

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE DISPOSITIVOS EXPERIMENTALES PARA EL
ESTUDIO DE FUERZAS FICTICIAS

SERGIO ANDRÉS DIAGO ARBELÁEZ

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

BOGOTÁ 2013

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE DISPOSITIVOS EXPERIMENTALES PARA EL
ESTUDIO DE FUERZAS FICTICIAS

SERGIO ANDRÉS DIAGO ARBELÁEZ

Trabajo de grado para optar al título de licenciado en física

Asesor

EDUARDO GARZÓN LOMBANA

Línea de profundización

EL COMPUTADOR Y LAS PRÁCTICAS EXPERIMENTALES EN LA ENSEÑANZA
DE LA FÍSICA

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

BOGOTÁ 2013

NOTA DE ACEPTACIÓN

ASESOR

JURADO 1

JURADO 2

A Dios por su misericordia;

A mi madre por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Eduardo Garzón por todos sus aportes para la construcción del material de laboratorio, el diseño de estrategia de aula, los escritos de proyecto y trabajo de grado y por ceder su espacio académico en el curso de mecánica II, en el grupo 1, para realizar la implementación. A los profesores de la Línea de profundización: El computador y las prácticas experimentales en la enseñanza de la física, quienes hicieron sus comentarios constructivos. A Edison Camacho, profesor del curso de mecánica II, en el grupo 2, por ceder su espacio de clases para realizar la implementación que permitió evaluar el plan de clases diseñado para afinarlo y lograr acercarse a los resultados esperados con el grupo I de mecánica II. A Yéssica Acosta por su valiosa ayuda en el diseño y programación del software usado para la interfaz de registro de datos experimentales.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL Formación de Profesores	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 1 de 4	

1. Información General	
Tipo de documento	Trabajo de grado
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Título del documento	Diseño y construcción de dispositivos experimentales para el estudio de fuerzas ficticias
Autor(es)	Diago Arbeláez, Sergio Andrés
Director	Eduardo Garzón Lombana
Publicación	Bogotá D.C. Universidad Pedagógica Nacional, 2013. 50 p.
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional
Palabras Claves	Marcos de referencia, movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, movimiento circular, fuerza ficticia, fuerza centrífuga, fuerza de Coriolis.

2. Descripción
En el trabajo de grado se muestra el diseño de una estrategia de aula que permite a los estudiantes de mecánica II de la Universidad Pedagógica Nacional, estudiar las fuerzas ficticias que se manifiestan en marcos de referencia no inerciales como el movimiento rectilíneo uniformemente acelerado y el movimiento circular.

3. Fuentes
• Carr, W. & Kemmis, S., (1998). <i>Teoría crítica de la enseñanza: la investigación-acción en la formación del profesorado</i>. Barcelona: Ediciones Martínez Roca. • Collazos, C., Guerrero, L. & Vergara, A., (2001). <i>Aprendizaje Colaborativo: un cambio en el rol del profesor</i>. Acta del tercer Congreso de Educación en computación. Punta Arenas. • Eisberg, R. & Lerner, L., (1981). <i>Física: Fundamentos y aplicaciones, Volumen 1</i>. Fuerzas ficticias. (pp. 180 - 192). Mcgraw-Hill. • Hodson, D. (1994). <i>Aprendizaje de las ciencias, Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio</i>. Toronto (Canadá): The Ontario Institute For Studies in Education. • Kleppner, D., & kolenkow, R. (1973). <i>Noninertial systems and fictitious forces</i>. International Student (Ed.), An Introduction to Mechanics. (pp. 339 – 375). Tokio: Mcgraw-Hill Kogahusha. Ltd.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <i>Universidad de Educadores</i>	FORMATO	
RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE		
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 2 de 4	

4. Contenidos

El presente trabajo contiene 6 capítulos, el primero hace referencia al problema, que tiene que ver con el desconocimiento de los estudiantes acerca de los marcos de referencia inercial, marco de referencia no inercial y las fuerzas ficticias, se plantean, una pregunta problema y unos objetivos que permitan dar solución a la problemática. El capítulo 2 hace referencia al marco teórico en el cual, se abordan tres componentes como: componente pedagógico, donde se describe la teoría del trabajo colaborativo, tenida en cuenta para realizar el trabajo con los estudiantes durante la implementación, el componente computacional y experimental donde se tiene en cuenta la ayuda que estas herramientas pueden llegar a proporcionar a los estudiantes en el aprendizaje de las teorías físicas, y el componente disciplinar, donde se abordan los conceptos de lo que son: marco de referencia inercial, marco de referencia no inercial, fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, fuerza centrífuga y fuerza de Coriolis en el movimiento circular.

En el capítulo 3 se describe el equipo de laboratorio usado en el aula de clase, se diseñaron y construyeron 3 dispositivos experimentales para abordar el estudio de las fuerzas ficticias, uno de ellos, diseñado y construido para el estudio de la fuerza ficticia en el movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, otro, para el estudio de la fuerza centrífuga en un movimiento circular y otro, para el estudio de la fuerza de Coriolis en un movimiento circular. Todos los dispositivos incluyeron el uso de una cámara de video con el propósito de ubicar al estudiante en el marco de referencia no inercial, los videos fueron analizados con el uso del software Tracker Video Analysis con el propósito de comprender la aparición de las fuerzas ficticias en los marcos de referencia no inerciales. Para la determinación experimental de las fuerzas ficticias, se usó una interfaz que consistió en el uso de un sensor de movimiento y un programa diseñado en Visual Basic 6.0® que permitió capturar datos de tiempo para determinar las variables necesarias para calcular las fuerzas ficticias.

El capítulo 4 hace referencia al tipo de investigación, en este trabajo se usó la metodología acción-participación educativa, se describe la población a la que fue dirigida la investigación, que en este caso fue el grupo 1 de mecánica II de la Licenciatura en Física de la Universidad Pedagógica Nacional. Se describe la estrategia de aula diseñada, la cual consistió en 3 momentos bien definidos que fueron: El estudio de la fuerza ficticia en el movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, la fuerza centrífuga en el movimiento circular y la fuerza de Coriolis en el movimiento circular; cada momento contenía sus respectivas actividades a realizar las cuales evidenciaron el progreso por parte de los estudiantes en el aprendizaje de las fuerzas ficticias.

En el capítulo 5 se realizaron los respectivos análisis de los resultados obtenidos durante la etapa de implementación y las conclusiones respectivas de cada plan de clases.

En el capítulo 6 realizaron conclusiones.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <i>Revolución y Transformación</i>	FORMATO	
RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE		
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 3 de 4	

5. Metodología

Se fundamenta en la investigación-acción educativa, que permite hacer diagnósticos acerca de los posibles problemas que pueden presentarse en una población (colegio, universidad, etc.) con la participación activa de sus miembros, para encontrar sus causas y formular las soluciones correspondientes (Restrepo, B. 2002).

En este tipo de investigación se resalta la reflexión crítica y autocrítica debido a que esta es participativa y colaborativa, donde los miembros de un pequeño grupo trabajan para conseguir un bien común, aportando sus ideas y escuchando las de los demás favoreciendo la toma de decisiones justa y democrática. (Carr, W. & Kemmis, S. 1998). Dentro de la población escogida, en este caso, el grupo 1 de mecánica II de Licenciatura en Física, se ejecuta lo que Carr, W. & Kemmis, S. (1998) llaman espiral autorreflexiva, que vincula la reconstrucción del pasado con la construcción de un futuro a través de la acción.

6. Conclusiones

- Los estudiantes no poseían un conocimiento claro acerca de marcos de referencia inercial, no inercial y de fuerzas ficticias antes de la realización de las actividades experimentales y de las explicaciones del docente. Cuando las actividades se fueron realizando, se pudo evidenciar el progreso en la comprensión de las fuerzas ficticias por parte de ellos.
- Las prácticas experimentales propiciaron en los estudiantes la reflexión en lo que tiene que ver con el estudio de las fuerzas ficticias, de cuándo es que estas aparecen dependiendo del marco de referencia en el que el observador se encuentre ubicado; además ayudaron a que ellos asociaran fenómenos involucrados en los experimentos con lo que a diario evidencian en la naturaleza como: la influencia de la rotación de la Tierra sobre un objeto en movimiento, realizar un giro estando ubicados en el interior de un móvil, abordar un medio de transporte y la sentir la fuerza ficticia que los empuja hacia atrás cuando este acelera.
- Desde el punto de vista de la justificación, los estudiantes retomaron y reforzaron los conceptos abordados en los cursos de mecánica como: movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, movimiento circular, leyes de Newton y principio de conservación de la energía, para seguir construyendo su conocimiento en: los marcos de referencia inercial y no inercial, y de las fuerzas ficticias, además de que se rescataron las actividades experimentales para lograrlo.
- La conformación de grupos basado en el aprendizaje colaborativo, obtuvo resultados favorables en cuanto el logro de los objetivos trazados por parte del docente en lo referente a las actividades experimentales para la determinación de las fuerzas ficticias, cada miembro del grupo aportó de su propio conocimiento para lograrlo por lo que al final de estas actividades, la gran mayoría de grupos obtuvieron los valores respectivos de las fuerzas ficticias.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL Realizando lo imposible	FORMATO		
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE		
Código: FOR020GIB		Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012		Página 4 de 4	

Elaborado por:	Sergio Andrés Diago Arbeláez
Revisado por:	Eduardo Garzón Lombana

Fecha de elaboración del Resumen:	23	07	2013
--	----	----	------

Tabla de contenido

Introducción.....	1
-------------------	---

CAPÍTULO 1

1. Descripción del problema.....	2
1.1. Problema.....	2
1.2. Justificación.....	3
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo general.....	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. Antecedentes.....	4

CAPÍTULO 2

2. Marco teórico.....	6
2.1. Componente pedagógico.....	6
2.1.1. Aprendizaje colaborativo.....	6
2.1.2. Roles de los estudiantes y profesores dentro del aprendizaje colaborativo....	7
2.2. Componente experimental y computacional.....	9
2.2.1. El uso del experimento en el aula.....	9
2.2.2. El uso del computador en el aula.....	10
2.3. Componente disciplinar.....	11
2.3.1. ¿Qué son las fuerzas ficticias?.....	11
2.3.2. ¿Cuántas fuerzas ficticias existen?.....	11
2.3.3. Las Transformaciones de Galileo.....	12
2.3.4. Sistema uniformemente acelerado.....	13
2.3.4. Sistema de coordenadas en rotación.....	15

CAPÍTULO 3

3. Diseño y construcción del equipo de laboratorio.....	23
3.1. Software Tracker Video Analysis.....	23
3.2. Interfaz.....	23
3.3. Dispositivo del carro dinámico.....	23
3.4. Dispositivos de movimiento circular.....	25

CAPÍTULO 4

4. Metodología.....	30
4.1. Tipo de investigación.....	30
4.2. Descripción de la población.....	30
4.3. Diseño de la estrategia de aula.....	31
4.3.1. Planes de clase.....	31
4.3.2. Instrumentos de recolección de información.....	31
4.4. Implementación.....	32

CAPÍTULO 5

5. Análisis de resultados.....	33
5.1. Fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado. Guía-taller.....	33
5.2. Fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado. Cuestionario.....	34
5.3. Fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado. Lecturas.....	35
5.3.1. Análisis de los resultados de la lectura de marco de referencia inercial.....	36
5.3.2. Análisis de los resultados de la lectura de marco de referencia no Inercial.....	36
5.3.3. Análisis de los resultados de la lectura de fuerza ficticia.....	37
5.4. Fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado. Determinación experimental.....	38
5.5. Fuerza centrífuga en un movimiento circular. Guía-taller.....	40

5.6. Fuerza centrífuga en un movimiento circular. Cuestionario.....	41
5.7. Fuerza centrífuga en un movimiento circular. Determinación experimental.....	42
5.8. Fuerza de Coriolis en un movimiento circular. Guía-taller.....	44
5.9. Fuerza de Coriolis en un movimiento circular. Cuestionario.....	46
5.10. Fuerza de Coriolis en un movimiento circular. Determinación experimental.....	47

CAPÍTULO 6

6. Conclusiones.....	50
Bibliografía.....	51
Anexos.....	53

Lista de figuras

Figura 2.1. Esquema de dos marcos de referencia que se desplazan relativamente entre sí.....	12
Figura 2.2. Esquema de un móvil que se acelera constantemente.....	14
Figura 2.3. Diagrama de cuerpo libre de las fuerzas que actúan sobre la masa m según el observador inercial.....	14
Figura 2.4. Diagrama de cuerpo libre de las fuerzas que actúan sobre la masa m según el observador no inercial.....	15
Figura 2.5. Corte visto desde atrás, de un vehículo de masa M que está dando una curva de radio r con velocidad v	16
Figura 2.6. Vista superior del mismo vehículo con el observador B sentado detrás de una mesa de aire.....	17
Figura 2.7. Vista de la mesa de aire y disco según el observador A en dos instantes, cuando el observador B suelta el disco y cuando ha pasado un intervalo de tiempo.....	17
Figura 2.8. El observador B observa que la mesa está en reposo, pero observa el desplazamiento $\Delta r'$ del disco durante el mismo intervalo de tiempo en que A observa el desplazamiento Δr	17
Figura 2.9. El observador B parado sobre la superficie giratoria de la Tierra, en una latitud λ	19
Figura 2.10. Esquema de las observaciones realizadas por un observador inercial A y uno no inercial B cuando la pelota es lanzada desde el centro de la plataforma giratoria.....	20
Figura 2.11. Diagrama para la definición de velocidad angular $\omega = d\theta/dt$ de una plataforma giratoria.....	21
Figura 3.1. Esquema del montaje experimental para estudiar la fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.....	24
Figura 3.2. Imagen del carro dinámico el cual, sirve para la comprensión de los marcos de referencia inercial y no inercial, y la fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.....	24
Figura 3.3. Diagrama de un puente rectificador de onda completa.....	25

Figura 3.4. Diagrama esquemático del controlador de velocidad de motor de cc.....	26
Figura 3.5. Imagen del circuito controlador de velocidad del motor de cc.....	26
Figura 3.6. Esquema del arreglo experimental para visualizar el efecto de la fuerza centrífuga.....	27
Figura 3.7. Imagen del arreglo experimental para la visualización y estudio de la fuerza centrífuga.....	27
Figura 3.8. Esquema del dispositivo experimental de movimiento circular para el estudio de la fuerza de Coriolis.....	28
Figura 3.9. Imagen del dispositivo experimental de movimiento circular usado para el estudio de la fuerza de Coriolis.....	29

Lista de tablas

Tabla 5.1. Resultados y análisis para la actividad. Guía–taller: Fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.....	33
Tabla 5.2. Resultados y análisis del cuestionario después de realizada la actividad experimental de fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.....	35
Tabla 5.3. Análisis de los resultados obtenidos en la lectura de marco de referencia inercial.....	36
Tabla 5.4. Análisis de los resultados obtenidos en la lectura de marco de referencia no inercial.....	36
Tabla 5.5. Análisis de los resultados obtenidos en la lectura de fuerza ficticia.....	37
Tabla 5.6. Análisis de los resultados obtenidos para la determinación experimental de la fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.....	38
Tabla 5.7. Resultados y análisis para la actividad. Guía–taller: Fuerza centrífuga en un movimiento circular.....	40
Tabla 5.8. Resultados y análisis del cuestionario luego de realizase la actividad experimental de fuerza centrífuga en un movimiento circular.....	42
Tabla 5.9. Análisis de los resultados obtenidos para la determinación experimental de la fuerza centrífuga en un movimiento circular.....	43
Tabla 5.10. Resultados y análisis para la actividad. Guía–taller: Fuerza de Coriolis en un movimiento circular.....	44
Tabla 5.11. Resultados y análisis del cuestionario luego de realizase la actividad experimental de fuerza de Coriolis en un movimiento circular.....	46
Tabla 5.12. Análisis de los resultados obtenidos para la determinación experimental de la fuerza de Coriolis en un movimiento circular.....	48

INTRODUCCIÓN

En la naturaleza se evidencia la influencia de una fuerza que no se puede percibir por la interacción física entre los objetos ya que precisamente ésta es una de las características de ella, solamente se puede afirmar que se percibe o que se siente dependiendo de la posición relativa en la que se encuentre el observador. A esta fuerza se le llama fuerza ficticia; si un objeto o móvil acelera en línea recta, aparecerá la influencia de esta clase de fuerza en él, lo mismo ocurre si el movimiento describe un arco circular, aparecerán las influencias de dos fuerzas ficticias: la fuerza centrífuga y la fuerza de Coriolis.

En el presente trabajo se presenta una estrategia de aula en la que se trató de acercar a los estudiantes del curso de mecánica II de la Universidad Pedagógica Nacional, en el concepto de las fuerzas ficticias y la forma de calcularlas. Haciendo uso del trabajo colaborativo, la experimentación y el computador se buscó lograr este objetivo.

La implementación se realizó en 4 sesiones, cada una planeada de tal forma en que se pueda acercar a la comprensión individual y posteriormente grupal del concepto de fuerza ficticia, para luego hacer los respectivos análisis de los datos y sistematizarlos, para así, llegar a las conclusiones.

Este trabajo se contiene 6 capítulos: en el capítulo 1 se hacen consideraciones preliminares en el que se describe el problema, se señala la justificación de la investigación, se enuncian los objetivos a realizar y se nombran los antecedentes considerados. En el capítulo 2 se desarrollan los componentes disciplinar y pedagógico pertinentes. En el capítulo 3 se hace referencia a los dispositivos experimentales contruidos, se describen teniendo en cuenta los objetivos para lo que fueron hechos y sus componentes tecnológicos. En el capítulo 4 se hace referencia a la metodología, se describe la población, la estrategia de aula y la implementación. El capítulo 5 muestra los análisis y resultados para posteriormente en el capítulo 6 obtener las conclusiones.

CAPÍTULO 1

1. Descripción del problema

1.1. Problema

Existe un desconocimiento de los estudiantes de educación media y superior acerca del concepto de “fuerza ficticia”, esto debido a que no se aborda dentro del desarrollo de los espacios académicos, ya sea por falta de tiempo o porque no parece importante. Los estándares para educación media no consideran aspectos relacionados con esta parte de la mecánica. En educación superior, el panorama es similar y cuando se pretende algún desarrollo, éste se realiza de manera superflua. En el Departamento de Física de la Universidad Pedagógica Nacional, por ejemplo, los planes analíticos de los cursos de mecánica no incluyen el desarrollo de estas temáticas.

El estudio de las fuerzas ficticias se constituye en una magnífica oportunidad para afianzar conceptos básicos de la mecánica, relacionados con: marcos de referencia inercial y no inercial, leyes de Newton, péndulo simple, movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, movimiento circular uniforme y el principio de conservación de la energía.

Algunos fenómenos asociados a las fuerzas ficticias están relacionados con hechos cotidianos como: poner en movimiento un móvil a partir del reposo de tal manera que tenga una aceleración constante en dirección rectilínea, los objetos que estén en el interior de él, van a experimentar una fuerza ficticia que los empuja hacia atrás sin que exista una interacción física sobre ellos. Si el móvil hace un giro de manera que describe un arco de circunferencia, aparece sobre él una fuerza centrífuga que lo empuja radialmente hacia afuera. Por otra parte en la naturaleza cuando se presenta un viento huracanado sobre alguna región, se puede observar que en vez de seguir una trayectoria recta con respecto al planeta Tierra, siguen una trayectoria parecida a un círculo, esto se debe a que aparece una fuerza ficticia, llamada Coriolis, sobre el viento, la cual, posee una dirección perpendicular a la dirección del movimiento.

Por otra parte en los libros de texto como: Sears, solo se hace mención de la fuerza centrífuga en un movimiento circular, explicándola como una que hace a un cuerpo que

gira se aleje del centro. En otros como Serway y Tipler, se hace un análisis más completo, se define el concepto de fuerza ficticia y se especifica sobre los marcos de referencia inercial y no inercial, pero no se le dedica más de cuatro páginas al tema, además son planteamientos teóricos. Es necesario una estrategia que posibilite prácticas experimentales, ya que el aprendizaje es un proceso activo en el que los estudiantes construyen y reconstruyen su propio entendimiento a la luz de las experiencias (Hodson, 1994).

De esta manera surge la pregunta problema: ¿Qué tipo de estrategia de aula se puede diseñar para que sirva de ayuda a los estudiantes en el estudio de las fuerzas ficticias?

1.2. Justificación

Este trabajo pretende aportar a la enseñanza de la física, (particularmente en las leyes de Newton¹) en el curso de mecánica II de la Universidad Pedagógica Nacional de la carrera de Licenciatura en física, a partir del uso de herramientas como dispositivos experimentales y de software educativo. Se rescatan las prácticas experimentales en la enseñanza de la física, más precisamente en la mecánica newtoniana, debido a que son una excelente forma de aprender las teorías (Séré, M. 2002). Dado que la “experimentación” es un elemento fundamental en la ciencia, también es un método de aprendizaje que exige a los estudiantes ser activos en lugar de pasivos y que aprenden mejor a través de la experiencia directa en lo que podría ser descrito como “trabajo práctico” (Hodson, 1994).

Este tema se debe estudiar debido a que en la naturaleza se evidencia la presencia de esta clase de fenómenos tanto en un movimiento acelerado, como en un movimiento circular; además de esto, se abordan conceptos que ayudan a reforzar los que se han estudiado en el curso como lo son: la dinámica (aceleración, tensión, fuerza normal y peso), el péndulo simple, el movimiento circular uniforme y el principio de conservación de la energía. Los estudiantes deben saber distinguir claramente los marcos de referencia inercial y no inercial para que así puedan especificar cuándo es que aparece o no una fuerza ficticia, de esta manera se busca orientarlos adecuadamente en el tema mediante una estrategia de aula en donde ellos se convierten en protagonistas de la construcción de su propio conocimiento.

¹ Particularmente en el estudio de: fuerzas ficticias, leyes de Newton y marcos de referencia inercial y no inercial.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar e implementar una estrategia de aula, basada en dispositivos experimentales, que permita abordar el estudio de las fuerzas ficticias y marcos de referencia inercial y no inercial

1.3.2. Objetivos específicos

- Estudiar los fenómenos asociados a la fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado y las fuerzas ficticias centrífuga y de Coriolis presentes en un movimiento circular.
- Abordar los conceptos de marco de referencia inercial y marco de referencia no inercial.
- Diseñar prácticas experimentales en las que se pueda estudiar las fuerzas ficticias.
- Diseñar e implementar una estrategia de aula basada en prácticas experimentales que permita abordar el estudio de las fuerzas ficticias a partir del entendimiento de marco de referencia inercial y marco de referencia no inercial.
- Implementar la estrategia de aula y sistematizar la información.

1.4. Antecedentes

En la Universidad de los Andes, se encuentra la tesis de pregrado de Sandra Esperanza Navarro Vargas titulada: “Apoyo computacional para la enseñanza de sistemas no inerciales”, asesorada por: Bernardo Gómez (asesor de contenido) y Olga Mariño (asesora de tesis), del año 1988. En la cual, se resaltan las dificultades en la enseñanza de las fuerzas ficticias por razones como: extensión del programa, la heterogeneidad de pensamiento, las restricciones para la realización de experimentos demostrativos debido a la topografía de la universidad, disponibilidad de salones y de tiempo, la falta de motivación y la gran población de estudiantes para un grupo pequeño de profesores. Para ayudar en la solución de esta problemática, se hace uso del computador por medio de un software educativo (Light Speed Pascal versión 1.0) como una herramienta para la comprensión y estudio de

las fuerzas ficticias, donde el estudiante puede interactuar, individualizar, experimentar y controlar el fenómeno, además ayuda en la asimilación de conceptos involucrados en el estudio de las fuerzas ficticias y evita desplazamientos de los estudiantes para adquirir material de laboratorio.

En la Biblioteca Central de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, se encuentra una tesis de pregrado, relacionada con la pregunta problema de este trabajo, con el título: “Las fuerzas ficticias, un obstáculo en el aprendizaje de las leyes de Newton”, escrito por Rafael A. Pérez Rodríguez y dirigido por: Eduardo Zalamea, del año de 1986. En esta tesis se aborda la problemática de los estudiantes que ingresan a la universidad, al curso de mecánica, de los conocimientos empíricos que poseen sobre las fuerzas ficticias, de cómo se les enseña en el colegio acerca de algún fenómeno que las involucra pero no se hace la aclaración por parte de los maestros de qué tipo de fuerzas son, de que se manifiestan en los marcos de referencia no inerciales, que no son fuerzas existentes en la naturaleza, que están en oposición a la tercera ley de Newton y que si se hace uso de la segunda ley de Newton para estudiarlas es por necesidad lógica; la falta de profundización en la conceptualización de este fenómeno genera en los estudiantes que: tengan una deficiencia en la asimilación en las leyes de Newton y que den respuestas y justificaciones contradictorias.

En el Departamento de Física de la Universidad Pedagógica Nacional se encuentra el trabajo de pregrado de Alexander Arenas Ariza, titulado: “Análisis del comportamiento de la fuerza centrífuga en la vecindad de la superficie esférica de un agujero negro”, asesorado por Mauricio Mendivelso, del año 2005, en él se abordan los marcos de referencia inercial y no inercial, la fuerza centrífuga en un movimiento circular uniforme y lo que le ocurre a un cuerpo que se encuentra ubicado en las vecindades de un agujero negro; dependiendo de la distancia al centro de éste, la fuerza centrífuga estará dirigida hacia el centro, será nula o estará dirigida hacia afuera del agujero negro.

Teniendo en cuenta este antecedente, se ve la viabilidad de diseñar e implementar dispositivos experimentales enfocados hacia el estudio de las fuerzas ficticias para cuerpos que se hallan inmersos en la Tierra y que no se mueven a velocidades cercanas a las de la luz.

CAPÍTULO 2

2. Marco teórico

En este capítulo se tienen en cuenta tres componentes: el marco pedagógico donde se toma como soporte el modelo pedagógico del aprendizaje colaborativo para el diseño de la estrategia de aula. Luego sigue el componente experimental y computacional en el que se resalta la ayuda que puede brindar el uso de experimentos y de software en el estudio de las fuerzas ficticias y por último está el componente disciplinar que trata del estudio de las fuerzas ficticias en las que, para lograr su comprensión y estudio, se debe tener claro en primera instancia lo concerniente a los marcos de referencia inercial y no inercial.

2.1. Componente pedagógico

Para el desarrollo de este trabajo se toma como base el modelo pedagógico del aprendizaje colaborativo. En este modelo el estudiante se convierte en el protagonista de la construcción de su propio conocimiento, con la conformación de pequeños grupos de trabajo. Este tipo de aprendizaje no se opone al trabajo individual ya que puede observarse como una estrategia de aprendizaje complementaria que fortalece el desarrollo global del estudiante. (Collazos C., Guerrero L., & Vergara A. 2001).

Lo que se busca con este modelo es que el estudiante no tenga que memorizar un tema solo para obtener una buena calificación, lo cual, lo llevaría a la obtención de información a corto plazo y no generará motivación, reflexión, diálogo entre profesor-estudiante y estudiante-estudiante que son elementos muy importantes en la construcción de un conocimiento duradero.

2.1.1. Aprendizaje colaborativo

Este modelo pedagógico se centra en el trabajo en grupo, donde los estudiantes trabajan juntos para aprender. Dentro de este modelo se tiene en cuenta el entorno en el que se encuentran los estudiantes tal como: el material, la información, y recursos conceptuales en su ambiente.

La participación es una parte central para lograr el aprendizaje por lo que brinda la oportunidad para que los estudiantes intervengan en la obtención de definiciones, conjeturas, representaciones y argumentos válidos en la explicación de fenómenos científicos. También se incluyen actividades como la formulación y evaluación de conjeturas, conclusiones y argumentos (Greeno, J. 2005).

Greeno obtiene una conclusión importante acerca del trabajo colaborativo como se enuncia en el siguiente párrafo:

“Los estudiantes aprenden sobre el contenido y también aprender a participar en la investigación colaborativa y la forma de utilizar los conceptos y métodos de una disciplina para resolver problemas auténticos. Aprenden los sistemas de representación, no sólo para expresar la información en un dominio, sino también para su aplicación en las prácticas de representación a medida que desarrollan y comparten su comprensión de las preguntas, hipótesis y argumentos en el dominio” (Greeno, J. 2005).

Hay que recalcar que en este modelo pedagógico lo que cambia con respecto a la educación tradicional son los roles de los estudiantes y de los profesores.

2.1.2. Roles de los estudiantes y profesores dentro del aprendizaje colaborativo

Según Collazos, Guerrero & Vergara (2001), Los estudiantes tienen las siguientes características:

- Responsables por el aprendizaje: Los estudiantes se hacen cargo de su propio aprendizaje y son autorregulados.
- Motivados por el aprendizaje: Los estudiantes encuentran placer en el aprendizaje, poseen una pasión para resolver problemas y entender ideas y conceptos.
- Colaborativos: Los estudiantes entienden que el aprendizaje es social. Están “abiertos” a escuchar las ideas de los demás, a articularlas efectivamente y tienen empatía por los demás.
- Estratégicos: Los estudiantes continuamente desarrollan y refinan el aprendizaje y las estrategias para resolver problemas.

A continuación se describen los roles y las respectivas características de los profesores en este esquema según Collazos, Guerrero & Vergara, 2001.

- Profesor como diseñador instruccional: el profesor se encarga de definir las condiciones iniciales del trabajo, planear los objetivos académicos definiendo claramente las unidades temáticas y los conocimientos mínimos que deben ser adquiridos durante el proceso de enseñanza en cada una de ellas. Esto requiere adicionalmente, definir las tareas a realizar con unos objetivos bien definidos, definir los mecanismos de evaluación que se tendrán, y monitorear el aprendizaje de los estudiantes dentro del aula de clase. Es importante anotar, que debe diseñar materiales o ambientes de aprendizaje, donde hayan muchas oportunidades para que los estudiantes puedan acceder al contenido de una forma altamente individualizada. Según Johnson & Johnson, las actividades que se deben realizar son: definir los objetivos, el tamaño del grupo, composición del grupo, distribución del salón de clase y materiales de trabajo (Johnson & Johnson, 1994).
- El profesor como mediador cognitivo: la habilidad del profesor al usar las habilidades de enseñanza facilitadoras durante el proceso de aprendizaje de pequeños grupos es el determinante más importante en la calidad y éxito de cualquier método educativo ayudando a: desarrollar habilidades de razonamiento cuando frecuentemente pregunta: ¿Por qué?, ¿Qué significa?, ¿Cómo sabe que es cierto?

Uno de los principios básicos del mediador cognitivo es dar la suficiente ayuda al estudiante cuando la necesite, ni mucha ni poca, de tal forma que el estudiante mantenga cierta responsabilidad para su propio aprendizaje.

- El profesor como instructor: las actividades del profesor son las más parecidas a los modelos de educación tradicionales; corresponde realizar actividades de enseñanza tanto de las unidades temáticas como de las habilidades sociales y de trabajo en grupo. El conjunto de actividades que se deben realizar son: Explicar la tarea, monitorear e intervenir y, evaluar y procesar.

Los estudiantes no saben instintivamente cómo interactuar efectivamente con otras personas. Las actividades en equipos de trabajo ayudarán a los estudiantes a conocerse y a confiar entre ellos. Otras habilidades sociales importantes se refieren a aceptar y apoyar a los demás en la resolución de problemas de una forma constructiva. De esta forma, el rol como instructor, incluye modelar habilidades

interpersonales positivas y hacer que los estudiantes las practiquen. Johnson & Johnson (1998), plantean con respecto al monitoreo que se deben seguir tres pasos: chequear que los estudiantes estén trabajando juntos, chequear que estén haciendo bien el trabajo y por último observar y dar retroalimentación.

2.2. Componente experimental y computacional

2.2.1. El uso del experimento en el aula

Dentro del trabajo se plantea el uso del experimento para ayudar al estudiante a la comprensión y análisis de un fenómeno físico, acerca de lo cual Marulanda & Gómez (2006) afirman:

“Enfrentar el estudiante al fenómeno físico sería una estrategia para que éste se formule la pregunta del por qué de ese fenómeno y que la respuesta se convierta en la motivación para la elaboración de un formalismo. Es aquí donde la experimentación se convierte en un recurso didáctico valioso en el proceso de aprendizaje.”

(Marulanda J. & Gómez A. 2006).

Teniendo en cuenta lo anterior, se busca generar interés por la física mediante la observación de fenómenos, que permitan dar explicaciones y elaborar conceptos físicos por medio de la discusión. Es importante el uso de dispositivos experimentales sencillos, que a su vez reproduzcan fielmente el fenómeno físico a estudiar y que sean fáciles de manipular para que se pueda lograr: motivación, planteamiento de hipótesis y reflexión en el estudiante. Se propone que el docente recurra a la construcción de dispositivos y/o la elaboración de montajes como una forma de obtener el recurso para la actividad experimental en el aula de clase, a partir de elementos sencillos y de uso cotidiano. Con esta estrategia se busca que el profesor agregue elementos didácticos a la clase magistral propiciando actividades tales como:

- Promover el interés por la física mediante la observación de fenómenos.
- Motivar la búsqueda de explicaciones a través de la discusión de lo observado.
- Presentar fenómenos que los estudiantes no han visto antes o que sólo se han tratado teóricamente.

- Mostrar cómo el conocimiento de la física es útil en la vida diaria a partir de las aplicaciones de los fenómenos físicos mostrados.
- Discutir concepciones erróneas sobre temas de física.
- Ayudar al entendimiento de conceptos abstractos.
- Aplicar conceptos de modelación en situaciones reales.
- Ayudar a la interpretación de situaciones problema.
- Medir algunos parámetros involucrados en los fenómenos.

2.2.2. El uso del computador en el aula

El computador se ha convertido en una herramienta muy útil en la relación enseñanza-aprendizaje ya que se pueden utilizar programas computacionales, internet y multimedia favoreciendo así la reflexión del estudiante sobre cualquier tema de las ciencias. Se puede interactuar con el ordenador insertando variables y así observar claramente lo que ocurre. El computador ayuda a la disminución de interferencias que se presentan a menudo en dispositivos experimentales como: el temor que puede generar la manipulación del material de laboratorio, ya que si no se usa adecuadamente, puede atentar contra la integridad física del estudiante, también se presenta el temor de dañar parte o todo el dispositivo experimental que a la postre causaría que el estudiante tenga que reponer o pagar el daño causado en el equipo. Otro tipo de interferencia es el grado de complejidad que puede tener el manejo de determinado dispositivo, con esto el estudiante debe esforzarse en entender el manejo adecuado del mismo aparte de que debe comprender el tema de la clase. Es por eso que el computador se convierte en una herramienta útil dentro del aprendizaje efectivo del estudiante, Hodson, D. (1994) afirma lo siguiente:

“El trabajo práctico no siempre necesita incluir actividades que desarrollen en el banco de laboratorio. Existen otras alternativas válidas como las actividades interactivas basadas en el uso del ordenador, el trabajo con materiales de análisis de casos, las entrevistas, los debates y la representación de papeles, escribir tareas de diversos tipos, hacer modelos, carteles y álbumes de recortes, investigar en la biblioteca, hacer fotografías y videos.” (Hodson, D. 1994).

Además de la ayuda pedagógica que puede brindar el computador, también sirve en la solución de problemas en el laboratorio de índole técnico, debido a que puede manejar

variables que se presentan en un fenómeno como las temporales y las espaciales, se puede adquirir datos experimentales de manera más eficaz, disminuyendo errores como los sistemáticos (teóricos, instrumentales, ambientales y de observación).

2.3. Componente disciplinar

En este componente se abordan los marcos de referencia inercial, no inercial, la fuerza ficticia presente en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado y las fuerzas ficticias, centrífuga y de Coriolis presentes en un movimiento circular. La idea es obtener una visión más profunda de las leyes de Newton, las propiedades del espacio y el significado de la inercia.

Para lograr un mejor enfoque se hace una introducción del tema aclarando sobre los marcos de referencia inerciales y no inerciales (a menudo se utiliza el término *sistema de referencia*), se analiza el movimiento rectilíneo uniformemente acelerado desde el marco de referencia inercial y desde el marco de referencia no inercial para luego introducir el término de fuerza ficticia. Por último se analiza el movimiento de rotación desde los dos marcos de referencia para introducir las fuerzas ficticias, centrífuga y de Coriolis involucradas en él.

2.3.1. ¿Qué son fuerzas ficticias?

Las fuerzas ficticias también llamadas como fuerzas inerciales, pseudofuerzas o fuerza de d'Alembert, en honor al físico francés Jean le Rond d'Alembert (1717 - 1783) quien fue el primero en aclarar sistemáticamente las reglas de aplicación de las leyes de la física por parte de un observador en el marco de referencia no inercial. Son fuerzas que aparecen en la naturaleza cuando no existe ninguna interacción física sobre un cuerpo o partícula; para que este fenómeno se lleve a cabo es necesario que el cuerpo o la partícula en estudio, se encuentre en un marco de referencia no inercial, es decir, que se esté acelerando constantemente en el tiempo.

2.3.2. ¿Cuántas fuerzas ficticias existen?

Dependiendo de la clase de movimiento que describe el objeto, se puede hablar de una y hasta dos fuerzas ficticias, cuando un objeto posee un movimiento lineal acelerado

aparece una fuerza ficticia. Cuando un objeto se encuentra en un movimiento circular, aparecen dos fuerzas ficticias, una de ellas hace que el objeto se mueva radialmente alejándose del centro, a esta fuerza se le llama centrífuga y la otra fuerza hace que el objeto se mueva en dirección perpendicular al movimiento del objeto en el plano paralelo al del movimiento circular, llamada fuerza de Coriolis.

2.3.3. Las Transformaciones de Galileo

Cualquier sistema de coordenadas en movimiento uniforme con respecto a un sistema inercial es también inercial. Suponiendo que dos observadores, A y B, se dedican a observar una serie de eventos tales como la posición de un cuerpo de masa m en función del tiempo. Cada uno tiene su propio conjunto de instrumentos de medición y trabaja cada uno en su propio laboratorio. Uno ha confirmado por experimentos separados que las leyes de Newton se cumplen con precisión en su laboratorio. Según su marco de referencia inercial, ¿cómo se puede predecir si el sistema B también es inercial?

Para simplificar, A y B se comprometen a utilizar los sistemas de coordenadas cartesianas con las unidades de escala idéntica. En general, los sistemas de coordenadas no coinciden. Suponiendo que los sistemas están en movimiento relativo, pero que los ejes correspondientes son paralelos, la posición de la masa m está dada por $\vec{r}_A$ en un sistema A, y $\vec{r}_B$ en el sistema B. Si los orígenes de los dos sistemas se desplazan $\vec{S}$, como se muestra en la figura 2.1 entonces:

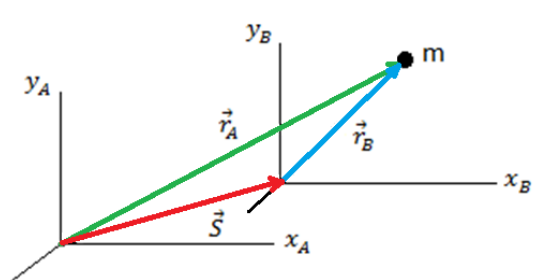
$$\vec{r}_B = \vec{r}_A - \vec{S} \quad (2.1)$$


Figura 2.1. Esquema de dos marcos de referencia que se desplazan relativamente entre sí.

Si el observador A ve la masa acelerándose a razón de $a_A = \ddot{r}_A$ puede concluir a partir de la segunda ley de Newton que la fuerza que opera sobre la masa m es

$$F_A = ma_A.$$

El observador B observa que la masa m se acelera a razón de a_B , en donde la fuerza ejercida es

$$F_B = ma_B.$$

De estas dos afirmaciones surge una pregunta:

¿Cuál es la relación entre F_B y F_A medida en un sistema inercial de referencia?

Este asunto es sencillo cuando se relacionan las aceleraciones en los dos sistemas de referencia. Derivando la ecuación (2.1) con respecto al tiempo se obtiene que

$$\begin{aligned}\vec{V}_B &= \vec{V}_A - \vec{V}, \\ \vec{a}_B &= \vec{a}_A - \vec{a}.\end{aligned}\tag{2.2}$$

Si $V = \dot{S}$ es constante, el movimiento relativo es uniforme, por consiguiente $a = 0$. En este caso la $a_A = a_B$, por lo cual se concluye que

$$F_A = ma_A = ma_B = F_B.$$

La fuerza es la misma para ambos sistemas; cabe aclarar que mientras las velocidades con las que se mueven los dos sistemas o la velocidad con la que se mueve un sistema con respecto al otro es mucho menor que la velocidad de la luz, las transformaciones de Galileo se pueden aplicar de manera que dan resultados reales, pero si los sistemas se mueven con velocidades próximas a la velocidad de la luz, los resultados no serán acordes con la realidad debido a que a estas velocidades se presenta dilatación del tiempo, contracción de longitudes y variación de la masa, la cual aumenta.

2.3.4. Sistema uniformemente acelerado

Si se ubica un observador en un sistema que se acelera a razón de a con respecto a un marco inercial de referencia, tomando la ecuación (2.2) como base, se puede afirmar que

$$\begin{aligned}m\vec{a}_B &= m\vec{a}_A - m\vec{a}, \\ \vec{F}_B &= \vec{F}_A + \vec{F}.\end{aligned}$$

La fuerza $\vec{F}$ se puede llamar fuerza ficticia y se puede escribir como $\vec{F}_{fict}$, donde

$$\vec{F}_{fict} = -m\vec{a}.\tag{2.3}$$

La fuerza ficticia experimentada en un sistema acelerado uniformemente es proporcional a su masa, como la fuerza gravitacional; el signo menos se debe a que la fuerza ficticia va en dirección contraria a la del movimiento del sistema.

Las fuerzas ficticias se originan en la aceleración de los sistemas de coordenadas, y no en la interacción entre los cuerpos. Un ejemplo claro que explica la aparición de la fuerza ficticia es el de un móvil que se acelera constantemente el cual, en su interior contiene una masa que cuelga de una cuerda como el mostrado en la figura 2.2.

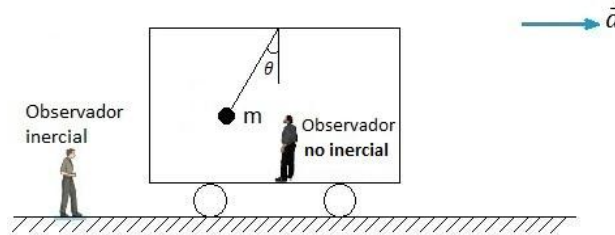


Figura 2.2. Esquema de un móvil que se acelera constantemente, en su interior se encuentra una masa que cuelga de una cuerda, el observador no inercial introduce el término de fuerza ficticia para poder explicar la deflexión del péndulo al interior del móvil, en cambio el observador inercial solo introduce las fuerzas reales.

Si el observador inercial quisiera estudiar las fuerzas que operan sobre la masa del péndulo dibujaría el diagrama de cuerpo libre obteniendo el diagrama mostrado en la figura 2.3.

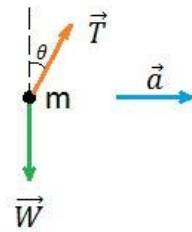


Figura 2.3. Diagrama de cuerpo libre de las fuerzas que actúan sobre la masa m según el observador inercial.

Sumatoria de fuerzas en el eje horizontal $\sum \vec{F}_x$:

En forma vectorial:

$$\vec{T}_x = m\vec{a}.$$

En forma escalar:

$$T \sin \theta - ma = 0. \quad (2.4)$$

Sumatoria de fuerzas en el eje vertical $\sum \vec{F}_y$:

En forma vectorial:

$$\vec{T}_y + \vec{W} = 0.$$

En forma escalar:

$$T \cos \theta - mg = 0. \quad (2.5)$$

Si el observador no inercial quisiera estudiar las fuerzas que operan sobre la masa del péndulo dibujaría el diagrama de cuerpo libre obteniendo el diagrama mostrado en la figura 2.4.

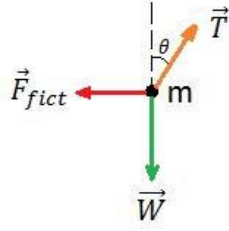


Figura 2.4. Diagrama de cuerpo libre de las fuerzas que actúan sobre la masa m según el observador no inercial.

Sumatoria de fuerzas en el eje horizontal $\sum \vec{F}_x$:

En forma vectorial:

$$\vec{T}_x + \vec{F}_{fict} = 0.$$

En forma escalar:

$$T \sin \theta - F_{fict} = 0. \quad (2.6)$$

Sumatoria de fuerzas en el eje vertical $\sum \vec{F}_y$:

En forma vectorial:

$$\vec{T}_y + \vec{W} = 0.$$

En forma escalar:

$$T \cos \theta - mg = 0. \quad (2.7)$$

Con el uso de las ecuaciones (2.4) - (2.7) se puede hallar el valor de la fuerza ficticia si se conoce el valor de la masa y el ángulo de deflexión del péndulo.

2.3.5. Sistemas de coordenadas en rotación

Se sabe que al dar una curva en un automóvil los pasajeros sienten una fuerza hacia afuera llamada fuerza centrífuga (huye del centro).

Considérese un auto que viaja en una pista circular de radio r . Si se observa desde el borde del camino, el auto está sometido a una aceleración centrípeta. En un instante en que

la velocidad del auto es v y el radio de la curva es r , la aceleración instantánea está dada por

$$a_c = -\frac{v^2}{r} \hat{r}. \quad (2.8)$$

donde $\hat{r}$ es el vector unitario dirigido desde el centro de la curva al auto. El signo menos en la ecuación especifica que el sentido de a_c es hacia dentro. Un pasajero B estará de acuerdo en que el radio de la curva es r , incluso estará de acuerdo en que la velocidad del auto es v , aunque esto no sea producto directo de su observación. Realmente ve que el suelo se está desplazando con velocidad $-v$.

La posición relativa del pasajero B respecto al auto no cambia, por lo cual, le es difícil pensar que está acelerado. Pero si trata de verificar las leyes de Newton por medio de un experimento, encontrará que fallan. Por ejemplo, supóngase que hay una pequeña mesa de aire y que sobre ella se sostiene un disco en una posición dada. En cierto momento, mientras el auto está dando la curva, se libera el disco. Tan pronto se hace, dejan de actuar fuerzas netas sobre el disco. Primero, considerando lo que el observador A ve desde su punto de observación al lado del camino. Como se muestra en las figuras 2.5, 2.6 y 2.7, se ve que el disco después de ser liberado, se mueve con velocidad constante tangencialmente a la curva en el punto de liberación. Ve que en el auto, el pasajero B y la mesa de aire se aceleran separándose del disco hacia el interior con una aceleración centrípeta (Esta aceleración es producida por la fuerza de rozamiento de las ruedas sobre la carretera.)

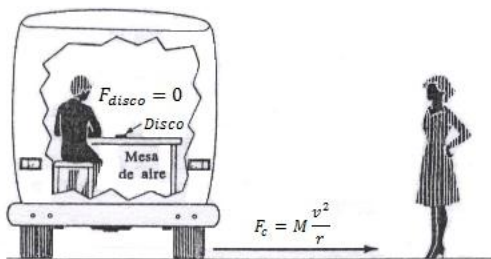


Figura 2.5. Corte visto desde atrás, de un vehículo de masa M que está dando una curva de radio r con velocidad v . La fuerza centrípeta ejercida por la carretera sobre las ruedas produce una aceleración centrípeta $a_c = \frac{v^2}{r}$. **Fuente:** Eisberg, R. & Lerner, L., (1981).

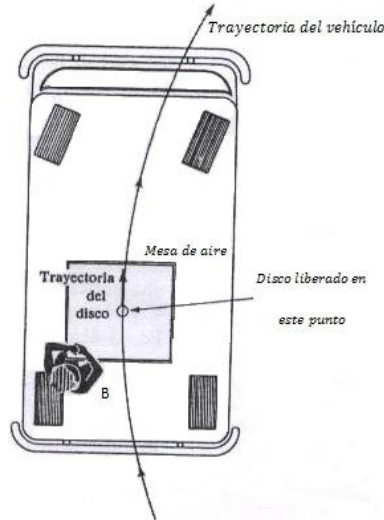


Figura 2.6. Vista superior del mismo vehículo con el observador B sentado detrás de una mesa de aire, suelta el disco y se muestran las trayectorias del disco y el vehículo. **Fuente:** Eisberg, R. & Lerner, L., (1981).

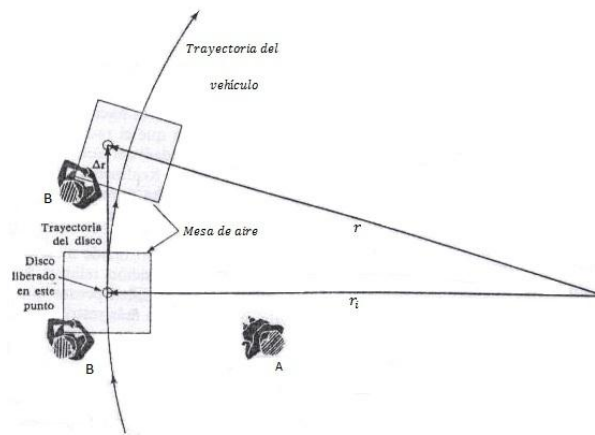


Figura 2.7. Vista de la mesa de aire y disco según el observador A en dos instantes, cuando el observador B suelta el disco y cuando ha pasado un intervalo de tiempo. **Fuente:** Eisberg, R. & Lerner, L., (1981).

Pero el pasajero, observador B, ve las cosas desde su propio punto de vista. Como se muestra en la figura 2.8.

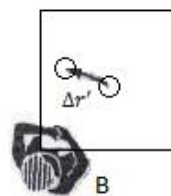


Figura 2.8. El observador B observa que la mesa está en reposo, pero observa el desplazamiento $\Delta r'$ del disco durante el mismo intervalo de tiempo en que A observa el desplazamiento Δr . **Fuente:** Eisberg, R. & Lerner, L., (1981).

Debe explicar por qué ve el disco acelerando hacia afuera con aceleración instantánea.

$$\vec{a} = + \frac{v^2}{r} \hat{r}. \quad (2.9)$$

Decide aplicar las leyes de Newton, ignorando el hecho de que no le es permitido porque no está en un marco de referencia inercial. Sabiendo que m es la masa del disco, postula la existencia de una fuerza centrífuga F' dada por

$$F' = ma' = + m \frac{v^2}{r} \hat{r}. \quad (2.10)$$

Este es un artificio inventado por el pasajero B del auto, que desea aplicar las leyes de Newton en un marco no inercial. Tal fuerza es la fuerza ficticia. Nótese que solo el observador en el marco de referencia no inercial debe usar esta clase de fuerza para explicar lo que observa.

Al considerar un satélite próximo a la superficie de la Tierra observado desde un marco de referencia inercial asociado a la Tierra (se desprecia la rotación de la Tierra). La gente suele decir que el satélite no cae porque la atracción gravitatoria de la Tierra *está equilibrada por la fuerza centrífuga*. Esto es incorrecto. Las pseudofuerzas, como la fuerza centrífuga, aparecen sólo en los marcos de referencia acelerados. En el marco de referencia de la Tierra el satélite cae con aceleración v^2/r producida por la única fuerza de gravedad que sobre él actúa. Sin embargo, un observador en el satélite que considera que está en reposo, puede utilizar el término de fuerza centrífuga si esta va en dirección opuesta a la de la fuerza de gravedad.

La superficie de la Tierra es un marco de referencia no inercial. Al girar sobre su eje, continuamente genera una aceleración centrípeta $-(v^2/r)\hat{r}$, donde v es la velocidad de la superficie de la Tierra en la latitud λ del observador y r es la distancia que va del eje de la Tierra al observador, a lo largo de la línea perpendicular al eje, según se muestra en la figura 2.9.

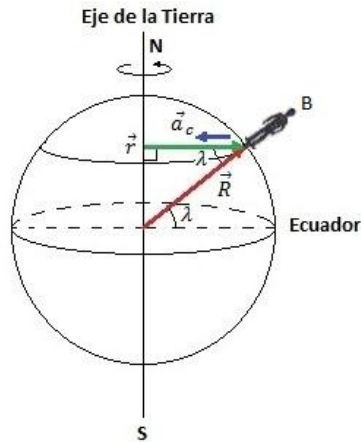


Figura 2.9. El observador B parado sobre la superficie giratoria de la Tierra, en una latitud λ . Desde el punto de vista de un observador A en un marco inercial, B experimenta una aceleración cuya dirección es $\hat{a}_c = -\hat{r}$.

Fuente: Eisberg, R. & Lerner, L., (1981).

Considerando una cantidad de agua en el océano situada en el ecuador, moviéndose hacia el este con una velocidad igual a la de la superficie de la Tierra; suponiendo que el agua se mueve hacia el norte, se acercará más al eje de rotación terrestre. Desde el punto de vista de un observador A en el espacio, en un marco inercial, debe aplicarse la ley de inercia, por lo que el agua debería continuar con su movimiento hacia el este con la misma velocidad que cuando estaba en el ecuador. Pero la velocidad de la superficie de la Tierra en la nueva latitud es menor que en el ecuador, por lo que el agua tiende a adelantar a la Tierra lo que hace que se mueva hacia el este con respecto a la superficie de la Tierra. Si el agua se mueve desde la latitud norte hacia el ecuador, se aleja del eje de rotación terrestre a una región en donde la velocidad de la superficie es mayor, por lo que se mueve hacia el oeste respecto de la superficie. Al superponer estas tendencias producen una rotación de las masas de agua en el sentido de las agujas del reloj.

Si esta situación de las masas de agua es analizada desde el punto de vista de un observador no inercial B, que no es consciente de la rotación de la Tierra ya que está ubicado sobre la superficie, debe introducir una fuerza ficticia para explicar el movimiento del agua. Esta fuerza sólo actúa sobre materia móvil (en este caso es el agua) y forma un ángulo de 90° con la dirección su movimiento (hacia el este sobre agua en movimiento hacia el norte, y hacia el oeste sobre agua que se mueve hacia el sur). Esta fuerza ficticia se denomina fuerza de Coriolis, en honor del físico francés, que fue el primero en estudiarla.

Si la Tierra no girase, los vientos soplarían radialmente hacia un centro de baja presión. La fuerza de Coriolis desvía los vientos hacia la derecha describiendo un remolino en el sentido contrario al de las agujas del reloj en el hemisferio norte y contrariamente ocurre en el hemisferio sur.

Al considerar dos observadores situados a lo largo de una línea radial en una plataforma giratoria lanzándose una pelota del uno al otro; si la pelota se lanza hacia afuera a lo largo de una línea radial, se puede observar que se desvía hacia la derecha y no encuentra al receptor. En un marco de referencia inercial la bola viaja en línea recta y si no encuentra al receptor, es porque éste se está moviendo. La trayectoria de la bola respecto a la plataforma giratoria es la línea curva indicada en la figura 2.10. Para que la pelota llegue justamente al receptor, debe lanzarse a la izquierda de éste para tener en cuenta la desviación lateral que se produce.

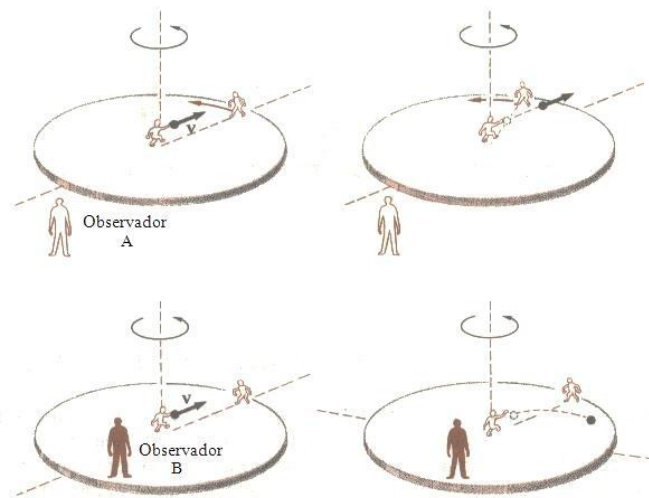


Figura 2.10. Esquema de las observaciones realizadas por un observador inercial A y uno no inercial B cuando la pelota es lanzada desde el centro de la plataforma giratoria. Se puede ver la influencia de la fuerza de Coriolis en el marco de referencia no inercial (observador B) sobre la bola. **Fuente:** Tipler, P. (1990).

Se puede calcular la magnitud de la fuerza de Coriolis teniendo en cuenta inicialmente un caso especial simple considerado en un marco inercial. Sea θ el ángulo formado por una línea radial fija en la plataforma y una línea fija en el espacio, como el mostrado en la figura 2.11.

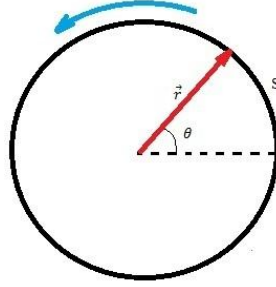


Figura 2.11. Diagrama para la definición de velocidad angular $\omega = d\theta/dt$ de una plataforma giratoria.

Fuente: Tipler, P. (1990).

Este ángulo cambia con el tiempo porque la plataforma está girando. La variación de θ en el tiempo es la velocidad angular ω de la plataforma

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}. \quad (2.11)$$

Cualquier punto fijo sobre la plataforma describe un arco circular. La distancia s recorrida está relacionada con el ángulo θ y la distancia r del punto por

$$s = r\theta. \quad (2.12)$$

Así la velocidad de un punto fijo sobre la plataforma es

$$\frac{ds}{dt} = r \frac{d\theta}{dt} = r\omega. \quad (2.13)$$

Considerando ahora una bola lanzada desde el origen con velocidad v a lo largo de una línea radial. Después de un tiempo t la bola se ha movido una distancia radial $r = vt$. A su vez, el punto de la plataforma situado a una distancia r se ha desplazado a lo largo de un arco circular recorriendo una distancia s dada por

$$s = r\omega t = (vt)\omega t.$$

La distancia s es justamente la distancia que la bola se desvía por acción de una fuerza ficticia, la fuerza de Coriolis en el marco de referencia rotatorio. En este sistema la desviación es hacia la derecha (mirando a la largo del vector velocidad) y posee la magnitud

$$s = \omega vt^2 = \frac{1}{2}(2\omega v)t^2 = \frac{1}{2}a_{Co}t^2,$$

en donde la aceleración de Coriolis es

$$a_{Co} = 2\omega v. \quad (2.14)$$

La fuerza de Coriolis es

$$F_{Co} = ma_{Co} = 2m\omega v. \quad (2.15)$$

CAPÍTULO 3

3. Diseño y construcción del equipo de laboratorio

Para lograr el objetivo de este trabajo, se diseñaron 2 dispositivos experimentales que involucran el uso de herramientas computacionales, lo que sirvió como complemento a los estudiantes en la comprensión de los marcos de referencia inercial y no inercial, importantes en el estudio de las fuerzas ficticias.

3.1. Software Traker Video Analysis

Tracker es un análisis de video libre y herramienta de modelado basado en el Open Source Physics (OSP) Marco Java. Está diseñado para ser utilizado en la enseñanza de la física. Sirve de ayuda a la observación minuciosa de videos capturados por la cámara usada en los dispositivos experimentales debido a que los desglosa en imágenes cuadro a cuadro. (Ver características usadas para el estudio de fuerzas ficticias en el Anexo 1).

3.2. La interfaz

Por un programa desarrollado en Visual Basic 6.0®, el sensor de un mouse y el computador, se pueden obtener datos de tiempo de un fenómeno físico como: tiempo de desplazamiento de un carro dinámico para calcular la fuerza ficticia en el movimiento rectilíneo uniformemente acelerado y el periodo de rotación de una plataforma para determinar su velocidad angular, variable necesaria para determinar el valor de las fuerzas ficticias centrífuga y de Coriolis. (Ver ampliación en el Anexo 2).

3.3. Dispositivo del carro dinámico

Con el propósito de comprender los marcos de referencia inercial y no inercial, y la aparición de la fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, se construyó un carro dinámico al que se le adaptó una cámara de video que sirve para realizar la observación en el marco de referencia no inercial. El video registrado muestra el ángulo de deflexión de un péndulo durante el tiempo en que se acelera el carro, con esto, se introduce el término de fuerza ficticia. Para lograr acelerar el carro de manera uniforme, se lo unió por medio de una cuerda en uno de sus extremos a una masa M , la cual, se deja caer

verticalmente. Se usa una polea para cambiar la dirección de la tensión. En la figura 3.1 se muestra un esbozo del dispositivo experimental.

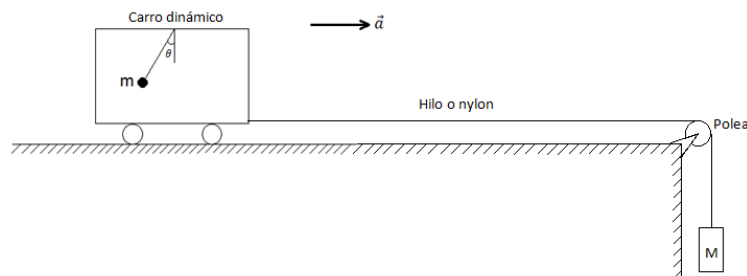


Figura 3.1. Esquema del montaje experimental para estudiar la fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.

En la figura 3.2 se puede evidenciar una imagen del carro dinámico ya construido con sus respectivos elementos como: la cámara de video, un péndulo con masa m y un transportador para medir el ángulo de deflexión del péndulo durante la aceleración del carro, lo que ayudará en la comprensión de la fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.



Figura 3.2. Imagen del carro dinámico el cual, sirve para la comprensión de los marcos de referencia inercial y no inercial, y la fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.

Para determinar la fuerza ficticia presente en este tipo de movimiento de la manera más acertada posible, se necesita conocer la aceleración del carro durante un intervalo bastante pequeño de tiempo debido a que el espacio físico que generalmente brinda una mesa es de menos de un metro de longitud, tanto a lo largo como en lo alto de sus patas, que a su vez, es el recorrido que efectúa la masa de arrastre M . El uso de un cronómetro sería inexacto debido a que se presentarían errores de observación muy grandes, con el propósito de

minimizarlos, se usa un sensor ubicado en la polea que posee pestañas equidistantes en su borde las cuales, obstruyen el paso de la luz logrando así, el registro de los datos de tiempo en el computador por medio de un software desarrollado en Visual Basic 6.0[®]. De esta manera se pueden conocer las variables de recorrido, aceleración y posterior determinación del valor de la fuerza ficticia presente en este tipo de movimiento. (Ver materiales utilizados en el dispositivo y la metodología de trabajo para el estudio de la fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado en el anexo 3).

3.4. Dispositivos de movimiento circular

Con los diseños de los dispositivos experimentales de movimiento circular se busca que el estudiante se familiarice con los marcos de referencia inercial y no inercial, y con las fuerzas ficticias centrífuga y de Coriolis que se manifiestan en este tipo de movimiento. A partir de un dispositivo que consiste en una plataforma giratoria, se hacen dos arreglos experimentales con este propósito. El dispositivo posee un circuito controlador de velocidad de giro de la plataforma el cual se basa en un puente rectificador de onda completa que convierte la corriente alterna en continua como el que se muestra en la figura 3.3, este sirve para alimentar el circuito de control de velocidad pwm para motor de cc, que consiste en un integrado NE555 el cual genera el tren de impulsos necesario para controlar el transistor, el cual acciona por pulsos el motor de corriente continua. Los componentes entre los terminales 2, 6 y 7 (figura 3.4) del integrado regulan la frecuencia de oscilación del circuito y, por ende, la velocidad del motor. El transistor, con un buen disipador de calor, puede manejar hasta 75W de potencia.

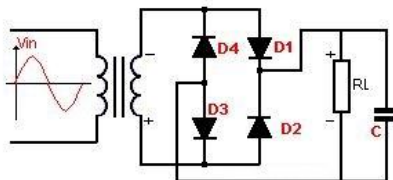


Figura 3.3. Diagrama de un puente rectificador de onda completa. **Fuente:** http://www.unicrom.com/Tut_rectificador_onda_completa_puente.asp. Consultado el 23 de enero de 2013.

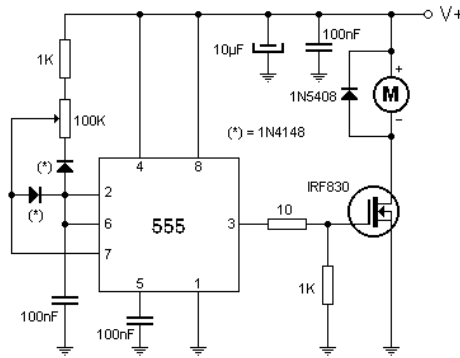


Figura 3.4. Diagrama esquemático del controlador de velocidad de motor de cc. **Fuente:** <http://profesormolina.webcindario.com/circuitos2/circuitos.php?codigo=153>. Consultado el 23 de enero de 2013.

En la figura 3.5 se muestra una imagen del circuito construido, montado sobre una protoboard y cubierto por acrílico transparente.

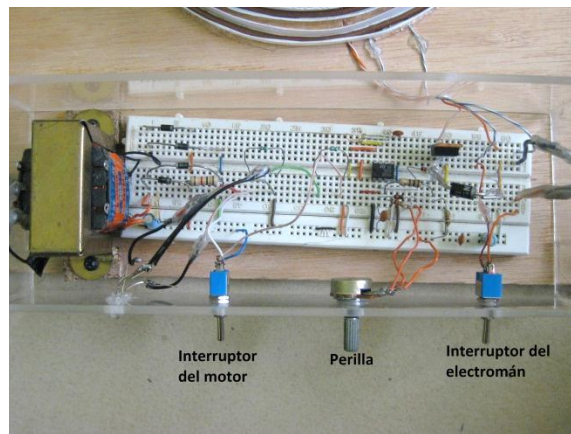


Figura 3.5. Imagen del circuito controlador de velocidad del motor de cc.

El dispositivo para estudiar la fuerza de Coriolis posee un circuito con un electroimán, el cual, consiste en un adaptador de corriente alterna en continua que está conectado en serie con un interruptor que permite el paso de corriente por una bobina con núcleo de hierro, lo que genera un campo magnético suficiente para atraer la masa m de acero. Se introdujeron unos rieles de cobre (figura 3.9) para hacer pasar corriente por la bobina.

Para la visualización de la fuerza centrífuga de una manera clara, el arreglo experimental consiste de una plataforma giratoria en la que se ubica un cubo que contiene materiales diferentes en sus caras² como: papel, tela, plástico, goma y madera. El uso de diferentes

² Una de las caras del cubo está en contacto con la superficie de la plataforma, se puede determinar de manera optativa el coeficiente de rozamiento existente entre estas superficies.

superficies es para determinar diferentes valores de: fuerza centrípeta en el marco de referencia inercial y/o fuerza centrífuga en el marco de referencia no inercial.

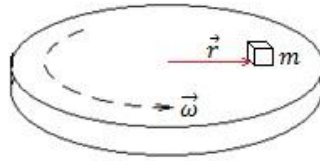


Figura 3.6. Esquema del arreglo experimental para visualizar el efecto de la fuerza centrífuga.

Se escoge de manera arbitraria la distancia del cubo al centro de la plataforma, se aumenta la velocidad de giro de la plataforma partiendo desde el reposo, con la perilla ubicada en el circuito controlador de velocidad de giro hasta el momento en que el cubo empiece a deslizarse, se observa su comportamiento desde el marco de referencia inercial y luego con la ayuda de una cámara de video y el software Tracker, desde el marco de referencia no inercial donde se puede evidenciar la aparición de la fuerza centrífuga que hace que el cubo salga expulsado radialmente hacia afuera y la fuerza de Coriolis, que hace que el cubo describa una curva como la mostrada en la figura 1 (b) del anexo 1. En la figura 3.7 se observa la imagen del arreglo experimental construido.



Figura 3.7. Imagen del arreglo experimental para la visualización y estudio de la fuerza centrífuga.

El valor experimental de la fuerza centrífuga, se determina usando el sensor de un mouse, cuando una pestaña de acetato pasa por éste envía una señal al computador, esta es

codificada por un programa desarrollado en Visual Basic 6.0[®] que mide el tiempo de giro de la plataforma. (Evidenciar los materiales usados en el dispositivo y la metodología de experimentación en el anexo 4).

Para la visualización del efecto de la fuerza de Coriolis, se hace uso de un arreglo experimental al que se le adaptó un péndulo; por medio de una cámara de video el experimentador se ubica en el marco de referencia no inercial y puede observar la influencia de la fuerza de Coriolis sobre la masa del péndulo. En la figura 3.8 se puede observar el esbozo del dispositivo experimental.

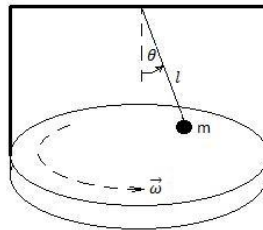


Figura 3.8. Esquema del dispositivo experimental de movimiento circular para el estudio de la fuerza de Coriolis.

La figura 3.9 muestra la imagen del dispositivo experimental construido, puede verse sobre la plataforma un péndulo y una cámara de video, que sirve para ubicar al experimentador en un marco de referencia no inercial al momento de observar el video grabado del movimiento, en donde se puede visualizar el efecto de la fuerza de Coriolis.

Para la determinación experimental del valor de la fuerza de Coriolis, se hace uso de la interfaz con la que se obtiene el valor del periodo de revolución de la plataforma, lo que sirve para calcular el valor de la velocidad angular, que es una de las variables que se deben conocer para determinar el valor de la fuerza de Coriolis. (Evidenciar los materiales usados en el dispositivo y la metodología de experimentación en el anexo 5).

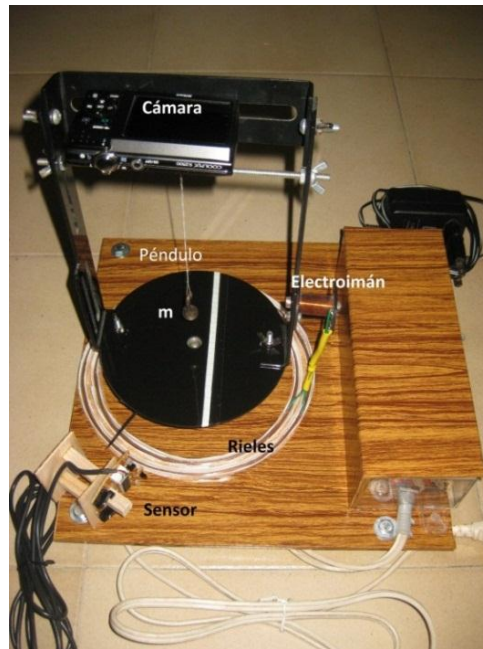


Figura 3.9. Imagen del dispositivo experimental de movimiento circular usado para el estudio de la fuerza de Coriolis.

CAPÍTULO 4

4. Metodología

Este capítulo describe el tipo de investigación realizada, la población a la que se dirigió y el diseño de la estrategia de aula, para finalmente realizar el análisis de los resultados obtenidos.

Para el diseño de la estrategia de aula se tuvo en cuenta variables como: tiempo de implementación, actividades académicas a realizar y los instrumentos de recolección de información.

4.1. Tipo de investigación

Se fundamenta en la investigación-acción educativa, que permite hacer diagnósticos acerca de los posibles problemas que pueden presentarse en una población (colegio, universidad, etc.) con la participación activa de sus miembros, para encontrar sus causas y formular las soluciones correspondientes (Restrepo, B. 2002). Además de eso, participar como un “representante legal del conocimiento establecido” que ayuda a que se participe de la realidad social de la población y se puedan desarrollar las etapas de acción, ejecución, observación y reflexión (Bernardino, J. 2002), constituyéndose así, en un investigador activo, transformando el presente para dar forma a un futuro, considerando las condiciones objetivas y subjetivas que limitan el buen ejercicio de las actividades académicas de los estudiantes. Son importantes, la reflexión crítica y autocrítica debido a que este tipo de investigación es participativa y colaborativa, donde los miembros de un pequeño grupo trabajan para conseguir un bien común, aportando sus ideas y escuchando las de los demás favoreciendo la toma de decisiones justa y democrática. (Carr, W. & Kemmis, S. 1998). Dentro de la población escogida, en este caso, el grupo 1 de mecánica II de Licenciatura en Física, se ejecuta lo que Carr, W. & Kemmis, S. (1998) llaman espiral autorreflexiva, que vincula la reconstrucción del pasado con la construcción de un futuro a través de la acción.

4.2. Descripción de la población

El trabajo se realizó en el grupo 1 de mecánica II en el periodo 1 del año 2013, del Departamento de Física de la Universidad Pedagógica Nacional, con edades que oscilan entre los 17 y 28 años y pertenecientes a los estratos socioeconómicos 1, 2 y 3.

Con el propósito de conocer si los estudiantes ya han cursado mecánica I, si son repitentes y lo que piensan acerca de la asignatura, del trabajo en grupo, de las prácticas experimentales y el uso del computador en las actividades de clase. Se les realizó una encuesta (Ver resultados en el anexo 9).

4.3. Diseño de la estrategia de aula

Se diseñó una estrategia que articule los tres componentes mencionados en el marco teórico.

Se buscó que los estudiantes conocieran de antemano el plan a desarrollarse, que eran importantes en la investigación, por lo que se les hizo una charla con este propósito. Se realizaron cuestionarios para conocer el saber inicial de los estudiantes antes de las prácticas experimentales y después de ellas, se conformaron 3 grupos heterogéneos con estudiantes previamente numerados de 1 a 3, se agruparon los numerados con 1, los numerados con 2 y los numerados con 3, luego se reagruparon los estudiantes de tal forma que conformaran un grupo los numerados de 1 a 3; todo esto con el propósito de generar interacción entre los miembros del grupo para favorecer el intercambio de información, la discusión, la reflexión, etc.

4.3.1. Planes de clase

Se diseñaron con el objetivo de tener claro el orden de desarrollo de actividades para cada clase en cumplimiento con los objetivos propuestos (ver anexos 6, 7 y 8). Son direccionados por el maestro titular y se tienen en cuenta los aspectos principales resumidos en una matriz de planeación.

4.3.2. Instrumentos de recolección de información

Los instrumentos usados para recolectar información a lo largo de la investigación fueron:

- **Encuesta:** La encuesta realizada tiene como objetivo hacer una caracterización de la población del grupo 1 de mecánica II y conocer el pensamiento de los estudiantes en relación al trabajo en grupo, las prácticas experimentales, el uso del computador en las actividades de clase y el trabajo en grupo. (Ver anexo 9).

- **Guías-taller:** En este tipo de documento se motiva al estudiante con una pequeña lectura para familiarizarlo con las fuerzas ficticias presentándole casos de la vida cotidiana donde se evidencian este tipo de fuerzas, luego se proponen unas preguntas para conocer su saber inicial. (Ver anexos 10, 11 y 12).
- **Cuestionarios:** Se realizan al finalizar la presentación de los dispositivos experimentales con el propósito de saber si los estudiantes han entendido claramente lo que son los marcos de referencia y las fuerzas ficticias. (Ver anexos 13, 14 y 15).
- **Lecturas:** Se realizan en grupos con el fin de compartir lo que se encuentra en ellas a todos los estudiantes. (Ver anexos 16, 17 y 18).
- **Documentos orientadores:** En ellos se traza una ruta de trabajo para que cada estudiante reflexione, discuta con sus compañeros y logre determinar experimentalmente las fuerzas ficticias. (Ver anexos 19, 20 y 21).

4.4. Implementación

La implementación se dividió en tres etapas bien definidas: Fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, fuerza centrífuga en un movimiento circular y fuerza de Coriolis en un movimiento circular. Cada una con una serie de actividades (anexos 10 al 21) en las que se pueda evidenciar el progreso de los estudiantes en su aprendizaje de esta clase de fuerzas.

CAPÍTULO 5

5. Análisis de resultados

Las actividades propuestas durante la implementación estuvieron dirigidas a que los estudiantes fueran construyendo su propio conocimiento en las fuerzas ficticias, para esto fue necesario llevarlos a la comprensión de los marcos de referencia inercial y no inercial (marco de referencia donde se abordan las fuerzas ficticias).

Inicialmente se realizaron actividades para la comprensión de la fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, luego, para fuerza centrífuga en un movimiento circular y finalmente, fuerza de Coriolis en un movimiento circular.

5.1. Fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado. Guía-taller.

La guía-taller (ver anexo 10) se desarrolló con el objetivo de conocer las ideas previas de los estudiantes acerca de: marco de referencia inercial, marco de referencia no inercial y fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.

Tabla 5.1. Resultados y análisis para la actividad. Guía-taller: Fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.

Objetivo	Pregunta	Resultados esperados	Resultados obtenidos	Análisis
Conocer el saber inicial de los estudiantes sobre: marcos de referencia inercial, no inercial y fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.	1. ¿Qué entiende por marco de referencia inercial?	- Evidenciar conceptos errados del término de marco de referencia inercial. - Que tengan idea de lo que es el marco de referencia inercial.	5 de los 11 estudiantes que contestaron la guía-taller supieron definir el concepto de marco de referencia inercial. 2 estudiantes tuvieron una idea aproximada del concepto de marco de referencia inercial. 2 de los estudiantes no contestaron bien la pregunta	Los estudiantes en general evidencian desconocimiento de lo que es un marco de referencia inercial y no inercial. Introdujeron definiciones para marco de referencia no inercial como si fuera marco de referencia inercial.
	2. ¿Qué entiende por marco de referencia no inercial?	- Detectar conceptos errados del término de marco de referencia no inercial. - Que exista confusión entre lo que es un marco de referencia inercial y marco de referencia no inercial.	10 de los estudiantes no supo definir el concepto de marco de referencia no inercial Un estudiante tuvo una idea vaga acerca del concepto de marco de referencia no inercial.	La mitad de los estudiantes que afirmaron que sí habían oído hablar del término

		• Que no sepan definir el concepto de marco de referencia no inercial		fuerza ficticia, no supieron definirla claramente y los demás no respondieron la justificación de la respuesta.
3. ¿Ha escuchado hablar acerca del término fuerza ficticia?		• Que la mayoría de los estudiantes no hayan escuchado hablar del término fuerza ficticia.	8 de los estudiantes si había oído hablar del término fuerza ficticia. De ellos: 4 estudiantes tuvieron una idea clara del término fuerza ficticia.	
4. ¿Un móvil que posee en su interior un péndulo como el mostrado en la figura, se acelera de forma constante en línea recta. ¿Qué posición cree que tendrá el péndulo durante su aceleración? <i>Selecione una de las tres opciones posibles.</i>		• Que la mayoría de estudiantes responda correctamente la respuesta. • Que la justificación de la respuesta haga alusión a los marcos de referencia inercial y no inercial.	Los 11 estudiantes escogieron la opción correcta. 9 estudiantes tuvieron una explicación aproximada del porqué de la escogencia de la opción de respuesta. Explicaron el fenómeno introduciendo la ley de inercia de Newton.	Para la justificación de la opción escogida en el numeral 4, los estudiantes explican que la masa del péndulo adquiere la posición escogida debido a que obedece la ley de la inercia de Newton.
5. De la respuesta escogida en el numeral anterior. ¿Qué fuerzas actúan sobre la masa m? <i>Realice el diagrama de cuerpo libre e indique las fuerzas.</i>		• Que solo dibujen las fuerzas reales presentes sobre la masa del péndulo. • Que algunos indiquen la fuerza ficticia. • Que hierren en la ubicación de las fuerzas que actúan sobre la masa del péndulo debido a que aún no se habían explicado los conceptos de marco de referencia inercial y no inercial y de fuerza ficticia.	4 de los estudiantes ubicaron correctamente las fuerzas operantes sobre la masa del péndulo. Los demás solo ubicaron algunas fuerzas reales como el peso y la tensión o solo una de estas fuerzas reales.	Se evidenció que la mayoría estudiantes (7) tuvieron errores en la ubicación de las fuerzas operantes sobre la masa del péndulo.

5.2. Fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.

Cuestionario.

El cuestionario realizado (ver anexo 13), tenía como objetivo evidenciar si los estudiantes comprendieron los términos de marco de referencia inercial, marco de referencia no inercial y fuerza ficticia presente en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, luego de que el docente manipulara frente a ellos el dispositivo experimental diseñado y construido para el estudio del marco de referencia inercial y el marco de referencia no inercial y de la fuerza ficticia en este tipo de movimiento, del uso del software Tracker para hacer el análisis del video registrado durante la aceleración del carro dinámico y del tablero, para hacer un diagrama de cuerpo libre de la masa en estudio ubicándola en

cada uno de los marcos de referencia y dibujar las fuerzas operantes sobre ella; además se buscó que los estudiantes participaran en la actividad haciendo preguntas para aclarar las dudas que pudieran haberse suscitado durante la actividad y luego, propusieran las posibles fuerzas que operan sobre el objeto en estudio.

Tabla 5.2. Resultados y análisis del cuestionario después de realizada la actividad experimental de fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.

Objetivo	Pregunta	Resultados esperados	Resultados obtenidos	Análisis
• Conceptualizar sobre marcos de referencia inercial y no inercial. • Observar la manifestación de la fuerza ficticia en el movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.	1. Un observador ubicado fuera del móvil quiere estudiar lo que ocurre con la masa del péndulo. ¿Qué fuerzas actuarían sobre ella?	• Que los estudiantes dibujen correctamente las fuerzas que operan sobre la masa del péndulo cuando están ubicados en el marco de referencia inercial.	10 estudiantes dibujaron correctamente las fuerzas que operan sobre la masa del péndulo. 2 estudiantes dibujaron una fuerza ficticia,	Se pudo evidenciar que hubo una mejoría substancial en la comprensión del concepto de marco de referencia inercial y el marco de referencia no inercial debido a que los estudiantes en su mayoría dibujaron correctamente las fuerzas que operan sobre la masa del péndulo. La mayoría de los estudiantes comprendieron la relación directa existente entre la aceleración del móvil y la deflexión del péndulo.
	2. Un observador ubicado al interior del móvil quiere estudiar lo que ocurre con la masa del péndulo. ¿Qué fuerzas actuarían sobre ella?	• Que los estudiantes dibujen correctamente las fuerzas que operan sobre la masa del péndulo cuando están ubicados en el marco de referencia no inercial.	10 estudiantes dibujaron correctamente la fuerza ficticia. Un estudiante dibujó bien la fuerza ficticia y el peso, pero no dibujó bien la tensión. Un estudiante no dibujó la fuerza ficticia, solo introdujo las fuerzas reales de tensión y peso, pero estaban mal dibujadas.	
	3. ¿Qué ocurre con el ángulo de deflexión del péndulo si la aceleración del móvil que lo contiene, aumenta?	• Que los estudiantes respondan que a medida que la aceleración del móvil aumenta, el ángulo de deflexión del móvil también lo hace.	10 estudiantes respondieron que a mayor aceleración, habrá una mayor deflexión del ángulo. Un estudiante respondió que la deflexión del ángulo es proporcional a la masa del péndulo. Un estudiante solo dibujó fuerzas operantes en la masa del péndulo, lo que no se pedía hacer en el numeral.	

5.3. Fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado. Lecturas

Se realizaron 3 lecturas diferentes, una acerca del marco de referencia inercial, otra acerca del marco de referencia no inercial y otra, acerca de la fuerza ficticia en un

movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (ver anexos 16, 17 y 18), tenían como objetivo definir estos conceptos, luego de realizada la lectura correspondiente, se realizaron discusiones al interior de los grupos conformados (3) y por último, se realizó la socialización de lo que los miembros de los grupos entendieron y respondieron en el cuestionario propuesto en cada una de las lecturas a los demás grupos de tal forma que todos los grupos conformados abordaran todos los temas de las lecturas.

5.3.1. Análisis de los resultados de la lectura de marco de referencia inercial.

Tabla 5.3. Análisis de los resultados obtenidos en la lectura de marco de referencia inercial.

Objetivo	Pregunta	Resultados esperados	Resultados obtenidos	Análisis
Definir el concepto de marco de referencia inercial	1. Si un observador está en reposo en la calle y ve pasar un automóvil a velocidad constante. ¿Los marcos de referencia tanto del observador como del auto son inerciales?	Que los estudiantes respondan correctamente las preguntas y expliquen teniendo en cuenta la definición del marco de referencia inercial.	Los estudiantes respondieron SI y la explicación dada se basa en la definición del marco de referencia inercial	Todas las opciones propuestas para cada pregunta fueron bien contestadas. Las explicaciones dadas se basaron en lo encontrado en la lectura sobre la definición del marco de referencia inercial.
	2. Dos personas ubicadas en distintos puntos, están en reposo. ¿Los marcos de referencia de ambos son inerciales?		Respondieron si y la explicación dada fue que ambos están en reposo y cumplen con las leyes de Newton.	La explicación que el grupo dio al numeral 4, es correcta porque afirman que se manifiesta una fuerza ficticia, pero cuando afirman que esta hace referencia a que no es inercial, no se puede especificar si es que una fuerza ficticia es una fuerza no inercial o que el observador está en un marco de referencia no inercial; por lo que resulta vaga la explicación.
	3. Dos móviles A y B, se mueven en línea recta con velocidad constante y en dirección contraria el uno del otro. ¿El marco de referencia del móvil A respecto al móvil B es inercial?		Respondieron si y la explicación dada fue: Los móviles se encontrarán en algún momento y se verán como si estuvieran en reposo con velocidad constante.	
	4. Un bus parte del reposo y se acelera en línea recta. ¿El marco de referencia del chofer es inercial?		Respondieron no y la explicación fue: porque el chofer experimenta una fuerza ficticia; pero afirman que es una fuerza que hace referencia a que no es inercial.	

5.3.2. Análisis de los resultados de la lectura de marco de referencia no inercial.

Tabla 5.4. Análisis de los resultados obtenidos en la lectura de marco de referencia no inercial.

Objetivo	Pregunta	Resultados esperados	Resultados obtenidos	Análisis
Definir el concepto de marco de referencia no inercial	1. Durante un tiempo en que un atleta parte del reposo y adquiere una velocidad constante: ¿Se puede afirmar que este se encuentra en un marco de referencia no inercial con respecto a un observador en la tribuna?	Que los estudiantes respondan correctamente las preguntas y las expliquen teniendo en cuenta la definición del marco de referencia no inercial.	Respondieron no, lo que es incorrecto y la explicación dada fue que es inercial para el observador ya que está en reposo.	Con respecto a la primera pregunta, los estudiantes no supieron explicar correctamente el marco de referencia del observador mientras que el marco de referencia del atleta se aceleraba, consideraron que el marco de referencia del observador con respecto al atleta era inercial. En la pregunta 2, los estudiantes respondieron que la Tierra es un marco de referencia inercial, lo cual es errado, esta respuesta era de esperarse debido a que todavía no se había abordado las fuerzas ficticias en un movimiento circular. En términos generales, de las 4 preguntas formuladas, los estudiantes respondieron bien 2.
	2. ¿Una persona que se encuentra en el interior de un móvil que está frenando en línea recta, se encuentra en un marco de referencia no inercial?		Respondieron sí y la explicación dada fue: al ser un movimiento con aceleración negativa, la persona experimentaba una fuerza ficticia.	
	3. ¿La Tierra es un marco de referencia inercial?		La respuesta fue sí. La explicación dada fue: aunque tenga un movimiento rotacional y traslacional este movimiento es constante.	
	4. Un automóvil realiza un giro variando su velocidad. ¿El chofer del automóvil se encuentra en un marco de referencia inercial?		Respondieron que no. La explicación fue: la fuerza ficticia afecta al conductor, por lo tanto es un marco de referencia no inercial.	

5.3.3. Análisis de los resultados de la lectura de fuerza ficticia.

Tabla 5.5. Análisis de los resultados obtenidos en la lectura de fuerza ficticia.

Objetivo	Pregunta	Resultados esperados	Resultados obtenidos	Análisis
	Discuta con sus compañeros lo que ocurriría a la masa del péndulo para las siguientes situaciones: Situación 1. (Anexo 16). Se muestra la imagen del carro dinámico con movimiento acelerado; los estudiantes debían ubicar la posición final de la masa ubicada en el interior del carro.	- Que los estudiantes discutan entre sí lo que ocurre a la masa del péndulo. - Que concluyan correctamente para cada una de las tres situaciones propuestas.	La conclusión gráfica obtenida fue correcta y la explicación dada fue: En este caso el péndulo se mueve al contrario al movimiento del carro ya que sobre él actúa la fuerza ficticia la cual, en este caso sería $F_{Fict} = m \cdot a (-\hat{i})$. (Anexo 22).	Los estudiantes respondieron correctamente las preguntas. Para cada una de las explicaciones tuvieron en cuenta lo observado desde un marco de referencia no inercial.

Definir el significado de fuerza ficticia	Situación 2. (Anexo 16). Se muestra la imagen del carro dinámico con movimiento desacelerado; los estudiantes debían ubicar la posición final de la masa ubicada en el interior del carro.		La respuesta gráfica fue correcta y la explicación dada fue: porque se está acelerando el móvil. (Anexo 22).	En los gráficos, los estudiantes dibujaron la posición que la masa del péndulo adquiriría dependiendo del tipo de movimiento.
	Situación 3. (Anexo 16). Se muestra la imagen del carro dinámico con movimiento constante; los estudiantes debían ubicar la posición final de la masa ubicada en el interior del carro.		La respuesta gráfica fue correcta al igual que su explicación, la cual fue: debido a que la $\vec{v} = \text{cte}$, no hay aceleración, por lo tanto la esfera y el móvil se mueven de una misma manera en magnitud y dirección. (Anexo 22).	

5.4. Fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.

Determinación experimental.

En esta actividad los estudiantes conformaron grupos de máximo 3 personas, donde cada uno de ellos aportó de sus conocimientos a sus compañeros en el logro del objetivo de la actividad que fue determinar experimentalmente la fuerza ficticia presente en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado. Cada grupo manipuló el dispositivo experimental del carro dinámico para obtener las variables necesarias que les permitiera calcular el valor de la fuerza ficticia. El docente trabajó conjuntamente con los grupos, les hizo entrega de un documento orientador (ver anexo 19) en el que se mostraba una ruta de trabajo para lograr el objetivo.

Tabla 5.6. Análisis de los resultados obtenidos para la determinación experimental de la fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.

Objetivo	Pregunta	Resultados esperados	Resultados obtenidos	Análisis
Determinar experimentalmente la fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.	1. ¿Qué tipo de movimiento se puede estudiar con el montaje experimental?	Que los estudiantes afirmen que se puede estudiar el movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, movimiento pendular y movimiento circular.	De los 4 grupos conformados: Los 4 afirmaron que se puede estudiar el movimiento circular uniformemente acelerado (polea). 3 de ellos respondieron que se puede estudiar el movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.	Todos los grupos conformados respondieron que se puede estudiar el movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, con el que se logró calcular el valor de la fuerza ficticia. Ningún grupo afirmó que se puede estudiar el

	2. ¿Cómo se podría variar la fuerza ficticia?	Que se asocie la variación de la aceleración del móvil con la masa de arrastre.	Un grupo respondió que aumentando o disminuyendo la velocidad. Otro respondió que aumentando o disminuyendo la masa de arrastre. Otro grupo no supo responder la pregunta. Otro respondió que variando la masa de arrastre o aumentando la aceleración.	movimiento pendular. Un grupo afirmó de manera más minuciosa, la forma en que se presentaría una mayor fuerza ficticia en el carro dinámico, usando dos modos: con cinemática, en lo que tiene que ver con la aceleración, y con dinámica, tomando como referencia la masa de arrastre.
	3. ¿Cómo calcularía la fuerza ficticia?	Que los estudiantes calculen la fuerza ficticia por dos caminos: por dinámica y por cinemática.	Los 4 grupos obtuvieron sus datos experimentales de las variables necesarias para calcular el valor de la fuerza ficticia en el movimiento rectilíneo uniformemente acelerado y la determinaron tanto por cinemática, como por dinámica. (Anexo 23).	Los 4 grupos supieron usar las variables obtenidas en la práctica experimental para determinar experimentalmente el valor de la fuerza ficticia presente en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.
	4. ¿Cuál es el valor de la fuerza ficticia?	- Que obtengan resultados por dos caminos diferentes del valor de la fuerza ficticia, uno, por cinemática y el otro, por dinámica. - Que estos resultados obtenidos sean similares entre sí.	Los 4 grupos obtuvieron valores comprendidos dentro de los rangos del valor real de la fuerza ficticia tanto por cinemática, como por dinámica. (Anexo 23).	El docente proporcionó las orientaciones necesarias para lograr este objetivo y trabajó con los grupos para lograrlo.

Luego de realizadas las actividades correspondientes a la fuerza ficticia presente en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, se evidenció el progreso en el aprendizaje por parte de los estudiantes respecto a: marco de referencia inercial, marco de referencia no inercial y fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado. Mejoraron en cuanto a la correcta ubicación de las fuerzas operantes sobre un objeto en estudio dependiendo del marco de referencia, en este caso fue la masa del péndulo ubicado al interior del carro dinámico.

El uso de la cámara de video y el software Tracker fue trascendental en la comprensión del marco de referencia no inercial debido a que lograron estudiar las fuerzas que operaron sobre la masa del péndulo como si ellos estuvieran ubicados al interior del carro dinámico

al ser acelerado por la masa de arrastre. Los estudiantes comprendieron la relación directa existente entre la masa de arrastre, la fuerza ficticia y el ángulo de deflexión del péndulo.

5.5. Fuerza centrífuga en un movimiento circular. Guía-taller.

La guía-taller (ver anexo 11) se realizó con el objetivo de conocer las ideas previas de los estudiantes acerca de: fuerza centrípeta, fuerza centrífuga y lo que creerían podría ser la influencia de este tipo de fuerzas en una masa colocada sobre una plataforma giratoria a determinada distancia del centro.

Tabla 5.7. Resultados y análisis para la actividad. Guía-taller: Fuerza centrífuga en un movimiento circular.

Objetivo	Pregunta	Resultados esperados	Resultados obtenidos	Análisis
Conocer el saber inicial de los estudiantes sobre: fuerza centrípeta y fuerza centrífuga en un movimiento circular.	1. ¿Qué entiende por fuerza centrípeta?	- Evidenciar conceptos errados del término de fuerza centrípeta. - Que los estudiantes no introduzcan los marcos de referencia inercial y no inercial en sus definiciones.	De los 10 estudiantes que respondieron la guía-taller: 4 estudiantes supieron definir el concepto de fuerza centrípeta afirmando que es una fuerza que hace que el objeto se dirija hacia el centro del círculo. 6 estudiantes no respondieron bien la pregunta, 3 de ellos afirmaron que la fuerza centrípeta era una fuerza ficticia.	Se evidenció un desconocimiento por parte de los estudiantes del concepto de fuerza centrípeta, algunos afirmaron que ésta es una fuerza ficticia. Algunos estudiantes no supieron definir el término de fuerza centrífuga, introdujeron definiciones como: que es una fuerza contraria a la del movimiento, que es tangencial al movimiento, que es una fuerza que indica la salida de un cuerpo, etc.
	2. ¿Qué entiende por fuerza centrífuga?	- Evidenciar conceptos errados del término de marco de fuerza centrífuga - Que los estudiantes no introduzcan los marcos de referencia inercial y no inercial en sus definiciones.	5 estudiantes de los 10 que respondieron la guía-taller respondieron bien la pregunta, afirmaron que es una fuerza con dirección radial y hacia afuera del círculo. Los otros 5 estudiantes no respondieron bien la pregunta, afirmaron que es una fuerza contraria a la del movimiento, que es tangencial al movimiento, que es una fuerza que indica la salida de un cuerpo, etc.	Para el numeral 4, tres de los estudiantes supieron justificar el porqué de la aparición de la fuerza centrífuga en un movimiento circular ya que introducen: los marcos de referencia, el coeficiente de fricción cinético presente entre las superficies en contacto y la velocidad angular del movimiento circular.
	3. ¿Ha escuchado hablar acerca del término fuerza centrífuga?	Que la mayoría de los estudiantes hayan escuchado hablar del término fuerza ficticia.	8 de los estudiantes si había oído hablar del término fuerza centrífuga. De ellos: 4 estudiantes tuvieron una idea clara del término fuerza centrífuga.	

4. Una plataforma circular que gira, posee un cubo ubicado a una cierta distancia del centro como el mostrado en la figura 1 (Anexo 11). ¿Qué posición cree que tendrá el cubo cuando el coeficiente de rozamiento entre las superficies es cinético?	• Que la mayoría de estudiantes responda correctamente la respuesta. • Que la justificación de la respuesta haga alusión a los marcos de referencia inercial y no inercial.	De los 10 estudiantes, 9 escogieron la opción correcta. De esos 9, 3 justificaron correctamente la opción escogida. 3 estudiantes no habían escuchado hablar acerca de la fuerza centrífuga.	Para la ubicación por parte de los estudiantes de las fuerzas operantes sobre la masa del cubo, se evidenció que no diferenciaron entre los marcos de referencia inercial y no inercial, debido a que 6 de ellos dibujaron la fuerza centrípeta y la fuerza centrífuga, por lo que introdujeron dos marcos de referencia en su análisis.
5. De la respuesta escogida en el numeral anterior. ¿Qué fuerzas actúan sobre la masa m? <i>Escoja un marco de referencia, realice un diagrama de cuerpo libre e indique las fuerzas. Para fuerza centrípeta use la abreviación $\vec{F}_c$ y para fuerza centrífuga use la abreviación $\vec{F}_{cg}$.</i>	• Que los estudiantes no ubiquen bien las fuerzas operantes en la masa. • Que no tengan en cuenta los marcos de referencia inercial y no inercial al colocar las fuerzas sobre la masa.	Un estudiante ubicó bien las fuerzas operantes sobre la masa. 7 estudiantes ubicaron las fuerzas que operarían sobre la masa de manera correcta, pero añadieron una fuerza centrípeta en vez de una fuerza de fricción.	

5.6. Fuerza centrífuga en un movimiento circular. Cuestionario.

El cuestionario realizado (ver anexo 14) tenía como objetivo evidenciar si los estudiantes lograron comprender los términos de marco de referencia inercial, marco de referencia no inercial y fuerza centrífuga presente en un movimiento circular. Previamente a esta actividad, el docente manipuló en presencia de los estudiantes el dispositivo experimental diseñado y construido para el estudio de esta fuerza, del marco de referencia inercial y el marco de referencia no inercial, además de esto, uso el software Tracker para analizar el video grabado por la cámara cuando el cubo comenzó a deslizarse sobre la plataforma hasta cuando este salió despedido de ella, luego, uso el tablero para dibujar, dependiendo del marco de referencia del observador, las fuerzas operantes sobre la masa del cubo en estudio.

Tabla 5.8. Resultados y análisis del cuestionario luego de realizase la actividad experimental de fuerza centrífuga en un movimiento circular.

Objetivo	Pregunta	Resultados esperados	Resultados obtenidos	Análisis
• Conceptualizar sobre marcos de referencia inercial y no inercial. • Observar la manifestación de la fuerza centrífuga en el movimiento circular.	1. Un observador ubicado fuera de la plataforma giratoria, quiere estudiar lo que ocurre con la masa del cubo antes de deslizarse. ¿Qué fuerzas actuarían sobre él? <i>Sugerencia: realice un diagrama de cuerpo libre para la masa del cubo y dibuje las fuerzas que actúan sobre él. Para fuerza centrípeta use la abreviación $\vec{F}_c$ y para fuerza centrífuga use la abreviación $\vec{F}_{cg}$.</i>	• Que los estudiantes dibujen correctamente las fuerzas operantes sobre la masa del cubo estando ubicados en el marco de referencia inercial.	7 estudiantes dibujaron correctamente las fuerzas que operan sobre la masa del cubo. 2 estudiantes dibujaron una fuerza centrífuga, lo que es incorrecto debido a que se debían dibujar las fuerzas reales que influyen sobre el cubo cuando el observador se encuentra ubicado en un marco de referencia inercial.	Se pudo evidenciar que hubo una mejoría substancial en la comprensión del concepto de marco de referencia inercial y el marco de referencia no inercial debido a que los estudiantes en su mayoría dibujaron correctamente las fuerzas que operaron sobre la masa del cubo.
	2. Un observador ubicado en la plataforma quiere estudiar lo que ocurre con la masa del cubo antes de deslizarse. ¿Qué fuerzas actuarían sobre él? <i>Sugerencia: realice un diagrama de cuerpo libre para la masa del cubo y dibuje las fuerzas que actúan sobre ella. Para fuerza centrípeta use la abreviación $\vec{F}_c$ y para fuerza centrífuga use la abreviación $\vec{F}_{cg}$.</i>	• Que los estudiantes dibujen correctamente las fuerzas que operan sobre la masa del cubo cuando están ubicados en el marco de referencia no inercial.	Todos los estudiantes dibujaron correctamente la fuerza centrífuga y las demás fuerzas operantes en la masa del cubo.	La mayoría de los estudiantes comprendieron la relación directa existente entre la velocidad angular de la plataforma y la fuerza centrífuga operante en el cubo.
	3. ¿Qué le ocurre al cubo cuando la velocidad angular de la plataforma aumenta?	• Que los estudiantes respondan: a medida que la velocidad angular de la plataforma aumenta, el cubo es expulsado de la misma.	9 de los 10 estudiantes respondieron que a mayor velocidad angular, el cubo sale despedido de la plataforma. El otro estudiante no respondió la pregunta.	

5.7. Fuerza centrífuga en un movimiento circular. Determinación experimental.

Para esta actividad los estudiantes conformaron grupos de máximo 3 personas donde cada uno de ellos aportó de sus conocimientos a sus compañeros en el logro del objetivo de la actividad que fue determinar experimentalmente la fuerza centrífuga presente en un movimiento circular. Un grupo manipuló el dispositivo experimental de movimiento circular para obtener las variables necesarias que les permitiera calcular el valor de la

fuerza centrífuga como: el periodo de revolución de la plataforma con el uso de la interfaz y la distancia al centro de giro; estas mediciones obtenidas se compartieron con los demás grupos para encontrar las variables que requerían ser halladas de manera indirecta como: la velocidad angular y tangencial del cubo. El docente trabajó conjuntamente con los grupos, les hizo entrega de un documento orientador (ver anexo 20) que mostró una ruta de trabajo para lograr el objetivo.

Tabla 5.9. Análisis de los resultados obtenidos para la determinación experimental de la fuerza centrífuga en un movimiento circular.

Objetivo	Pregunta	Resultados esperados	Resultados obtenidos	Análisis
Determinar experimentalmente la fuerza centrífuga en un movimiento circular.	1. ¿Qué tipo de movimiento se puede estudiar con el montaje experimental?	Que los estudiantes afirmen que se puede estudiar el movimiento circular uniforme y el movimiento circular uniformemente acelerado.	De los 4 grupos conformados: Los 4 afirmaron que se puede estudiar el movimiento circular. 2 de ellos afirmaron que se puede estudiar el movimiento circular uniforme y el movimiento circular uniformemente acelerado. Un grupo afirmó que se puede estudiar el movimiento circular uniformemente acelerado.	Todos los grupos conformados respondieron que el movimiento que se puede estudiar es el movimiento circular; algunos respondieron que se puede estudiar el movimiento circular uniformemente acelerado, lo que es acertado debido a que el dispositivo de movimiento circular posee una perilla de variación de velocidad de giro.
	2. ¿Cómo se podría variar la fuerza centrífuga?	Que respondan que la variación de la rapidez de rotación de la plataforma, por la variación de la distancia de la masa al centro de giro y por la variación de la masa.	3 grupos respondieron que variando el radio. 3 grupos respondieron que variando la velocidad de rotación de la plataforma. 2 grupos respondieron que variando la masa del cubo.	3 grupos supieron usar las variables obtenidas en la práctica experimental para determinar experimentalmente el valor de la fuerza centrífuga presente en un movimiento circular. El otro grupo solo escribió las ecuaciones con las que se podía calcular esta fuerza.
	3. ¿Cómo calcularía la fuerza centrífuga?	Que los estudiantes calculen la fuerza centrífuga conociendo las variables involucradas en el fenómeno.	Los 4 grupos obtuvieron sus datos experimentales de las variables necesarias para calcular el valor de la fuerza centrífuga en el movimiento circular y los usaron para llegar a la respuesta. (Anexo 24).	El docente proporcionó las orientaciones necesarias para lograr este objetivo y trabajó con los grupos para lograrlo.
	4. ¿Cuál es el valor de	Que obtengan el valor de la fuerza	3 grupos obtuvieron valores comprendidos	Los grupos tuvieron en cuenta el movimiento circular para calcular la velocidad de la masa

	la fuerza centrífuga?	centrífuga en el movimiento circular.	dentro de los rangos del valor real de la fuerza centrífuga usando la ecuación correspondiente. El otro grupo no la calculó. (Anexo 24).	justo antes de que comenzara a deslizarse sobre la plataforma y la posición de la misma con respecto al eje de giro.
--	-----------------------	---------------------------------------	--	--

De los resultados obtenidos en las actividades correspondientes para el estudio de la fuerza centrífuga en un movimiento circular, se evidenció en un comienzo que los estudiantes no introdujeron los marcos de referencia inercial y no inercial en las definiciones dadas en la guía-taller (ver anexo 11) a lo que entendían acerca de lo que es la fuerza centrífuga, cuando previamente se habían abordado estos conceptos en las actividades correspondientes en la fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.

En la medida en que las actividades se fueron realizando, los estudiantes se fueron familiarizando con lo que son los marcos de referencia en un movimiento circular y en general, introdujeron el término de fuerza centrífuga estando ubicados en el marco de referencia no inercial gracias a la ayuda que brindó el uso de la cámara de video, el software Tracker y la explicación en el tablero por parte del docente acerca de las fuerzas que operaron sobre la masa del cubo dependiendo del marco de referencia. Luego de esto, dibujaron correctamente las fuerzas operantes sobre la masa del cubo cuando contestaron las preguntas del cuestionario (ver anexo 14).

Los estudiantes comprendieron la relación directa existente entre la fuerza centrífuga, la velocidad tangencial de la masa del cubo y su posición con respecto al centro de giro, así como la diferencia que existe entre la fuerza centrípeta y la centrífuga y concluyeron que no existe ninguna de estas fuerzas si el cubo se ubicara en el centro de la plataforma.

5.8. Fuerza de Coriolis en un movimiento circular. Guía-taller.

La guía-taller (ver anexo 12) se realizó con el objetivo de conocer las ideas previas de los estudiantes acerca de la fuerza de Coriolis presente en un movimiento circular y lo que creerían podría ser la influencia de este tipo de fuerza en la masa de un péndulo que oscilaba sobre una plataforma giratoria.

Tabla 5.10. Resultados y análisis para la actividad. Guía-taller: Fuerza de Coriolis en un movimiento circular.

Objetivo	Pregunta	Resultados esperados	Resultados obtenidos	Análisis
Conocer el saber inicial de los estudiantes sobre la fuerza de Coriolis presente en un movimiento circular.	1. ¿Qué entiende por fuerza de Coriolis?	- Evidenciar conceptos errados del término fuerza de Coriolis. - Que los estudiantes no introduzcan los marcos de referencia inercial y no inercial en sus definiciones.	De los 9 estudiantes que respondieron la guía-taller: 4 estudiantes supieron definir el concepto de fuerza de Coriolis afirmando que es una fuerza que hace que un objeto que se mueve en un movimiento circular describa una curva. Solo un estudiante incluyó el término de marco de referencia no inercial en la definición de fuerza de Coriolis.	Se evidenció un desconocimiento por parte de los estudiantes del concepto de fuerza de Coriolis. Cuando ellos realizan sus definiciones, no incluyen los marcos de referencia a excepción de un estudiante. Antes de realizarse la práctica experimental, los estudiantes no comprendían
	2. ¿Ha escuchado hablar acerca del término fuerza de Coriolis?	Que la mayoría de los estudiantes no hayan escuchado hablar del término fuerza de Coriolis.	4 de los estudiantes si había oído hablar de la fuerza de Coriolis, de los cuales: 2 afirmaron que habían oído hablar de la fuerza de Coriolis por la lectura de un libro en una asignatura vista el semestre anterior. Los otros dos explicaron cada uno un fenómeno físico donde se manifiesta esta fuerza como: La caída de los cuerpos cerca de la superficie terrestre, los cuales describen una curva por el efecto de la fuerza de Coriolis y al soltar la cisterna, las aguas forman remolinos debido a la influencia de la fuerza de Coriolis. Los 5 estudiantes restantes no habían oído hablar de la fuerza de Coriolis.	claramente el efecto que produce la fuerza de Coriolis sobre un objeto que se mueve dentro de un movimiento circular, por lo que las justificaciones a las respuestas dadas no fueron adecuadas. Para la ubicación por parte de los estudiantes de las fuerzas operantes sobre la masa del péndulo, se evidenció que 2 de ellos usaron una fuerza normal, por lo que hay un error en el análisis, debido a que el péndulo en ningún momento se ubicó sobre la superficie de la plataforma.
	3. Un péndulo está oscilando sobre una plataforma circular que gira como se muestra en la figura 1 (Anexo 12). Si usted está ubicado sobre la plataforma ¿Qué movimiento cree que describirá la masa del péndulo cuando éste haya realizado media	- Que la mayoría de estudiantes no responda correctamente la respuesta. - Que la justificación de la respuesta haga alusión a los marcos de referencia inercial y no inercial.	De los 9 estudiantes, 4 escogieron la opción correcta. Los 4 estudiantes no justificaron adecuadamente la opción escogida.	Un estudiante dibujó bien la fuerza de Coriolis, pero no dibujó las fuerzas reales como la tensión y el peso de la masa del péndulo.

	oscilación?			
	4. De la respuesta escogida en el numeral anterior: ¿Qué fuerzas actúan sobre la masa m ? <i>Realice un diagrama de cuerpo libre e indique las fuerzas. Para fuerza centrípeta use la abreviación $\vec{F}_c$, para fuerza centrífuga use la abreviación $\vec{F}_{cg}$ y para fuerza de Coriolis use la abreviación $\vec{F}_{Co}$.</i>	• Que los estudiantes no ubiquen bien las fuerzas operantes en la masa del péndulo. • Que no tengan en cuenta los marcos de referencia inercial y no inercial al colocar las fuerzas sobre la masa.	6 estudiantes ubicaron bien la fuerza de Coriolis. 2 estudiantes dibujaron una fuerza normal operante sobre la masa del péndulo. Un estudiante no respondió la pregunta.	

5.9. Fuerza de Coriolis en un movimiento circular. Cuestionario.

El cuestionario realizado (ver anexo 15) tenía como objetivo evidenciar si los estudiantes lograron comprender los términos de marco de referencia inercial, marco de referencia no inercial y fuerza de Coriolis presente en un movimiento circular. Previamente a esto, el docente manipuló en presencia de los estudiantes el dispositivo experimental diseñado y construido para el estudio de esta fuerza, del marco de referencia inercial y el marco de referencia no inercial, además hizo uso del software Tracker para hacer el análisis del video registrado cuando el péndulo osciló sobre la plataforma giratoria.

Tabla 5.11. Resultados y análisis del cuestionario luego de realizase la actividad experimental de fuerza de Coriolis en un movimiento circular.

Objetivo	Pregunta	Resultados esperados	Resultados obtenidos	Análisis
• Conceptualizar sobre marcos de referencia inercial y no inercial. • Observar la manifestación de la fuerza de Coriolis en un movimiento circular.	1. Un observador ubicado fuera de la plataforma giratoria, quiere estudiar lo que ocurre con la masa del péndulo. ¿Qué fuerzas actuarían sobre ella? <i>Sugerencia: realice un diagrama de cuerpo libre para la masa del péndulo y dibuje las fuerzas que actúan sobre él. Para fuerza centrípeta use la abreviación $\vec{F}_c$, para fuerza centrífuga use la abreviación $\vec{F}_{cg}$ y para fuerza de Coriolis use la</i>	• Que los estudiantes dibujen correctamente las fuerzas que operan sobre la masa del péndulo estando ubicados en el marco de referencia inercial.	De 10 estudiantes: 5 de ellos dibujaron correctamente las fuerzas que operan sobre la masa del péndulo. Un estudiante dibujó una fuerza de Coriolis y una fuerza centrífuga. Un estudiante dibujó una fuerza normal. Un estudiante dibujó una fuerza centrífuga. Un estudiante dibujó una fuerza centrípeta. Un estudiante dibujó una sola fuerza sin especificar cuál era.	Se pudo evidenciar que hubo una mejoría en la comprensión del concepto de marco de referencia inercial y el marco de referencia no inercial debido a que los estudiantes en su mayoría dibujaron correctamente las fuerzas que operaron sobre la masa del péndulo.

	abreviación $\vec{F}_{Co}$.			
	2. Un observador ubicado en la plataforma quiere estudiar lo que ocurre con la masa del péndulo. ¿Qué fuerzas actuarían sobre ella? <i>Sugerencia: realice un diagrama de cuerpo libre para la masa del péndulo y dibuje las fuerzas que actúan sobre ella. Para fuerza centrípeta use la abreviación $\vec{F}_c$, para fuerza centrífuga use la abreviación $\vec{F}_{cg}$ y para fuerza de Coriolis use la abreviación $\vec{F}_{Co}$.</i>	• Que los estudiantes dibujen correctamente las fuerzas que operan sobre la masa del cubo cuando están ubicados en el marco de referencia no inercial.	7 de los estudiantes dibujaron correctamente la fuerza de Coriolis y las demás fuerzas operantes en la masa del péndulo. 2 estudiantes dibujaron correctamente las fuerzas de Coriolis y centrífuga, pero no dibujaron las fuerzas de tensión y del peso en la masa del péndulo. Un estudiante solo dibujó las fuerzas de tensión y del peso.	La mayoría de los estudiantes comprendieron la influencia que tiene la fuerza de Coriolis sobre un cuerpo que se mueve dentro de un movimiento circular, afirmaron que la trayectoria del objeto es curva y no en línea recta.
	3. ¿Qué influencia tiene la fuerza centrífuga sobre el péndulo?	• Que los estudiantes respondan: la fuerza centrífuga influye sobre la masa del péndulo en dirección radial y hacia afuera de la plataforma.	6 de los 10 estudiantes respondieron que la fuerza centrífuga hace que el péndulo tienda a salirse de forma radial de la plataforma. 3 estudiantes respondieron mal la pregunta. Un estudiante no respondió.	

5.10. Fuerza de Coriolis en un movimiento circular. Determinación experimental.

Para esta actividad los estudiantes conformaron grupos de máximo 3 personas para trabajar en la determinación experimental de la fuerza de Coriolis presente en un movimiento circular. Un grupo manipuló el dispositivo experimental de movimiento circular para obtener las variables necesarias que les permitiera calcular el valor de la fuerza de Coriolis, como el periodo de revolución de la plataforma, por el uso de la interfaz, para así determinar el valor de su velocidad angular. También midieron la altura desde donde se puso a oscilar el péndulo para hallar su velocidad justo cuando este se encontró debajo de su punto de suspensión. El docente trabajó conjuntamente con los grupos, les hizo entrega de un documento orientador (ver anexo 21) en el que se mostraba una ruta de trabajo para lograr determinar el valor de la fuerza de Coriolis.

Tabla 5.12. Análisis de los resultados obtenidos para la determinación experimental de la fuerza de Coriolis en un movimiento circular.

Objetivo	Pregunta	Resultados esperados	Resultados obtenidos	Análisis
Determinar experimentalmente la fuerza de Coriolis en un movimiento circular.	1. ¿Qué tipo de movimiento se puede estudiar con el montaje experimental?	Que los estudiantes afirmen que se puede estudiar el movimiento circular uniforme, el movimiento circular uniformemente acelerado y el movimiento pendular.	De los 4 grupos conformados: 3 afirmaron que se puede estudiar el movimiento circular. Uno de ellos afirmó que se puede estudiar el movimiento armónico simple. Uno de ellos afirmó que el movimiento circular se puede estudiar desde los marco de referencia inercial y no inercial. Un grupo de ellos afirmó que se puede estudiar el movimiento circular desde el marco de referencia no inercial.	3 de los 4 grupos afirmaron acertadamente que se puede estudiar el movimiento circular. 2 grupos de ellos introdujeron los conceptos de marcos de referencia inercial y no inercial, lo cual evidencia el progreso en la comprensión de las fuerzas ficticias en el movimiento circular. Los grupos comprendieron la relación existente entre la masa, la velocidad angular de la plataforma y la velocidad del objeto con el valor de la fuerza de Coriolis en un movimiento circular.
	2. ¿Cómo se podría variar la fuerza de Coriolis?	Que respondan por la variación de la velocidad angular de la plataforma, por la variación de la velocidad del objeto dentro de la plataforma y por la variación de la masa del objeto.	De los 4 grupos: Uno firmó que variando la velocidad, pero no especificó más. Los demás grupos afirmaron que variando: la velocidad angular de la plataforma, la velocidad del objeto y su masa.	Los 4 grupos supieron usar las variables obtenidas en la práctica para determinar experimentalmente el valor de la fuerza de Coriolis presente en un movimiento circular. El docente les proporcionó las orientaciones necesarias para lograr este objetivo y trabajó con los grupos para lograrlo.
	3. ¿Cómo calcularía la fuerza de Coriolis?	Que los estudiantes calculen la fuerza de Coriolis conociendo las variables involucradas en el fenómeno como: la velocidad angular de la plataforma, la velocidad del péndulo al pasar por debajo del punto de suspensión y el valor de su masa.	Los 4 grupos obtuvieron los datos experimentales de las variables necesarias para calcular el valor de la fuerza de Coriolis en el movimiento circular y los aplicaron correctamente. (Anexo 25).	Tuvieron en cuenta el movimiento circular para obtener el valor de la velocidad angular y el principio de conservación de la energía para obtener el valor de la velocidad de la masa del péndulo en el momento en que esta pasó por debajo de su punto de suspensión.
	4. ¿Cuál es el valor de la fuerza de Coriolis?	Que obtengan el valor de la fuerza de Coriolis en el movimiento circular.	Los 4 grupos obtuvieron valores comprendidos dentro de los rangos del valor real de la fuerza de Coriolis usando la ecuación correspondiente. (Anexo 25).	

Luego de realizada la práctica experimental correspondiente a la fuerza de Coriolis en el movimiento circular, se evidenció que los estudiantes mejoraron en la comprensión de los marcos de referencia inercial y no inercial; se esperaba que hubieran tenido presente estos conceptos al momento de realizar la actividad de la guía-taller (ver anexo 12), debido a que previamente se realizaron las actividades correspondientes a la fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado y la fuerza centrífuga en el movimiento circular, en donde se abordaron los marcos de referencia.

En lo que tiene que ver con el estudio de las fuerzas operantes sobre la masa del péndulo, los estudiantes tuvieron presente el concepto de fuerza centrífuga para responder la pregunta formulada en el cuestionario (ver anexo 15) acerca de su influencia sobre la masa del péndulo.

Los grupos conformados hicieron uso adecuado del dispositivo experimental diseñado y construido para el estudio de la fuerza de Coriolis, obtuvieron las variables requeridas para determinar el valor de esta fuerza usando teorías de: movimiento circular, para determinar el valor de la velocidad angular y el principio de conservación de la energía, para hallar el valor de la velocidad de la masa del péndulo justo cuando esta pasó por debajo del punto de suspensión. Luego de obtener estas variables, lograron determinar el valor de la fuerza de Coriolis.

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES

- Los estudiantes no poseían un conocimiento claro acerca de marcos de referencia inercial, no inercial y de fuerzas ficticias antes de la realización de las actividades experimentales y de las explicaciones del docente. Cuando las actividades se fueron realizando, se pudo evidenciar el progreso en el aprendizaje de las fuerzas ficticias por parte de ellos.
- Las prácticas experimentales propiciaron en los estudiantes la reflexión en lo que tiene que ver con el estudio de las fuerzas ficticias, de cuándo es que estas aparecen dependiendo del marco de referencia en el que el observador se encuentre ubicado; además ayudaron a que ellos asociaran fenómenos involucrados en los experimentos con lo que a diario evidencian en la naturaleza como: la influencia de la rotación de la Tierra sobre un objeto en movimiento, realizar un giro estando ubicados en el interior de un móvil, abordar un medio de transporte y sentir la fuerza ficticia que los empuja hacia atrás cuando este acelera.
- La actitud de los estudiantes en las prácticas experimentales fue la apropiada para lograr los objetivos propuestos en ellas, lo que ayudó a su progreso en el aprendizaje de las fuerzas ficticias.
- La metodología empleada sirvió para mejorar los planes de clase en lo que tiene que ver con las actividades propuestas donde los estudiantes no evidenciaban progreso en el aprendizaje de las fuerzas ficticias.
- Desde el punto de vista de la justificación, los estudiantes retomaron y reforzaron los conceptos abordados en los cursos de mecánica como: movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, movimiento circular, leyes de Newton y principio de conservación de la energía, para seguir construyendo su conocimiento en: los marcos de referencia inercial y no inercial, y de las fuerzas ficticias, además de que se rescataron las actividades experimentales para lograrlo.
- El uso de la cámara de video y del software Tracker, fue muy importante en la comprensión por parte de los estudiantes de los marcos de referencia, permitió que

cada estudiante lograra observar un fenómeno como la aparición de una fuerza ficticia estando virtualmente ubicado en el marco de referencia no inercial.

- La interfaz fue una herramienta práctica al momento de obtener los tiempos requeridos para hallar las variables necesarias en la determinación experimental de las fuerzas ficticias dependiendo del tipo de movimiento, ya sea lineal uniformemente acelerado o circular.
- La conformación de grupos basado en el aprendizaje colaborativo, obtuvo resultados favorables en cuanto al logro de los objetivos trazados por parte del docente en lo referente a las actividades experimentales para la determinación de las fuerzas ficticias, cada miembro del grupo aportó de su propio conocimiento para lograrlo por lo que al final de estas actividades, la gran mayoría de grupos obtuvieron los valores respectivos de las fuerzas ficticias.

7. Bibliografía

Ardila, Á., (2007). *Física experimental*. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional, Bogotá. Colombia.

Arenas, A., (2005). *Análisis del comportamiento de la fuerza centrífuga en la vecindad de la superficie esférica de un agujero negro*. Trabajo de grado. Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia.

Bernardino, J., (2002). *Desarrollar conceptos de física a través del trabajo experimental: Evaluación de auxiliares didácticos*. Departamento de Física. UTAD. Universidad de Trás-os-Montes e Alto Douro. Quinta de Prados, 5000 Vila Real. Portugal.

Bernal, L. & Santamaría, B., (2011). *Actividades experimentales con enfoque colaborativo: uso de herramientas computacionales para el aprendizaje del Efecto Doppler*. Trabajo de grado. Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá. Colombia.

Campos, M. & Hernández, J., (2011). *Actividades experimentales con enfoque colaborativo: Reflexión y Refracción a partir de la Fibra Óptica*. Trabajo de grado. Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá. Colombia.

Carr, W. & Kemmis, S., (1998). *Teoría crítica de la enseñanza: la investigación-acción en la formación del profesorado*. Barcelona: Ediciones Martínez Roca.

Collazos, C., Guerrero, L. & Vergara, A., (2001). *Aprendizaje Colaborativo: un cambio en el rol del profesor*. Acta del tercer Congreso de Educación en computación. Punta Arenas.

Control de velocidad pwm para motor de cc. Recuperado el 23 de enero de 2013 de: <http://profesormolina.webcindario.com/circuitos2/circuitos.php?codigo=153>

Eisberg, R. & Lerner, L., (1981). *Física: Fundamentos y aplicaciones, Volumen 1*. Fuerzas ficticias. (pp. 180 - 192). McGraw-Hill.

Greeno, J., (2005). *Learning in activity*.

Hodson, D. (1994). *Aprendizaje de las ciencias, Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio*. Toronto (Canadá): The Ontario Institute For Studies in Education.

Johnson, D., (1998). *Cooperation in the Classroom*. Interaction Book Company. Seventh Edition.

Johnson, D., Johnson R. Johnson E., (1994). *The nuts and bolts of cooperative learning*. Interaction Book Company. Minnesota.

Kleppner, D. & kolenkow, R. (1973). *Noninertial systems and fictitious forces*. International Student (Ed.), An Introduction to Mechanics. (pp. 339 – 375). Tokio: Mcgraw-Hill Kogahusha. Ltd.

Marulanda, J. & Gomez, A. (2006). *Experimentos en el aula de clase para la enseñanza de la física*. Universidad EAFITT, Medellín. Colombia. Revista Colombiana de Física.

Rectificador de onda completa. Recuperado el 23 de enero de 2013 de: http://www.unicrom.com/Tut_rectificador_onda_completa_puente.asp

Restrepo, B., (2002). *Una variante pedagógica de la investigación-acción educativa*. Consejo Nacional de Acreditación de Colombia.

Séré, M., (2002). *La enseñanza en el laboratorio. ¿Qué podemos aprender en términos de conocimiento práctico y de actitudes hacia la ciencia?* Paris: DidaScO, Université Paris Sud XI. F-91405 Orsay.

Software Tracker Video Analysis. Recuperado el 12 de marzo de 2013 de: <http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/>

Tipler, P. (1990). *Física, tomo 1* (Segunda ed.). Barcelona: Reverté.

ANEXOS

Se adjuntan los siguientes anexos:

- **Herramientas computacionales**
 - Anexo N° 1. Software Tracker Video Analysis.
 - Anexo N° 2. Interfaz en Visual Basic 6.0®.
- **Metodología de la experimentación**
 - Anexo N° 3. Fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.
 - Anexo N° 4. Fuerza centrífuga en un movimiento circular.
 - Anexo N° 5. Fuerza de Coriolis en un movimiento circular.
- **Planes de clase**
 - Anexo N° 6. Fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.
 - Anexo N° 7. Fuerza centrífuga en un movimiento circular.
 - Anexo N° 8. Fuerza de Coriolis en un movimiento circular.
- **Instrumentos de recolección de información**
 - Encuesta
 - Anexo N° 9. Caracterización de población.
 - Guía-taller
 - Anexo N° 10. Fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.
 - Anexo N° 11. Fuerza centrífuga en un movimiento circular.
 - Anexo N° 12. Fuerza de Coriolis en un movimiento circular.
 - Cuestionario
 - Anexo N° 13. Fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.
 - Anexo N° 14. Fuerza centrífuga en un movimiento circular.
 - Anexo N° 15. Fuerza de Coriolis en un movimiento circular.
 - Lecturas

- Anexo N° 16. Marco de referencia inercial.
- Anexo N° 17. Marco de referencia no inercial.
- Anexo N° 18. Fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.
- Documento orientador
 - Anexo N° 19. Fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.
 - Anexo N° 20. Fuerza centrífuga en un movimiento circular.
 - Anexo N° 21. Fuerza de Coriolis en un movimiento circular.
- **Fotos**
 - Anexo N° 22. Resultados de la lectura de fuerza ficticia.
 - Anexo N° 23. Resultados del cálculo de la fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.
 - Anexo N° 24. Resultados del cálculo de la fuerza centrífuga en un movimiento circular.
 - Anexo N° 25. Resultados del cálculo de la fuerza de Coriolis en un movimiento circular.

Herramientas computacionales

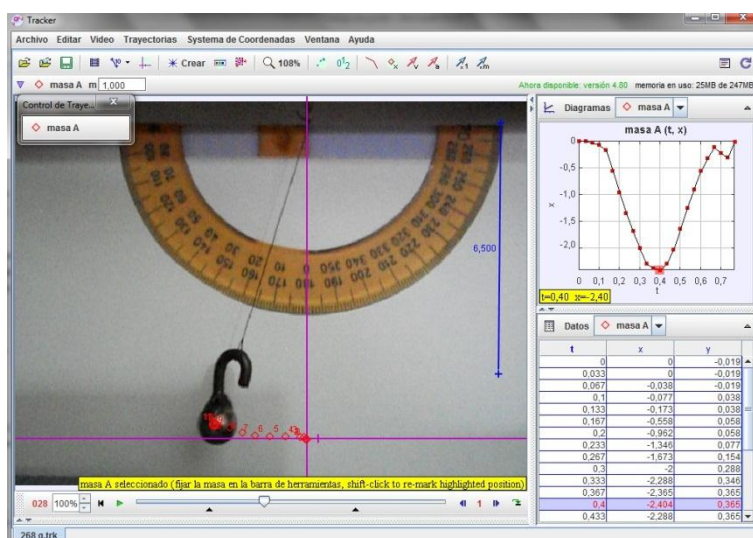
ANEXO 1

Software Tracker Video Analysis

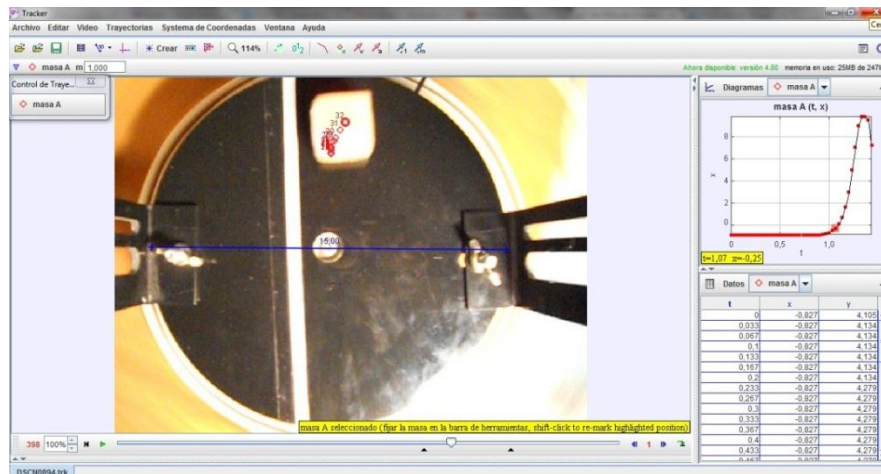
El software Tracker Video Analysis es de licencia libre y es una herramienta computacional usada especialmente en la enseñanza de la física. Es una forma poderosa de combinar videos con modelos informáticos, en experimentos que involucran movimiento es de gran utilidad, como los realizados en este trabajo para el estudio de las fuerzas ficticias donde se utilizaron algunas de sus características, de forma que el estudiante evidenciara de forma clara la influencia de cada una de las fuerzas ficticias, sobre una esfera de acero y un cubo. Las características usadas del software son:

- Seguimiento de objetos en estudio cuadro a cuadro.
- Ubicación de centro de masas sobre el objeto en estudio.
- Barra de calibración para obtener mediciones espaciales reales.

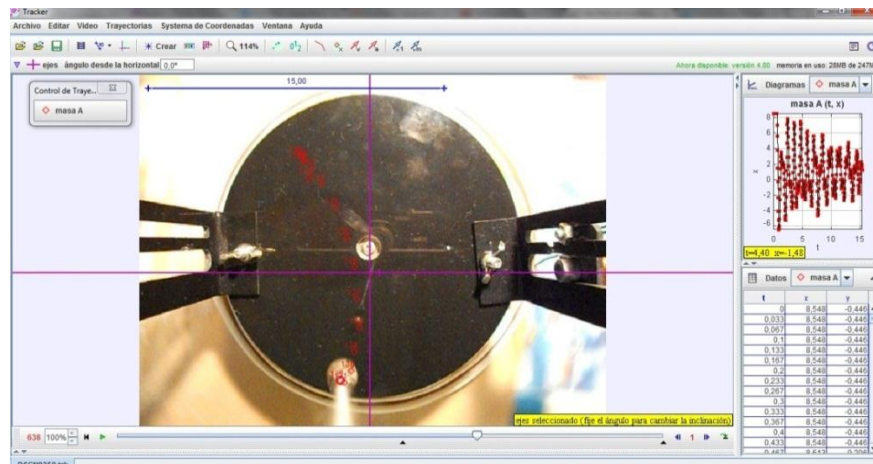
En las figuras 1 (a), 1 (b) y 1 (c) se muestran imágenes de la influencia de fuerzas ficticias sobre una esfera de acero en estudio y un cubo, analizadas con el software Tracker; inicialmente, se muestra la imagen de la influencia de la fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, luego de la fuerza centrífuga en un movimiento circular y por último, la fuerza de Coriolis en un movimiento circular.



(a). Imagen capturada de la influencia que ejerce la fuerza ficticia sobre una esfera de acero, en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, analizado mediante el software Tracker.



(b). Imagen capturada de la influencia que ejerce las fuerzas centrífuga y de Coriolis sobre un cubo en un movimiento circular, analizado mediante el software Tracker.



(c). Imagen capturada de la influencia que ejerce la fuerza de Coriolis sobre una esfera de acero en un movimiento circular, analizado mediante el software Tracker.

Figura 1. Imágenes capturadas mediante el software Tracker, de la influencia de las fuerzas ficticias en el movimiento rectilíneo uniformemente acelerado y el movimiento circular.

En las imágenes anteriores, se puede observar que hay una secuencia de puntos rojos, ellos indican las posiciones del centro de masa de cada uno de los objetos estudiados en cada instante de tiempo, la línea azul corresponde a la barra de calibración, que es la medida espacial real y las gráficas al lado derecho de cada imagen corresponden a las gráficas de espacio contra tiempo del objeto en estudio.

ANEXO 2

Interfaz en Visual Basic 6.0®

Por un programa desarrollado en Visual Basic 6.0®, el sensor de un mouse y el computador, se pueden obtener datos de tiempo como: duración del desplazamiento del carro dinámico para calcular la fuerza ficticia en el movimiento rectilíneo uniformemente acelerado y el periodo de rotación de la plataforma para determinar su velocidad angular, variable necesaria para determinar el valor de las fuerzas ficticias centrífuga y de Coriolis.

El funcionamiento de la interfaz consiste en hacer pasar una o varias pestañas de acetato, por el sensor de un mouse mecánico, es cual consiste en un emisor de luz y un detector de luz. Al momento de interrumpir el paso de la luz, la circuitería del mouse transforma esa información luminosa en señales eléctricas que llegan al computador y el software desarrollado en Visual Basic 6.0® arroja los datos de tiempo en una tabla. En la figura 1 se muestra la forma en que se miden los datos de tiempo de revolución de la plataforma en el dispositivo de movimiento circular para la determinación experimental de la fuerza centrífuga.

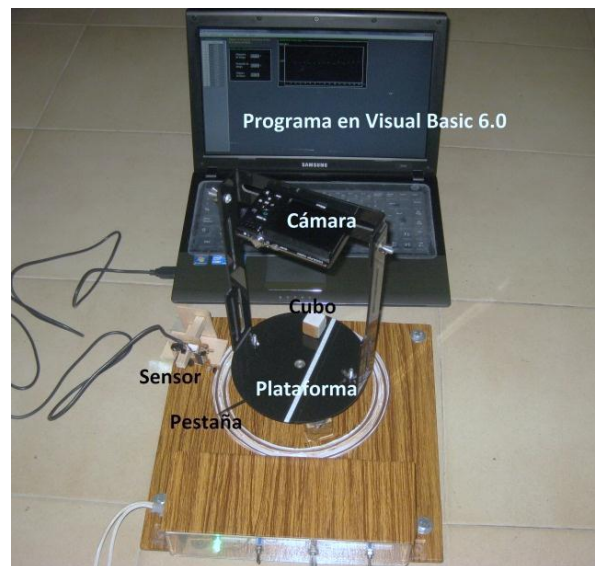


Figura 1. Imagen de la interfaz del dispositivo experimental diseñado y construido para el estudio de la fuerza centrífuga.

En la figura 2 se puede visualizar claramente el registro de datos de tiempo de giro de la plataforma obtenidos durante la experimentación, los cuales, sirven para determinar experimentalmente el valor de la fuerza centrífuga.

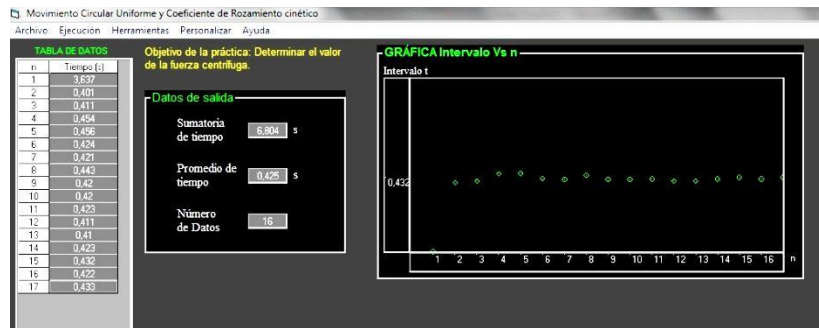


Figura 2. Imagen de los datos de tiempo de revolución de la plataforma, obtenidos mediante el uso de la interfaz.

También se puede observar en la parte central, los datos de la sumatoria de los tiempos obtenidos, el promedio de ellos y el número de datos medidos. En la parte derecha se observa la tabla de intervalo de tiempo Vs el número de dato.

Metodología de la experimentación

ANEXO 3

Fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.

Materiales

- Un carro dinámico.
- Una esfera de acero pequeña.
- Hilo o nylon.
- Una polea.
- Masas de arrastre de diferentes valores.
- Una cámara de video.
- Un transportador.
- Software Tracker Video Analysis para desglosar videos en imágenes.
- Interfaz en Visual Basic 6.0[®].

Manejo del carro dinámico

Inicialmente se ubica el carro dinámico a una distancia x de la polea que no supere el valor de la altura de las patas de la mesa, el ángulo de deflexión del péndulo debe ser cero grados. Luego se ubica la cámara de video de tal forma que se pueda visualizar en ella el péndulo y se inicia la grabación. Se suelta el carro, el cual debe partir del reposo y comenzará a acelerarse por la influencia de la masa de arrastre M que cae verticalmente hacia el piso. El carro debe ser detenido por el experimentador justo antes de que se estrelle contra la polea, ésta posee unas pestañas de acetato distribuidas de manera equidistante alrededor de su circunferencia.

Resultados esperados

Debido a que el ángulo que forman las pestañas es de $22,5^\circ$ (figura 1) y que éstas impiden el paso de la luz en el sensor de la interfaz, en la tabla del programa desarrollado en Visual Basic 6.0[®] deben aparecer n datos de tiempo y la respectiva suma de ellos. El video se analiza minuciosamente con el software Tracker donde se debe evidenciar un ángulo deflexión del péndulo como se muestra en la figura 1 (a) del anexo 1.



Figura 1. Imagen de la polea del dispositivo del carro dinámico.

Para determinar experimentalmente el valor de la fuerza ficticia presente en este tipo de movimiento, se puede escoger entre dos caminos: mediante el ángulo de deflexión del péndulo medido gracias a la descomposición del video en el software Tracker, o mediante los datos de tiempo obtenidos con la interfaz.

- **Mediante el ángulo de deflexión del péndulo.**

Se hace el diagrama de cuerpo libre para la masa del péndulo y se dibujan las fuerzas que operan sobre ella, por lo que se obtienen las siguientes ecuaciones (2.6) y (2.7), despejando la tensión en la ecuación (2.6) y sustituyendo luego en la ecuación (2.7) se obtiene

$$F_{fict} = mg \tan \theta,$$

donde m es la masa del péndulo la cual se mide con una balanza, g es la aceleración de la gravedad y θ es el ángulo de deflexión del péndulo,

- **Mediante los datos de tiempo obtenidos con la interfaz.**

La fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado viene dada por la ecuación (2.3). Conociendo de antemano el valor de la masa, se procede a calcular el valor de la aceleración del carro dinámico, mediante el uso de la ecuación cinemática

$$x = \frac{1}{2}at^2.$$

Despejando a se obtiene

$$a = \frac{2x}{t^2},$$

siendo x el espacio recorrido por el carro y t el tiempo empleado, estas variables son desconocidas.

La variable x se halla teniendo en cuenta el radio de la polea, que es de aproximadamente 2,3 cm, y la interfaz la cual, arroja la cantidad n de datos de tiempo en que cada pestaña pasa por el sensor y los suma para obtener el tiempo total de recorrido. Mediante la ecuación

$$x = ns,$$

se determina el valor del espacio recorrido, siendo s la longitud de arco de la polea comprendido entre dos pestañas

Conociendo las variables necesarias, se procede a calcular la fuerza ficticia.

Para realizar una práctica experimental más completa, es ideal hallar el valor de la fuerza ficticia mediante los dos caminos y/o por cualquier otro, que el estudiante considere conveniente y realizar comparaciones entre los resultados obtenidos.

ANEXO 4

Fuerza centrífuga en un movimiento circular.

Materiales

- Una plataforma giratoria con velocidad variable.
- Un soporte para cámara.
- Cubo de masa m .
- Circuito de un mouse.
- Cámara de video.
- Software Tracker Video Analysis.
- Interfaz en Visual Basic 6.0[®].

Manejo del dispositivo

Inicialmente se ubica el cubo a una distancia r del centro de giro (figuras 3.7), se pone a grabar el video y se comienza a mover la perilla del circuito del motor lentamente hasta el momento en que el cubo empieza deslizarse sobre la plataforma, se suelta la perilla del circuito del motor y se activa la interfaz para conocer el periodo de revolución. Con el video grabado, se puede observar lo que ocurrió al cubo desde el marco de referencia no inercial y con el software Tracker se puede hacer el análisis correspondiente de la aparición de la fuerza centrífuga al analizar cuadro a cuadro el video.

Resultados esperados

Se debe observar con el video y el software Tracker que el cubo se desliza sobre la plataforma describiendo una curva como se muestra en la figura 1 (b) del anexo 1, por efecto de la fuerza resultante entre la fuerza centrífuga y la fuerza de Coriolis.

Para la determinación experimental de la fuerza centrífuga, se usa la ecuación (2.10), el valor de la masa del cubo se determina midiéndola con una balanza, su valor es aproximadamente 6,4 g. Para hallar la velocidad tangencial del cubo cuando este empezó a deslizarse sobre la plataforma, se usa el dato de tiempo de revolución de la plataforma obtenido con la interfaz. Usando las ecuaciones

$$r\omega = v, \quad (1)$$

$$\omega = \frac{\theta}{t}, \quad (2)$$

siendo ω es la velocidad angular de la plataforma, v es la velocidad tangencial del cubo, θ es el ángulo en radianes barrido por la pestaña de la plataforma cuando pasa por el sensor de la interfaz, que en este caso es de 2π rad, y t es el periodo de revolución de la plataforma.

Se reemplaza la ecuación (1) en la ecuación (2) y se obtiene el valor de la velocidad tangencial del cubo.

Con estos valores se puede determinar el valor de la fuerza centrífuga.

ANEXO 5

Fuerza de Coriolis en un movimiento circular.

Materiales

- Una plataforma giratoria con velocidad variable.
- Un soporte para péndulo.
- Una esfera de acero.
- Hilo.
- Circuito de un mouse.
- Cámara de video.
- Electroimán.
- Software Tracker Video Analysis.
- Interfaz en Visual Basic 6.0[®].

Manejo del dispositivo

Inicialmente se activa el electroimán con el interruptor mostrado en la figura 1 y se ubica la masa del péndulo de manera que se adhiera al núcleo de hierro por la acción del campo magnético generado (figura 3.9).

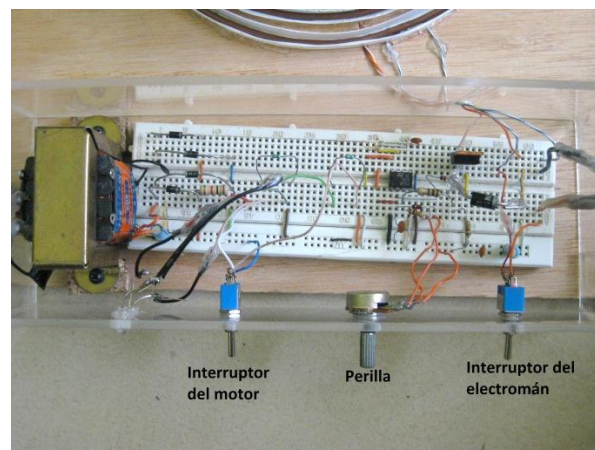


Figura 1. Imagen del circuito controlador de velocidad de giro de la plataforma y de interruptor del electroimán.

Se inicia la grabación del video y se comienza a mover la perilla del circuito del motor partiendo desde el reposo, justo en el momento en que la masa del péndulo comience a oscilar se deja de aumentar la velocidad de giro y se activa la interfaz para conocer el periodo de revolución. Con el video grabado, se puede observar lo que ocurrió a la masa del

péndulo desde el marco de referencia no inercial, Con el software Tracker se puede hacer el análisis correspondiente de la aparición de la fuerza de Coriolis al analizar cuadro a cuadro el video.

Resultados esperados

Desde el marco de referencia inercial se debe apreciar que el péndulo oscila normalmente en un plano vertical mientras la plataforma gira.

Desde el marco de referencia no inercial, que para este caso se usa video y el software Tracker, se debe observar que la masa del péndulo describe una curva con cada oscilación como se muestra en la figura 1 (c) del anexo 1, por efecto de la fuerza de Coriolis.

Para la determinación experimental de la fuerza de Coriolis, se usa la ecuación (2.15), el valor de la masa del péndulo se determina midiéndola con una balanza. El valor de la velocidad angular ω se encuentra mediante la ecuación

$$\omega = \frac{\theta}{t}, \quad (1)$$

siendo θ el ángulo en radianes barrido por la pestaña de la plataforma giratoria cuando pasa por el sensor de la interfaz, que en este caso es de 2π rad y t es el periodo de revolución de la plataforma medido con la interfaz.

El valor de la velocidad v de la masa del péndulo cuando se encuentra debajo de su punto de suspensión, se determina mediante el principio de conservación de la energía

$$U_A + E_{k_A} = U_B + E_{k_B},$$

donde U_A es la energía potencial en un punto A, E_{k_A} es la energía cinética en el punto A, U_B es la energía potencial en el punto B y E_{k_B} es la energía cinética en el punto B. Se analiza solamente un cuarto de oscilación en donde la masa parte del reposo (desde el núcleo de hierro del electroimán) hasta al punto más bajo (debajo del punto de suspensión del péndulo) en donde va a tener su mayor velocidad, entonces, la ecuación se reduce a

$$U_A = E_{k_B}.$$

Esta ecuación se expresa también como

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2,$$

despejando v

$$v = (2gh)^{1/2}, \quad (2)$$

siendo h la altura desde donde comienza a oscilar el péndulo la cual, se mide directamente con un metro o regla.

Luego de hallar las variables necesarias para encontrar el valor de la fuerza de Coriolis, se procede a calcularla.

ANEXO 6. Plan de clases para fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.

Sesión 1.

Actividad	Objetivos	Recursos	Tiempo	Metodología	Resultados esperados	Resultados obtenidos
Presentación plan de trabajo	Conocer el plan de trabajo por parte de los estudiantes.		10 min	Presentación magistral del plan de trabajo.	Buena disposición por parte de los estudiantes.	Los estudiantes estuvieron atentos y dispuestos a la actividad
Guía – taller: Fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.	Conocer el saber inicial de los estudiantes sobre: marcos de referencia inercial y no inercial, y fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.	Documento	15 min	Se hace entrega de un documento a cada estudiante en el que se motiva a responder un cuestionario con preguntas referentes a la fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado. (Anexo N° 10). El docente analizará cada una de las respuestas y obtendrá conclusiones.	- Que los estudiantes respondan el cuestionario. - Detectar conceptos errados del término fuerza ficticia. - Que tengan idea de lo que son los marcos de referencia.	Los estudiantes respondieron los cuestionarios. Se evidenciaron errores conceptuales sobre: marcos de referencia inercial, no inercial; aunque la mayoría tenía idea acerca del término fuerza ficticia.
Práctica experimental	- Conceptualizar sobre marcos de referencia inercial y no inercial. - Observar la manifestación de la fuerza ficticia en el movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.	- Dispositivo carro dinámico. - Software Tracker Video Analysis.	40 min	El docente manipula el dispositivo experimental a la vez que introduce los términos de marcos de referencia inercial y no inercial, y de fuerza ficticia. Al final realiza un cuestionario para evidenciar conocimientos adquiridos por los estudiantes. (Anexo N° 13).	- Que los estudiantes distingan los marcos de referencia inercial y no inercial. - Evidencien la aparición de fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.	Se evidenció una correcta comprensión de los estudiantes sobre los marcos de referencia inercial y no inercial luego de realizada la práctica experimental. El 75% de ellos, dibujó correctamente las fuerzas operantes sobre la masa del péndulo para cada marco de referencia entre ellas, la fuerza ficticia.
Lectura	Definir los conceptos de marcos de referencia inercial y no inercial, y de fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.	Tres documentos sobre: marco de referencia inercial, marco de referencia no inercial y fuerza ficticia en un movimiento lineal uniformemente acelerado, respectivamente (Anexos N° 16 a N° 18).	20 min	Los estudiantes se numerarán de 1 a 3. Luego se reúnen los números 1, los números 2 y los números 3. A cada grupo se le hace entrega de una lectura, cada una de ellas con contenido diferente.	- Buena disposición para trabajar en grupo. - Que las lecturas sean comprensibles por los estudiantes. - Cada grupo discuta y se apropie de los conceptos de cada lectura.	En general, los estudiantes respondieron correctamente las opciones de si o no pero se evidenció errores en sus explicaciones.
Compartir información	Compartir conocimiento entre grupos colaborativos.		30 min	Los grupos socializan las lecturas. Se nombra un relator que comparte lo leído, otro compañero socializa las respuestas del cuestionario de cada lectura. El docente modera y concluye.	Cada miembro del grupo comparte lo que aprendió con sus compañeros de grupo.	Se socializó lo leído por cada grupo, nombraron su relator y se discutió acerca de las respuestas dadas por cada grupo, al cuestionario de cada lectura.

Sesión 2

Actividad	Objetivos	Recursos	Tiempo	Metodología	Resultados esperados	Resultados obtenidos
Determinación experimental de la fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.	Calcular el valor de la fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado a través de una práctica experimental.	- Dispositivo dinámico. - Software Tracker. - Documento orientador. (Anexo N° 19). - Interfaz. - Tablero.	90 min	Los estudiantes se numeran de 1 a 3 y se reúnen en grupo. El docente explica el funcionamiento del carro dinámico, el uso del software Tracker y la interfaz a los estudiantes. Cada grupo manipula el dispositivo para que obtenga las variables necesarias para calcular el valor de la fuerza ficticia presente en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.	- Que los estudiantes logren calcular el valor de la fuerza ficticia. - Que los estudiantes propongan varios caminos para obtener del valor de la fuerza ficticia. - Se muestren interesados por la realización de la actividad.	Los estudiantes se motivaron con la práctica experimental. Todos lograron calcular el valor de la fuerza ficticia por dos caminos diferentes, tanto por cinemática como por dinámica.

ANEXO 7. Plan de clase para fuerza centrífuga en un movimiento circular.

Sesión 3

Actividad	Objetivos	Recursos	Tiempo	Metodología	Resultados esperados	Resultados obtenidos
Presentación plan de trabajo	Conocer el plan de trabajo por parte de los estudiantes.		5 min	Presentación magistral del plan de trabajo.	Buena disposición por parte de los estudiantes.	Los estudiantes presentaron buena disposición al desarrollo de las actividades.
Guía – taller: Fuerza centrífuga en el movimiento circular	Conocer el saber inicial de los estudiantes sobre la fuerza centrífuga en un movimiento circular.	Documento	15 min	Se hace entrega de un documento a cada estudiante en el que se motiva a responder un cuestionario con preguntas referentes a la fuerza centrífuga en un movimiento circular. (Anexo N° 11). El docente analizará cada una de las respuestas y obtendrá conclusiones.	- Que los estudiantes respondan el cuestionario. - Detectar conceptos errados del término fuerza centrífuga. - Que tengan idea de lo que son los marcos de	Los estudiantes respondieron el cuestionario. Se evidenció la comprensión del significado de fuerza centrífuga. Tuvieron claro lo que son los marcos de referencia inercial y no inercial.
Práctica experimental	- Conceptualizar sobre marcos de referencia inercial y no inercial. - Observar la manifestación de la fuerza centrífuga en un movimiento circular.	- Dispositivo de movimiento circular - Software Tracker Video Analysis.	30 min	El docente manipula el dispositivo experimental de fuerza centrífuga en el movimiento circular a la vez que introduce los términos de marcos de referencia inercial y no inercial, y de fuerza centrífuga.	- Que los estudiantes distingan los marcos de referencia inercial y no inercial. - Evidencien la aparición de la fuerza centrífuga en un movimiento	El 80% de los estudiantes supieron distinguir los marcos de referencia. Todos evidenciaron la aparición de la fuerza centrífuga a través del dispositivo experimental.
Cuestionario	Constar si los estudiantes comprendieron lo observado en el dispositivo experimental.	Documento con cuestionario. (Anexo N° 14).	20 min	Los estudiantes se numerarán de 1 a 3 y se reúnen en grupos. Luego el docente hace entrega de un documento que contiene un cuestionario por cada grupo.	- Buena disposición para llenar el cuestionario. - Que el cuestionario sea comprensible por los estudiantes. - Cada estudiante responda correctamente el cuestionario.	Todos respondieron el cuestionario y fue comprensible. El 80% de los estudiantes dibujaron correctamente las fuerzas operantes sobre la masa en estudio. El 20% de ellos, introdujeron la fuerza centrífuga en un marco de referencia inercial.

Actividad	Objetivos	Recursos	Tiempo	Metodología	Resultados esperados	Resultados obtenidos
Determinación experimental de la fuerza centrífuga en un movimiento circular.	Calcular el valor de la fuerza centrífuga en un movimiento circular a través de una práctica experimental.	- Dispositivo de movimiento circular. - Software Tracker. - Documento orientador (Anexo N° 20). - Interfaz para registro de periodos de revolución de la plataforma circular. - Tablero.	90 min	Los estudiantes se numeran de 1 a 3 y se reúnen en grupo. El docente explica el funcionamiento del dispositivo de movimiento circular y el uso de la interfaz a los estudiantes. Cada grupo manipula el dispositivo para que obtenga las variables necesarias para calcular el valor de la fuerza centrífuga presente en un movimiento circular	- Que los estudiantes logren calcular el valor de la fuerza centrífuga. - Que los estudiantes discutan acerca de cómo calcular la fuerza centrífuga mediante mediciones hechas por ellos de tiempo de revolución de la plataforma, distancia de la masa al centro de la plataforma y cálculo de variables de forma indirecta como la velocidad lineal de la masa en estudio. - Se interesaron por la práctica experimental.	Todos los estudiantes lograron calcular el valor de la fuerza centrífuga luego de la práctica experimental. Hicieron discusión acerca de cómo lograr calcular el valor de la fuerza centrífuga mediante mediciones hechas por ellos de tiempo de revolución de la plataforma, distancia de la masa al centro de la plataforma y cálculo de variables de forma indirecta como la velocidad lineal de la masa en estudio. Se interesaron por la práctica experimental.

ANEXO 8. Plan de clase para fuerza de Coriolis en un movimiento circular.

Sesión 4

Actividad	Objetivos	Recursos	Tiempo	Metodología	Resultados esperados	Resultados obtenidos
Presentación plan de trabajo	Conocer el plan de trabajo por parte de los estudiantes.		5 min	Presentación magistral del plan de trabajo.	Buena disposición por parte de los estudiantes.	Los estudiantes tuvieron buena disposición.
Guía – taller: Fuerza de Coriolis en el movimiento circular	Conocer el saber inicial de los estudiantes sobre la fuerza de Coriolis en un movimiento circular.	Documento	15 min	Se hace entrega de un documento a cada estudiante en el que se motiva a responder un cuestionario con preguntas referentes a la fuerza de Coriolis en un movimiento circular. (Anexo N° 12). El docente analizará cada una de las respuestas y obtendrá conclusiones.	- Que los estudiantes respondan el cuestionario. - Detectar conceptos errados del término fuerza de Coriolis. - Que tengan idea de lo que son los marcos de referencia.	Los estudiantes respondieron el cuestionario. El 50% de los estudiantes respondió que era una fuerza ficticia que cambiaba la trayectoria del objeto. El otro 50% no respondió bien.
Práctica experimental	- Conceptualizar sobre marcos de referencia inercial y no inercial. - Observar la manifestación de la fuerza de Coriolis en un movimiento	- Dispositivo de movimiento circular - Software Tracker Video Analysis.	30 min	El docente manipula el dispositivo experimental a la vez que introduce los términos de marcos de referencia inercial y no inercial, y de fuerza de Coriolis.	- Que los estudiantes distingan los marcos de referencia inercial y no inercial. - Evidencien la aparición de la fuerza de Coriolis en un movimiento circular.	Los estudiantes distinguieron los marcos de referencia. Evidenciaron la aparición de la fuerza de Coriolis a través del dispositivo experimental.
Cuestionario	Constatar si los estudiantes comprendieron lo observado en el dispositivo experimental.	Documento con cuestionario (Anexo N° 15).	20 min	Los estudiantes se numerarán de 1 a 3 y se reúnen en grupos. Luego el docente hace entrega de un documento que contiene un cuestionario por cada grupo.	- Buena disposición para llenar el cuestionario. - Que el cuestionario sea comprensible por los estudiantes. - Cada estudiante responda correctamente el cuestionario.	Los estudiantes llenaron el cuestionario. El cuestionario fue comprensible. Todos los estudiantes llenaron correctamente el cuestionario, excepto 2, que no supieron distinguir los marcos de referencia inercial y no inercial.

Actividad	Objetivos	Recursos	Tiempo	Metodología	Resultados esperados	Resultados obtenidos
Determinación experimental de la fuerza de Coriolis en un movimiento circular.	Calcular el valor de la fuerza de Coriolis en un movimiento circular a través de una práctica experimental.	- Dispositivo de movimiento circular. - Software Tracker. - Documento orientador (Anexo N° 21). - Interfaz para registro de periodos de la revolución de la plataforma circular. - Tablero.	90 min	Los estudiantes se numeran de 1 a 3 y se reúnen en grupo. El docente explica el funcionamiento del dispositivo de movimiento circular y el uso de la interfaz a los estudiantes. Cada grupo manipula el dispositivo para que obtenga las variables necesarias para calcular el valor de la fuerza de Coriolis presente en un movimiento circular.	- Que los estudiantes logren calcular el valor de la fuerza de Coriolis. - Que los estudiantes discutan acerca de cómo calcular la fuerza de Coriolis. - Se muestren interesados por la realización de la actividad.	Todos los estudiantes lograron calcular el valor de la fuerza de Coriolis. Los estudiantes discutieron acerca de cómo se calcularía la fuerza de Coriolis, luego de realizar las mediciones de las variables involucradas en el fenómeno como: velocidad angular de la plataforma y la velocidad y la masa del objeto. Se mostraron interesados por la actividad experimental.

- Instrumentos de recolección de información.

Encuesta

ANEXO 9

Caracterización de población.

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

Facultad de Ciencia y Tecnología, Departamento de Física, Mecánica II, Grupos 1 y 2.

ENCUESTA PARA CARACTERIZACIÓN DE POBLACIÓN

Fecha: _____

Estrato social: _____

Edad: _____

Género: M _____ F _____

Pregunta 1. ¿Es repitente de la asignatura?

SI _____ ¿Cuántas veces? _____ NO _____

Pregunta 2. ¿Cursó anteriormente mecánica I?

SI _____ NO _____

Pregunta 3. ¿Ha abordado el estudio de las fuerzas ficticias en los cursos de mecánica?

SI _____ NO _____

Pregunta 4. ¿Considera de la clase de mecánica II qué?

- a. Es interesante y necesaria.
- b. Es interesante pero no necesaria.
- c. Es necesaria pero no interesante.
- d. Ni necesaria ni interesante.
- e. Otro

¿Cuál? _____

Pregunta 5. ¿Le gustaría realizar actividades de la clase en grupo? *Justifique su respuesta.*

SI _____ NO _____

Pregunta 6. ¿Considera que las prácticas experimentales son importantes en el desarrollo de los temas de la asignatura? *Justifique su respuesta.*

SI _____ NO _____

Pregunta 7. ¿El uso del computador en la realización de actividades de clase resulta?

- a. Interesante y necesario.
- b. Interesante pero no necesario.

- c. Necesario pero no interesante.
- d. Ni necesario ni interesante.
- e. Otro.

¿Cuál? _____

Resultados:

Pregunta 1. ¿Es repitente de la asignatura?

SI _____ ¿Cuántas veces? _____ NO _____

De 13 estudiantes encuestados del grupo 1, 8 no eran repitentes y 5 si; de los 5, 3 la estaban cursando por segunda vez y 2, por tercera vez.

Pregunta 2. ¿Cursó anteriormente mecánica I?

SI _____ NO _____

De los 13 encuestados del grupo 1, 12 cursaron mecánica I y 1 no.

Este dato sirve para hacer uso de las leyes de Newton en el momento que se requiera, de cinemática, movimiento circular y conservación de la energía, en el estudio de las fuerzas ficticias, no se necesite explicarlos.

Pregunta 3. ¿Ha abordado el estudio de las fuerzas ficticias en los cursos de mecánica?

SI _____ NO _____

De los encuestados en el grupo 1, 7 respondieron que si, 5 respondieron que no y 1 no respondió.

Se requiere saber que tan a fondo abordaron el estudio de las fuerzas ficticias los estudiantes que respondieron que si, en el desarrollo de la investigación se puede determinar.

Pregunta 4. ¿Considera de la clase de mecánica II qué?

- f. Es interesante y necesaria.
- g. Es interesante pero no necesaria.
- h. Es necesaria pero no interesante.
- i. Ni necesaria ni interesante.
- j. Otro ¿Cuál?

Todos los estudiantes del grupo 1 respondieron que es interesante y necesaria, lo que evidencia motivación y buena disposición para el desarrollo del trabajo.

Pregunta 5. ¿Le gustaría realizar actividades de la clase en grupo? *Justifique su respuesta.*

SI_____ NO_____

De los 13 encuestados del grupo 1, 12 respondieron que sí y afirmaron que el trabajo en grupo sirve para intercambiar puntos de vista, ayudar al aprendizaje, favorecer la reflexión y discutir conceptos.

Pregunta 6. ¿Considera que las prácticas experimentales son importantes en el desarrollo de los temas de la asignatura? *Justifique su respuesta.*

SI_____ NO_____

Del grupo 1, todos los 13 encuestados respondieron que sí, afirmaron que las prácticas experimentales permiten comparar lo teórico con lo práctico, ayudan al aprendizaje de la física, comprobar las teorías, abordar la teoría de errores.

Pregunta 7. ¿El uso del computador en la realización de actividades de clase resulta?

- f. Interesante y necesario.
- g. Interesante pero no necesario.
- h. Necesario pero no interesante.
- i. Ni necesario ni interesante.
- j. Otro. ¿Cuál?

De los 13 encuestados del grupo 1, 7 respondieron que es interesante y necesario, 4 respondieron que es interesante pero no necesario, 1 respondió que es necesario pero no interesante y otro respondió que no es ni necesario ni interesante. Según las respuestas, existe una buena disposición por parte del grupo para usar el computador en las actividades de clase.

ANEXO 10

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

Facultad de Ciencia y Tecnología, Departamento de Física, Mecánica II.

GUÍA-TALLER

Fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado

MOTIVACIÓN

Cuando nos transportamos en un vehículo, al comenzar su movimiento, sentimos que algo nos aferra al espaldar del asiento; cuando el móvil frena, sentimos que algo nos despegas del espaldar. A esta influencia se le denomina **fuerza ficticia**, se introduce este término para poder explicar mediante las leyes de Newton lo que ocurre en un marco de referencia **no inercial**. En cambio, un observador en reposo o en movimiento constante, que se encuentra fuera del vehículo, no va a sentir la influencia de esta fuerza debido a que su marco de referencia es **inercial**.

CUESTIONARIO

1. ¿Qué entiende por marco de referencia inercial?

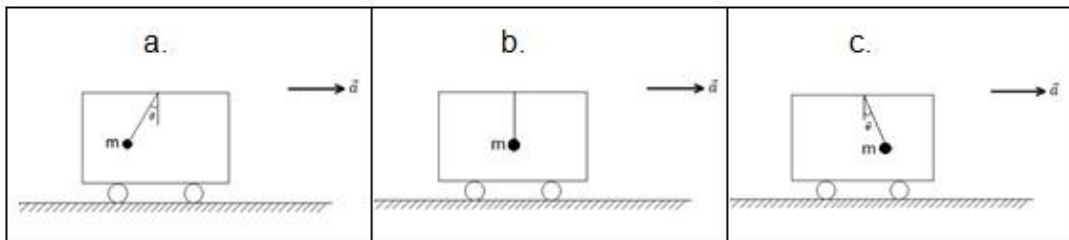
2. ¿Qué entiende por marco de referencia no inercial?

3. ¿Ha escuchado hablar acerca del término fuerza ficticia? *Justifique su respuesta.*

SI_____

NO_____

4. Un móvil que posee en su interior un péndulo como el mostrado en la figura, se acelera de forma constante en línea recta. ¿Qué posición cree que tendrá el péndulo durante su aceleración? *Seleccione una de las tres opciones posibles.*



Explique su respuesta.

5. De la respuesta escogida en el numeral anterior: ¿Qué fuerzas actúan sobre la masa m ? *Realice un diagrama de cuerpo libre e indique las fuerzas.*

ANEXO 11

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

Facultad de Ciencia y Tecnología, Departamento de Física, Mecánica II.

GUÍA-TALLER

Fuerza centrífuga en un movimiento circular

MOTIVACIÓN

Cuando nos transportamos en un vehículo que está haciendo un giro a la derecha, sentimos que algo, que no vemos, nos empuja hacia el lado izquierdo y si el vehículo está girando hacia la izquierda, somos empujados hacia la derecha. A esta influencia se le denomina **fuerza centrífuga**, se introduce este término para poder explicar mediante las leyes de Newton lo que ocurre en un marco de referencia **no inercial**, que para este caso es el movimiento circular. En cambio, un observador en reposo o en movimiento constante, que se encuentra fuera del vehículo, no va a sentir la influencia de esta fuerza debido a que su marco de referencia es **inercial**.

CUESTIONARIO

1. ¿Qué entiende por fuerza centrípeta?

2. ¿Qué entiende por fuerza centrífuga?

3. ¿Ha escuchado hablar acerca del término fuerza centrífuga? *Justifique su respuesta.*

SI_____

NO_____

4. Una plataforma circular que gira, posee un cubo ubicado a una cierta distancia del centro como el mostrado en la figura 1. ¿Qué posición cree que tendrá el cubo cuando el coeficiente de rozamiento entre las superficies es cinético?

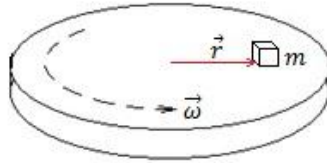
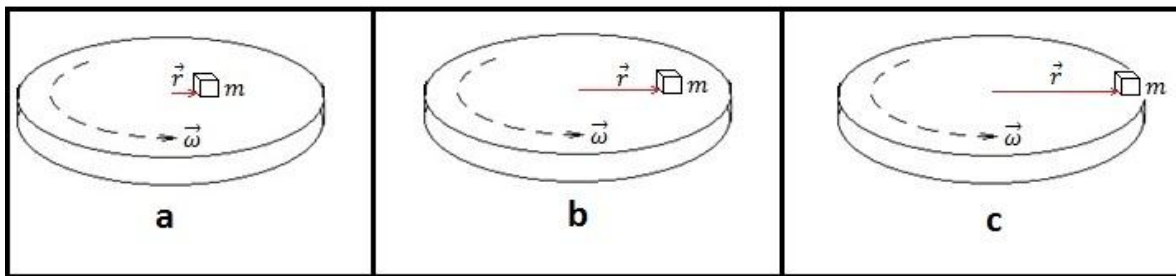


Figura 1. Esquema de una plataforma giratoria con un cubo ubicado a cierta distancia del centro.

Seleccione una de las tres opciones posibles.



Explique su respuesta.

5. De la respuesta escogida en el numeral anterior: ¿Qué fuerzas actúan sobre la masa m ? *Escoja un marco de referencia, realice un diagrama de cuerpo libre e indique las fuerzas. Para fuerza centrípeta use la abreviación $\vec{F}_c$ y para fuerza centrífuga use la abreviación $\vec{F}_{cg}$.*

ANEXO 12

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

Facultad de Ciencia y Tecnología, Departamento de Física, Mecánica II.

GUÍA-TALLER

Fuerza de Coriolis en un movimiento circular

MOTIVACIÓN

Al considerar dos observadores no inerciales situados a lo largo de una línea radial en una plataforma que gira en sentido contrario a las agujas de un reloj; lanzándose una pelota del uno al otro. Si la pelota se lanza a lo largo de una línea radial, se puede observar que se desvía hacia la derecha y no encuentra al receptor. Este efecto es provocado por una fuerza ficticia presente en un movimiento circular llamada fuerza de Coriolis. Para un observador ubicado fuera de la plataforma, en un marco de referencia inercial la bola viaja en línea recta y si no encuentra al receptor, es porque éste se está moviendo.

Para demostrar que la Tierra gira en torno a su eje y que no constituye un marco de referencia inercial, en el año de 1851, el físico francés Bernard León Foucault usó un péndulo que tenía una masa grande y un hilo de longitud de unos 70 m. Alrededor del punto del suelo que estaba directamente debajo del punto de suspensión se dispuso una balsa circular, llena de arena, de unos 3 m de radio, de modo que una aguja metálica colocada en la parte inferior de la masa pendular barría la arena en cada oscilación. Se vio claramente que, en oscilaciones sucesivas, el plano de oscilación del péndulo rotaba en el sentido de las agujas del reloj. En una hora el plano de oscilación del péndulo giraba unos 11° , y la circunferencia se completaba en algo más de 32 horas.

CUESTIONARIO

1. ¿Qué entiende por fuerza de Coriolis?

2. ¿Ha escuchado hablar acerca del término fuerza de Coriolis? *Justifique su respuesta.*

SI_____

NO_____

3. Un péndulo está oscilando sobre una plataforma circular que gira como se muestra en la figura 1. Si usted está ubicado sobre la plataforma ¿Qué movimiento cree que describirá la masa del péndulo cuando éste haya realizado media oscilación?

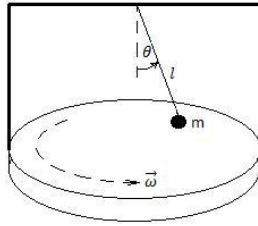
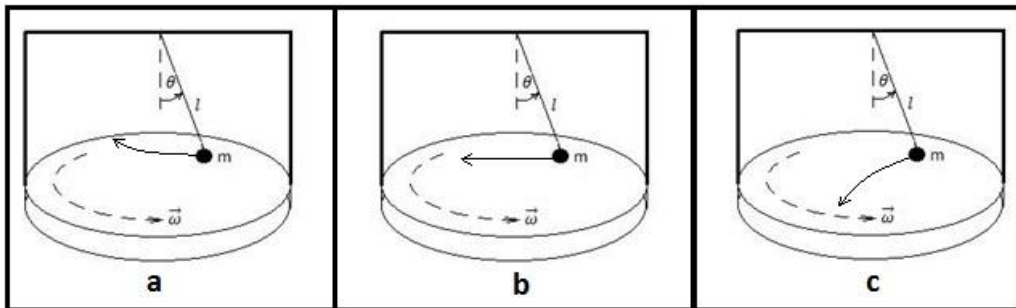


Figura 1. Esquema de una plataforma giratoria con un péndulo oscilando.

Seleccione una de las tres opciones posibles.



Explique su respuesta.

4. De la respuesta escogida en el numeral anterior: ¿Qué fuerzas actúan sobre la masa m ? *Realice un diagrama de cuerpo libre e indique las fuerzas. Para fuerza centrípeta use la abreviación $\vec{F}_c$, para fuerza centrífuga use la abreviación $\vec{F}_{cg}$ y para fuerza de Coriolis use la abreviación $\vec{F}_{Co}$.*

ANEXO 13

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

Facultad de Ciencia y Tecnología, Departamento de Física, Mecánica II.

CUESTIONARIO

Fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado

Teniendo en cuenta lo observado en el dispositivo experimental responda las siguientes preguntas:

1. Un observador ubicado fuera del móvil quiere estudiar lo que ocurre con la masa del péndulo. ¿Qué fuerzas actuarían sobre ella? *Sugerencia: realice un diagrama de cuerpo libre para la masa del péndulo y dibuje las fuerzas que actúan sobre ella.*
2. Un observador ubicado al interior del móvil quiere estudiar lo que ocurre con la masa del péndulo. ¿Qué fuerzas actuarían sobre ella? *Sugerencia: realice un diagrama de cuerpo libre para la masa del péndulo y dibuje las fuerzas que actúan sobre ella.*
3. ¿Qué ocurre con el ángulo de deflexión del péndulo si la aceleración del móvil que lo contiene aumenta?

ANEXO 14

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

Facultad de Ciencia y Tecnología, Departamento de Física, Mecánica II.

CUESTIONARIO

Fuerza centrífuga en un movimiento circular

Teniendo en cuenta lo observado en el dispositivo experimental responda las siguientes preguntas:

1. Un observador ubicado fuera de la plataforma giratoria, quiere estudiar lo que ocurre con la masa del cubo antes de deslizarse. ¿Qué fuerzas actuarían sobre él? *Sugerencia: realice un diagrama de cuerpo libre para la masa del cubo y dibuje las fuerzas que actúan sobre él. Para fuerza centrípeta use la abreviación $\vec{F}_c$ y para fuerza centrífuga use la abreviación $\vec{F}_{cg}$.*
2. Un observador ubicado en la plataforma quiere estudiar lo que ocurre con la masa del cubo antes de deslizarse. ¿Qué fuerzas actuarían sobre él? *Sugerencia: realice un diagrama de cuerpo libre para la masa del cubo y dibuje las fuerzas que actúan sobre ella. Para fuerza centrípeta use la abreviación $\vec{F}_c$ y para fuerza centrífuga use la abreviación $\vec{F}_{cg}$.*
3. ¿Qué le ocurre al cubo cuando la velocidad angular de la plataforma aumenta?

ANEXO 15

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

Facultad de Ciencia y Tecnología, Departamento de Física, Mecánica II.

CUESTIONARIO

Fuerza de Coriolis en un movimiento circular.

Teniendo en cuenta lo observado en el dispositivo experimental responda las siguientes preguntas:

1. Un observador ubicado fuera de la plataforma giratoria, quiere estudiar lo que ocurre con la masa del péndulo. ¿Qué fuerzas actuarían sobre ella? *Sugerencia: realice un diagrama de cuerpo libre para la masa del péndulo y dibuje las fuerzas que actúan sobre él. Para fuerza centrípeta use la abreviación $\vec{F}_c$, para fuerza centrífuga use la abreviación $\vec{F}_{cg}$ y para fuerza de Coriolis use la abreviación $\vec{F}_{Co}$.*
2. Un observador ubicado en la plataforma quiere estudiar lo que ocurre con la masa del péndulo. ¿Qué fuerzas actuarían sobre ella? *Sugerencia: realice un diagrama de cuerpo libre para la masa del péndulo y dibuje las fuerzas que actúan sobre ella. Para fuerza centrípeta use la abreviación $\vec{F}_c$, para fuerza centrífuga use la abreviación $\vec{F}_{cg}$ y para fuerza de Coriolis use la abreviación $\vec{F}_{Co}$.*
3. ¿Qué influencia tiene la fuerza centrífuga sobre el péndulo?

Lecturas

ANEXO 16

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

Facultad de Ciencia y Tecnología, Departamento de Física, Mecánica II.

MARCO DE REFERENCIA INERCIAL

OBJETIVO

Definir el significado de marco de referencia inercial.

DEFINICIÓN

En mecánica newtoniana, un marco o sistema de referencia **inercial**, es aquel en donde las leyes para el movimiento cumplen las leyes de Newton usando sólo las fuerzas reales que se ejercen unas partículas a otras; toda variación de la trayectoria tiene que tener una fuerza real que la provoca.

CARACTERÍSTICAS

- Un punto de referencia es arbitrario, dado un marco de referencia inercial, cualquier otro sistema desplazado respecto al primero a una distancia fija sigue siendo inercial.
- La orientación de los ejes es arbitraria, dado un marco de referencia inercial, cualquier otro sistema de referencia con otra orientación distinta del primero, sigue siendo inercial.
- Desplazamiento a velocidad lineal constante, dado un marco de referencia inercial, cualquier otro que se desplace con velocidad lineal y constante, sigue siendo inercial.

PREGUNTAS

1. Si un observador está en reposo en la calle y ve pasar un automóvil a velocidad constante. ¿Los marcos de referencia tanto del observador como del auto son inerciales? *Explique*

SI_____ NO_____

2. Dos personas ubicadas en distintos puntos están en reposo. ¿Los marcos de referencia de ambos son inerciales? *Explique*

SI_____ NO_____

3. Dos móviles A y B, se mueven en línea recta con velocidad constante y en dirección contraria el uno del otro. ¿El marco de referencia del móvil A respecto al móvil B es inercial? *Explique*

SI_____ NO_____

4. Un bus parte del reposo y se acelera en línea recta. ¿El marco de referencia del chofer es inercial? *Explique*

SI_____ NO_____

ANEXO 17

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

Facultad de Ciencia y Tecnología, Departamento de Física, Mecánica II.

MARCO DE REFERENCIA NO INERCIAL

OBJETIVO

Definir el significado de marco de referencia no inercial.

DEFINICIÓN

En mecánica newtoniana se dice que un marco de referencia es **no inercial** cuando en él no se cumplen las leyes del movimiento de Newton. Dado un marco de referencia inercial, un segundo marco de referencia será no inercial cuando describa un movimiento acelerado respecto al primero.

CARACTERÍSTICAS

- Cambio en el módulo de su velocidad de traslación (aceleración lineal).
- Cambio en la dirección de su velocidad de traslación (por ejemplo en un movimiento de giro alrededor de un observador en reposo).
- Un movimiento de rotación sobre sí mismo.
- Una combinación de algunos de los anteriores.

PREGUNTAS

1. Durante el tiempo en que un atleta parte del reposo y adquiere una velocidad constante: ¿Se puede afirmar que este se encuentra en un marco de referencia no inercial con respecto a un observador en la tribuna? *Explique*

SI_____ NO_____

2. ¿Una persona que se encuentra en el interior de un móvil que está frenando en línea recta, se encuentra en un marco de referencia no inercial? *Explique*

SI_____ NO_____

3. ¿La Tierra es un marco de referencia inercial? *Explique*

SI____ NO____

4. Un automóvil realiza un giro variando su velocidad. ¿El chofer del automóvil se encuentra en un marco de referencia inercial? *Explique*

SI____ NO____

ANEXO 18

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

Facultad de Ciencia y Tecnología, Departamento de Física, Mecánica II.

FUERZA FICTICIA

OBJETIVO

Definir el significado de fuerza ficticia

DEFINICIÓN

Un movimiento dinámico puede ser analizado desde un marco de referencia inercial y desde un marco de referencia no inercial, cuando se hace desde el inercial, las ecuaciones del movimiento involucran la segunda ley de Newton en la dirección de la aceleración. Cuando se hace el análisis desde el marco de referencia no inercial (acelerado), se debe introducir necesariamente una fuerza adicional, la fuerza ficticia. Su valor siempre será igual a la masa **m** del sistema en cuestión multiplicado por el valor de la aceleración **a** del sistema no inercial, es decir $\mathbf{F}_{\text{Ficticia}} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{a}$, y su dirección siempre es opuesta a la de la aceleración.

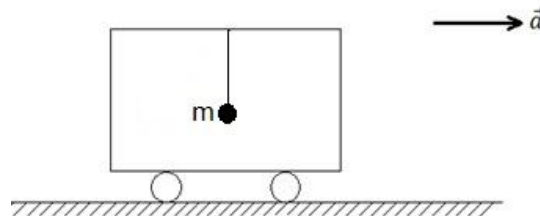
CARACTERÍSTICAS

- Esta clase de fuerza se manifiesta en marcos de referencia **no inerciales** (acelerados).
- Se caracterizan por la inexistencia de interacción física entre cuerpos o partículas.
- Para determinar su magnitud, el observador debe ubicarse en el marco de referencia **no inercial**.

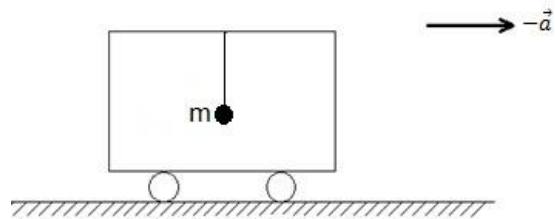
DISCUSIÓN

Discuta con sus compañeros lo que ocurriría a la masa del péndulo para las siguientes situaciones. *Escriba porqué*

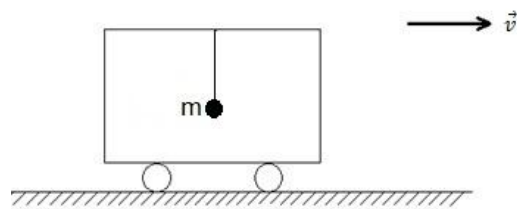
Situación 1.



Situación 2.



Situación 3.



Documentos orientadores

ANEXO 19

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

Facultad de Ciencia y Tecnología, Departamento de Física, Mecánica II.

FUERZA FICTICIA EN UN MOVIMIENTO RECTILÍNEO UNIFORMEMENTE ACELERADO

OBJETIVO

Calcular el valor de la fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.

DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA

Mediante el uso de un dispositivo experimental que consiste en un carro dinámico que posee un péndulo en su interior, de una cámara de video que va sujeta a este, del software Tracker Video Analysis y la interfaz para registrar datos de tiempo, se pretende que el estudiante calcule el valor de la fuerza ficticia presente en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.

MONTAJE

En la figura 1 se muestra la imagen del carro dinámico con un péndulo en su interior y una cámara de video sujeta al mismo. La cámara es sujeta por unos brazos móviles que permiten su adecuada ubicación al momento de realizar la grabación del comportamiento del péndulo. La intención de la práctica experimental es acelerar el carro por medio de una masa que cae verticalmente, con ayuda de una polea se cambia la dirección de la tensión de un hilo o nylon que sujeta el carro y la masa.



Figura 1. Imagen del carro dinámico con un péndulo al interior y una videocámara.

DURANTE LA PRÁCTICA DE LABORATORIO

Analice las siguientes situaciones teniendo en cuenta el montaje experimental de la figura 1.

- ¿Qué tipo de movimiento se puede estudiar con el montaje experimental?

- ¿Cómo se podría variar la fuerza ficticia?

- ¿Cómo calcularía la fuerza ficticia? *Escriba el procedimiento*

- ¿Cuál es el valor de la fuerza ficticia?

ANEXO 20

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

Facultad de Ciencia y Tecnología, Departamento de Física, Mecánica II.

FUERZA CENTRÍFUGA EN UN MOVIMIENTO CIRCULAR

OBJETIVO

Calcular el valor de la fuerza centrífuga presente en un movimiento circular.

DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA

Mediante el uso de un dispositivo experimental que consiste en una plataforma giratoria, un cubo ubicado a cierta distancia del centro de la misma y la interfaz para registrar datos de tiempo, se pretende que el estudiante calcule el valor de la fuerza centrífuga presente en un movimiento circular.

MONTAJE

En la figura 1 se muestra la imagen del dispositivo experimental con un cubo ubicado a una cierta distancia del centro la plataforma giratoria. La intención de la práctica experimental es variar la velocidad de giro hasta el momento en que el cubo empiece a deslizarse. Se usa la interfaz para obtener los datos de tiempos de revolución, con este dato se calcula la velocidad tangencial del cubo. Teniendo las variables de masa, velocidad y distancia al centro, se calcula el valor de la fuerza centrífuga.

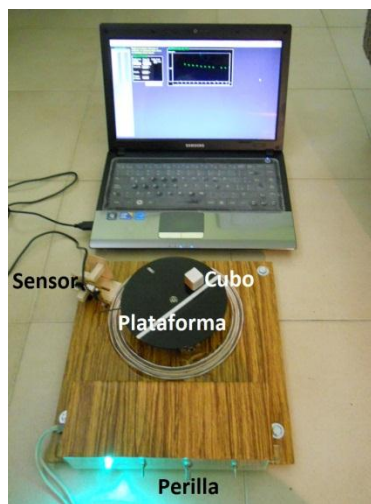


Figura 1. Imagen del dispositivo de movimiento circular para el estudio de fuerza centrífuga.

DURANTE LA PRÁCTICA DE LABORATORIO

Analice las siguientes situaciones teniendo en cuenta el montaje experimental de la figura 1.

- ¿Qué tipo de movimiento se puede estudiar con el montaje experimental?

- ¿Cómo se podría variar la fuerza centrífuga?

- ¿Cómo calcularía la fuerza centrífuga? *Escriba el procedimiento*

- ¿Cuál es el valor de la centrífuga?

ANEXO 21

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

Facultad de Ciencia y Tecnología, Departamento de Física, Mecánica II.

FUERZA DE CORIOLIS EN UN MOVIMIENTO CIRCULAR

OBJETIVO

Calcular el valor de la fuerza de Coriolis presente en un movimiento circular.

DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA

Mediante el uso de un dispositivo experimental que consiste en una plataforma giratoria, un péndulo y la interfaz para registrar datos de tiempo, se pretende que el estudiante calcule el valor de la fuerza de Coriolis presente en un movimiento circular.

MONTAJE

En la figura 1 se muestra la imagen del dispositivo experimental con un péndulo cuyo punto de suspensión está ubicado arriba del centro la plataforma giratoria. La intención de la práctica experimental es poner a oscilar el péndulo a la vez que gira la plataforma circular. Se usa la interfaz para obtener los datos de tiempo de revolución de la plataforma para calcular su velocidad angular. Para hallar el valor de la velocidad de la masa del péndulo cuando ésta pasa justo por debajo del punto de suspensión, se usa el principio de conservación de la energía. La altura inicial de la masa pendular es la misma que posee el núcleo de hierro del electroimán mostrado en la figura 1. Teniendo las variables de masa, velocidad de la masa y velocidad angular de la plataforma, se calcula el valor de la fuerza de Coriolis.



Figura 1. Imagen del dispositivo de movimiento circular para el estudio de la fuerza de Coriolis.

DURANTE LA PRÁCTICA DE LABORATORIO

Analice las siguientes situaciones teniendo en cuenta el montaje experimental de la figura 1.

- ¿Qué tipo de movimiento se puede estudiar con el montaje experimental?
- ¿Cómo se podría variar la fuerza de Coriolis?
- ¿Cómo calcularía la fuerza de Coriolis? *Escriba el procedimiento*
- ¿Cuál es el valor de la fuerza de Coriolis?

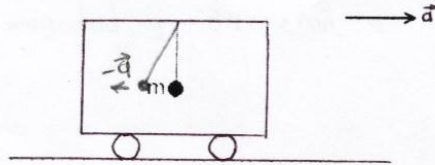
ANEXO 22

Resultados de la lectura de fuerza ficticia

DISCUSIÓN

Discuta con sus compañeros lo que ocurriría a la masa del péndulo para las siguientes situaciones. *Escriba por qué*

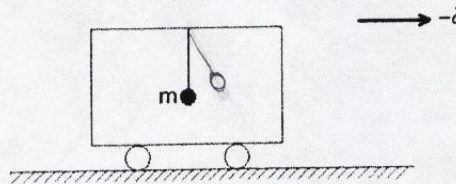
Situación 1.



En este caso el péndulo se mueva contrario al movimiento del carro, ya que sobre el actúa la fuerza ficticia la cual en este caso sería

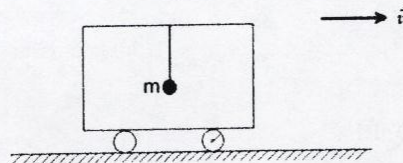
$F_{ficticia} = m a (-1)$ Dirección negativa

Situación 2.



Por qué se está desacelerando el móvil.

Situación 3.



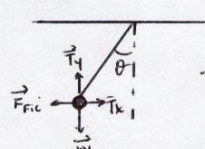
Debido a que la $\vec{v} = k t e$ no hay aceleración por lo tanto la esfera y el móvil se mueven de una misma manera en magnitud y dirección.

ANEXO 23

Resultados del cálculo de la fuerza ficticia en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado

• ¿Cómo calcularía la fuerza ficticia? Escriba el procedimiento

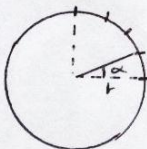
Dinámica



$\theta = 11^\circ$
 $m = 0,01 \text{ kg}$
 $W = m \cdot g = 0,098$

$\sum F_x = T_x - F_{fict} = 0 \quad (1)$
 $\sum F_y = T_y - W = 0 \quad (2) \text{ Despejamos } T$
 $T = \frac{W}{\cos \theta} \quad (3) \text{ Reemplazamos (3) en (1)}$
 $\frac{W}{\cos \theta} \cdot \sin \theta = F_{fict}$
 $W \tan \theta = F_{fict}$
 $0,098 \tan 11^\circ = F_{fict}$
 $0,019 = F_{fict}$

Cinemática



$t = 0,422$
 $\alpha = \frac{\pi}{8}$
 $r = 0,023 \text{ m}$
 $r \cdot \alpha = s$
 $0,023 \cdot \frac{\pi}{8} = s$
 $m = 0,01 \text{ kg}$

$x = n \cdot s$
 $x = 19 \left(0,023 \cdot \frac{\pi}{8} \right)$
 $x = 0,171$
 $\frac{2 \cdot 0,171}{(0,422)^2} = \frac{0,343}{0,178} = a$
 $1,926 = a$
 $F_{fict} = m a$
 $F_{fict} = 0,01 \text{ kg} (1,926) = 0,019$

• ¿Cuál es el valor de la fuerza ficticia?

El valor de la Fuerza Ficticia es: 0,019 N.

• ¿Cómo calcularía la fuerza ficticia? Escriba el procedimiento

Dinámica

$\theta = 11^\circ$
 $M = 10 \text{ g} \Rightarrow 0,01 \text{ kg}$

$\sum F_x = T_x - F_{fict} = 0$
 $\sum F_y = T_y - W = 0$

$T_y = \frac{W}{\cos \theta} = 0,099$
 $0,099 \cdot \sin(11^\circ) = F_{fict}$
 $F_{fict} = 0,018 \text{ N}$ ✓

Cinemática

$r = 0,023 \text{ m}$
 $\alpha = 3,58 \text{ rad}$
 $s = (0,023)(3,58)$
 $s = 0,082$

$x = 34 \cdot (0,082)$
 $x = 2,78 \text{ m}$
 $a = \frac{2x}{t^2}$
 $a = \frac{2 \cdot (2,78) \text{ m}}{1,975^2} = 1,42 \text{ m/s}^2$

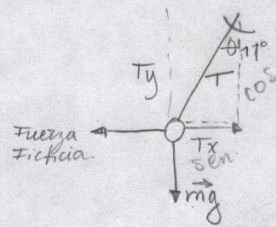
$F_{fict} = m \cdot a$
 $F_{fict} = 0,01 \text{ kg} \cdot 1,42 \text{ m/s}^2$
 $F_{fict} = 0,014 \text{ N}$ ✓

• ¿Cuál es el valor de la fuerza ficticia?

Dinámica: 0,018 N

Cinemática: 0,014 N

- ¿CÓMO calcularía la fuerza ficticia? Escribe el procedimiento



Fuerza ficticia (Dinámica)

$$\Sigma F_x = \text{Fuerza ficticia} - T_x = 0 \quad \text{Cinematica}$$

$$\Sigma F_y = T_y - w = 0$$

$$T_y = \frac{w}{\cos \theta} = 0,010$$

$$r = 0,023 \text{ m}$$

$$r\alpha = s$$

$$(0,023)(0,39) = 0,00917$$

$$\left(\frac{w}{\cos \theta}\right) \sin \theta - F_{\text{fict}} = 0 \quad x = ns$$

$$\left(\frac{w}{\cos \theta}\right) \sin \theta = F_{\text{fict}} \quad x = (0,00917)(39)$$

$$x = 0,30498$$

$$(0,010) \sin(11) = 0,019 \times 10^{-3} \quad x = \frac{1}{2} at^2$$

$$2x = at^2$$

$$\frac{2x}{t^2} = a$$

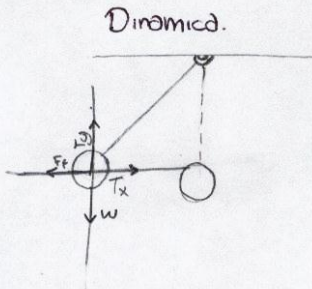
- ¿Cuál es el valor de la fuerza ficticia?

$$\text{Dinamica} = (0,010) \sin(11) = 0,019 \times 10^{-3} = 0,019$$

$$\text{Cinematica} = F_{\text{fict}} = ma$$

$$F_{\text{fict}} = 0,019$$

- ¿CÓMO calcularía la fuerza ficticia? Escribe el procedimiento



Dinamica.

$$F_f = 0,019 \text{ N}$$

Cinematica.

$$s = r\alpha$$

$$r = 2,3 \text{ cm} = 0,023 \text{ m}$$

$$\alpha = 22,5^\circ = 0,39 \text{ rad}$$

$$s = (0,39)(0,023) = 8,97 \times 10^{-3}$$

$$x = ns = (32)(8,97 \times 10^{-3})$$

$$x = 0,28 \text{ m}$$

$$x = \frac{1}{2} at^2 + \frac{1}{2} at^2$$

$$x = \frac{1}{2} at^2 \rightarrow a = \frac{2x}{t^2}$$

$$a = 0,70 \text{ m/s}^2$$

$$f_f = ma = (0,01)(0,7)$$

$$f_f = 0,007 \text{ N}$$

- ¿Cuál es el valor de la fuerza ficticia?

$$f_f = 0,019 \text{ N}$$

ANEXO 24

Resultados del cálculo de la fuerza centrífuga en un movimiento circular

- ¿Cómo calcularía la fuerza centrífuga? *Escriba el procedimiento*

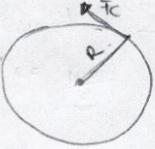
$T_{rev} = 0,562 \text{ s}$ ± 2 vueltas en 1 s.
 $r \omega = v$ $\omega f = \frac{1}{\text{periodo}} = 1,75 \times 2\pi$
 $\frac{2\pi}{0,562 \text{ s}} = 11,1 = \omega$ $\omega = \frac{2\pi}{T} \rightarrow \omega = 2\pi(f)$
 $r \cdot 2\pi = s$ $\omega = 11,1 \text{ rad/s}$
 $5 \cdot 2\pi = s$ $r\omega = v$
 $s = 31,4$ $v = 0,05(11 \text{ rad/s})$
 $\cancel{r} \cdot r = v$ $v = 0,55 \text{ rad/s}$
 $11,1 \cdot 0,05 = v$
 $0,555 = v$

$F_c = m \frac{v^2}{r} = \frac{0,0064(0,55)^2}{0,05} = 0,03872$

- ¿Cuál es el valor de la centrífuga?

0,03872 N

- ¿Cómo calcularía la fuerza centrífuga? *Escriba el procedimiento*



$m \cdot a = F$
 $F_c = m \cdot a_{centrifuga}$
 $a_c = \frac{v^2}{r} =$

$\Rightarrow m \frac{v^2}{r} = F_c$

$x \rightarrow \theta$
 $v \rightarrow \omega$
 $a \rightarrow \alpha$
 $\omega = \frac{2\pi}{T}$
 $\omega = \frac{\Delta \phi}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt}$

- ¿Cuál es el valor de la centrífuga?

$F_c = -m \frac{v^2}{r}$

- ¿Cómo calcularía la fuerza centrífuga? *Escriba el procedimiento*

$$\omega = \frac{\theta}{t} \quad \omega = \frac{2\pi}{0.562} \quad \omega = 11.18$$

$$V = \omega \cdot r \quad V = 11.18 \times 0.05 \quad V = 0.55$$

$$F_{cg} = m \frac{V^2}{r} \quad F_{cg} = 0.0064 \frac{(0.55)^2}{0.05} = 0.03872 \text{ N}$$

$$F_{cg} = 0.03872 \text{ N}$$

$$m = 6.4 \text{ g} \rightarrow 0.0064 \text{ kg}$$

$$r = 5 \text{ cm} \rightarrow 0.05 \text{ m}$$

$$V = ?$$

$$t_{rev} = 0.562 \text{ s}$$

- ¿Cuál es el valor de la centrífuga?

$$F_{cg} = 0.03872 \text{ N}$$

- ¿Cómo calcularía la fuerza centrífuga? *Escriba el procedimiento*

$$m = 6.4 \text{ g} \rightarrow 0.0064 \text{ kg}$$

$$r = 5 \text{ cm} \rightarrow 0.05 \text{ m}$$

$$T = 0.562 \text{ s} \rightarrow \text{Período}$$

En este caso:

$$\frac{2\pi r}{T} = V = \frac{0.3142 \text{ m}}{0.562 \text{ s}}$$

$$V = 0.56 \text{ m/s}$$

$$F_{cg} = m \frac{V^2}{r} \quad (?)$$

$$F_{cg} = (0.0064 \text{ kg}) \frac{(0.56 \text{ m/s})^2}{0.05}$$

$$F_{cg} = 0.04 \text{ N}$$

- ¿Cuál es el valor de la centrífuga?

$$\text{Fuerza centrífuga} = 0.04 \text{ N}$$

Como es un MCU

entonces $V = \text{cte.}$

$$V = \frac{x}{t} \rightarrow \text{distancia} \\ t \rightarrow \text{tiempo}$$

$$\frac{2\pi r}{1} = \text{Perímetro}$$

ANEXO 25

Resultados del cálculo de la fuerza de Coriolis en un movimiento circular

- ¿Cómo calcularía la fuerza de Coriolis? *Escriba el procedimiento*

$$f_{co} = m a_{co} = 2 m \omega v_o$$

ω = Velocidad Angular

v_o = Velocidad del objeto

$$\omega = \frac{2\pi \text{ rad}}{1.108 \text{ s}} = 5.67 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$v = \sqrt{2gh}$$

$$v = \sqrt{2(9.8)(0.017 \text{ m})}$$

$$v = \sqrt{0.3332}$$

$$v = 0.58 \text{ m/s}$$

$$f_{co} = 2(0.01 \text{ kg})(5.67 \frac{\text{rad}}{\text{s}})(0.58 \frac{\text{m}}{\text{s}})$$

$$F_{co} = 0.065 \text{ N}$$

$$T = 1.108 \text{ s} \rightarrow \text{Período}$$

$$m = 10 \text{ g} = 0.01 \text{ kg}$$

$$h = 6.2 \text{ cm} - 4.5 \text{ cm}$$

$$h = 1.7 \text{ cm}$$

$$h = 0.017 \text{ m}$$

- ¿Cuál es el valor de la fuerza de Coriolis?

$$F_{co} = 0.065 \text{ N}$$

- ¿Cómo calcularía la fuerza de Coriolis? *Escriba el procedimiento*

1) Hallamos la velocidad, ω y F_c

$$\theta = 30^\circ$$

$$L = 0.135 \text{ m}$$

$$a) v = \sqrt{2gh(1 - \cos\theta)}$$

$$v = \sqrt{2(9.8)(0.135)(1 - \cos 30^\circ)}$$

$$v = \sqrt{2.565 (1 - \sqrt{3}/2)}$$

$$v = \sqrt{2.565 (0.13)}$$

$$v = \sqrt{0.33} = 0.5 \text{ m/s}$$

$$f_{co} = m a_{co}$$

$$= 2m \omega v$$

$$= 2(0.01)(5.81)(0.5)$$

$$= 0.0581 \text{ N}$$

$$b) (\omega = v)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{1.108 \text{ s}}$$

$$\omega = 5.81 \text{ rad/s}$$

- ¿Cuál es el valor de la fuerza de Coriolis?

$$0.0581 \text{ N}$$

- ¿Cómo calcularía la fuerza de Coriolis? Escriba el procedimiento

$$\begin{aligned} t &= 1,108 \text{ s} \\ m &= 0,01 \text{ kg} \\ h &= 0,105 \text{ cm} \\ \theta &= 20^\circ \\ L &= 6,3 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

$$K_F - K_i + P_F - P_i = 0$$

$$K_F = P_F$$

$$\frac{1}{2} m v_F^2 = m g h$$

$$v_F^2 = 2 m g L$$

$$v_F^2 = 1,2343 \times 10^{-3}$$

$$v_F = 0,035$$

$$F_{co} = 2 m \omega v = 2(0,01) \left(\frac{2\pi}{1,108} \right) (0,035)$$

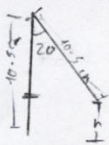
$$f_{co} = 7 \times 10^{-4} (5,67) = 3,969 \times 10^{-3} \text{ N}$$

- ¿Cuál es el valor de la fuerza de Coriolis?

$$3,969 \times 10^{-3} \text{ N}$$

- ¿Cómo calcularía la fuerza de Coriolis? Escriba el procedimiento

$$F_{co} = m a_{ro} = 2 m \omega v$$



$$h = 10,5 \text{ cm} - (10,5 \cos 20^\circ) = 0,63 \text{ cm} \Rightarrow 0,0063 \text{ m}$$

$$m g h = U = (0,01 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s} \cdot 0,0063 \text{ m})$$

$$U = 0,076 \times 10^{-4}$$

$$K_1 = \frac{m v^2}{2}$$

$$U = K_1$$

$$U = \frac{m v^2}{2} \rightarrow 2U = m v^2 \rightarrow \frac{2U}{m} = v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2U}{m}}$$

$$\rightarrow \sqrt{\frac{2(0,076 \times 10^{-4})}{0,01 \text{ kg}}}$$

$$= v = 0,1348$$

$$F_{co} = 2 \cdot 0,01 \text{ kg} \times 5,67 \times 0,1348$$

$$F_c = 0,1039 \text{ N}$$

- ¿Cuál es el valor de la fuerza de Coriolis?

$$F_c = 0,1039 \text{ N}$$