia



La frecuencia de resonancia obtenida en la gráfica es 34,0 kHz

Calculamos el porcentaje error considerando $f_{ref} = 30{,}9\ \text{kHz}$

$$\%E = \left|\frac{f_{ref} - f_{exp}}{f_{ref}}\right| \times 100\%$$

$$\%E = \left|\frac{30{,}9\ - 34{,}0}{30{,}9}\right| \times 100\%$$

$$\%E = 10{,}0\ \%$$

f. Resultados

Se estudió el desfase del voltaje en cada elemento, las señales de voltaje V_C y V_L están desfasados π rad mientras que respecto de V_R es $\frac{\pi}{2}$ rad

Se determinó la frecuencia de resonancia del circuito RLC en serie obteniendo experimentalmente 34,0 kHz.

Contraste entre la forma tradicional y el uso de la tecnología actual

Las principales ventajas de usar tecnología actual frente al método tradicional son:

- El uso del sensor de voltaje permite medir el voltaje en la fuente, en el capacitor, en el inductor y en la resistencia simultáneamente a una alta frecuencia de muestreo.
- La interfaz 850 genera la función de voltaje de entrada además sus canales de entrada de datos pueden funcionar como un osciloscopio. que permite visualizar las 4 señales simultáneamente.

Conclusiones

En base a lo expuesto en el presente informe, se llega a las siguientes conclusiones:

- Se diseñaron catorce experimentos de física general en el cual se utilizan tecnología actual como son los sensores electrónicos de una marca comercial presente en el mercado nacional, para tomar mediciones directas de magnitudes físicas. Con esta tecnología los estudiantes obtienen sus datos de manera amigable, rápida y con alta precisión. En contraste con el método tradicional, donde el tiempo invertido es mayor, la precisión es baja y la incomodidad del estudiante es notorio debido a la dificultad de obtener resultados óptimos, es de notable ventaja el uso de la tecnología actual frente a la forma tradicional en el proceso de enseñanza-aprendizaje en los estudiantes de los primeros ciclos universitarios.
- El software Pasco Capstone permite analizar los datos tomados mediante los sensores de manera rápida, utilizando sus herramientas estadísticas y visuales. Además, la visualización de datos experimentales se realiza tiempo real , lo cual permite tomar decisiones de manera oportuna.
- Se realizó mediciones indirectas con su respectiva incertidumbre a partir de mediciones directa de magnitudes físicas.

Recomendaciones

- Crear más experimentos de física general que involucren el uso de sensores con tecnología actual para que los docentes dispongan de más opciones que implementar en el curso de física general. De esta manera mejorar el proceso de enseñanza aprendizaje de los estudiantes de ingeniería en los primeros ciclos.

Referencias bibliográficas

Aguilera, J. (s.f.). *Estimación de Incertidumbres y presentación de resultados.* [Diapositiva de PowerPoint]. Universidad de Sevilla. https://personal.us.es/josag/Incertidumbre_1819.pdf

Akimkhanova, Z., Turekhanova, K., Fedus, K., & Karwasz, G. (2020). *Teaching Physics using modern technologies: Computer-controlled experiments*. Journal of Educational Sciences. 62. 10.26577/JES.2020.v62.i1.12.

Álvarez, L. (s.f.). *Incertidumbre en instrumentos digitales. [Archivo PDF]. Universidad de buenos aires*. https://materias.df.uba.ar/f2qa2020c1/files/2019/07/INCERTIDUMBRES-EN-INSTRUMENTOS-DIGITALES.pdf

Cabrera, C. (2017). *Experimentos de física I usando el equipo xplorer GLX y sus sensores.* [Informe técnico, Universidad Nacional del Callao]. Repositorio académico UNAC. https://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/2252

Días, R. (2020). *Medidas Eléctricas. Universidad nacional La Plata*. https://catedra.ing.unlp.edu.ar/medidas/wp-content/uploads/2022/03/D3P_Incertidumbre.pdf

Ellermeijer, T. Tran, T. (2019). *Technology in Teaching Physics: Benefits, Challenges, and Solutions.* 10.1007/978-3-319-96163-7_3.

Gonzales, J. (2018). *Diodos LED para calcular la constante de Planck (Parte I).* Steemit. https://steemit.com/spanish/@joseg/diodos-led-para-calcular-la-constante-de-planck

Gutierrez, M. (2023). *Comparación entre las experiencias de laboratorio con método tradicional y con equipos PASCO*. [Informe técnico, Universidad Nacional del Callao]. Repositorio académico UNAC. https://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/8317?show=full .

Instituto Nacional de Calidad, INACAL (2012), *Vocabulario Internacional de Metrología - Conceptos básicos y generales, y términos asociados (VIM)*, 3ra edición 2012 https://transparencia.produce.gob.pe/images/stories/Repositorio/transparencia/proyectos-de-inversion/niveles-de-servicio/2021/INACAL/NS/VIM_2012_INACAL.pdf

Medina, S. (2017). *Breve introducción a la teoría de errores y la graficación*. https://editorial.uaa.mx/docs/breve_introduccion_teoria_errores.pdf

Moreno, J. (2021). *Estudio metrológico y determinación de la incertidumbre del tiempo que tarda una esfera en recorrer una rampa inclinada*. [Tesis de maestría, Pontificia universidad católica del Perú]. Repositorio académico PUCP. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/18666

Nuestra historia. (2022). Leybold. https://www.leybold.com/es/about-us/history/milestones#:~:text=1850%20%2D%20El%20comienzo%20de%20Leybold&text=Comenz%C3%B3%20como%20un%20negocio%20de,Leybold.

Nuñez, M. (2016). *Estrategia experimental para la enseñanza de la física en el nivel medio superior.* [Tesis de maestría, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. Repositorio académico PUCP. https://repositorioinstitucional.buap.mx/server/api/core/bitstreams/33df24bb-369c-4da0-9fa7-e6270759f32b/content

PASCO 850 Interfaz Universal. (s.f.). https://docplayer.es/50959160-Pasco-850-interfaz-universal.html https://docplayer.es/50959160-Pasco-850-interfaz-universal.html

Sá, M. R. D. A., André, F., de Brito André, P. S. (2014). *Classroom fundamentals: measuring the Planck constant.* on Science in School, https://www.scienceinschool.org/wp-content/uploads/2014/11/issue28_planck.pdf

Serway, R & Jewett, J. (2008). *Física para ciencias e ingeniería con física moderna*. (7ª ed., Vol. 2). Cengage Learning.

Serway, R & Jewett, J. (2008). *Física para ciencias e ingeniería. (7ª ed., Vol. 1).* Cengage Learning.

Taylor, J. R. (2018). *Introducción al análisis de errores.* Reverte

The PASCO Story - About Us. (2019). Pasco. https://www.pasco.com/about-us/pasco-story

The Vernier Story. (2011). Vernier. https://www.vernier.com/about-us/the-vernier-story/

Tipos de sensores, (s.f.). Pasco. https://www.pasco.com/products/sensors

UNI-FC (Universidad Nacional de Ingeniería - Facultad de ciencias). (2009). *Prácticas de laboratorio de física.*

Young, H & Freedman, R. (2009) *Sears-Zemansky Física universitaria con física moderna, (12ª ed., Vol. 2)*., Pearson educación, México, 2009

Young, H & Freedman, R. (2009) *Sears-Zemansky Física universitaria, (12ª ed., Vol. 1).* Pearson educación.

Zabaljauregui, A. Nicolás, L. (2022). *Máquina de Atwood, Caso ideal y Caso real*. Utn. https://frh.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/21538/mod_folder/content/0/TP13%20Maquina%20de%20Atwood%20ideal_corregido.pdf?forcedownload=1