



CENTRO DE FÍSICA
Universidad Central del Ecuador

Praxis

**Revista del
Centro de Física-UCE**

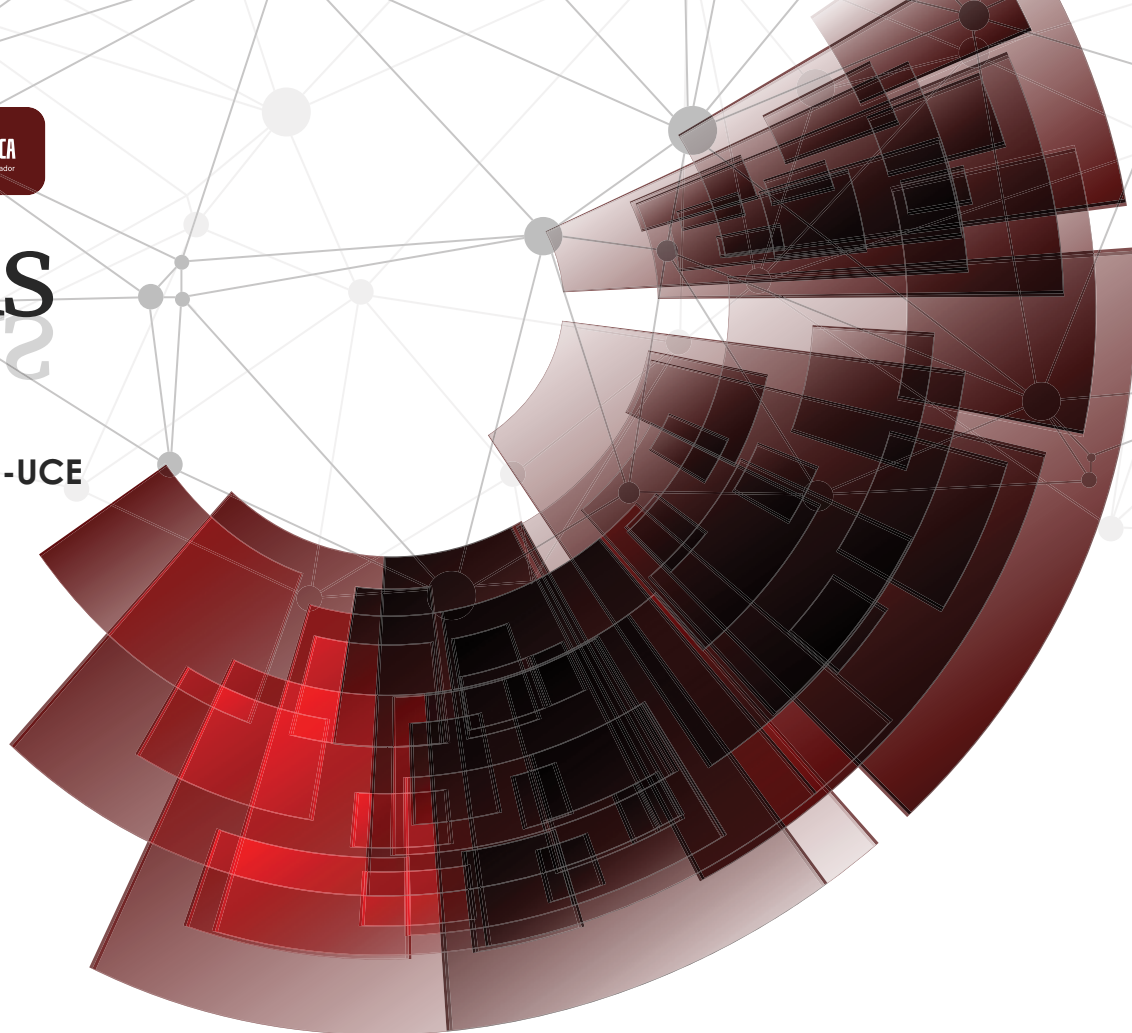
Número 3

Quito - Ecuador
Abril - 2024



Praxis

Revista del
Centro de Física-UCE



CONSEJO EDITORIAL

EDITOR PRINCIPAL

- MSc. Luis Giovanni Guerra Almeida – Docente Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas

EDITORES DE SECCIÓN

- MSc. Jorge Oswaldo Chimarro Alvear – Analista de Laboratorio Universitario
- MSc. Luis Santiago Poma Lojano – Analista de Laboratorio Universitario
- Ing. Washington Patricio Lomas Arciniega– Técnico de Laboratorio
- Ing. Felipe Josué Lima Alvear – Asistente de Tecnologías de la Información y Comunicación
- Ing. Everzon Feiner Domínguez Castillo– Asistente de Tecnologías de la Información y Comunicación

REVISORES INTERNOS

- Ph.D. Guillermo Terán - Docente Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación
- Ph.D. Luis Buitrón - Docente Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Diagramación y Maquetación
Centro de Física
Universidad Central del Ecuador
Av. América - Ciudadela Universitaria CP: 170521
Quito - Ecuador





INTRODUCCIÓN

El Centro de Física bajo la dirección del físico-investigador Ph.D. Raúl E. Puebla P. brinda acompañamiento académico a cerca de 2500 estudiantes, pertenecientes a las siete facultades de la Universidad Central del Ecuador, que en su malla curricular tienen la materia de Física. El Centro de Física cuenta con auxiliares/asistentes/analistas de laboratorio y de tecnologías de la información que en conjunto con el personal de apoyo brindan un servicio de alto nivel académico.

El Centro de Física alineado a la innovación tecnológica, cuenta con plataformas educativas con diseño instruccional y metodologías didácticas adecuadas plasmados en proyectos alineados acorde a la época actual, entre ellos está la virtualización de la Física Experimental (FISLAB), proyecto que tiene como objetivo realizar las prácticas de laboratorio en medios digitales lo más realista posible. Se integró la plataforma Moodle para potenciar el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Física Experimental, además se mantienen proyectos como la implementación de prototipos para la enseñanza de la ciencia, basado en modelo de los fenómenos físicos y elaboración de kits de laboratorio con fines educativos.

La revista "Praxis" nace para captar la atención de estudiantes y docentes de Educación Media y Superior que tienen a la Física Teórica y Experimental como parte de sus mallas curriculares; nuestras secciones abordan historias, experiencias, nuevas metodologías para enseñar la asignatura, descubrimientos de vanguardia relacionados por una temática, entre otros temas relacionados al proceso de enseñanza-aprendizaje y se brinda la oportunidad a docentes-investigadores de divulgar sus investigaciones mediante un artículo científico relevante.

Esperamos que nuestra revista lo mantenga conectado al increíble mundo de la Física.



SECCIÓN 1
ACTUALIDAD

ENCUENTRO DE FÍSICA EN LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL¹.

El Centro de Física como principal actividad lleva a cabo prácticas de laboratorio que proporciona enseñanza a estudiantes, sin embargo, además de estas actividades su personal realiza proyectos de investigación, simulación y prototipados asociados a la Física. Esta dualidad fomenta un entorno dinámico donde la educación se integra con la innovación. Los estudiantes adquieren habilidades prácticas y teóricas, mientras el personal impulsa la vanguardia del conocimiento a través de investigaciones y desarrollo de prototipos. Esta simbiosis beneficia tanto a la comunidad educativa como a la investigación, nutriendo el aprendizaje con experiencias reales y promoviendo la aplicación práctica del conocimiento en proyectos innovadores.

Dentro de las actividades de divulgación realizadas por el personal que trabaja en estos proyectos tenemos la participación en el "XVIII Encuentro de Física" organizado por la Escuela Politécnica Nacional. Durante este evento se participó con tres temáticas, la primera de ellas es "La virtualización 3D del experimento de Millikan". Teniendo en cuenta que la enseñanza de la física es una tarea compleja, ya sea por la dificultad de la temática, o por la dificultad del desarrollo de experimentos claves para su correcto aprendizaje.

Gracias a la facilidad de uso de los motores de videojuegos el desarrollo de recreaciones virtuales de experimentos ha venido en aumento, lo que ha facilitado el aprendizaje y enseñanza, ya que permite que experimentos de alta complejidad y/o costos elevados, puedan ser realizados por cualquier persona con acceso a una computadora o dispositivo inteligente. Sin embargo, la mayoría de los simuladores virtuales por lo general son simples virtualizaciones en dos dimensiones con interactividad limitada, enfocados en temáticas de física básica, sea cinemática

o dinámica. Debido a su complejidad estas son más escasas.

Una de las prácticas recientemente anexadas al Centro de Física es el experimento de Millikan, en el cual, por medio de un microscopio, se observan gotas de aceite flotando dentro de un campo eléctrico y se mide el tiempo transcurrido en moverse a través de una rejilla. Gracias a esto se determina que las fuerzas que actúan sobre las gotas de aceite son: fricción, gravitacional, flotabilidad y campo eléctrico.

En esta oportunidad se compartió el proceso de desarrollo de la virtualización, cómo se recreó el comportamiento de los elementos reales en el ambiente virtual, más no como fue el desarrollo de los elementos tales como los modelos 3D o la interfaz de usuario. Cabe aclarar que el propósito del simulador es funcionar como complemento del experimento real, por ello, y a diferencia de varios laboratorios virtuales existentes, no puede ser una calculadora. El usuario deberá interactuar con los elementos virtuales de manera similar a la que lo haría en un laboratorio.

El simulador es desarrollado sobre la plataforma de Unity, esta permite crear objetos especiales llamados prefabs, lo que permite almacenar componentes y propiedades en un elemento del entorno. Un prefab actúa como una plantilla a partir de la cual se pueden crear nuevas instancias del objeto en dicho entorno (Unity, 2024). Cada gota de aceite es un prefab que tiene código de programación incrustado permitiéndole emular el comportamiento de una gota real.

Al momento que el prefab de una gota de aceite es creado, a este es asignado un valor de radio y número de electrones aleatorio entre un rango definido, de esta

¹ MSc. Washington Lomas, Ing. Daniel Ronquillo,
MSc. Jonathan Sánchez, MSc. Jorge Chimarro

forma cada gota es única, dotando al usuario una herramienta que permita la obtención de datos acordes a una práctica real. Con estos datos cada gota "sabe" en qué dirección tiene que moverse y a qué velocidad debe de hacerlo, de tal forma que replica el comportamiento real.

De los resultados expuestos el simulador recrea el experimento correctamente ya que el margen de error de los datos obtenidos es menor a 10%. El elevado costo del equipo experimental necesario para la ejecución del experimento puede constituir un obstáculo para su realización, en cambio este simulador puede alojarse en un servidor con un pequeño costo mensual que permitiría inclusive tener muchos más simuladores alojados en el mismo servidor.

La siguiente temática con la cual participó el personal del Centro de Física es "Prototipos educativos portátiles de bajo costo para la enseñanza de la Física" el cual es un proyecto que tiene como objetivo desarrollar material experimental para la enseñanza de la ciencia que sea manipulable a través de un dispositivo móvil y que, facilite el aprendizaje del conocimiento teórico comprendido en las prácticas de laboratorio y que con el conocimiento tecnológico adquirido sea fácilmente replicable para el uso de otras instituciones educativas.

En concordancia con estos objetivos es necesario implementar prácticas de laboratorio cuyos métodos complementen de manera efectiva la parte conceptual, las prácticas deben cumplir un grado de idoneidad de tal forma que, acentúe el conocimiento teórico adquirido. Estas prácticas deben estar acompañadas de guías que sintetizen el problema existente, las hipótesis a plantearse, las variables identificadas, el diseño experimental utilizado y los resultados y conclusiones obtenidos; todo ello alineado al cumplimiento de los objetivos del aprendizaje.

La metodología en V utilizada es un proceso aceptado mundialmente desarrollada por la Sociedad de Ingenieros Alemanes (Gausemeier & Moehringer, 2003). La cual adaptada al proyecto consta de las siguientes fases: definición de requerimientos de mediciones de variables dependiendo de la ley o principio físico que se intenta demostrar mediante experimentación, diseño electrónico y selección de sensores necesarios para los requerimientos previamente establecidos, diseño del mecanismo de partes y piezas que albergan los componentes electrónicos, diseño de software del microcontrolador que se encuentra dentro del prototipo y aplicación móvil, integración del sistema, pruebas y validación.

Los prototipos presentados son los siguientes: Caída libre, ley de Hooke y péndulo elástico, Ley de Gay Lussac. Estos prototipos cuentan con un conjunto de sensores necesarios para realizar distintas mediciones de variables que permitan realizar analizar distintos fenómenos físicos, además cada prototipo consta de una aplicación móvil que interactúa con el equipo para adquirir datos de la experimentación.

Los prototipos desarrollados tienen una reducción superior al 90 % del costo de un equipo de similares características. Además, estos prototipos cuentan con una visualización en tiempo real de las variables medidas en los experimentos. Su diseño es interactivo y atractivo para los estudiantes.

La tercera temática con la que se participó es "Estudio de la viabilidad de medir vértices acausalmente desplazados predichos por el modelo estándar de Lee-Wick utilizando datos del Gran Colisionador de Hadrones" una investigación por parte del MSc. Jonathan Sánchez.

El modelo estándar logra explicar con éxito parcial la naturaleza de las fuerzas que rigen el Universo. Sin embargo, existen incongruencias dentro de esta teoría que han llevado a los Físicos a desarrollar nuevos modelos que permitan corregirlas. Un ejemplo de esto es el problema de la jerarquía, que a breves rasgos se lo podría describir como la imposibilidad de encontrar un término de corrección que prediga las masas de las partículas observables. El enigma se suscita partir que predicción del modelo estándar para masa del bosón de Higgs podría ser o tan pequeña como 200 GeV o tan grande como 10^{16} GeV. Esta incongruencia, en específico, se origina por las divergencias encontradas al calcular la masa del bosón con el modelo teórico.

En su paper "Finite Theory of Quantum Electrodynamics", Lee y Wick proponen un modelo que corrige las divergencias que surgen en el cálculo de la masa del electrón. Esto se logra con la adición de una partícula similar al fotón con la diferencia que su masa es diferente de 0. Así mismo, se agrega una partícula similar al electrón, conocida como electrón de Lee-Wick, cuya masa es mucho mayor a la del original (Lee & Wick, 1970). En esta misma línea Grinstein et al. extendieron con éxito estas correcciones a otras fuerzas del modelo estándar, corrigiendo así el problema de la jerarquía (2008).

Aparte de resolver el problema de la jerarquía, el modelo también podría implicar otras correcciones observacionales. Uno de ellos es el cambio en la propagación que experimenta una partícula antes de decaer. Estas correcciones, sin embargo, tienen una escala tan pequeña y una ocurrencia tan improbable que hasta el día de hoy los físicos no han intentado medirlas.

Alvarez en su paper "Vertex displacements for acausal particles: testing the Lee-Wick standard model at the LHC". Enuncian la posibilidad de medir el desplazamiento

conocido como acausal de estas partículas. Esto se debe a que, en un decaimiento normal, el momento total de las partículas se alinea paralelamente con el desplazamiento de la partícula madre que las origina. Mientras que el modelo de Lee-Wick permite que el momento y la dirección de propagación de la partícula madre se alinee antiparalelamente (Alvarez et al., 2009). Algo similar a que la partícula de Lee Wick se hubiese desplazado hacia atrás en el tiempo antes de decaer. Esto implica que, si las partículas del modelo son reales, con la resolución espacial y energética suficientes, podríamos identificar este desplazamiento inusual.

En este proyecto con ayuda de simulaciones Montecarlo y cálculos numéricos del modelo, se logró identificar con una exactitud aproximada del 70 % estos desplazamientos dentro de los datos simulados. Esto se lo logro gracias al estudio de la cantidad que hemos definido como paralelidad () y otras discriminantes geométricas del modelo (Sánchez Jácome & Carrera, 2022) (Jácome, 2023). El fenómeno específico que se estudió es el decaimiento de un bosón Z a dos electrones de Lee-Wick. Por esto mismo, el porcentaje de identificación se podría mejorar si se implementan mejores técnicas de reconstrucción de "jets", que es el rastro que deja el decaimiento de electrones de Lee-Wick a quarks.

Se contrastó el método, aplicando la misma reconstrucción de datos de decaimientos similares provenientes del modelo estándar y a datos experimentales de la corrida 1 del LHC. Con ello se determinó que el análisis discrimina muy bien los decaimientos de Lee-Wick de otros similares. Por otro lado, este análisis también confirmó que debido a la baja sección eficaz del modelo (5.97fb) (Sánchez Jácome & others, 2022) es poco factible identificar estos fenómenos en los datos actuales. Sin embargo, si se expande este análisis a otras partículas

de la teoría de Lee-Wick y se analizan más datos experimentales, se incrementa sustancialmente la posibilidad de identificar los decaimientos acausales.

NOMENCLATURA

- **GeV: Giga-electrón-voltio.**

Hace referencia a 1 000 000 000 de electrón-voltios. Que es la energía que posee un electrón sometido a un potencial de 1 voltio. Se usa también para hablar de masa de partículas por la equivalencia entre energía y masa predicha por Einstein. Como referencia un kilogramo en masa equivale a $5.6E+35$ electrón voltios.

- **fb: femto-bar.**

Hace referencia a la unidad utilizada para medir secciones eficaces comúnmente utilizado en física de partículas. Hace referencia a la probabilidad de ocurra el evento estudiado después de la colisión de dos partículas. Así mismo, el número de colisiones de protones que ocurren en el experimento LHC se mide en femto-bar inversos (fb^{-1}) a esta cantidad se le conoce como luminosidad integrada. En esencia, el producto entre sección eficaz y luminosidad integrada nos da el número de eventos esperados. Como referencia la luminosidad de los datos estudiados es de $11.4fb^{-1}$, esto significa que se esperaría poder observar en total unos 68 eventos. Esto es un valor muy pequeño si se lo compara con las 600 millones de colisiones que ocurren por segundo en el experimento.

REFERENCIAS:

Alvarez, E., Da Rold, L., Schat, C., & Szyrkman, A. (2009). Vertex displacements for acausal particles: Testing the Lee-Wick standard model at the LHC. *Journal of High Energy Physics*, 2009(10), 023.

Gausemeier, J., & Moehringer, S. (2003). New guideline vdi 2206-a flexible procedure model for the design of mechatronic systems. DS 31: Proceedings of ICED 03, the 14th International Conference on Engineering Design, Stockholm.

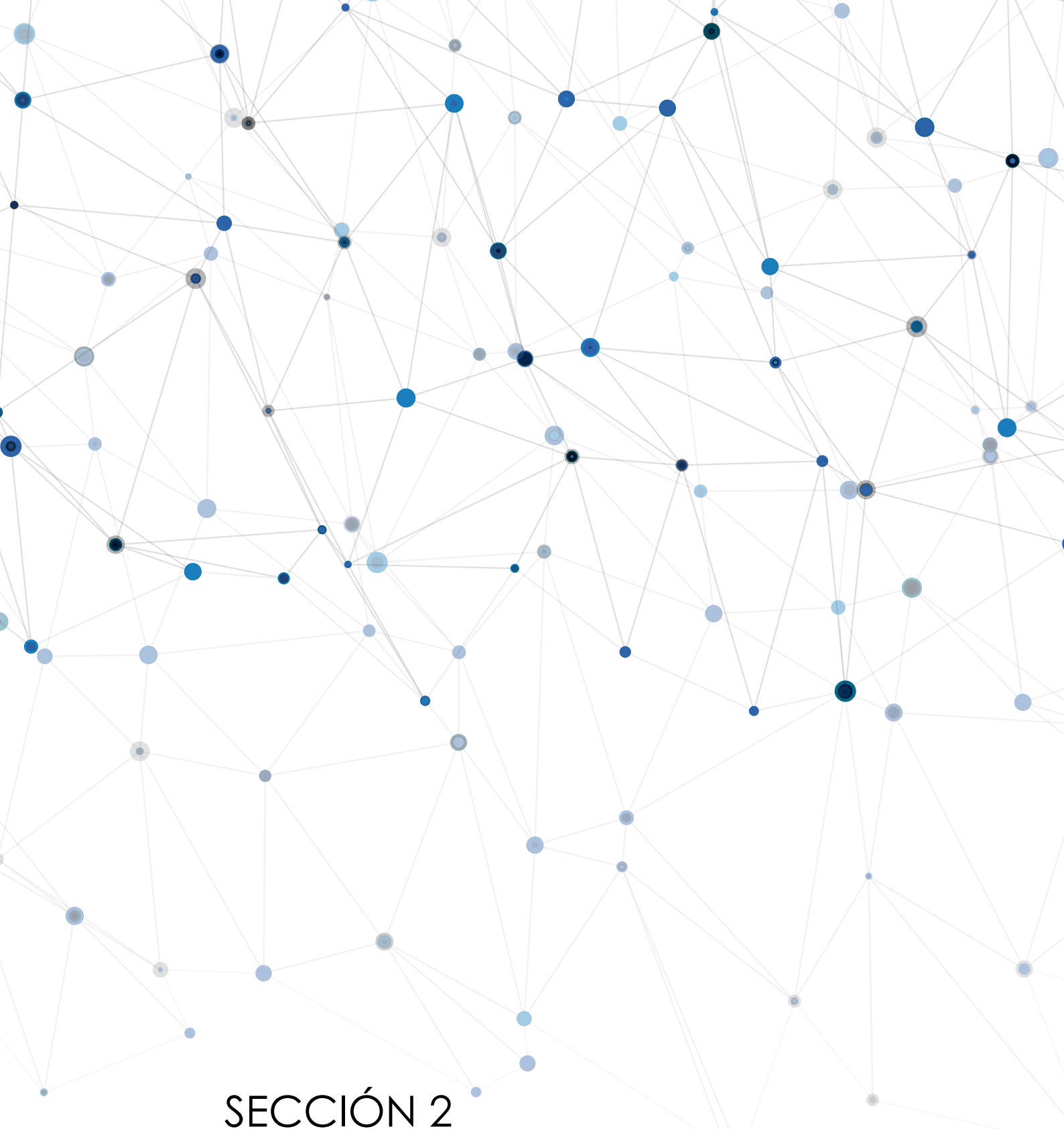
Grinstein, B., O'Connell, D., & Wise, M. B. (2008). The Lee-Wick standard model. *Phys. Rev. D*, 77(2), 025012. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.77.025012>

Jácome, J. J. S. (2023). Demonstrating the feasibility of testing microscopic acausality at the LHC with CMS open data. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 15(1).

Lee, T. D., & Wick, G. C. (1970). Finite Theory of Quantum Electrodynamics. *Phys. Rev. D*, 2(6), 1033-1048. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.2.1033>

Sánchez Jácome, J. J. & others. (2022). Testing the feasibility to measure wrong displaced vertices from Lee-Wick particle decays with CMS experiment open data [Master's Thesis]. Quito.

Unity, T. (2024). Unity - Manual: Prefabs. <https://docs.unity3d.com/Manual/Prefabs.html>



SECCIÓN 2

VENTANA AL UNIVERSO DE LA FÍSICA

BATERÍA NUCLEAR COMPACTA Y PRÓXIMA A ENTRAR EN PRODUCCIÓN ²

Los términos batería nuclear, batería de tritio y generador de radioisótopos se utilizan para describir dispositivos que utilizan la emisión de isótopos radiactivos para generar electricidad. Al igual que los reactores nucleares, estas células utilizan energía nuclear para producir electricidad, pero se diferencian en que no utilizan una reacción en cadena. Son muy caras en comparación con otras baterías, pero tienen una larga vida útil y una alta densidad de energía. Por ello, suelen utilizarse en equipos que deben funcionar sin tripulación durante largos períodos de tiempo, como satélites y estaciones científicas autónomas en zonas remotas. Las células nucleares se utilizan a menudo en la industria espacial junto con la energía solar. Las sondas Voyager, Pioneer, Galileo, Ulysses, Cassini y New Horizons utilizaron generadores termoeléctricos de radioisótopos para viajar a través del sistema solar.



Figura 1. Batería nuclear adaptada a smartphones

Las baterías que está fabricando la empresa china Betavolt New Energy Technology podrían dotar de energía a teléfonos móviles, drones y marcapasos hasta por cinco décadas. El pequeño generador de electricidad está en pruebas piloto y en unos años pasará a la fase de producción industrial.

La batería para dispositivos móviles cuenta con tecnología de desintegración de isótopos nucleares de níquel-63 y un módulo semiconductor especial de diamante. Según las pruebas realizadas, las células atómicas son estables y prometen generar hasta 100 microvatios de potencia y un voltaje de 3V².

Fabricación

El equipo de científicos de Betavolt desarrolló un semiconductor de diamante monocristalino único de sólo 10 micrones de espesor, colocando una lámina de níquel -63 de 2 micrones de espesor entre dos convertidores semiconductores de diamante, consiguiendo que los semiconductores transformen la energía que genera la desintegración de la fuente radioactiva en corriente eléctrica utilizable. Las baterías nucleares son modulares y pueden estar compuestas por cientos de módulos unitarios independientes y pueden usarse en serie y en paralelo, por lo que se pueden fabricar baterías de diferentes tamaños y capacidades.

Las baterías nucleares tienen algunas ventajas importantes con respecto a las tradicionales basadas en tecnología electroquímica. La más evidente es su vida útil extendida gracias a que el concepto de "ciclos de carga" no aplica en ellas. El desgaste de estas unidades de energía no consiste en el número de cargas completas, sino en la descomposición del elemento enriquecido. Otra característica que las vuelve más eficientes es que son modulares y se pueden unir por decenas de unidades independientes para crear pilas de distintos tamaños y capacidades.

Los dispositivos de Betavolt son esencialmente un rectángulo de 15x15x5 milímetros cúbicos. La primera serie de ellos puede conectarse entre sí para amplificar

² MSc. Luis Guerra.

su energía y resistir los ambientes más hostiles sin comprometer su estabilidad. La compañía asegura que las baterías funcionarán a temperaturas que oscilan entre los -60 y 120 grados Celsius.

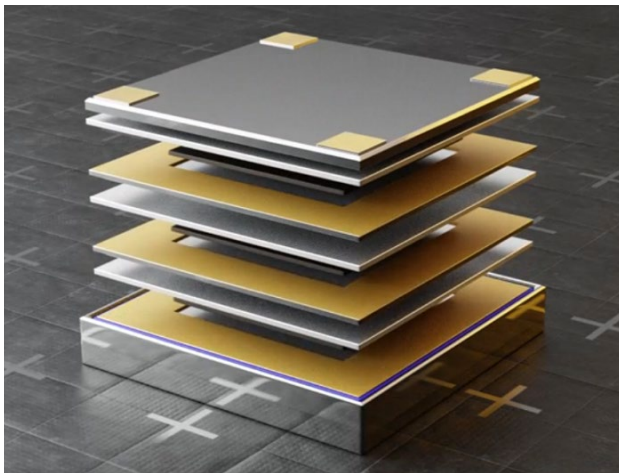


Figura 2. Capas de fabricación de batería BetaVolt¹

Libre de riesgos

Los creadores de las celdas de energía afirman que no presentan riesgos para la salud humana. No contienen radiación externa y su arquitectura de capas previene posibles incendios. Las baterías fueron diseñadas para ser introducidas en smartphones, drones o micro robots. La empresa desarrolladora anima a los interesados a usarlas en hardware médico, como marcapasos, corazones artificiales y aparatos para la sordera.

El manejo de los residuos no parece ser problema, ya que los 63 isótopos de las pilas de energía atómica se desintegran en 100 años hasta convertirse en un isótopo estable de cobre. Este elemento "no es radiactivo y no presenta ninguna amenaza ni contaminación para el medio ambiente", explica un comunicado. Las celdas de litio que actualmente usan todos los gadgets deben reciclarse en centros especializados pues los químicos y metales que contienen contaminan el suelo y el agua³.

Betavolt ya ha registrado sus patentes en Beijing, China, comenzará a hacer el mismo procedimiento en el resto del mundo y entrará en fase de producción para aplicaciones comerciales, como parte del plan para impulsar la economía del país asiático.

REFERENCIAS

1. SAMETBAND, R. (2024, 25, Enero), Chau cargador: la compañía china Betavolt creó una batería nuclear que genera energía sin pausa durante 50 años, La Nación, <https://www.lanacion.com.ar/tecnologia/chau-cargador-la-compania-china-betavolt-creo-una-bateria-nuclear-que-genera-energia-sin-pausa-nid25012024/>
2. ROCA, R. (2024, 23, Enero) China crea la batería del futuro: dura 50 años y es...¡nuclear!, El periódico de la energía, <https://elperiodicodelaenergia.com/china-crea-la-bateria-del-futuro-dura-50-anos-y-es-nuclear/>
3. Ruiz, D. E. (2024, February 24). Desarrollan batería con energía atómica que duraría 50 años sin necesidad de recarga. infobae. <https://www.infobae.com/tecno/2024/02/24/desarrollan-bateria-con-energia-atmica-que-duraria-50-anos-sin-necesidad-de-recarga/>



SECCIÓN 3
ENSEÑANDO FÍSICA

WEBINAR DE PEDAGOGÍA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES, MENCIÓN FÍSICA³

El 16 de febrero de 2024, se llevó a cabo el Webinar de la Maestría en Pedagogía de las Ciencias Experimentales, Mención Física, de la Dirección de Posgrado de la Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación de la Universidad Central del Ecuador, correspondiente a la Primera Cohorte 2023-2025 en modalidad presencial. El objetivo principal del evento académico fue proporcionar información detallada sobre los contenidos, recursos, aspectos pedagógicos y experimentales de la maestría, así como destacar los recursos altamente calificados disponibles para los estudiantes, promoviendo la excelencia en la formación académica.

Introducción:

- Brindar un contexto general sobre la importancia de la enseñanza de las ciencias experimentales, específicamente en el ámbito de la física.
- Mencionar la relevancia de programas de posgrado especializados en esta área.
- Presentar brevemente el programa de Maestría en Pedagogía de las Ciencias Experimentales, Mención Física, de la Universidad Central del Ecuador.

Desarrollo:

1. Objetivos y enfoque del programa de maestría

- Formación especializada en la enseñanza de las ciencias experimentales, con énfasis en la física.
- Aspectos abordados: didáctica, concepción de conceptos científicos, formación de profesionales capacitados para transmitir principios fundamentales de la física.

2. Cuerpo docente y autoridades invitadas

- Coordinación a cargo del MSc. Santiago Poma Lojano.
- Invitados especiales: Ph.D. Raúl Puebla (Director del Centro de Física) y Ph.D. Darwin Caina (Decano de la Facultad de Ciencias).
- Docentes de las asignaturas

3. Contenidos académicos y docentes

- Asignaturas impartidas: Planificación de la Investigación y Escritura Científica, Matemática para la Física, Mecánica Newtoniana.
- Ph.D. Guillermo Terán impartió la asignatura de Planificación de la Investigación y Escritura Científica. Es docente de la Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación. La asignatura se desarrolló desde el 28 de octubre al 23 de noviembre de 2023 con un total de 112 horas académicas. Los contenidos que se trabajaron en la asignatura han permitido una integración de proyectos de investigación en la enseñanza de la Física, fomentando una conexión directa entre la teoría y la práctica.
- El Ph.D. Oscar Lasso fue docente de la asignatura Matemática para la Física. Es docente de la Universidad de las Américas. La asignatura se desarrolló desde el 25 de noviembre del 2023 al 06 de enero del 2024 con un total de 170 horas académicas. Los contenidos que se trataron generalmente abarcan áreas avanzadas que son fundamentales para la comprensión y aplicación de conceptos físicos.
- La MSc. Elsa Rocío Arequipa es docente de la Universidad de Central del Ecuador en el Centro de Física. La asignatura se desarrolló desde el 10 de enero al 03 de febrero del 2024 con un total de

³ MSc. Santiago Poma Lojano

170 horas académicas. En la asignatura de Mecánica Newtoniana, se realizó la presentación de proyectos innovadores además de abordar sobre la mecánica newtoniana como tema fascinante sobre los principios fundamentales del movimiento y las fuerzas en el universo.

4. Experiencias y testimonios de estudiantes

- Presentación de proyectos innovadores y aplicación práctica de conocimientos adquiridos.
- Participación de estudiantes destacados en cada asignatura.
- Ing. Alexandra Chasiquiza, Lic. Karen Báez y Lic. Cristian Vilaña que abordaron temas específicos sobre Epistemología e Historia de la Física
- Lic. Jorge Guachamín, Lic. Gladys Pinta y Ing. Jimmy Quinga especificaron los conocimientos adquiridos en la asignatura de Planificación de la Investigación y Escritura Científica
- MSc. Mauro Mendizabal y la Lic. Johana Flores abordaron la experiencia vivida en la asignatura de Matemática para la Física
- Ing. Alvaro Tipán hizo un análisis sobre los contenidos de la asignatura de Mecánica Newtoniana

5. Gestión y ejecución del programa

- Gestación en el Centro de Física con el apoyo de la Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación.
- Equipo de dirección y docentes involucrados.
- PhD. Guillermo Terán Acosta Director del programa, MSc. Luis Guerra, Lic. Claudia Tonato, MSc. Santiago Poma Lojano, funcionarios del Centro de Física, Personal docente de las diferentes facultades: MSc. Jorge García, MSc. Oswaldo Espín, MSc. Marcelo Changoluisa, PhD Eduardo Avalos.
- La maestría cuenta con 13 asignaturas en su Malla curricular.

Conclusiones:

- El Webinar de la Maestría en Pedagogía de las Ciencias Experimentales, Mención Física, de la Universidad Central del Ecuador, ha demostrado ser un programa académico de alta calidad y relevancia en la formación de profesionales especializados en la enseñanza de la física. Este evento académico permitió resaltar los logros alcanzados durante la primera cohorte 2023-2025, destacando la integración efectiva de proyectos de investigación en la enseñanza de la física, lo cual fomenta una conexión directa entre la teoría y la práctica.
- La gestión y ejecución del programa involucró a un equipo multidisciplinario de autoridades, directores, docentes y personal administrativo del Centro de Física y la Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación de la Universidad Central del Ecuador, lo que demuestra un enfoque colaborativo y una planificación cuidadosa para ofrecer una formación de calidad en el área de la pedagogía de las ciencias experimentales.
- Además, se pudo apreciar la participación activa de los estudiantes en la presentación de proyectos innovadores y la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos en las diversas asignaturas impartidas. Esto demuestra el compromiso del programa por formar profesionales capaces de transmitir de manera efectiva los principios fundamentales de la física, así como promover el desarrollo de habilidades investigativas y creativas.
- El programa de maestría cuenta con un equipo docente altamente calificado, compuesto por expertos en las áreas de pedagogía y física, quienes han diseñado una malla curricular integral que abarca 13 asignaturas enfocadas en la educación media y superior. Esta sólida estructura académica, respaldada por la Universidad Central del Ecuador y su Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación, garantiza una formación de excelencia para los estudiantes.



SECCIÓN 4
Artículo Científico

SOBRE LA MECÁNICA DEL PÉNDULO.

Arequipa Elsa⁴
erarequipa@uce.edu.ec

Chari Fernando⁵
fjchari@uce.edu.ec

Mora Alexander⁶
admoram@uce.edu.ec

Universidad Central del Ecuador
Quito – Ecuador

Resumen
Se describe las características del péndulo de n-ésimos eslabones. Cuando $N_2 = 2$ eslabón, se trata del sistema péndulo doble y se analiza la mecánica de su movimiento mediante un formalismo Lagrangiano, se reconocen las restricciones del sistema y los grados de libertad, para encontrar el número mínimo de ecuaciones de Lagrange que describen el movimiento del sistema. Una vez determinado el Lagrangiano y las ecuaciones diferenciales que rigen el movimiento, se utiliza los paquetes de MATLAB para dar solución numérica a las ecuaciones halladas mediante el método numérico Runge-Kuta, seguidamente se diseña un simulador con el objetivo de verificar visualmente el comportamiento del péndulo doble. Finalmente, se determina de manera analítica y visual si el sistema péndulo doble es un Sistema Caótico, y se explican los resultados encontrados.

Palabras Clave
Péndulo doble - Ecuaciones de Lagrange - Simulador

Índice

Introducción	13
1. Métodos	14
1.1 Restricciones	14
1.2 Grados de Libertad	14
1.3 Ecuaciones de Lagrange	15
1.4 Lagrangiano	15
1.5 Ecuaciones del movimiento	15
2. Simulación en MATLAB	16
3. Resultados y Discusión	16
3. Conclusiones	17
Agradecimientos	17
Referencias	17

Introducción

Si se considera ($N_i = i$ eslabón: $i = 1, 2, \dots, n$) y un sistema de masas puntuales ($m_i : i = 1, 2, \dots, n$) suspendidas de un eje horizontal mediante un conjunto de longitudes despreciables ($l_i : i = 1, 2, \dots, n$) se obtiene el péndulo de N-eslabones, cuya configuración de construcción desborda en simplicidad como lo muestra la Figura 1.

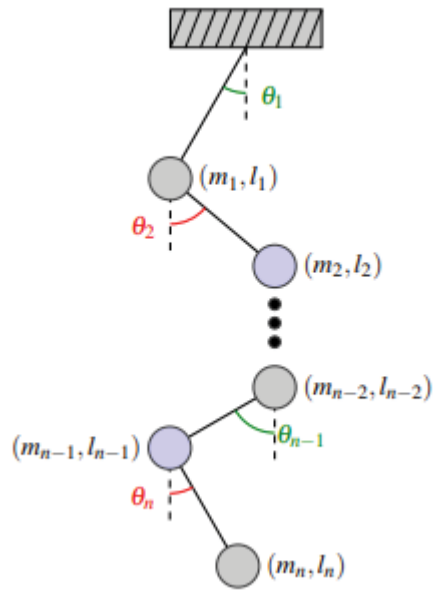


Figura 3. Péndulo de N-eslabones

Si $i=1$ entonces $N_1 = 1$ eslabón, o comúnmente llamado péndulo simple [ver Figura 2], cuya mecánica es relativamente fácil de estudiar debido a que su movimiento se ve determinado por ecuaciones lineales, en otras palabras es un sistema integrable.

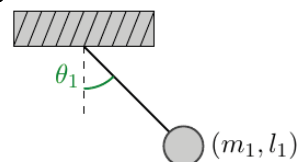


Figura 4. Péndulo Simple

Si $i = 2$ entonces $N_2 = 2$ eslabón, o llamado péndulo doble como lo muestra la Figura 4, cuyo movimiento se ve determinado por ecuaciones que poseen funciones no lineales de las variables de la forma $f(x + y) \neq f(x) + f(y)$, es decir es un sistema no integrable.

Si $i = 3$ entonces $N_3 = 3$ eslabón, o conocido como péndulo triple, cuyo movimiento es más complejo de analizar en comparación a los sistemas mencionados con anterioridad, ver Figura 3.

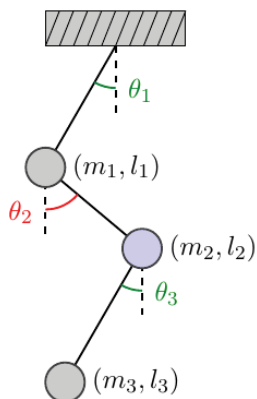


Figura 5. Péndulo triple.

Finalmente, para Consenza (2016), “la no integrabilidad de un sistema puede exhibir un comportamiento caótico”. Por tal motivo, se realizará un análisis completo del sistema péndulo doble para determinar de manera analítica y visual su comportamiento caótico.

1. Métodos

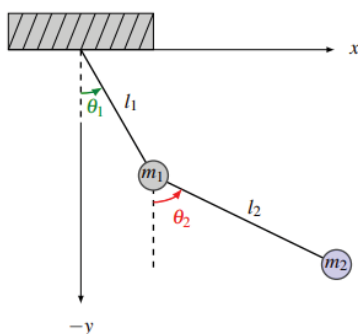


Figura 6. “Péndulo Doble”

Si una masa m_1 suspendida del origen de coordenadas $(0,0)$ del plano cartesiano, mediante una longitud de cuerda l_1 , y una masa m_2 suspendida de una masa m_1 , mediante una longitud de cuerda l_2 , a este sistema compuesto de dos péndulos simples se le denomina péndulo doble

En la búsqueda de ecuaciones que describan el movimiento de manera alternativa (aunque equivalente), Lagrange¹ proporciona establecer un nuevo sistema de coordenadas que faciliten los cálculos, pues, resulta más sencillo analizar cómo evoluciona θ_1 y θ_2 en el tiempo; ya que estas funciones permiten definir la trayectoria del péndulo doble en \mathbb{R}^2 .

1.1 Restricciones

Existe dos restricciones para m_1 y para m_2 , luego se tiene:

Para m_1 :

$$\begin{aligned} f_1(\vec{r}_1) &= z_1 = 0 \\ f_2(\vec{r}_1) &= x_1^2 + y_1^2 = l_1^2 \end{aligned} \quad (1)$$

Para m_2 :

$$\begin{aligned} f_3(\vec{r}_2) &= z_2 = 0 \\ f_4(\vec{r}_2) &= (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 = l_2^2 \end{aligned} \quad (2)$$

Luego, existen 4 restricciones para el sistema péndulo doble, es decir $k = 4$.

1.2 Grados de Libertad

Por simple inspección de la Figura 4 se puede determinar que 2 componentes rectangulares son totalmente independientes. Consecuentemente, el sistema tiene 2 grados de libertad.

Análiticamente:

$$\begin{aligned} n &= 3N - k \\ n &= 2 \end{aligned} \quad (3)$$

En consecuencia, el método analítico verifica que el sistema tiene 2 grados de libertad.

¹ Joseph-Louis de Lagrange reformula la mecánica clásica en los siglos diecisiete y diecinueve.

1.3 Ecuaciones de Lagrange

Según Taylor² para cualquier sistema restringido con energía potencial U y coordenadas generalizadas:

$$q_1 = \theta_1(t) \quad q_2 = \theta_2(t)$$

Además, la evolución en el tiempo del sistema está determinado por $n = 2$ ecuaciones de Lagrange:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \theta_1} - \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{\theta}_1} \right) = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \theta_2} - \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{\theta}_2} \right) = 0 \quad (5)$$

1.4 Lagrangiano

Para el caso particular de fuerzas conservativas, el Lagrangiano \mathcal{L} se define como la diferencia de la energía cinética total T y la energía potencial total U , y no ahondaremos en su demostración por la complejidad que suscita el caso. Por lo tanto, se asume:

$$\mathcal{L} := T - U \quad (6)$$

$$T := T_1 + T_2 \quad (7)$$

$$U := U_1 + U_2 \quad (8)$$

Para determinar T_1 y U_1 se debe analizar el vector posición $\vec{r}_1 = (x_1, y_1, 0)$ de m_1 de la Figura 5 con respecto al extremo superior o extremo sujeto al eje horizontal de l_1 , entendiéndose como el centro de coordenadas $(0,0)$ del sistema.

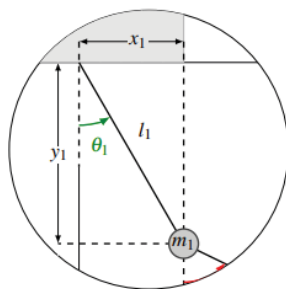


Figura 7. Análisis de T_1 y U_1 .

Para determinar T_2 y U_2 se debe analizar el vector $\vec{r}_2 = (x_2, y_2, 0)$ de m_2 de la Figura 5 con respecto al centro de coordenadas. Mientras que, para hallar l_{2x} y l_{2y} se debe realizar el análisis con respecto a m_1 , como lo muestra la Figura 6.

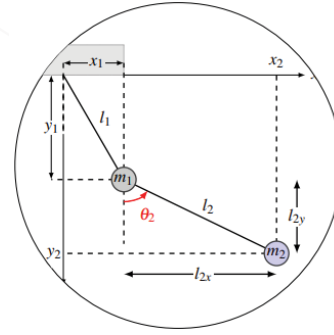


Figura 8. Análisis de T_2 y U_2

Después de del proceso de análisis, se realiza una serie de sustituciones correspondientes, para determinar a Lagrangiano \mathcal{L} , en terminos de las coordenadas generalizadas q_1 y q_2 , es decir $\mathcal{L} = \mathcal{L}(\theta_1, \theta_2)$. Luego, se tiene:

$$\begin{aligned} \mathcal{L} = & \frac{1}{2}(m_1+m_2)l_1^2\dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2}m_2l_2^2\dot{\theta}_2^2 + \\ & m_2l_1l_2\dot{\theta}_1\dot{\theta}_2\cos(\theta_1-\theta_2) + gl_1\cos\theta_1(m_1+m_2) \\ & + m_2gl_2\cos\theta_2 \end{aligned} \quad (9)$$

1.5 Ecuaciones del movimiento

Trabajando en las ecuación 4 y 9 se obtiene la ecuación de Lagrange para θ_1 :

$$\begin{aligned} 0 = & (m_1+m_2)l_1^2\ddot{\theta}_1 + (m_1+m_2)gl_1\sin\theta_1 + \\ & m_2l_1l_2\dot{\theta}_2^2\cos(\theta_1-\theta_2) + \\ & m_2l_1l_2\dot{\theta}_2^2\sin(\theta_1-\theta_2) \end{aligned} \quad (10)$$

De forma análoga, trabajando en las ecuación 5 y 9 se obtiene la ecuación de Lagrange para θ_2 :

$$\begin{aligned} 0 = & m_2l_2^2\ddot{\theta}_2 + m_2gl_2\sin\theta_2 \\ & + m_2l_1l_2\dot{\theta}_1\cos(\theta_1-\theta_2) \\ & - m_2l_1l_2\dot{\theta}_1^2\sin(\theta_1-\theta_2) \end{aligned} \quad (11)$$

Despejando $\ddot{\theta}_1$ y $\ddot{\theta}_2$ de las ecuaciones 10 y 11 se obtienen ecuaciones diferenciales que rigen el movimiento del péndulo doble.

Previamente se define:

$$\begin{aligned} \omega &:= \theta_1 - \theta_2 \\ \alpha &:= \theta_1 - 2\theta_2 \\ m &:= m_1 + m_2 \\ M &:= 2m_1 + m_2 \\ H &:= M\sin\theta_1 + m_2\sin\alpha \end{aligned}$$

Entonces:

(12)

² Taylor, J.R. Classical Mechanics. University Science Books, 2005

$$\ddot{\theta}_1 = \frac{-gH - 2m_2 \sin \omega [l_2 \dot{\theta}_2^2 + l_1 \dot{\theta}_1^2 \cos \omega]}{l_1 [M - m_2 \cos 2\omega]}$$

$$\ddot{\theta}_2 = \frac{2 \sin \omega [m (l_1 \dot{\theta}_1^2 + g \cos \theta_1) + m_2 l_2 \dot{\theta}_2^2 \cos \omega]}{l_2 [M - m_2 \cos 2\omega]} \quad (13)$$

Además, las ecuaciones 12 y 13 se pueden expresar como funciones de sus coordenadas y velocidades generalizadas, es decir:

$$\ddot{\theta}_1 = \ddot{\theta}_1(\theta_1, \theta_2, \dot{\theta}_1, \dot{\theta}_2) \quad (12.1)$$

$$\ddot{\theta}_2 = \ddot{\theta}_2(\theta_1, \theta_2, \dot{\theta}_1, \dot{\theta}_2) \quad (13.1)$$

Según Conzenza (2016), “un sistema con n grados de libertad es integrable si posee, al menos, s cantidades conservadas; es decir, si $n = s$ ” y “si un sistema con n grados de libertad tiene menos de s cantidades conservadas ($s < n$), se denomina no integrable”.

Analíticamente:

$$n = 2 \text{ grados de libertad}$$

$$s = 1 \text{ cantidad conservada (Energía)}$$

Como $s < n$, el sistema no es integrable, entonces, se puede afirmar de manera analítica que el sistema péndulo doble es un Sistema Caótico.

2. Simulación en MATLAB

En esta sección, se hará uso de las bibliotecas y paquetes de MATLAB, debido a sus altas capacidades como software matemático para resolver Ecuaciones Diferenciales Ordinarias (EDO) y determinar valores propios.

Las ecuaciones 12 y 13 no tienen solución analítica por la condición de integralidad. Por cuál, se hará uso de la función ODE-45 para dar solución numérica a las ecuaciones halladas en la sección anterior. ODE-45 se basa en el método de integración Runge-Kuta de cuarto y quinto orden, con tamaño de paso adaptativo.

3. Resultados y Discusión

Dada las condiciones iniciales que se indican en la Tabla 1.

Tabla 1. Condiciones iniciales (C1) de θ_1 y θ_2

#	θ_1	θ_2	l_1	l_2	m_1	m_2
	rad	rad	m	m	kg	kg
1	$3\pi/4$	$\pi/2$	3	2	2	3

Para un intervalo de tiempo $t \in [0,30]$ segundos, se obtienen las siguientes trayectorias para m_1 y m_2 .

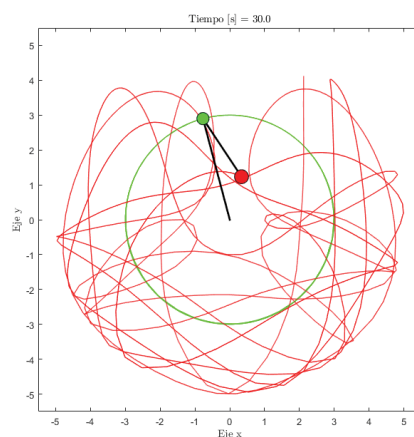


Figura 9. Simulación del movimiento para C1.

Se puede observar en la Figura 7 que m_1 sigue una trayectoria circular, mientras que m_2 no se acopla a ninguna función.

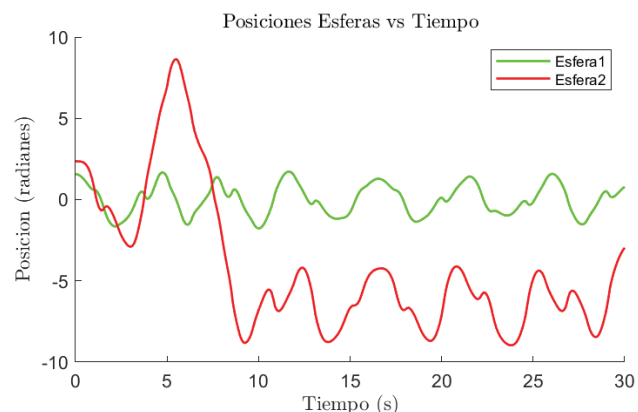


Figura 10. Diagrama θ_1 vs t (Verde) y θ_2 vs t (Rojo).

Sin embargo, al observar los resultados arrojados por la Figura 8, podemos afirmar que tanto la trayectoria de m_1 y m_2 , no se acoplan a ninguna función conocida.

Ahora, se considera modificar el valor de θ_1 , aumentando o disminuyendo valores despreciables, como se indica en la Tabla 2.

Tabla 2. Condiciones iniciales (C2) de θ_1 y θ_2

#	θ_1	θ_2	l_1	l_2	m_1	m_2
	rad	rad	m	m	kg	kg
1	$3\pi/4 + 0,001$	$\pi/2$	3	2	2	3

Para un intervalo de tiempo $t \in [0,30]$ segundos, se obtienen las siguientes trayectorias para m_1 y m_2 , considerando las condiciones iniciales de la Tabla 2.

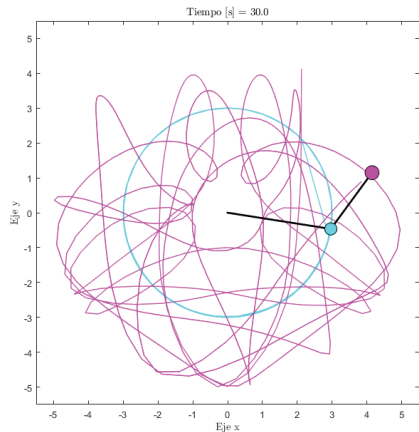


Figura 11. Simulación del movimiento para C2.

Como podemos observar en la Tabla 2, se ha sumado un valor muy insignificante de 0,001 radián al ángulo θ_1 . Sin embargo, el péndulo describe trayectorias muy diferentes en comparación a las trayectorias descritas para las condiciones iniciales de la Tabla 1, como se verifica a continuación:

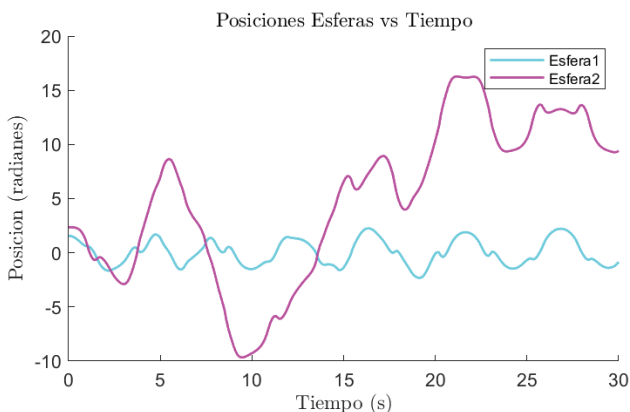


Figura 10. Diagrama θ_1 vs t (Cyan) y θ_2 vs t (Magenta).

Al comparar el diagrama de la Figura 10 y la Figura 8 se puede determinar que un mínimo cambio en las condiciones iniciales dan como resultado trayectorias totalmente diferentes. Por lo tanto, se puede comprobar de manera visual, que el sistema péndulo doble es un Sistema Caótico.

3. Conclusiones

1. La versión lagrangiana de la mecánica tiene grandes ventajas en comparación a la mecánica newtoniana, funciona igual en todos los sistemas y maneja fácilmente los sistemas restringidos.
2. El sistema péndulo doble es un Sistema Caótico, ya que las ecuaciones que rigen su movimiento son funciones no lineales, es

decir, se cumplió que $f(x + y) \neq f(x) + f(y)$. Además, las cantidades conservadas (Energía) son menores a los grados de libertad del sistema ($s < n$), por lo tanto, el sistema péndulo doble es un sistema no integrable. Estas dos condiciones, verifican el comportamiento caótico del sistema péndulo doble.

3. Las trayectorias de las masas m_1 y m_2 que parten de condiciones iniciales cercanas en un tiempo $t = 0$ segundos, no se mantienen cercanas en un tiempo $t = 30$ segundos, si no que evolucionan de manera irregular y totalmente diferente conforme t avanza, comparar la Figura 7 con la Figura 9 y la Figura 8 con la Figura 10. Por lo tanto, la simulación y los diagramas en MATLAB verifican de manera visual que el sistema péndulo doble es un Sistema Caótico.

Agradecimientos

Yo Chari Fernando como autor principal, me remito a expresar mis sentimientos de alta estima, motivación y aprecio a la MSc. Arequipa Elsa, por brindar su total apoyo en la redacción del presente artículo y por proporcionar y permitirme realizar mejoras en el código fuente de la simulación del sistema péndulo doble en MATLAB.

Es de vital importancia, expresar mis sentimientos de consideración con el Sr. Mora Alexander, por ayudar en la construcción de un prototipo del péndulo doble, y a los docentes del Centro de Física de la Universidad Central del Ecuador por permitirme realizar prácticas preprofesionales en dichas instalaciones.

Referencias

- Consenza, M. (2016). *Mecánica Clásica*. Universidad de los Andes Mérida.
- Goldstein, H. (2001). *Classical Mechanics*. Addison-Wesley.
- Gutiérrez, I., Collado, J. y Tellez, J. (2014). Estabilización del Péndulo Doble mediante excitación paramétrica. *Memorias del XVI Congreso Latinoamericano de Control Automático, CLCA, 14(17)*, 1248-1253.
- Linares, J. (2018). *Péndulo Doble*. Universidad de Sevilla.
- Taylor, J. (2005). *Classical Mechanics*. University Science Books.



SECCIÓN 5
**LA FÍSICA A TRAVÉS DEL
TIEMPO**

CONTRIBUCIONES DE CTESIBIO DE ALEJANDRÍA. ⁷

Ctesibio: (Κτησίβιος Ktēsíbios) (285 a. C.–222 a. C.)

Ctesibio fue un ingeniero e inventor griego que vivió en el siglo III a.C. en la ciudad de Alejandría. Entre sus contribuciones, se destacan sus trabajos en el campo de la neumática, que es el estudio de las propiedades mecánicas de los gases. Ctesibio desarrolló la primera bomba de aire conocida, conocida como la "bomba de Ctesibio" o el "cilindro hidráulico de Ctesibio".



Figura 11. "Inventos de la historia. (2015, 29 de abril). Ctesibio [Foto]. Recuperado de <https://inventosdelahistoriaandrea.wordpress.com/2015/04/29/ctesibio/>"

¡Imagina un mundo donde la ciencia se mezcla con la ingeniería para crear dispositivos ingeniosos y asombrosos! En el vibrante escenario de la antigua Grecia, un genio llamado Ctesibio de Alejandría brilló con luz propia gracias a su ingenio e inventiva.

Entre los intrincados pasillos de la historia, Ctesibio dejó su huella con su fascinante contribución a la neumática, el estudio de los gases y sus propiedades mecánicas.

¡Aquí es donde la ciencia y la diversión se dieron la mano!

Ctesibio desarrolló un ingenioso artilugio que jugueteaba con la expansión y la compresión del aire para realizar auténticas maravillas mecánicas. ¿Para qué? ¡Para nada menos que alimentar órganos musicales automáticos o dar vida a fuentes de agua que desafiarían la gravedad misma!

Imagina un teatro griego donde las notas musicales flotan en el aire gracias a la bomba de Ctesibio. ¿O tal vez un jardín mágico donde las fuentes danzan al ritmo de la neumática antigua? Este genio no solo entendía los principios físicos, sino que los convertía en espectáculos cautivadores. (Romo, 2023)

Pero ¿cómo logró Ctesibio hacer magia con su bomba? Aquí entra en juego el encanto de la neumática. Este maestro griego entendió que el aire, ese compañero invisible que nos rodea, es más que solo aliento. Esta funcionaba manipulando la expansión y compresión del aire en un cilindro, creando así una danza entre el gas y la mecánica. (Zaid, 2007)

Cuando el aire se expandía, abrazaba con entusiasmo su nuevo espacio, generando presión. Pero aquí está la brillantez de Ctesibio: al comprimir ese aire con maestría, lograba generar energía suficiente para dar vida a sus maravillosas creaciones. Así, este juego de compresión y expansión no solo alimentaba la curiosidad, sino que también animaba con ritmo y melodía a los órganos musicales o a las fuentes de agua, como si el propio aire estuviera tocando una sinfonía de ingenio y ciencia. (Blanco, 2016) ¡Una oda encantadora a la física que transformaba el aire en el cómplice perfecto para la magia!

Así que, mientras exploramos la historia, no olvidemos a Ctesibio, el maestro de la neumática que transformó el conocimiento científico en una sinfonía de maravillas. ¡Un recordatorio de que la antigua Grecia no solo nos dio filósofos, sino también inventores que hicieron que la ciencia fuera tan emocionante como un día en el teatro griego!

REFERENCIAS:

Blanco, P. (marzo de 2016). Ingenios mecánicos para la explotación del medio. Madrid, España.

Kokita, E. (8 de Abril de 2019). Historia del Arte: de la prehistoria a nuestros días. Obtenido de <https://kokita-erihistoriadelarte.blogspot.com/2019/04/bomba-de-ctesibio.html>

Nacional, M. A. (1936). Bomba de Ctesibio. Bomba hidráulica. Madrid, España.

Romo, J. M. (29 de junio de 2023). El Augur: revista de la Roma Antigua. Guijuelo, Salamanca.

Zaid, G. (2007). Hidráulico. España.

Comotti, Giovanni: Music in Greek and Roman Culture. Baltimore: Johns Hopkins, 1989.

Leonardo AI. (2024). Imagen de la Hydraulis y la Bomba de Ctesibio. <https://www.leonardo.ai>



Figura 12. Imagen de La Bomba de Ctesibio desarrollada por Leonardo AI, 2024.

A network diagram consisting of numerous nodes of varying sizes and colors (blue, grey, black) connected by thin, light grey lines. The nodes are scattered across the page, creating a complex web of connections.

SECCIÓN 6
**LABORATORIO EN
ACCIÓN**

TEMA: EQUILIBRIO DE UNA PARTÍCULA EN EL ESPACIO

OBJETIVOS

1. Determinar experimental y analíticamente la magnitud de una fuerza requerida para mover una masa suspendida entre dos cuerdas.
2. Demostrar las condiciones de equilibrio para un sistema de fuerza aplicada.

EQUIPO DE EXPERIMENTACIÓN

1. 3 Newtómetros $A \pm 0.025$ (N).
2. Portamasas.
3. Masa calibrada.
4. 3 cuerdas.
5. Regla $A \pm 0.001$ (m).
6. Equipo de soporte.
7. Mano mecánica.

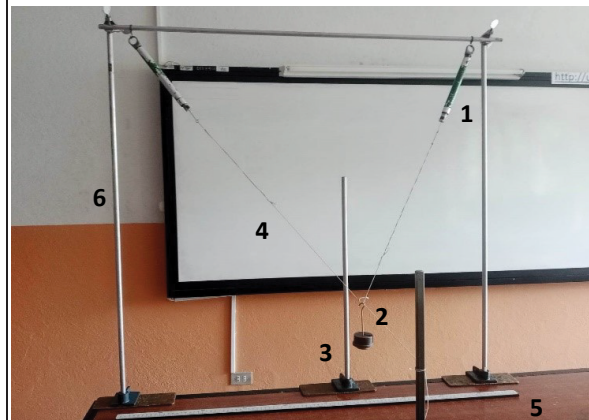


Figura 13. Equipo experimental Equilibrio de una partícula en el espacio.

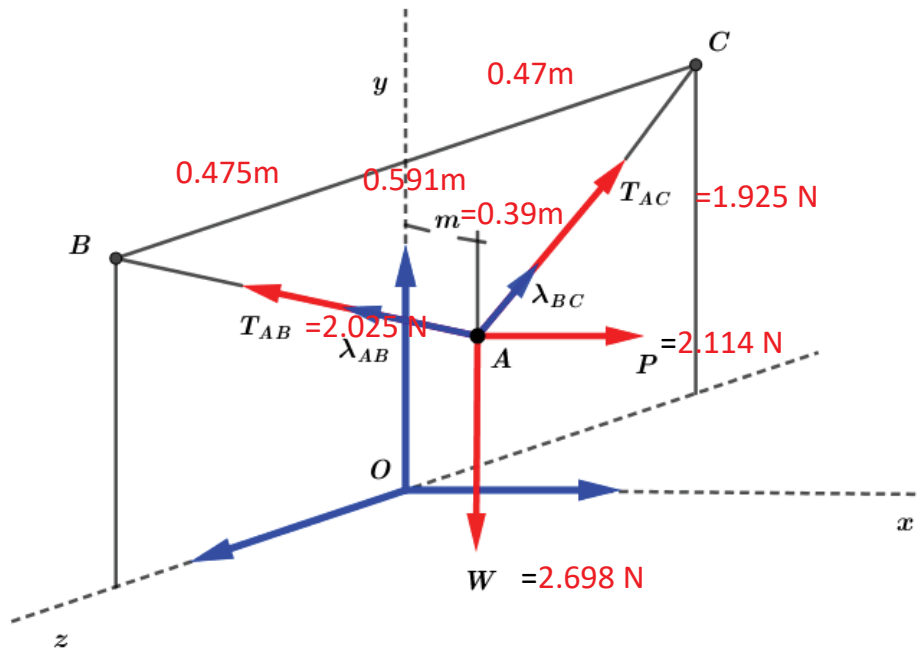
FUNDAMENTO CONCEPTUAL

- Definición de fuerza.
- Diagrama de cuerpo libre (DCL).
- Condiciones de equilibrio.
- Componentes rectangulares de una fuerza.

PROCEDIMIENTO

1. Armar el equipo de acuerdo a la figura.
2. Identificar los puntos A, B y C para tomar como referencia posterior.
3. Colocar dos Newtómetros suspendidos desde los extremos de la varilla horizontal y colocar una cuerda al extremo de los mismos.
4. Unir las dos cuerdas y suspender un porta masa.
5. Añadir una masa adicional de 0.200 kg.
6. Con una cuerda adicional y desde el porta masa halar una distancia m . Registrar el valor en la tabla de datos.
7. Determinar los ejes de referencia (x, y, z) con respecto del punto A.
8. Medir la distancia desde el punto A hasta la vertical de la varilla con el punto ele de referencia ($r_i(AB)$), componente en x.
9. Medir la distancia desde la proyección del punto A hasta la varilla superior ($r_j(AB)$), componente en y.
10. Medir las distancias desde la proyección del punto A en la varilla superior hasta el punto B ($r_k(AB)$), componente en z.
11. Repetir el proceso para los puntos AC
12. Realizar el diagrama de cuerpo libre y colocar los datos de las medidas necesarias para determinar el valor de las magnitudes desconocidas.

REGISTRO DE DATOS



CUESTIONARIO

1. Descomponer cada fuerza en sus componentes rectangulares.

$$P = Pi$$

$$W = -mgj = -(0.275kg) \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) j = 2.698 N$$

2. Determinar las magnitudes de los vectores \vec{AB} y \vec{AC} y multiplicar por el unitario (λ).

$$\vec{AB} = (0,457 m)i - (0,591 m)j - (0,39 m)k \quad AB = 0,843 m$$

$$\lambda_{AB} = \frac{\vec{AB}}{0,843} = -0,542\hat{i} + 0,701\hat{j} + 0,463\hat{k}$$

$$T_{AB} = T_{AB}\lambda_{AB} = -0,542T_{AB}\hat{i} + 0,701T_{AB}\hat{j} + 0,463T_{AB}\hat{k}$$

$$\vec{AC} = -(0,47m)i + (0,591m)j - (0,39m)k \quad AC = 0,850 m$$

$$\lambda_{AC} = \frac{\vec{AC}}{0,850} = -0,553\hat{i} + 0,695\hat{j} - 0,459\hat{k}$$

$$T_{AC} = T_{AC}\lambda_{AC} = -0,553T_{AC}\hat{i} + 0,695T_{AC}\hat{j} - 0,459T_{AC}\hat{k}$$

3. Determinar la condición de equilibrio del sistema.

$$\sum F = 0$$

$$\begin{aligned} T_{AB} + T_{AC} + P + W &= 0 \\ (-0,542T_{AB} - 0,553T_{AC} + P)i \\ + (0,701T_{AB} + 0,695T_{AC} - 2.698N)j \\ + (-0,463T_{AB} - 0,459T_{AC})k &= 0 \end{aligned}$$

4. Escribir las ecuaciones escalares y determinar los valores de P , T_{AB} y T_{AC} respectivamente.

$$\sum F_x = 0: -0,542T_{AB} - 0,553T_{AC} + P = 0$$

$$\sum F_y = 0: +0,701T_{AB} + 0,695T_{AC} - 2.698 = 0$$

$$\sum F_z = 0: +0,463T_{AB} - 0,459T_{AC} = 0$$

Valores Analíticos:

$$T_{AB} = 1.922N$$

$$T_{AC} = 1,939N$$

$$P = 2.114N$$

5. Con la ayuda de un newtómetro tomar la medida de la fuerza aplicada para mover la masa calibrada y tomar las medidas de las tensiones registradas en los Newtómetros.

Valores Experimentales:

$$T_{AB} = 1.725N$$

$$T_{AC} = 2.025N$$

$$P = 1.925N$$

6. Calcular el error porcentual entre el valor experimental y analítico, ¿qué puede concluir?

<i>Experimental</i>	Analítico	% error
$T_{AB} = 2,025N$	$T_{AB} = 1.922N$	5
$T_{AC} = 1,925N$	$T_{AC} = 1,939N$	0.7
$P = 1.725N$	$P = 2.114N$	22

CONCLUSIONES

1. Se pudo verificar y validar los modelos teóricos de la mecánica newtoniana aplicados a este sistema al determinar experimental y analíticamente la magnitud de la fuerza necesaria para mover la masa suspendida entre dos cuerdas.
2. La suma vectorial nula de todas las fuerzas actuantes (las tensiones de las cuerdas, el peso de la masa y cualquier otra fuerza aplicada o de fricción) determina las condiciones de equilibrio del sistema para que no haya movimiento. Esto requirió igualar las fuerzas en las direcciones horizontal y vertical a cero.

BIBLIOGRAFÍA

BEER, Ferdinand, JOHNSTON, Russell, CORNWELL, Phillip Mecánica vectorial para ingenieros, dinámica 1, 4, 5, 6, y 7 10a. edición México McGraw-Hill, 2013.



CENTRO DE FÍSICA
Universidad Central del Ecuador

Praxis