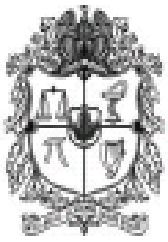


UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Uso de la Metodología de Aprendizaje Activo para la Enseñanza de la Fuerza de Rozamiento en los Estudiantes del Grado Décimo de la Unidad Educativa Media de Patillal

Luis Miguel Gutiérrez Gutiérrez

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de ciencias

Bogotá, Colombia

2016

Uso de la Metodología de Aprendizaje Activo para la Enseñanza de la Fuerza de Rozamiento en los Estudiantes del Grado Décimo de la Unidad Educativa Media de Patillal

Luis Miguel Gutiérrez Gutiérrez

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el título

De

Magister en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales

Director

PhD. Diego Alejandro Milanés Carreño

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de ciencias

Bogotá, Colombia

2016

Dedicatoria

A Dios Todopoderoso, mi fortaleza y guía permanente en el sendero de mi vida.
A mí amada esposa por su amor y apoyo incondicional durante estos años vividos,
A mis adorados hijos, mi luz y apoyo en todo momento,
A mi padre y a la memoria de mi difunta madre, quienes con su ejemplo y entrega forjaron mi proyecto de vida.
Y con especial cariño a mis hermanos por todos los momentos compartidos.

Agradecimientos

De la manera más sincera y cordial A

PhD. Diego Alejandro Milanés Carreño. Director de Proyecto. Docente Universidad Nacional de Colombia, por sus aportes y colaboración.

PhD. Jairo Alexis Rodríguez. Asesor anteproyecto. Docente Universidad Nacional de Colombia, por sus aportes pedagógicos.

PhD. Myriam Margarita Acevedo Caicedo. Docente Universidad Nacional de Colombia, por sus excelentes asesorías.

Especialista. Osvaldo Enrique Jiménez Villarreal. Rector Institución Colegio Educación Media de Patillal, por su comprensión, incondicionalidad y permanente apoyo.

Médico. Fredy Socarrás Reales. Exalcalde del Municipio de Valledupar. Gestor de este Proyecto por entender que la única manera de mejorar la calidad en la educación es capacitando a los docentes que la imparten.

Doctor Ivan Murgas. Funcionario de la Alcaldía de Valledupar. Con gran tesón y disposición se convirtió en un eslabón fundamental para que este proyecto llegara a feliz término.

Al Colegio Educación Media de Patillal y en nombre suyo a toda su comunidad educativa por todo lo que ha significado en mi vida y por haberme ayudado a enriquecer mi proyecto de vida y crecer en mi hermosa labor docente.

Resumen

Este documento es una propuesta que pretende aportar al proceso de enseñanza aprendizaje de la fuerza de rozamiento a través del análisis de experiencias que le permitan a los estudiantes de grado décimo establecer patrones de comportamiento y comparación entre las variables que actúan en sus procesos de estudio, características y aplicaciones, como por ejemplo, establecer relaciones entre el concepto físico fuerza de fricción y los conceptos de velocidad, aceleración, equilibrio, fuerzas electromagnéticas y de contacto, fuerza normal y coeficiente de fricción.

La propuesta será desarrollada a través de prácticas experimentales mediante el diseño, construcción, aplicación y validación de guías didácticas fundamentadas en la metodología de aprendizaje activo.

Palabras Claves

Fuerza, Fuerza de Rozamiento, Fricción, Normal, Coeficiente de rozamiento, Peso, Tensión.

Contenido

Dedicatoria……..……V
Agradecimientos…….……..…….……VI
Resumen..... VII
Lista de figuras..... VIII
Lista de Tablas.....IX
1. INTRODUCCIÓN..... 12
2. OBJETIVOS.....14
2.1. General..... 15
2.2. Específicos..... 15
3. MARCO TEÓRICO.....16
3.1. MARCO HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICO.....16
3.1.1. El concepto de fuerza través de la historia.....16
3.1.2. Evolución histórica del concepto de Rozamiento…….....19
3.2. MARCO TEÓRICO DISCIPLINAR.....19
3.2.1. Concepto de Fuerza.....19
3.2.2. La fuerza como vector…….……19
3.2.3. Clasificación de las fuerzas.....20
3.2.4. Las Leyes de Newton…….... 21
3.2.5. Elementos asociados con la fuerza……23
3.3. MARCO DIDÁCTICO.....26
3.3.1. El Aprendizaje Activo.....26
4. METODOLOGÍA.....28
4.1. La Propuesta Didáctica..... 28
5. IMPLEMENTACIÓN.....32
5.1 Características de la población..... 32
5.2 Perfil del estudiante de grado décimo.....32
5.3 Resultados cualitativos..... 32

6. DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....33

6.1. Aplicación de la prueba inicial.....33
6.2. Socialización de los estándares curriculares relativos a la fuerza de rozamiento...….....34
6.3. Objetivo de las Experiencias..... 35
6.4. Procedimiento..... 35
6.5. Diseño de las Experiencias..... 36
7. SECCIONES O UNIDADES.....37
7.1. Experiencias de Laboratorio.....37
7.2. Experiencias de campo.....58
8. ANALISIS DE RESULTADOS……...…….....73
8.1. El Grupo de Estudio…….…….73
8.2. Análisis de la prueba inicial..... 73
8.3. Estadísticos descriptivos de la prueba inicial……...…..…74
8.4. Análisis de la Prueba Final……...……..…75
8.5. Estadísticos descriptivos de la prueba inicial……76
8.6. Comparativos entre la prueba inicial y la prueba final……...…...……....77
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....79
10. ANEXOS…….……..81
Anexo A. Prueba Inicial..... 81
Anexo B. Prueba Final…….…….…..83
Anexo C. Muestra de aplicación de la prueba inicial…….88
Anexo D. Muestra de aplicación de la prueba final…….…..90
Anexo E. Muestra de Registro de Predicciones Grupales. Carácter Vectorial de la Fuerza..93
Anexo F. Resultados Pruebas Icfes Instituciones Rurales del Municipio de Valledupar…..94
Anexo G. Porcentaje de Respuestas correctas en la Prueba Inicial…….……94
Anexo H. Porcentaje de Respuestas Correctas en la Prueba Final……..95
BIBLIOGRAFÍA.....96

Lista de Figuras

Figura 1. Historia del Concepto de Rozamiento……..19
Figura 2. La fuerza como vector……..20
Figura 3. Cuerpo en equilibrio…….23
Figura 4. Segunda ley de Newton…….....23
Figura 5. Fuerzas de acción y reacción…….....24
Figura 6. Carácter Vectorial de la Fuerza……..……..38
Figura 7. Rozamiento de un cuerpo en una superficie lisa…….40
Figura 8. Diagrama de cuerpo libre que desliza en una superficie horizontal……...….41
Figura 9. Movimiento del sistema formado por dos bloques unidos por una cuerda……..42
Figura 10. Diagrama de cuerpo libre para coeficiente de rozamiento por deslizamiento……..43
Figura 11. Medida de Fuerzas paralelas y formando un ángulo con la horizontal……..…45
Figura 12. Diagramas de cuerpo libre para fuerzas paralelas y con ángulos con el plano…….46
Figura 13. Fuerza de rozamiento en un plano inclinado…….……48
Figura 14. Bloque en reposo sobre un plano inclinado……..……49
Figura 15. Bloque en reposo sobre un plano inclinado **(**$m_2g < m_1g\text{sen}\theta$)……..….50
Figura 16. Viscosidad y Fricción……..……...51
Figura 17. Diagrama de fuerzas para un cuerpo que cae en el seno de un fluido……...53
Figura 18. Fuerza de Fricción Estática……54
Figura 19. Diagrama de cuerpo libre para la fuerza de fricción…….…….56
Figura 20. Valores de la fuerza de fricción…….……57
Figura 21. Fuerza de Rozamiento desde un punto de vista cualitativo……...58
Figura 22. Fuerzas de acción y reacción……..60
Figura 23. Halones, Normal y Fricción……...…….61
Figura 24. Incidencia de la normal en la fricción…….....62
Figura 25. Halones y Empujones……..…..63
Figura 26. Plano Inclinado de la Plaza de Patillal……65
Figura 27. Incidencia de los Lubricantes en la Fricción……..……68
Figura 28. Esquema de las deformaciones de los picos de dos superficies en contacto…….…69
Figura 29. Sombrilla plana……..70

Lista de Tablas

Tabla 1. Actividades propuestas…….….31
Tabla 2. Predicciones Grupales para el carácter vectorial de la Fuerza……...…38
Tabla 3. Predicciones grupales para un cuerpo que desliza en una superficie lisa…….....40
Tabla 4. Registro predicciones grupales para la medida del coeficiente de fricción por deslizamiento..43
Tabla 5. Registro predicciones grupales para fuerzas paralelas y formando un ángulo con el plano.....46
Tabla 6. Registro predicciones grupales para fuerza de rozamiento en un plano inclinado…...49
Tabla 7. Viscosidad y fricción…….52
Tabla 8. Coeficientes de Viscosidad……..52
Tabla 9. Registro de predicciones grupales para la Fuerza de Fricción Estática y Cinética…...55
Tabla 10. Registro de predicciones grupales para Fuerza Cualitativo……...…….59
Tabla11. Registro de predicciones grupales para la Incidencia de la Normal en la Fricción…61
Tabla 12. Halones y Empujones…….…….64
Tabla 13. Registro predicciones grupales plano inclinado en el parque de diversiones…….66
Tabla 14. Incidencia de los Lubricantes en la Fricción…….……..68
Tabla 15. La Fricción ejercida por el aire……...……71
Tabla 16. Resultados Prueba Inicial…….…..74
Tabla 17. Cálculos estadísticos de la prueba inicial……..……..74
Tabla 18. Resultados de la prueba final……..76
Tabla 19. Cálculos estadísticos de la Prueba final……..…….76
Tabla 20. Conocimiento conceptual y razonamiento científico al iniciar la propuesta…….…..77
Tabla 21. Ganancias en el aprendizaje conceptual al finalizar la propuesta……..78
Tabla 22. Muestra de Registro de Predicciones Grupales…….…….…….93
Tabla 23. Resultados en la Prueba Icfes en la Zona Rural de Valledupar……..…….94

1. INTRODUCCION

Cuando se aborda la enseñanza de la Física a nivel de la educación media, es importante tomar como punto de partida las vivencias que tienen los estudiantes, así como sus conocimientos previos siempre procurando que su aplicación se de en situaciones reales. En este sentido, debe promoverse la explicación de los fenómenos naturales así como la interpretación de modelos que permitan realizar explicaciones de las situaciones que el estudiante vive en su vida diaria. Por eso debemos proveer a los estudiantes de elementos que les permitan comprender su entorno para mejorarlo, desarrollando habilidades de observación que les ayuden a describir mejor los sistemas físicos y sus características, recoger, organizar, sistematizar información y a partir de ella, realizar análisis y predicciones, con la intención de que a través de la experimentación y la comprobación, logren contrastar predicciones y establecer criterios de validez.

La institución educativa donde se desarrolla la propuesta didáctica se encuentra ubicada en el corregimiento de Patillal, población rural del norte del Municipio de Valledupar. Los estudiantes pertenecen a los estratos 1 y 2 y en ella se trabajan niveles desde el grado preescolar hasta undécimo con aplicación de Jornada única en los niveles de Educación Básica y Media.

A través de la experiencia se ha observado que cuando se trabaja con los estudiantes de grado décimo el concepto de fuerza y sus aplicaciones, en particular la fuerza de rozamiento, éstos presentan dificultades en su comprensión y especialmente, en la interpretación de fenómenos relacionados con ella. Específicamente, se ha evidenciado que los estudiantes no logran relacionar la fuerza de fricción estática con un estado de reposo y la fuerza de fricción cinética con un estado de movimiento. La conceptualización acerca de la fuerza de fricción y en general, acerca de la fuerza es débil. Es importante anotar, que si no comprenden un concepto tan importante como es el de fuerza, es imposible pretender que comprendan conceptos más específicos como el de fuerza de fricción y que, además, establezcan relaciones entre éste y otros conceptos físicos de similar complejidad.

De la situación antes descrita surge la pregunta problema ***¿Cómo lograr que los estudiantes de grado décimo de la Unidad Educativa Media de Patillal comprendan el concepto de fuerza de fricción y lo relacionen con otros conceptos físicos?***

Para responder a esta pregunta se propone construir una propuesta didáctica, basada en el método de aprendizaje activo, que ayude a los estudiantes comprender el concepto de fuerza de rozamiento, a través del análisis de experiencias que les permitan establecer relaciones entre el concepto físico fuerza de fricción y los conceptos de velocidad, aceleración y equilibrio, entre otros.

Cabe anotar que existen muchos textos de Física que describen la fuerza de rozamiento asociada con el movimiento o reposo de los cuerpos y no con el deslizamiento de las superficies. Los portales de internet se han convertido en las fuentes de consultas preferidas por los estudiantes, pero cuando no se cuenta con una adecuada orientación, pueden incurrir en errores. De hecho, algunas enciclopedias la definen como toda fuerza opuesta al movimiento, la cual se manifiesta en la superficie de contacto de dos cuerpos siempre que uno de ellos se mueva o tienda a moverse sobre otro. La imprecisión consiste en definir la fuerza de rozamiento como aquella que se opone al movimiento y no como aquella que se opone al deslizamiento. Esto ocasiona que los estudiantes asuman como correcto un concepto impreciso que los lleva a una secuencia de errores contraproducentes a la hora de abordar el estudio de la fuerza de rozamiento.

2. OBJETIVOS

2.1. General

Desarrollar una secuencia de prácticas experimentales sobre la construcción del concepto y propiedades de la fuerza de fricción para los estudiantes del grado décimo de la Unidad Educativa Media de Patillal, basadas en el Método de Aprendizaje Activo, que les permitan obtener y mostrar patrones de comportamiento de las variables actuantes de una forma práctica y eficiente.

2.2. Específicos

- Identificar los conceptos previos de los estudiantes acerca de fuerza y fuerza de rozamiento.
- Determinar referentes didácticos relacionados con la aplicación de la Metodología de Aprendizaje Activo.
- Diseñar experiencias de laboratorio que le permitan al estudiante de grado décimo construir el concepto de fuerza de rozamiento, teniendo en cuenta la experimentación, la observación y la argumentación.
- Desarrollar experiencias de campo con los estudiantes de grado décimo, mostrando las aplicaciones de la fuerza de rozamiento teniendo en cuenta su entorno para que los motive hacia un aprendizaje significativo.
- Evaluar la efectividad de la propuesta.

3. MARCO TEORICO

3.1. MARCO HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICO

3.1.1. EL CONCEPTO DE FUERZA A TRAVÉS DE LA HISTORIA

Abordaremos la evolución histórica del concepto de fuerza desde las visiones Aristotélica y Clásica.

Aristotélica

A excepción del mundo celeste, que tiene como movimiento natural el movimiento circular uniforme, todo cuerpo tiene un estado natural, el reposo. Desde este punto de vista, en el resto del mundo se debe distinguir entre el movimiento vertical y los demás movimientos. El primero, se caracteriza por su tendencia de volver a su estado natural cuando se encuentra fuera de él. El segundo, se aleja de su posición natural sólo cuando es obligado por la acción de una violencia exterior [1].

En resumen, las ideas esenciales de la dinámica Aristotélica giran en torno a que todo movimiento tiene una causa, para nosotros fuerza. De manera que en ausencia de fuerza, un objeto inmediatamente llega al reposo. Las fuerzas se clasifican en dos tipos, fuerzas de contacto (empujar y halar) y fuerzas inherentes, que son las que hacen tender a los objetos a sus lugares naturales. El peso es la tendencia de un objeto pesado a caer. Es decir, el peso es una fuerza inherente. Los cuerpos pesados caen más rápido que los livianos [Aristóteles (384-322 a.C.)]. Un medio como el aire, tiene una característica que le permite impulsar objetos en él. Como todo movimiento tiene una causa, esta era la forma en que Aristóteles justificaba el movimiento de una flecha disparada horizontalmente.

Clásica

En relación con los clásicos, podemos destacar los aportes hechos por Galileo Galilei, quien descubrió el Principio de Inercia y sentó las bases que llevaron al concepto de aceleración. Expresó que no se necesita causa para el movimiento, el movimiento uniforme es el 'estado natural' de un objeto. En ausencia de fuerza, si el objeto estará en reposo, permanecerá en reposo; si está en movimiento, continuará moviéndose en línea recta a rapidez constante. De acuerdo con Rocha, "[Rocha, 2004], Descartes abordó la relación que existe entre movimiento y

fuerza, en su primera ley natural y establece "La primera es que toda parte de la materia, individualmente, continúa siempre existiendo en un mismo estado, mientras el encuentro con las otras no la obligue a cambiarlo. Es decir, que si tiene cierto tamaño no se tornará jamás más pequeña a menos que las otras la dividan; si es redonda o cuadrada no cambiará jamás esta figura sin que las otras la obliguen; si se ha comenzado en alguna ocasión a moverse, continuará haciéndolo con la misma velocidad hasta que las otras la detengan o la retrasen."[Rocha, 2004]. Al abordar el estudio de la mecánica, Isaac Newton fue el pionero en establecer la importancia de la magnitud conocida como fuerza en complemento de las magnitudes cinemáticas. Estableció que todo cuerpo tiende a mantener su estado natural (reposo o movimiento), a no ser que exista una fuerza externa que lo obligue a cambiar ese estado, en cuyo caso, produce en él una aceleración. [Tippens, 2001].

El uso de la fuerza de rozamiento data de muchos años atrás. Los primitivos pobladores la usaron para producir fuego. Con la invención de la rueda y la carreta se dio un paso en su uso, ya que ésta sólo puede moverse por la fricción que la rueda tiene con el piso. En los trapiches paneleros, sin fricción del piso con el casco de la mula o la pezuña del buey, esta operación sería imposible. Los frenos de los autos son efectivos por la fricción entre la rueda y el piso e internamente, entre la pastilla del freno y la mordaza que asegura la rueda. La simple acción de caminar o detenernos sólo es posible por la existencia de la fricción. También existen mecanismos que funcionan solamente cuando se reduce la fricción, tal es el caso de los motores de los automóviles, que se fundirían si no se usan lubricantes. Los resbaladeros en los parques de diversión, se les da cierta inclinación para disminuir la fricción y facilitar el deslizamiento. [Alonso, M. 1971].

Históricamente, alrededor de 1492 Leonardo da Vinci empezó a estudiar el fenómeno de la fuerza de rozamiento, y encontró una relación directa entre ella y la carga (lo que hoy conocemos con el nombre de fuerza normal). Es de resaltar el aporte acertado de Leonardo, en momentos en que el concepto de fuerza no se definía aun. Siglos más tarde, Guillaume Amontons [Guillaume Amontons ,1699] redescubrió y estableció las leyes que rigen las fuerzas de rozamiento, y en 1781 Charles Agustín de Coulomb comprobó estas leyes y estableció la diferencia entre un rozamiento estático y uno cinético. Este estudio se hizo a nivel macroscópico, pues no se sabía a ciencia cierta qué provocaba el rozamiento. [2].

Amontons estableció empíricamente como normas para la fuerza de rozamiento entre dos superficies no lubricadas el hecho que la fuerza de rozamiento es paralela a la dirección del movimiento en la superficie de apoyo, no depende de las áreas puestas en contacto y es opuesta al deslizamiento relativo y su valor depende de la carga (fuerza Normal) que presiona las superficies en contacto. [Amontons ,1699].

Vale la pena señalar que nuestra experiencia muestra empíricamente estas leyes. Un bloque puesto sobre una superficie plana es más difícil de mover entre más peso tenga o entre más cosas se coloquen sobre él. Si, al tratar de empujar un bloque, nuestra fuerza es incapaz de lograr su deslizamiento, la fuerza que nos lo impide es contraria a la dirección de la fuerza aplicada, y, una vez se logra el movimiento en dirección de la fuerza aplicada, la fuerza de rozamiento mantiene su dirección, que resulta entonces contraria al movimiento relativo del bloque con respecto a la superficie. La segunda ley se reconoce experimentalmente cuando un bloque rectangular se desliza por sus diferentes caras, produciendo fuerzas de arrastre equivalentes sin importar el área de la cara puesta en contacto. [Tippens, 2001].

Además de comprobar experimentalmente estas dos leyes, Coulomb agregó que la fuerza de rozamiento es independiente de la velocidad relativa entre las superficies deslizantes, que, por supuesto, solo aplica a las fuerzas de rozamiento cinéticas. Las leyes establecidas por Coulomb dicen que para la fuerza de rozamiento cinético entre superficies secas, obedece a las mismas dos leyes anteriores del rozamiento estático y, además, la fuerza de rozamiento cinético es independiente de la velocidad relativa de las superficies al menos si ésta es moderada. La fuerza de rozamiento cinético es menor que la fuerza de rozamiento estático entre las mismas superficies. [Hincapié A, 2011].

3.1.2. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL CONCEPTO DE ROZAMIENTO

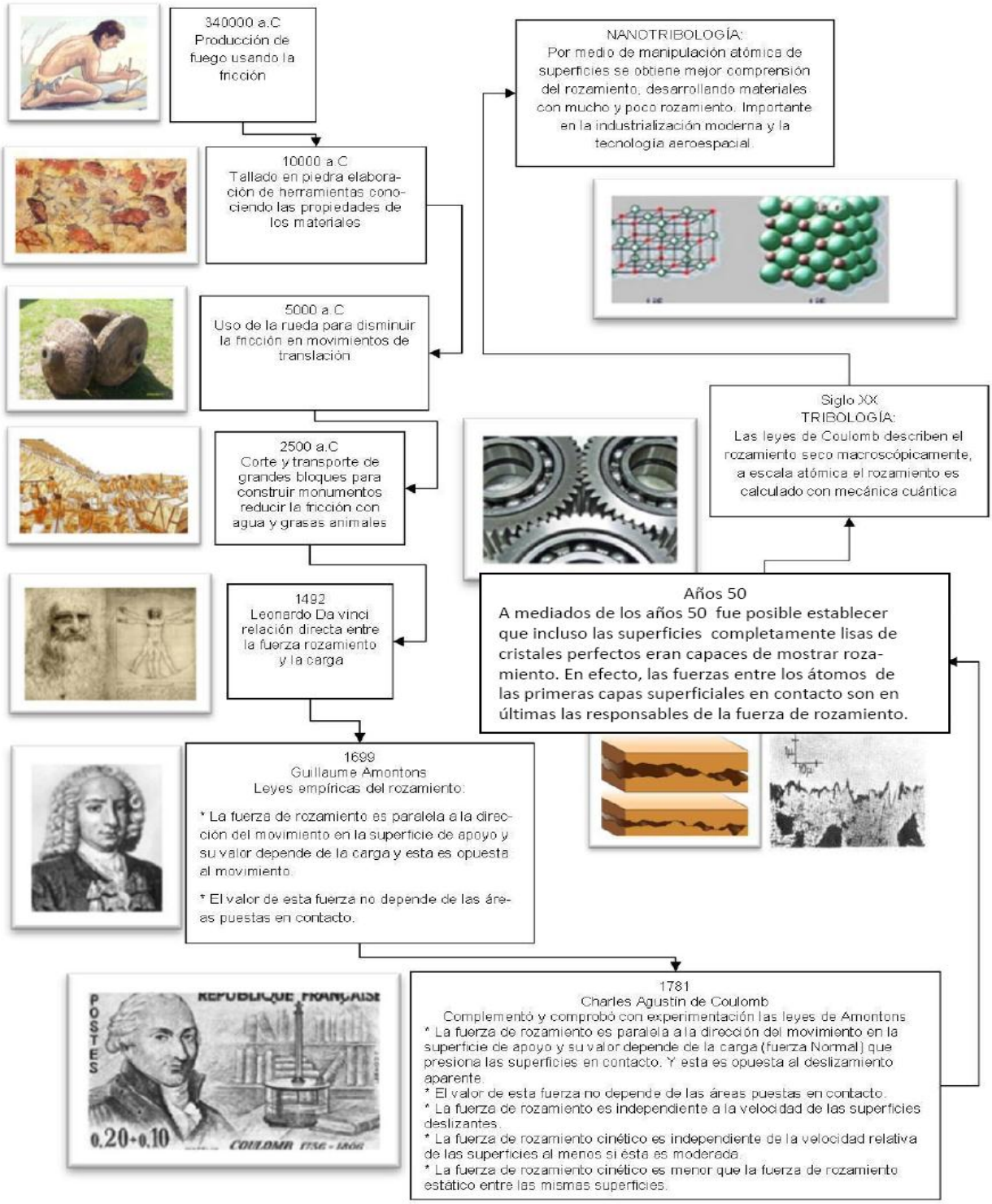


Figura 1. HISTORIA DEL CONCEPTO DE ROZAMIENTO [3]

3.2. MARCO TEÓRICO DISCIPLINAR

3.2.1. Concepto de Fuerza

Intentar dar una definición de fuerza no es una tarea sencilla. Podemos considerarla como aquella acción que cambia el movimiento. Como una guía para su comprensión, tomaremos como base la caracterización que de ella hace Knight [Knight et al., 2011]:

- ***Una fuerza actúa sobre un objeto***. El halar y el empujar se aplica a un objeto. La fuerza no existe de forma aislada al objeto que la experimenta.

- ***Una fuerza requiere de un agente.*** Toda fuerza tiene un agente generador, algo que hala o empuja; esto es, toda fuerza tiene una causa identificable.

- ***Una fuerza es un vector***. Si se empuja o hala un objeto, se puede hacer suave o fuertemente. Al igual, se puede hacer a la izquierda, a la derecha, hacia arriba o hacia abajo. Es decir, para cuantificar esas interacciones, se necesita de una magnitud y una dirección.

- ***Una fuerza puede ser de contacto.*** Una fuerza de contacto es aquella que actúa tocando a este en un punto o superficie de contacto.

- ***Una fuerza puede ser a distancia.*** Una fuerza a distancia es aquella que actúa sobre un objeto sin un contacto físico entre quien la genera y el objeto.

3.2.2. La Fuerza como Vector

La fuerza es una medida cuantitativa de la interacción de dos cuerpos. Es una cantidad vectorial. Si varias fuerzas actúan sobre un cuerpo, el efecto sobre su movimiento es igual al que se da cuando una sola fuerza, igual a la suma vectorial (resultante) de las fuerzas, actúa sobre el cuerpo. (Figura2).

$$\overrightarrow{F} = \overrightarrow{F_1} + \overrightarrow{F_2} + \overrightarrow{F_3} + \cdots \overrightarrow{F_n}$$

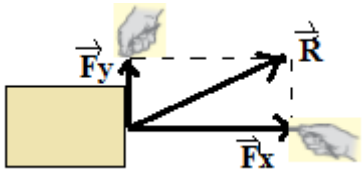


Figura 2. La fuerza como vector [4]

3.2.3. Clasificación de las Fuerzas

Hemos preparado una clasificación de las fuerzas con el firme propósito que nos guíen en el desarrollo de las experiencias y los talleres.

Peso (w). Es la magnitud de la fuerza gravitacional, entendida ésta como la atracción gravitatoria de los planetas sobre los objetos cerca de su superficie.

Es una fuerza a distancia simbolizada por lo general con w y que en un movimiento de caída libre se calcula con la expresión $w = mg$, donde, $m = masa\ y\ g = gravedad$.

"La gravedad toma diferentes valores dependiendo del lugar. Dado que g es la magnitud de una cantidad vectorial, siempre es positiva. En la superficie de la tierra, la gravedad tiene un valor aproximado de $9{,}8 m/s^2$, mientras que en la luna es de 1,6 m/s^2 y cerca de la superficie del sol es de 270 m/s^2" [5].

Mientras que la masa de un cuerpo es independiente de su ubicación, el peso depende de ella debido a la influencia de la gravedad que como ya se explicó, toma diferentes valores dependiendo del lugar.

Fuerza Elástica (Fe). Es una fuerza de contacto y está relacionada con aquellos cuerpos que tienen la propiedad de elongarse y comprimirse, como es el caso de los resortes y está dirigida en sentido contrario al vector desplazamiento. La ecuación que permite determinar esta fuerza es:

$\overrightarrow{F_e} = -k\Delta x$, donde, k es la constante de elasticidad del cuerpo y Δx su deformación respecto a la posición de equilibrio.

Fuerza de Tensión (T). También es una fuerza de contacto y la encontramos cuando un resorte, cuerda o cable halan a un objeto ejerciendo una una fuerza paralela sobre él en una dirección que se aleja del mismo. La tensión (T) es entonces la fuerza con que una cuerda o cable tenso tira de cualquier cuerpo unido a sus extremos y se caracteriza porque cada tensión sigue la dirección del cable y el mismo sentido de la fuerza que lo tensa en el extremo contrario y por lo tanto, cada uno de los cuerpos que se encuentren unidos a los extremos de un cable tenso sufrirán la acción de esta fuerza con una dirección idéntica a la del cable y un sentido equivalente al de la fuerza aplicada en el objeto del otro extremo y que provoca que el cable se tense. Por simplicidad, se suele suponer que las cuerdas tienen masa despreciable y son inextensibles (no se pueden deformar), esto implica que el valor de la tensión es idéntica en todos los puntos de la cuerda y por tanto, las tensiones que se ejercen sobre los cuerpos de ambos extremos de la cuerda son del mismo valor y dirección aunque de sentido contrario.

Puesto que es la magnitud de una cantidad vectorial, es entonces una cantidad escalar que en un cuerpo suspendido, se calcula con la expresión $T = mg$.

Fuerza Normal (N). Es otra fuerza de contacto ejercida por una superficie sobre un objeto que la presiona y es perpendicular a ésta. Cuando nos referimos a la Normal como fuerza de acción, surge el Peso como reacción a ella y viceversa sólo en ciertas condiciones porque el par de acción y reacción del peso es la fuerza con la que el cuerpo atrae a la tierra (2 cuerpos con masa siempre se atraen) y como la tierra tiene tanta masa la fuerza de atracción la afecta en casi nada y la normal de la tierra sobre el cuerpo tiene su par de acción y reacción en la normal que el cuerpo hace sobre la tierra.

Fuerza de Fricción (Fr). Es la fuerza paralela a la superficie de contacto. Es opuesta al deslizamiento relativo, su valor depende de la carga (fuerza Normal) que presiona las superficies en contacto y regularmente no depende de las áreas en contacto. Sin embargo, existen excepciones, tal es el caso de los cuerpos en caída libre sujetos a algún tipo de elemento, por ejemplo un paracaídas o una sombrilla, donde el área de contacto es influyente en la caída debido a la fricción del aire. En este caso, la velocidad condiciona la fricción.

Cuando dos superficies se encuentran en contacto y no hay deslizamiento, la fuerza de rozamiento se llama Fuerza de Fricción Estática (F_s). (Ver Figura 20).

Cuando hay un incremento progresivo de la fuerza externa, la fuerza de rozamiento también se incrementará, pero llega un momento en que las superficies ya no pueden hacerse tanta fuerza, y el bloque comienza a deslizarse. Este momento define la máxima fuerza de rozamiento estática (Fuerza Límite). (Ver Figura 20).

Cuando la fuerza tangencial externa supera el valor de máxima fuerza de rozamiento estática, el bloque comienza a deslizarse. En este caso, la fuerza de fricción se convierte en fuerza de fricción cinética (F_k). (Ver Figura 20).

La Fuerza de Rozamiento se obtiene con la expresión.

Fuerza de Rozamiento Estática ($\overrightarrow{F_s}$)

$\overrightarrow{F_s} = \mu_s \vec{N}$, donde μ_s es el coeficiente de rozamiento estático y $\vec{N}$ es la Fuerza Normal.

Fuerza de Rozamiento Cinética ($\overrightarrow{F_k}$)

$\overrightarrow{F_k} = \mu_k \vec{N}$, donde μ_k es el coeficiente de rozamiento cinético y $\vec{N}$ es la Fuerza Normal.

3.2.4. Leyes de Newton

Primera Ley

Cuando observamos un objeto en movimiento es posible hacerlo desde muchos marcos de referencia y en efecto, la primera ley del movimiento de Newton, a veces llamada ley de la inercia, define un conjunto especial de marcos de referencia desde cuyo punto de vista se puede plantear un enunciado muy práctico de la primera ley del movimiento de Newton: *"En ausencia de fuerzas externas, y cuando se ve desde un marco de referencia inercial, un objeto en reposo se mantiene en reposo y un objeto en movimiento continúa en movimiento con una velocidad constante (esto es, con una rapidez constante en una línea recta)."[6]*.

En otras palabras, si la suma vectorial de todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo (la *fuerza neta*) es cero, el cuerpo está en equilibrio y tiene aceleración cero. $\Sigma\vec{F}=0$ (Figura 3).

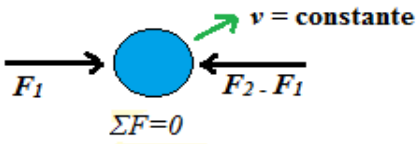


Figura 3. Cuerpo en equilibrio [7].

Una conclusión a partir de la primera ley, es que cualquier objeto aislado (uno que no interactúa con su entorno) está en reposo o en movimiento con velocidad constante mostrando una tendencia a resistir cualquier intento por cambiar su velocidad, fenómeno que se conoce como inercia y que nos permite concluir que un objeto que acelera debe experimentar una fuerza.

Segunda Ley

Las propiedades inerciales de un cuerpo se caracterizan por su *masa*. La aceleración de un cuerpo bajo la acción de un conjunto de fuerzas dado es directamente proporcional a la suma vectorial de las fuerzas (la *fuerza neta*) e inversamente proporcional a la masa del cuerpo.

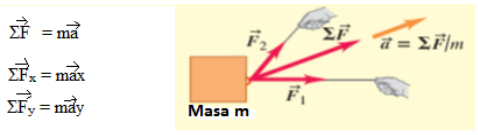


Figura 4. Segunda ley de Newton [8].

Esta relación es la segunda ley de Newton, que al igual que la primera ley, sólo es válida en marcos de referencia inerciales. La unidad de fuerza se define en términos de las unidades de masa y aceleración. En el SI, la unidad de fuerza es el newton (N), igual a 1 kg · m/s^2.

Tercera Ley

La tercera ley de Newton dice que cuando dos cuerpos interactúan, se ejercen mutuamente fuerzas que en todo instante son iguales en magnitud y opuestas en dirección, fuerzas que se denominan de acción-reacción y cada una actúa sólo sobre uno de los dos cuerpos, nunca actúan sobre el mismo cuerpo.

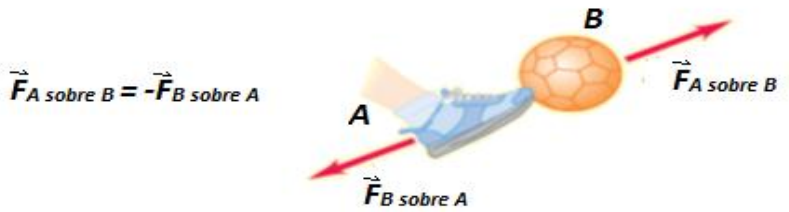


Figura 5. Fuerzas de acción y reacción [9].

3.2.5. Elementos Asociados con la Fuerza

3.2.5.1. Aceleración

La aceleración describe cómo cambia la velocidad con el tiempo; es decir, nos dice cómo cambian la rapidez y la dirección del movimiento guardando la relación que la aceleración es a velocidad lo que velocidad es a posición. Imaginémonos yendo en un automóvil con el cuerpo en movimiento y el auto acelera hacia delante y aumenta su rapidez, nos sentiríamos empujados hacia atrás hacia el asiento; si acelera hacia atrás y disminuye su rapidez, nos sentiríamos empujados hacia delante pero si la velocidad es constante y no hay aceleración, no sentiríamos sensación alguna. En la caída de los cuerpos esta aceleración recibe el nombre de aceleración de la gravedad o gravitatoria.

3.2.5.2. Energía

El término energía se usa para indicar una expresión compuesta de varias cantidades y que la teoría, como la experiencia muestran que se mantiene constante durante varios procesos físicos. La importancia del concepto de energía surge del principio de conservación de ella: la energía es una cantidad que se puede convertir de una forma a otra, pero no puede crearse ni destruirse, en un motor de automóvil, la energía química almacenada en el combustible se convierte parcialmente en la energía del movimiento del auto, y parcialmente en energía térmica, en un horno de microondas, la energía electromagnética obtenida de la compañía de electricidad se

convierte en energía térmica en el alimento cocido, en estos y en todos los demás procesos, la energía total — que es la suma de toda la energía presente en diferentes formas— no cambia.

A pesar que la conservación de la energía mecánica es solamente válida para las fuerzas conservativas, podemos generalizar el principio de conservación considerando que si la energía mecánica total varía, se debe a la variación de otros tipos de energía (que corresponde a las fuerzas disipativas), como energía calorífica, química, etc.

Podemos distinguir muchos tipos de energía, entre ellas cinética, potencial elástica y gravitacional que en un sinnúmero de casos se relacionan con trabajo debido a sus aplicaciones, tal es el caso del teorema trabajo-energía el cual enfatiza que "cuando actúan fuerzas sobre una partícula mientras sufre un desplazamiento, la energía cinética de la partícula cambia en una cantidad igual al trabajo total realizado sobre ella por todas las fuerzas." [10].

Esta relación, llamada teorema trabajo-energía, es válida para fuerzas tanto constantes como variables, y para trayectorias tanto rectas como curvas de la partícula; sin embargo, sólo es aplicable a cuerpos que pueden tratarse como partículas.

3.2.5.3. Momento o Cantidad de Movimiento

Es posible que el término *ímpetu* nos haga pensar en un jugador de fútbol americano que corre hacia las diagonales, derribando a los jugadores que intentan detenerlo. O tal vez hayamos oído a alguien decir que un equipo perdió ímpetu (y por consiguiente perdió el partido). Ese uso cotidiano del término nos da una idea del concepto correspondiente: cantidad de movimiento (ímpetu), el cual sugiere la idea de una masa en movimiento y, por lo tanto, de inercia. Solemos pensar que los objetos pesados o masivos en movimiento tienen más cantidad de movimiento, aunque se muevan muy lentamente, no obstante, según la definición técnica de cantidad de movimiento, un objeto ligero puede tener tanta cantidad de movimiento como uno más pesado, y a veces más. Newton fue el primero en referirse a lo que en física moderna se denomina cantidad de movimiento lineal como "la cantidad de movimiento […] que surge de la velocidad y la cantidad de materia conjuntamente". Dicho de otra manera, la cantidad de movimiento de un cuerpo es proporcional tanto a su masa como a su velocidad. [11].

La cantidad de movimiento lineal de una partícula o un objeto que se modela como una partícula de masa *m* que se mueve con una velocidad *v* se define como el producto de la masa y la velocidad de la partícula, $\vec{p} = m\vec{v}$.

La Unidad SI de cantidad de movimiento es kilogramo-metro/segundo (kg · m/s)

Comúnmente nos referimos a la cantidad de movimiento lineal simplemente como cantidad de movimiento, que es una cantidad vectorial que tiene la misma dirección que la velocidad.

Para un sistema aislado donde no actúan fuerzas se aplica la ley de conservación de la cantidad de movimiento, lo cual significa que la cantidad de movimiento total de un sistema aislado en todo momento es igual que su cantidad de movimiento inicial. $\overrightarrow{p_i} = \overrightarrow{p_f}$. Entonces $m\overrightarrow{v_1} = m\overrightarrow{v_1}$. Esta ley tiene especial utilidad para tratar problemas que incluyen colisiones entre objetos y para analizar propulsión de cohetes. Cabe aclarar que aunque la cantidad de movimiento de un sistema aislado se conserva, dentro de un sistema aislado no necesariamente se conserva porque es posible que otras partículas en el sistema interactúen con ella.

La relación de cambio con el tiempo de la cantidad de movimiento lineal de una partícula es igual a la fuerza neta que actúa sobre la partícula. $\frac{d\vec{p}}{dt} = ma$.

3.2.5.4. Viscosidad

El término viscosidad se usa comúnmente en la descripción del flujo de fluido para caracterizar el grado de fricción interna en el fluido. Esta fricción interna, o *fuerza viscosa*, se asocia con la resistencia que tienen dos capas adyacentes de fluido para moverse una en relación con la otra. La viscosidad hace que parte de la energía cinética del fluido se convierta en energía interna. Este mecanismo es similar a aquel mediante el cual un objeto que se desliza sobre una superficie horizontal rugosa pierde energía cinética.

3.3. MARCO DIDÁCTICO

3.1. El Aprendizaje Activo

Históricamente, el sistema predominante en la enseñanza han sido las clases magistrales. Este tipo de metodología trae consigo los siguientes problemas:

- El grado de atención se mantiene durante 15 minutos (Van Dijk, 1999; Vinke, 1995; Vicerrectoría Académica UN, 2004)
- Los estudiantes recuerdan cerca del 70% de la información presentada en los primeros 10 minutos de clase y el 20% de la información presentada en los últimos 10 minutos (Prince, 2004).
- El 50% de clase pensando en cosas diferentes a la clase, cerca del 15% del tiempo fantaseando. (Millton, 1986).

Como alternativa, presentamos la Metodología de Aprendizaje Activo, en el cual el estudiante aprende haciendo a través de métodos, técnicas y estrategias que utiliza el docente para convertir el proceso de enseñanza en actividades que fomenten la participación activa del estudiante y lleven al aprendizaje. A la hora de realizar una programación educativa integral que prepare al alumnado para su formación se ha de tener en cuenta lo que demanda la sociedad: profesionales con habilidades tales como autonomía, desarrollo del trabajo en pequeños equipos multidisciplinares, actitud participativa, habilidades de comunicación y cooperación, resolución de problemas, creatividad, etc., aspectos que tienen que estar contemplados en el currículo.

Entre las ventajas de esta metodología podemos mencionar que los estudiantes están implicados en más que la escucha pasiva, son involucrados en actividades como lectura, discusión, escritura y experimentación, hay menos énfasis en la transmisión de información y se da mayor énfasis al desarrollo de sus habilidades, la motivación es mayor, pueden recibir retroalimentación inmediata del docente, están implicados en ordenes de pensamiento más altos (análisis, síntesis, evaluación),promueve el aprendizaje colaborativo ya que los estudiantes trabajan en pequeños grupos para alcanzar una meta u objetivo en común y promueve el aprendizaje cooperativo, debido a la conformación de un grupo de trabajo estructurado, donde persiguen metas comunes mientras están siendo también evaluados individualmente.[12]

En nuestro caso, pretendemos que sirva de guía de una manera práctica en la construcción del concepto de fuerza de fricción a través del desarrollo y aplicación de prácticas experimentales. El conjunto de experimentos irá desde aquellos que emplean recursos caseros hasta aquellos que involucran instrumentos comunes de laboratorio como balanzas, cronómetro y poleas entre otros. La distribución del material de estudio, las asesorías sobre las tareas y/o proyectos, y las evaluaciones sobre conceptos se hará a través de guías de aprendizaje.

El aprendizaje activo centra su trabajo en la construcción de conceptos a partir del desarrollo de actividades que son diseñadas teniendo en cuenta el entorno del estudiante y sus preconceptos, permite que él establezca predicciones y luego las compare con los resultados experimentales, logrando así que a partir de sus observaciones argumente el cambio de sus creencias. Además, estimula el trabajo colaborativo entre estudiantes y así la construcción colectiva de conceptos; el docente es un guía del proceso de aprendizaje, que a través de material manipulable de fácil consecución y bajo costo los orienta hacia el descubrimiento a través de observaciones de los resultados de experimentos reales y sencillos mejorando significativamente el aprendizaje de la física. Por lo anterior, la Metodología del Aprendizaje Activo (MAA), fue tenida en cuenta para construir la presente propuesta, ya que se considera que contribuye de una manera muy positiva a alcanzar los objetivos planteados ya que exige que el estudiante asuma la responsabilidad de trabajar para construir su propio conocimiento y que el docente se convierta en el facilitador y guía dentro de este proceso. La propuesta está basada en una serie de guías que se convierten en la carta de navegación que ayudan al docente de secundaria a elaborar junto con sus estudiantes, los elementos de laboratorio involucrados en las prácticas experimentales con la utilización de material de bajo costo y fácil consecución, prácticas de laboratorio y experiencias de campo construidas para que el docente oriente a sus estudiantes hacia la construcción del concepto de fuerza de rozamiento de una manera más eficiente y práctica, motivándolo al estudio de conceptos relacionados con ciencias de una manera más significativa de cómo se lograría con una metodología tradicional.

4. METODOLOGÍA

4.1. La Propuesta Didáctica

La metodología usada para la aplicación de la propuesta, se fundamenta en cinco momentos encaminados al alcance de los objetivos propuestos a partir del desarrollo de actividades orientadas con el firme propósito de alcanzar las metas propuestas. El desarrollo de las actividades propuestas tendrá el siguiente esquema:

1***. Diseño e implementación de una prueba diagnóstica***

En esta investigación se aplica una prueba inicial de 10 preguntas con la pretensión de conocer qué saben los estudiantes, cómo argumentan y qué percepciones tienen sobre el concepto fuerza en diferentes contextos asignándole a la misma valores entre 0 a 100 puntos, representando el porcentaje de aciertos del estudiante con la finalidad de conocer su estado conceptual inicial y su razonamiento científico respectivamente. Los resultados de esta prueba se muestran en la Tabla 16.

2. Socialización de los estándares curriculares relacionados con el estudio de la fuerza de rozamiento.

Se distribuyen copias con los contenidos de los estándares curriculares, específicamente en lo relacionado con sus aplicaciones en el estudio de fuerzas.

3. Diseño de Guías basadas en la Metodología de Aprendizaje Activo

Se elaboraron 13 guías distribuidas por temas, las cuales se encuentran ubicadas en el capítulo de Experiencias de Laboratorio. Estas guías se encuentran organizadas de la siguiente manera:

- *Concepto de fuerza y carácter vectorial de la fuerza (1 guía)*
- *Fuerzas mecánicas especiales (normal, rozamiento, tensión, peso) (4 guías)*
- *Fuerzas a distancia (electromagnetismo, gravitacional) (4 guías)*
- *Coeficiente de Rozamiento (4 guías)*

4. ***Aplicación de las guías de experiencias.***

La aplicación de estas guías se hará con base en las secuencias del Método de Aprendizaje Activo, donde se hace una descripción del experimento, registro de predicciones individuales, discusión de predicciones en grupos, registro de predicciones grupales, socialización de predicciones grupales, realización de la práctica por parte del docente, descripción y registro de resultados y síntesis, discusión y extrapolación de resultados. Serán aplicadas a los estudiantes de Grado Décimo de la Unidad Educativa Media de Patillal.

Realización de diagramas de cuerpo libre

Los diagramas de cuerpo libre son indispensables para identificar las fuerzas pertinentes ya que muestran el cuerpo elegido solo, libre de su entorno, con vectores que señalen las magnitudes y direcciones de todas las fuerzas aplicadas sobre el cuerpo y que interactúan con él. Sólo se incluyen todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo y no aquellas que el cuerpo ejerce sobre otro cuerpo, en particular, las dos fuerzas de un par acción reacción nunca deben aparecer en el mismo diagrama de cuerpo libre, porque nunca actúan sobre el mismo cuerpo ni tampoco se incluyen las fuerzas que un cuerpo ejerce sobre sí mismo, ya que éstas no pueden afectar su movimiento. En las guías de experiencias aclaramos la realización de estos diagramas.

5. Evaluación y aplicaciones de la fuerza de rozamiento.

Para observar la efectividad de la estrategia usada en la propuesta didáctica, y evidenciar si hay cambios significativos en la comprensión de los estudiantes, se aplicará una evaluación al final diseñada para tal fin y con base en los resultados, observar si hubo cambios en cuanto al fortalecimiento en el aprendizaje de los conceptos y aplicación de la fuerza de rozamiento.

Para comparar el grado de efectividad de la estrategia didáctica implementada, usamos el *coeficiente normalizado de aprendizaje personal* del estudiante conocido como Ganancia de Hake [Hake (1998)], expresión que permite calcular el promedio del aprendizaje conceptual en los estudiantes independientemente del estado inicial de conocimiento.

La Ganancia de Hake se obtiene con la expresión:

$$G = \begin{cases} \dfrac{FCIpost - FCIpre}{100 - FCIpost}, si\ FCIpre \leq FCIpost \\ \dfrac{FCIpost - FCIpre}{FCIpre}, si\ FCIpre > FCIpost \end{cases}$$

FCIpost es el puntaje porcentual de la prueba final.

FCIpre es el puntaje porcentual de la prueba inicial.

Este coeficiente es definido de manera similar al coeficiente normalizado de Hake [Hake (1998)], sin embargo se ha hecho una extensión para tomar en cuenta aquellos casos en los que se presente un puntaje de FCIpost menor que el inicial. Con ello se tiene un coeficiente para cada estudiante que puede tomar valores entre -1 y 1. Si se alcanza el valor 1 indica que el estudiante alcanzó el máximo aprendizaje posible, mientras que la obtención de un -1 indica que el estudiante ha fallado en la totalidad de las preguntas del test en la segunda aplicación; un coeficiente 0 en un estudiante indicaría que obtiene el mismo puntaje al inicio y al final del curso, sin mostrar una mejoría en el aprendizaje. Cabe aclarar que para nuestro estudio hemos hecho algunas adaptaciones para aplicar la ganancia de Hake como son llamar *FCIpre* al promedio porcentual obtenido en la prueba inicial y *FCIpost* al obtenido en la prueba final.

Hake propone categorizar los resultados de la instrucción en las llamadas zonas de ganancia (Hake, 1998) de acuerdo al resultado obtenido de la siguiente forma:

1. Zona de ganancia baja. Menor a 0.34 ($g \leq 0.34$)
2. Zona de ganancia media. Entre 0,34 y 0,70. ($0.34 \leq g \leq 0.70$)
3. Zona de ganancia alta. Mayor a 0.70 ($g \geq 0.70$)

El resumen de las actividades propuestas se puede encontrar en la Tabla 1.

MOMENTO	OBJETIVOS	ACTIVIDADES
Exploración de las ideas previas	Identificar los conceptos previos de los estudiantes acerca de fuerza y fuerza de rozamiento.	Diseño e implementación de una prueba diagnóstica donde se evidencie la aplicación de la fuerza y fuerza de rozamiento.
Revisión de los Estándares	Determinar referentes disciplinares, curriculares y	Socialización de los estándares curriculares relacionados con el estudio

Curriculares y ejes temáticos.	didácticos relacionados con la propuesta didáctica.	de la fuerza de rozamiento.
Elaboración de guías de aprendizaje.	Diseñar experiencias de laboratorio que le permitan al estudiante de grado décimo construir el concepto de fuerza de rozamiento, teniendo en cuenta la experimentación, la observación y la argumentación.	Diseño de guías de trabajo experimental basadas en la metodología de aprendizaje activo.
Diseño de experiencias de laboratorio.	Desarrollar experiencias con los estudiantes de grado décimo	Aplicación de las guías de experiencias. Realización de diagramas de cuerpo libre
Evaluación de indicadores.	Evaluar la efectividad de la propuesta a partir de los resultados en cada una de las actividades desarrolladas durante las clases.	Evaluación de la aprehensión del concepto de fuerza de rozamiento, su aplicación a eventos cotidianos y su relación con las leyes del movimiento.

Tabla 1. Actividades propuestas

5. IMPLEMENTACIÓN

5.1. Características de la población

El colegio Educación media de Patillal es una institución educativa pública rural ubicada en la localidad de Patillal, corregimiento de Valledupar Cesar, que tiene a su cargo estudiantes de los estratos 1 y 2. Recibe estudiantes de los corregimientos de Patillal, La Vega Arriba, Badillo, Río Seco, Teyunque, La Mina, Atánquez y en menor proporción de otras poblaciones y fincas aledañas. El colegio cuenta con laboratorio de física y química, sala de informática, biblioteca y comedor escolar; cuenta con los niveles de preescolar a grado once, con implementación de jornada única para los grados 9º, 10º y 11º. El énfasis de la institución es netamente académico. El colegio clasifica como de nivel ALTO en las pruebas ICFES, catalogándose como el mejor colegio de la zona rural del Municipio de Valledupar. (Anexo F).

5.2. Perfil del estudiante de grado Décimo

En el Colegio Educación Media de Patillal existe un grupo de grado décimo, jornada única, con un total de 30 estudiantes cuyas edades oscilan entre los 15 y los 17 años, observándose que un gran porcentaje de sus las familias conforman hogares normales, un pequeño porcentaje se encuentran en hogares disueltos (padres separados), donde conviven sea con mamá, papá, o abuelos. Los núcleos familiares de nuestra comunidad poseen un nivel bajo de escolaridad; gran parte de ellos (papá, mamá) no tienen la básica primaria completa, otro gran porcentaje carece de la básica secundaria y en pocos casos son profesionales, lo que conduce a que la asesoría académica que ellos pueden brindar a sus hijos sea escasa y deficiente, con el agravante que la gran mayoría de los estudiantes realizan sus tareas solos y una minoría cuenta con un equipo de cómputo e internet.

5.3. Resultados cualitativos

Cuando presentamos la propuesta, los estudiantes mostraron gran curiosidad y entusiasmo, la motivación y participación en clase se incrementó cuando incluimos ejemplos cotidianos de su entorno, que muchas veces contrastaban sus preconceptos, al comprender que la fuerza de rozamiento está presente en todas las actividades cotidianas; sin embargo, observamos un poco de desinterés y desmotivación al incrementar el nivel de dificultad, sobre todo en los casos donde se requerían algunas herramientas matemáticas para solucionar algunas situaciones.

6. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

6.1. Aplicación de la Prueba Inicial

Análisis de la Prueba Diagnóstica (Ver Anexo A)

Cuando los estudiantes abordan el concepto de fuerza y sus aplicaciones, generalmente presentan dificultades para comprender e interpretar fenómenos relacionados con este concepto, en particular cuando se trabaja fuerza de rozamiento.

Sus concepciones interfieren en el aprendizaje de las ciencias ya que, en general, no son congruentes con los conceptos, las leyes y las teorías científicas, siendo responsable, en parte, de la dificultad que encuentran los alumnos en la asignatura de Física y de su bajo rendimiento comparado con otras asignaturas. Se les dificulta entender las condiciones necesarias para que un cuerpo en una superficie deslice o no, dibujar las fuerzas que actúan sobre los cuerpos en distintas situaciones y especificar el tipo de ellas.

6.2. Socialización de los Estándares curriculares relacionados con el estudio de la fuerza de rozamiento.

Cuando se aborda el estudio de la fuerza de rozamiento, el Ministerio de Educación Nacional establece para ello estándares básicos específicos de competencias. [Estándares Básicos de Competencias. MEN, 2006].

Establece relaciones entre las diferentes fuerzas que actúan sobre los cuerpos en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme y establece condiciones para conservar la energía mecánica.

Se relaciona con la manera como se caracteriza el movimiento de un cuerpo y la argumentación que se hace sobre el cambio en ese movimiento a través del estudio de los ejes temáticos fuerzas de contacto, fuerzas a distancia y conservación de la energía mecánica.

Modela matemáticamente el movimiento de objetos cotidianos a partir de las fuerzas que actúan sobre ellos.

Se refiere a todas aquellas herramientas matemáticas necesarias para determinar las variables que intervienen en el estudio de las fuerzas entre las que podemos citar la normal, el peso, la fuerza de rozamiento y el coeficiente de rozamiento entre otros.

6.3. Objetivo de las Experiencias

El objetivo general de las experiencias es desarrollar habilidades en el estudiante para modelar el comportamiento de un objeto en términos de fuerza de rozamiento a través de la determinación de parámetros como deslizamiento, normal, tensión, coeficiente de rozamiento, ángulo de inclinación, fuerza límite, estática y cinética entre otros, los cuales deben ser hallados mediante métodos de aproximación numérica. Los elementos que se deben tener son comunes a todos los talleres, estos son: un montaje de la situación, libreta de apuntes y calculadora.

6.4. Procedimiento

El procedimiento para llevar a cabo esta serie de talleres es el siguiente:

1. El docente describe el experimento y, si fuera necesario, lo realiza sin proyectar el resultado del experimento.
2. Los estudiantes deben anotar su predicción individual en la Hoja de Predicciones, la cual será recogida al final de la clase. Se debe asegurar a los estudiantes que estas predicciones no serán evaluadas, aunque una parte de la nota final del curso puede ser asignada por la simple asistencia a las clases interactivas demostrativas.
3. Los estudiantes discuten sus predicciones en un pequeño grupo de discusión con los 2 o 3 compañeros más cercanos.
4. El docente obtiene las predicciones más comunes de toda la clase.
5. Los estudiantes registran la predicción final en la Hoja de Predicciones.
6. El docente realiza la demostración mostrando claramente los resultados.
7. Se pide a algunos estudiantes que describan los resultados y que los discutan en el contexto de la demostración. Los estudiantes anotan estos resultados en la Hoja de Resultados, la cual se llevan para estudiar.
8. Los estudiantes (o el docente) discuten situaciones físicas análogas con diferentes características superficiales (o sea, diferentes situaciones físicas), pero que responden al mismo concepto físico, de una manera transversal con otras áreas o asignaturas.

Una simple observación de la clase permite ver cómo los alumnos participan activamente para comprender las simples demostraciones conceptuales que se proponen. La mayoría de los estudiantes piensa la predicción que se pide en el paso 2, y las discusiones en pequeños grupos

(paso 3) son muy animadas y concentradas en el problema propuesto. A veces si se les permite demasiado tiempo, las discusiones pueden derivar a otros puntos. Por ello el docente debe observar cuidadosamente a sus alumnos y elegir el momento adecuado para continuar con el paso siguiente, haciendo las veces de moderador en la discusión. El paso 4 se facilita utilizando transparencias de la Hoja de Predicciones, y haciendo un esquema de las predicciones estudiantiles con marcadores de diferentes colores. Esta actividad tiene por objetivo que los estudiantes piensen la física del problema, y el docente no debe hacer comentarios sobre si las predicciones son correctas o incorrectas.

Se hace notar que en los pasos 7 y 8 la tarea del docente es hacer que sean los estudiantes los que proporcionen las respuestas deseadas. El docente debe tener previamente una agenda bien definida, guiando la discusión hacia los puntos centrales de cada CID. La discusión debe utilizar los resultados experimentales como la fuente del conocimiento acerca de la demostración planteada. Sólo en caso de que los estudiantes no hayan discutido todos los puntos que sean importantes, el profesor puede aportar para llenar lo faltante.

6.5. Diseño de las Experiencias

El diseño de los talleres corresponde a una clase interactiva demostrativa y contiene actividades en formatos basados en el módulo de aprendizaje activo desarrollado por los docentes Freddy Monroy y Carlos Perilla en el marco de Taller Experimental de la Maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales.

El ser demostrativa se asocia al experimento llevado a cabo por el profesor, haciendo uso del montaje en tiempo real; el ser interactiva da la posibilidad de indagar, responder preguntas, corroborar o refutar predicciones. El material escrito para los estudiantes contiene una hoja o sección de predicciones y una hoja o sección de respuestas. Para el profesor, existe una guía del docente que incluye los materiales, anotaciones sobre los materiales y los resultados esperados de las preguntas y predicciones. La Hoja de Predicciones contiene la descripción de un sistema bajo ciertas condiciones iniciales y una serie de preguntas a manera de predicción. Posee una tabla de predicción de masa y deslizamiento por cada posición relevante o crítica del movimiento, un diagrama de fuerzas por cada masa y momento y una gráfica de fuerza de rozamiento contra tiempo. Encontramos talleres que se relacionan con movimientos que son debidos a fuerzas gravitacionales y otros corresponden a fuerzas que cambian en el tiempo.

7. SECCIONES O UNIDADES

7.1. Experiencias de Laboratorio

Las actividades de laboratorio tienen como objetivo guiar a los estudiantes de grado décimo en la construcción del concepto de fuerza de rozamiento, teniendo en cuenta la experimentación, la observación y la argumentación.

Unidad 1. Plano Horizontal

En esta unidad estudiaremos un bloque sobre una superficie horizontal considerado en reposo sobre ella y luego aplicándole fuerzas de halones y empujones tanto paralelas como formando diferentes ángulos con la superficie. También consideraremos el comportamiento del bloque unido a otro bloque mediante una cuerda ligera sobre una polea ligera sin fricción. Calcularemos fuerza normal, aceleración, peso, fuerza de rozamiento, coeficientes de fricción estático y cinético, naturaleza vectorial de la fuerza.

1.1. Fuerza como vector
1.2. Fuerza Normal
1.3. Peso
1.4. Fuerza de Rozamiento Estática
1.5. Fuerza de Rozamiento Dinámica
1.6. Coeficiente de Rozamiento

EXPERIENCIA Nº 1. La Fuerza como Vector.

Objetivo: Analizar la naturaleza vectorial de la fuerza usando la deformación de un resorte para medirla.

Materiales: Dinamómetro, masas de 1gramo y 2gramos.

Descripción del experimento.

Tenemos un dinamómetro al cual le vamos a aplicar una fuerza vertical en su extremo móvil suspendiendo de él una masa de 1g. Luego vamos a suspender una masa cuyo valor es el doble de la anterior (2g). En un tercer momento, vamos a colgar del dinamómetro simultáneamente las

dos masas. Por último, aplicaremos las dos fuerzas en forma simultánea, la una descendente y la otra horizontal.

Montaje

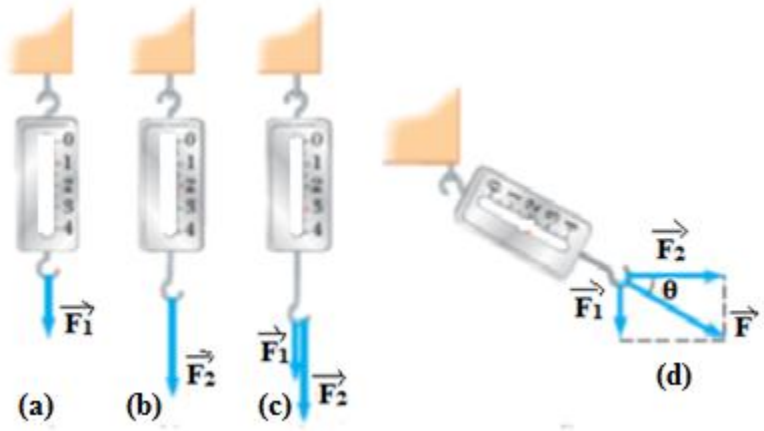


Figura 6. Carácter vectorial de la fuerza [13]

Predicciones Individuales

Cuando suspendemos del dinamómetro la masa 1(Fig. 6a), producirá una lectura. Cuando se duplica la fuerza (Fig. 6b), ¿cuál será la lectura del dinamómetro? ¿Y cuando se colocan juntas verticalmente (Fig. 6c) y luego simultáneamente, la una descendente y la otra horizontal (Fig. 6d)?

Discusión de predicciones en grupo.

Cuando se duplicó la fuerza, ¿cuál fue la lectura del dinamómetro? ¿Y cuando se colocaron juntas verticalmente y luego simultáneamente, la una descendente y la otra horizontal?

Registro de predicciones grupales

Masas	Lectura en el Dinamómetro
m_1	1cm
m_2	2cm
$m_{1+}\ m_2$	3cm
$m_1 \perp m_2$	2,24 cm

Tabla 2. Predicciones Grupales para el carácter vectorial de la Fuerza

Descripción y registro de resultados.

Para la primera situación, los 30 estudiantes afirmaron que al colocar la masa de 1g, el resorte se deforma 1 cm, una fuerza descendente $F_2 = 2F_1$ estira el resorte el doble (2cm), si F_1 y F_2 son simultáneas, el resorte se estira $x_1 + x_2$ (3 cm), si F_1 es descendente y F_2 horizontal, 18 estudiantes afirmaron que la combinación de las dos fuerzas estira el resorte un valor de 1 cm.

Síntesis, discusión y extrapolación de resultados

La naturaleza vectorial de una fuerza se puede probar con un dinamómetro. Para la masa 1, el dinamómetro registró una fuerza de 1 dina, cuando se duplica la masa, se duplica la fuerza, si se triplica, igual la fuerza. Como podemos ver, los valores van cambiando en forma proporcional cuando las fuerzas tienen la misma dirección. Cuando la una es descendente y la otra horizontal (Fig. 6d), el comportamiento anterior cambia. Para calcular la resultante podemos sumar los dos vectores a través de la expresión $\overrightarrow{|F|} = \sqrt{\vec{F}_1^{\,2} + \vec{F}_2^{\,2}}$, obteniendo un valor de 2,24 cm.

En las primeras situaciones, la dirección de la fuerza resultante es hacia abajo. En la última situación, la dirección se obtiene con $\theta = \tan^{-1}\vec{F}_1/\vec{F}_2$. En todos los casos la fuerza tiene magnitud, dirección y sentido; por lo tanto, es un vector. Puesto que se ha comprobado experimentalmente que las fuerzas se comportan como vectores, debe aplicar las reglas de suma vectorial para obtener la fuerza neta sobre un objeto.

EXPERIENCIA Nº 2. Estudio de la Fuerza de Rozamiento de un cuerpo en una superficie horizontal.

Objetivo: Analizar el comportamiento de un cuerpo unido a otro mediante una cuerda.

Materiales: Bloque de madera, cuerda, recipiente de plástico, agua, mesa lisa, placa.

Descripción del experimento.

Tenemos un bloque de madera de masa *M (50 g)* sobre una mesa lisa unido a un recipiente de plástico por una cuerda inextensible que pasa por una polea de masa despreciable. La distancia entre el bloque y el borde es la misma que la del recipiente al borde. Vamos a depositar en el recipiente una masa de agua (***m***) que sea la mitad de la del bloque. Luego una masa igual a la del bloque y por último, el doble de masa que la del bloque.

Montaje

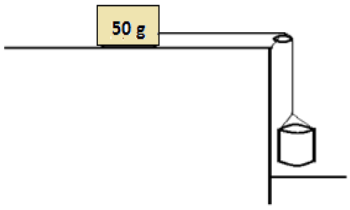


Fig. 7: Rozamiento de un cuerpo en una superficie lisa.[1]

Predicciones individuales.

¿Qué sucede con el bloque cuando depositamos en el recipiente una masa de agua que sea la mitad del bloque? ¿Desliza o no desliza?

¿Qué sucede con el bloque cuando la masa del recipiente sea igual a su masa? ¿Y cuando sea el doble? ¿Desliza o no desliza?

¿Cuál sería un posible diagrama de cuerpo libre para cada caso?

Discusión de predicciones en grupo.

¿Qué sucedió con el bloque cuando depositamos en el recipiente una masa de agua equivalente a la mitad de su masa?

¿Qué sucedió con el bloque cuando la masa del recipiente era igual a su masa? ¿Y cuando era el doble?

¿Qué obtuvimos como diagrama de cuerpo libre para cada caso?

Registro de predicciones grupales.

Estas predicciones se registran en la Tabla 3.

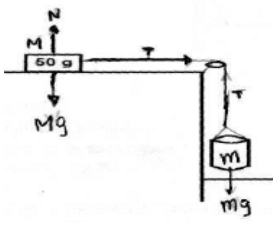
Masa	Se desliza	No se desliza	Diagrama
m = M	0%	100%	
m= M/2	0%	100%	
m =2M	100%	0%	

Tabla 3. Predicciones grupales para un cuerpo que desliza en una superficie lisa.

[1] Gráfico diseñado por el Autor

Descripción y registro de resultados.

La totalidad de los estudiantes respondieron que sólo hay deslizamiento cuando la masa del recipiente era el doble que la del cuerpo. El 70% de los estudiantes tuvo algunas dificultades para realizar una correcta descripción del diagrama de cuerpo libre que se obtiene en las diferentes situaciones.

Síntesis, discusión y extrapolación de resultados.

Los estudiantes discutieron y aportaron ideas acerca de los cambios de fuerza de fricción estática a dinámica, ya que pudieron observar el momento en que el cuerpo empezó a deslizar.

Los diagramas de cuerpo libre se muestran en la Figura 8.

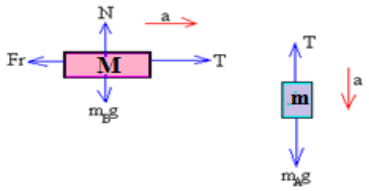


Figura 8. Diagrama de cuerpo libre que desliza en una superficie horizontal [14].

En las dos primeras situaciones la fuerza *F* aplicada sobre el bloque no es suficientemente grande como para moverlo. Estamos en una situación de equilibrio estático, $\vec{F}=\vec{F}_s<\mu_s\vec{N}$. Hay un momento en el que la fuerza de rozamiento estático $\vec{F}_s$ alcanza su máximo valor $\mu_s\vec{N}$.

$\vec{F}=\vec{F}_{s\,máx}=\mu_s\vec{N}$.

Si la fuerza *F* aplicada se incrementa un poquito más, el bloque comienza a deslizar. La fuerza de rozamiento disminuye rápidamente a un valor menor e igual a la fuerza de rozamiento por deslizamiento, $\vec{F}_k=\mu_k\vec{N}$. Aplicando la Segunda Ley de Newton para las dos masas.

Para M: $T-\mu g=Ma$

Para m: $mg-T=ma$

Sustituyendo en la primera ecuación el valor de T.

$mg-ma-\mu Mg=ma$

$mg=(M+m)a+\mu Mg$

$a=\frac{mg-\mu Mg}{M+m}$; Esta expresión nos permite calcular la aceleración del sistema.

EXPERIENCIA Nº 3. Medida del coeficiente de rozamiento por deslizamiento

Objetivo: Estudiar el coeficiente de rozamiento por deslizamiento.

Analizar el movimiento del sistema formado por dos bloques unidos por una cuerda.

Materiales: Bloques de madera, cuerda, polea, placa, mesa.

Descripción: Se tienen dos bloques A y B unidos por una cuerda inextensible que pasa por una polea de masa despreciable. Vamos a hacer descender el bloque A una altura h. Cuando el bloque A desciende una altura *h* es detenido por una placa y la cuerda deja de tirar del bloque B. El bloque B desliza a lo largo del plano horizontal hasta que se detiene después de desplazarse una distancia *x*.

Montaje

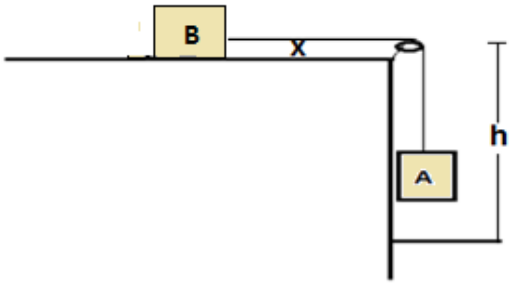


Fig. 9: Movimiento del sistema formado por dos bloques unidos por una cuerda.[2]

Predicciones individuales

¿Qué fuerzas actúan sobre los cuerpos A y B?

¿Cuáles es el diagrama del cuerpo libre para los dos bloques?

¿Cuáles son las ecuaciones del movimiento de los dos bloques?

¿En qué momento la cuerda deja de tirar del bloque B?

¿En qué punto se detiene el bloque B?

Cuando el bloque B se detiene, ¿qué fuerzas actúan sobre él? ¿Cuáles son sus ecuaciones del movimiento?

En estas condiciones, ¿cómo podríamos determinar el coeficiente de rozamiento cinético?

Discusión de predicciones en grupo

¿Qué fuerzas actuaron sobre los cuerpos A y B?

¿Cuál fue el diagrama del cuerpo libre que obtuvieron para los dos bloques?

[2] Gráfico diseñado por el Autor

¿Qué ecuaciones acerca del movimiento de los dos bloques?

¿En qué momento la cuerda dejó de tirar del bloque B? ¿En qué punto se detuvo el bloque B?

Cuando el bloque B se detuvo, ¿qué fuerzas actuaron sobre él? ¿Qué ecuaciones acerca del movimiento pudieron determinar?

Registro de predicciones grupales.

Fuerzas Actuantes	Punto en el que se detiene el bloque B		Ecuaciones	Coeficiente de Rozamiento
Tensión, Peso	No se detiene	40%	$N=m_Bg$	
Rozamiento, Normal	Borde la mesa	60%	$F_r=\mu_k N$	

Tabla 4. Registro de predicciones grupales para la medida del coeficiente de fricción por deslizamiento.

Descripción y registro de resultados.

Unos 20 estudiantes explicaron que las fuerzas actuantes sobre el cuerpo B son el Peso, la Normal, la fuerza de rozamiento y la Tensión, mientras que para el cuerpo A son el peso y la tensión. Alrededor de 25 estudiantes no identificaron en forma clara los diagramas de cuerpo libre y las ecuaciones que intervienen en la situación planteada. El 40% de los estudiantes aseguró que una vez empiece a deslizar el bloque B, ya no se detiene, mientras que el 60% afirmó que se detiene en el borde de la mesa.

Síntesis, discusión y extrapolación de resultados

Sobre el cuerpo A de masa m_A actúan dos fuerzas, el peso (m_Ag) y la tensión de la cuerda T.

Sobre el bloque B actúan cuatro fuerzas, el peso (m_Bg), la tensión de la cuerda T, la reacción del plano horizontal ($N=m_Bg$) y la fuerza de rozamiento ($\vec{F}_r=\mu_k N$).

Los diagramas de cuerpo libre se muestran en la Figura 10.

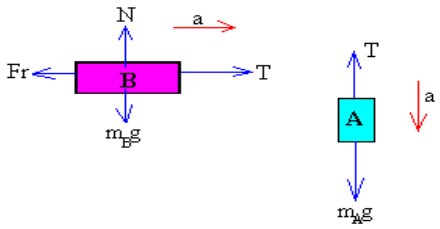


Figura 10. Diagrama de cuerpo libre para coeficiente de rozamiento por deslizamiento [15].

La ecuación del movimiento del bloque A es $m_A g - T = m_A a$.

La ecuación del movimiento del bloque B es $T - \vec{F}_r = m_B a$

Despejando la aceleración *a* en el sistema de dos ecuaciones

$$a = \frac{m_A - \mu_k m_B}{m_A + m_B} g$$

La velocidad que alcanza después de desplazarse *h*, partiendo del reposo es

$$v^2 = 2\frac{m_A - \mu_k m_B}{m_A + m_B} gh$$

El bloque B se detiene después de desplazarse *x*.

La ecuación del movimiento es $\vec{F}_r = m_B a'$, $a' = -\mu_k g$

De las ecuaciones del movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, tenemos

$$0 = v - \mu_k g t$$

$$x = vt - \frac{1}{2}\mu_k g t^2$$

Eliminando el tiempo *t*

$$x = \frac{1}{2}\frac{v^2}{\mu_k} = \frac{m_A - \mu_k m_B}{m_A + m_B}\frac{h}{\mu_k}$$

Conocidos *x* y *h* y los valores de las masas m_A y m_B se puede determinar el coeficiente de rozamiento cinético μ_k.

$$\mu_k = \frac{m_A h}{(m_A + m_B)x + m_B h}$$

EXPERIENCIA Nº 4. Fuerzas paralelas y formando un ángulo con el plano

Objetivo: Comparar el comportamiento de la fuerza de fricción cuando se aplica una fuerza paralela y otra formando un ángulo con el plano.

Materiales: Bloque de madera, dinamómetro, mesa lisa, tornillo tipo cáncamo.

Descripción: Se tiene un bloque sobre una mesa de superficie lisa al cual le hemos colocado un tornillo. En el tornillo hemos fijado un dinamómetro. Halamos lentamente el dinamómetro, primero en forma paralela al plano y luego formando ángulos diferentes en forma progresiva comparados con el plano, de tal manera que alcancemos el deslizamiento del cuerpo.

Montaje

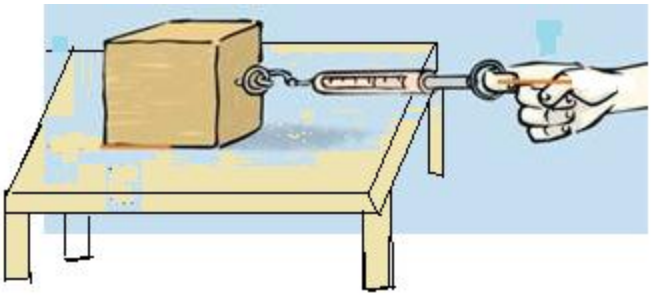


Figura 11. Medida de fuerzas paralelas y formando un ángulo con la horizontal [16].

Predicciones individuales:

¿Cambian los valores marcados por el dinamómetro cuando lo halemos en forma paralela al plano y cuando lo hacemos formando un ángulo con él?

¿Si es así, cómo cambian los valores marcados por el dinamómetro en la medida en que aumentemos la amplitud del ángulo?

Discusión de predicciones en grupo.

¿Cambiaron los valores marcados por el dinamómetro? Si fue así, ¿cómo cambiaron estos valores?

Registro de predicciones grupales.

Ángulos	F	Valores	%
0º	F_1	F_1	
15º	F_2	$F_{2>} F_1$	80
30º	F_3	$F_{3>} F_2$	80
45º	F_4	$F_{4>} F_3$	80

Tabla 5. Registro de predicciones grupales para fuerzas paralelas y formando un ángulo con el plano.

Descripción y registro de resultados.

El 80% de los estudiantes concluyeron que a medida que se incrementaba el ángulo de aplicación de la fuerza, el dinamómetro marcaba un valor mayor, argumentando que cuando el dinamómetro es halado en forma horizontal marca una fuerza menor debido a que toda la fuerza aplicada está en dirección del movimiento. El 20% restante tuvo una opinión contraria, que a medida que se incrementaba el ángulo, el valor se hacía menor. Habitualmente, los estudiantes tienden a identificar la reacción del plano o la fuerza normal *N* hacia arriba que ejerce el plano sobre el bloque, con el peso *mg* si el plano es horizontal, y con la componente perpendicular del peso $mg\cos\theta$ si el plano está inclinado un ángulo θ.

Síntesis, discusión y extrapolación de resultados.

En la discusión, se llegó a la conclusión que el ángulo y la fuerza de aplicación se encuentran en relación directa. En la vida diaria, esta situación tiene aplicaciones en la tracción realizada en las actividades normales de campo realizadas por las personas.

Los diagramas de cuerpo libre para esta situación se muestran a en la Figura 12.

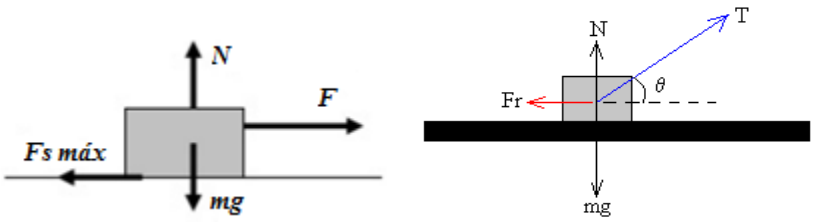


Figura 12. Diagramas de cuerpo libre para fuerzas paralelas y formando ángulos con el plano [17].

Cuando la masa se encuentra en reposo, $0 \leq \vec{F_s} \leq \vec{F_s}max$ y cuando desliza $\vec{F_s} < \mu_s \vec{N}$

Las condiciones de equilibrio se escriben

$T\cos\theta - F_r = 0$
$T\text{sen}\theta + N - mg = 0$

Cuando el bloque empieza a deslizar, la fuerza de rozamiento alcanza un valor máximo dado por $F_r = \mu_s N$, siendo μ_s el coeficiente de rozamiento estático, y $N = mg - T\text{sen}\theta$.

En esta situación, despejamos T del sistema de ecuaciones. $T = \frac{\mu_s mg}{cos\theta + \mu_s sen\theta}$

De aquí despejamos el coeficiente de rozamiento para su cálculo.

Unidad Número 3. Plano Inclinado

En esta unidad estudiaremos la fuerza de rozamiento de un cuerpo que desliza a través de un plano inclinado, el comportamiento de la misma cuando tenemos dos masas unidas mediante una cuerda ligera que pasa sobre una polea sin fricción de masa despreciable, considerando el sistema en reposo y en movimiento. Estudiaremos la Normal, el Peso, la Aceleración, los Coeficientes de Rozamiento Estático y Cinético, Construcción de diagramas de cuerpo libre.

3.1. Normal

3.2. Peso

3.3. Aceleración

3.4. Coeficiente de Rozamiento

3.5. Fuerza de Rozamiento Estática

3.6. Fuerza de Rozamiento Dinámica

EXPERIENCIA N° 5. Fuerza de rozamiento en un plano inclinado

Objetivo: Analizar la fuerza de rozamiento en un plano inclinado.

Materiales: Masas, plano inclinado, cuerda, polea, recipiente de plástico.

Descripción: Tenemos un bloque 1 situado sobre un plano inclinado de ángulo θ. El bloque está conectado a otro bloque 2 que cuelga de su otro extremo mediante una cuerda inextensible que pasa por una polea ideal (de rozamiento y momento de inercia despreciables). Sabiendo que el coeficiente de rozamiento entre el bloque 1 y el plano inclinado es μ, estudiar el movimiento del sistema. Por razón de simplicidad, supondremos que los coeficientes de rozamiento estático y cinético tienen el mismo valor μ.

Montaje

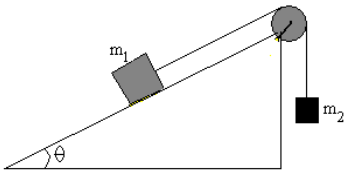


Figura 13. Fuerza de rozamiento en un plano inclinado[3]

Vamos a analizar dos posibles situaciones

1. Cuando el bloque 1 está en reposo sobre el plano inclinado
2. Cuando el bloque 2 está en movimiento

Predicciones individuales

Cuando el bloque 1 está en reposo, ¿qué sentido tiene la fuerza de rozamiento y la resultante de las otras fuerzas que actúan sobre el bloque?

Cuando el bloque desliza, ¿qué sentido tienen la fuerza de rozamiento y el vector velocidad?

¿Cuál es una descripción correcta del diagrama de cuerpo libre en los dos casos?

Discusión de predicciones en grupo.

Cuando el bloque 1 estaba en reposo, ¿qué sentido tenían la fuerza de rozamiento y la resultante de las otras fuerzas que actuaban sobre el bloque?

Cuando el bloque deslizó, ¿qué sentido tuvo la fuerza de rozamiento y el vector velocidad?

¿Cuál fue la descripción correcta del diagrama de cuerpo libre en los dos casos?

Registro de Predicciones Grupales

Situaciones	Dirección de la Fuerza de Fricción		Dirección de la Velocidad	
Bloque 1 en reposo	Hacia abajo a lo largo del plano	75	Hacia abajo a lo largo del plano	0
	Hacia arriba a lo largo del plano	25	Hacia arriba a lo largo del plano	0
Bloque 1 deslizando	Hacia abajo a lo largo del plano	25	Hacia abajo a lo largo del plano	100
	Hacia arriba a lo largo del plano	75	Hacia arriba a lo largo del plano	0

Tabla 6. Registro de predicciones grupales para fuerza de rozamiento en un plano inclinado.

[3] Gráfico diseñado por el autor

Descripción y registro de resultados

Situación 1. El 75% de los estudiantes afirmaron que la fuerza de fricción va dirigida hacia abajo a lo largo del plano. El 100% aseguró que la velocidad era cero. Tuvieron dificultades para identificar que si el bloque 1 está en reposo, la fuerza de rozamiento es de sentido contrario a la resultante de las otras fuerzas que actúan sobre el bloque.

Situación 2. El 75% de los estudiantes a firmaron que la fuerza de rozamiento tiene sentido contrario al deslizamiento del cuerpo. El 100% afirmó que la velocidad tiene el mismo sentido. Cuando el bloque desliza, la fuerza de rozamiento es siempre de sentido contrario al vector velocidad.

Hubo claridad en cuanto a la relación entre el concepto fuerza de rozamiento y el deslizamiento de los cuerpos.

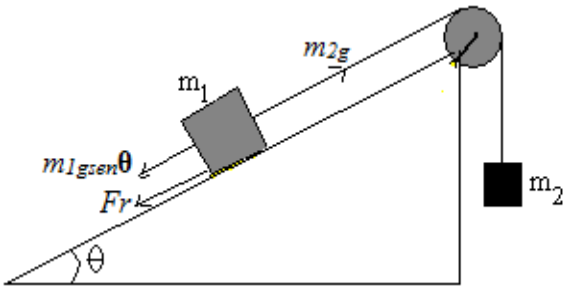
Síntesis, discusión y extrapolación de resultados

El bloque de masa m_1 está en reposo sobre el plano inclinado

En este caso la tensión de la cuerda es igual al peso. $T=m_2g$

La fuerza de rozamiento se opone a la resultante de las otras dos fuerzas opuestas

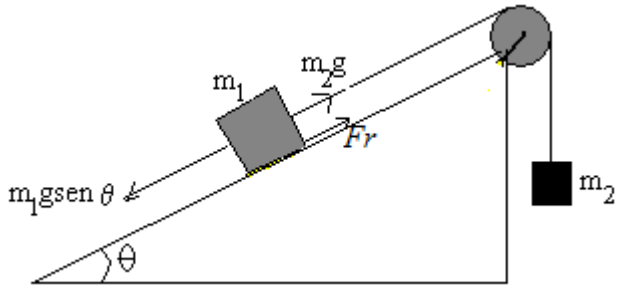
- la tensión de la cuerda m_2g
- la componente del peso $m_1g\text{sen}\theta$



La componente del peso es menor que la tensión de la cuerda, la fuerza de rozamiento se opone a que el cuerpo deslice a lo largo del plano inclinado hacia arriba.

Figura 14. Bloque en reposo sobre un plano inclinado **(**$m_2g > m_1g\text{sen}\theta$**)**[4]

[4] Gráfico diseñado por el Autor



La componente del peso es mayor que la tensión de la cuerda, la fuerza de rozamiento se opone a que el cuerpo deslice hacia abajo.

Figura 15. Bloque en reposo sobre un plano inclinado **(**$m_2g < m_1g\text{sen}\theta$**)**[5]

Si $m_2g > m_1g\text{sen}\theta$ entonces $m_2g - m_1g\text{sen}\theta - F_r = 0$ (1)

Si $m_2g < m_1g\text{sen}\theta$, entonces $m_2g - m_1g\text{sen}\theta + F_r = 0$ (2)

La fuerza de rozamiento es nula para el ángulo θ que cumple que $m_2g = m_1g\text{sen}\theta$.

Cuando el bloque de masa m_1 empieza a deslizar a lo largo del plano

Variando el ángulo de inclinación θ del plano inclinado llega un momento en el que el bloque empieza a deslizar, en ese momento la fuerza de rozamiento alcanza su valor máximo $F_r = \mu N = \mu m_1 g\cos\theta$

Para determinar el o los ángulos de plano inclinado para los cuales el bloque de masa m_1 va a empezar a deslizar a lo largo de dicho plano, podemos usar la ecuación de equilibrio de fuerzas llamando $m = m_2/m_1$, y escribiendo esta ecuación como $m - \text{sen}\theta - \mu\cos\theta = 0$. (1)

Teniendo en cuenta que $\cos^2\theta = 1 - \text{sen}^2\theta$. Despejando $\cos\theta$ y elevando al cuadrado, nos queda la ecuación de segundo grado en $\text{sen}\theta$.

$(1+\mu^2)\text{sen}^2\theta - 2m\text{sen}\theta + (m^2 - \mu^2) = 0$

La misma ecuación de segundo grado se obtiene a partir de la ecuación de equilibrio de fuerzas (2)

$$sen\theta = \frac{m \pm \mu\sqrt{1 - m^2 + \mu^2}}{1 + \mu^2}$$

[5] Gráfico diseñado por el Autor

EXPERIENCIA Nº 6. Influencia de la Viscosidad en la Fricción

Objetivos

Mostrar la influencia de la viscosidad de las sustancias en la fricción de un cuerpo que cae libremente.

Mostrar que las componentes de la fuerza de contacto (fricción y normal) no son constantes en general.

Materiales: Agua, alcohol, aceite, boliche, cronómetro, tubo de vidrio transparente.

Descripción: Se tiene un tubo de vidrio transparente al cual le hemos determinado su longitud. Llenamos el tubo con agua y soltamos un borrador desde la parte más alta. Tomamos el tiempo que demora en llegar al fondo. Repetimos para la gasolina y el aceite.

Montaje

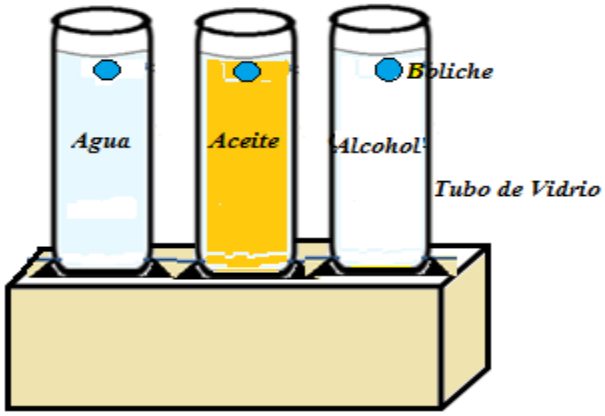


Figura 16. Viscosidad y Fricción[6]

Predicciones Individuales

¿En cuál de los tres casos tarda más el boliche en caer?

¿Qué fuerzas intervienen en la situación planteada?

¿Cómo podríamos hacer para determinar la fuerza de fricción ejercida por las sustancias sobre el boliche?

[6] Gráfico diseñado por el Autor

Discusión de predicciones en grupo.

¿En cuál de los tres casos tardó más el boliche en caer?

¿Qué fuerzas intervinieron en la situación planteada?

¿Cómo hicieron para determinar la fuerza de fricción ejercida por las sustancias sobre el boliche?

Registro de predicciones grupales.

Sustancia	Tiempo de caída	Convenciones
Agua	t_1	t_1= tiempo de caída en el agua
Aceite de soya	$t_1>t_2$	t_2= tiempo de caída en el aceite
Alcohol	$t_1>t_2>t_3$	t_1= tiempo de caída en el alcohol

Tabla 7. Viscosidad y fricción

Descripción y registro de resultados

El 70% de los estudiantes afirmaron que el tiempo de caída del boliche depende de la densidad de la sustancia, asegurando que entre más densa sea, más tardará en llegar al fondo. Por lo tanto, en la sustancia que menos demora en caer es en el alcohol.

Síntesis, discusión y extrapolación de resultados

Cuando un cuerpo se mueve a velocidad relativamente baja a través de un fluido, la fuerza de fricción puede obtenerse aproximadamente suponiendo que es proporcional a la velocidad, y opuesta a ella. Por consiguiente escribimos F_f = fricción del fluido = -Knv, donde K es el coeficiente de fricción, el cual depende de la forma del cuerpo. Por ejemplo, para nuestro caso que es una esfera de radio R, el cálculo indica que $K=6\pi R$, relación conocida como Ley de Stokes. El coeficiente n depende de la fricción interna del fluido, fricción que se denomina como viscosidad y que recibe el nombre de Coeficiente de Viscosidad.

En la Tabla 8 se consignan los Coeficientes de Viscosidad (en Poises) para algunas sustancias (todos a 20ºC, excepto aquellos en que se indica la temperatura).

Tabla 8. Coeficientes de Viscosidad, en Poises ($cm^{-1}g\ s^{-1}$) [18].

Sustancias	n $x10^3$
Agua a 0ºC	1,792
Agua	1,005
Agua a 40ºC	0,656
Glicerina	833
Aceite de Soya a 30ºC	32,40
Alcohol	0,367

Tomado de Marcelo Alonso. Física Mecánica. Vol. I. Pág. 174

Suponiendo una fuerza F constante, la aceleración *a* produce un aumento continuo en la velocidad *v* y por lo tanto en la fuerza de fricción y en dicho momento la aceleración es también cero y no hay mayor aumento en la velocidad, estando la fuerza de fricción equilibrada exactamente por la fuerza aplicada. La partícula continúa moviéndose en la dirección de la fuerza con una velocidad constante, llamada velocidad límite o terminal, la cual está dada por $vl = \frac{F}{Kn}$. Por lo tanto, la velocidad límite depende de *n* y de *K*; esto es, de la viscosidad del fluido y de la forma del cuerpo. En caída libre bajo la influencia de la gravedad, $F = mg$ y la ecuación anterior se transforma en $vl = \frac{mg}{Kn}$, la cual debe corregirse para tener en cuenta el empuje ejercido por el fluido, el cual, de conformidad con el principio de Arquímedes, es igual al peso del fluido desplazado por el cuerpo. Si *mf* es la masa del fluido desplazado, su peso es *mfg*, de modo que el empuje hacia arriba es *B =-mfg*, y la fuerza total hacia arriba será *mg-mfg = (m-mf) g*, obteniéndose en últimas la ecuación para la velocidad como $vl = \frac{(m-mf)g}{Kn}$ **,** la cual depende de la densidad del fluido, aclarando que para cuerpos grandes y velocidades mayores, la fuerza de fricción es proporcional a una potencia mayor de la velocidad y a las características del fluido. Las fuerzas que actúan sobre el cuerpo en este caso se ilustran en la Figura 17.

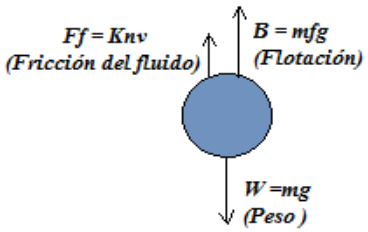


Figura 17. Diagrama de fuerzas para un cuerpo que cae en el seno de un fluido[19]

Cuando describimos la fuerza de fricción cinética ejercida sobre un objeto que se mueve sobre alguna superficie, que puede ser o un líquido o un gas, el medio ejerce una fuerza resistiva RS sobre el objeto móvil a través de él como son la resistencia del aire asociada con los vehículos móviles (a veces llamado *arrastre de aire*) y las fuerzas viscosas que actúan sobre los objetos móviles a través de un líquido. La magnitud de RS depende de factores tales como la rapidez del objeto, y su dirección siempre es opuesta a la dirección de movimiento del objeto en relación con el medio pero en medios simplificados es proporcional a la rapidez del objeto móvil como es el caso de objetos que caen lentamente a través de un líquido y para aquellos muy pequeños, como las partículas de polvo, que se mueven a través del aire.

Si la fuerza resistiva que actúa sobre un objeto móvil a través de un líquido o gas se modela como proporcional a la velocidad del objeto, la fuerza resistiva se puede expresar como $R_S = -b$ v donde b es una constante cuyo valor depende de las propiedades del medio y de la forma y dimensiones del objeto y **v** es la velocidad del objeto en relación con el medio. El signo negativo indica que R_S está en la dirección opuesta a v.

Considerando la pequeña esfera de masa m de nuestro caso, que se libera desde el reposo en un líquido (Figura 16). Si supone que las únicas fuerzas que actúan sobre la esfera son la fuerza resistiva R_S y la fuerza gravitacional $F_S g$, podemos describir su movimiento aplicando la segunda ley de Newton al movimiento vertical, eligiendo la dirección hacia abajo como positiva.

$$\Sigma Fy = mg - bv$$

$$mg - bv = ma = mdv/dt$$

Al resolver esta expresión para la aceleración dv/dt se obtiene

$$dv/dt = g - b/m\ v$$

"No obstante, note que, inicialmente, cuando v =0, la magnitud de la fuerza resistiva también es cero y la aceleración de la esfera es simplemente g. Conforme t aumenta, la magnitud de la fuerza resistiva aumenta y la aceleración disminuye. La aceleración tiende a cero cuando la magnitud de la fuerza resistiva se aproxima al peso de la esfera. En esta situación, la rapidez de la esfera tiende a su rapidez terminal v_T.

La rapidez terminal se obtiene de la ecuación anterior al hacer $a = dv/dt$ =0.

Esto produce $mg - bv_T = 0$ " [20].

EXPERIENCIA N° 7. Fuerzas de Fricción Estática y Cinética

Objetivos

Estudiar las fuerza de fricción estática y cinética.

Determinar los coeficientes de fricción entre diferentes parejas de materiales.

Equipo y materiales: Plano de inclinación variable, placa de aluminio, bloque de madera, dos masas de 100g cada una.

Descripción: Antes de iniciar las mediciones, limpiamos con un trapo limpio y húmedo las superficies que van a estar en contacto para retirar el polvo y suciedad que pudieran afectar los resultados. Dejamos secar las superficies antes de hacer las mediciones. Vamos a colocar el bloque de madera (m=100g) con su cara de mayor área sobre el plano inclinado (madera). Aumentamos el ángulo de inclinación gradualmente, hasta que el objeto esté a punto de resbalar. Luego vamos a colocar encima del bloque de madera una masa de 100g y repetimos el paso anterior. Posteriormente vamos a colocar otra masa de 100g, para alcanzar 200g y repetir el paso ya mencionado. Por último vamos a realizar los pasos anteriores pero usando un placa de aluminio en vez de madera.

Montaje

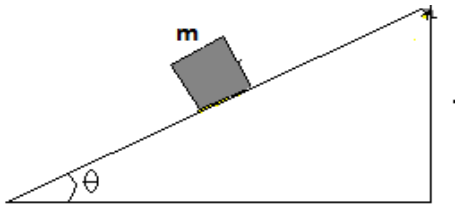


Figura 18. Fuerza de Fricción Estática[7]

Predicciones Individuales

¿Qué sucede con la fuerza normal cuando se cambia el ángulo de inclinación?

¿Qué sucede con el coeficiente de fricción estática al cambiar la masa del bloque de madera?

¿Qué sucede con la fuerza de fricción estática máxima al cambiar la masa del bloque de madera?

¿Qué sucede con la fuerza de fricción estática cuando se aumenta la amplitud el ángulo de inclinación?

¿Qué sucede con las variables mencionadas cuando se cambia el bloque de madera por el de aluminio?

[7] Gráfico diseñado por el Autor

Discusión de predicciones en grupo.

¿Qué sucedió con el coeficiente de fricción estática al cambiar la masa del bloque de madera?

¿Qué sucedió con la fuerza de fricción estática máxima al cambiar la masa del bloque de madera?

¿Qué sucedió con la fuerza de fricción estática cuando se aumentó la amplitud el ángulo de inclinación?

¿Qué sucedió con la fuerza normal cuando se cambió el ángulo de inclinación?

¿Qué sucedió con las variables mencionadas cuando cambiamos el bloque de madera por el de aluminio?

Registro de predicciones grupales.

		Fuerza Normal		Fuerza de Fricción		Coeficiente Rozamiento	
Bloques de Madera	m_1	N_1		Fr_1		μ_1	
	m_2	$N_2 > N_1$	60	$Fr_2 > Fr_1$	70	$\mu_2 > \mu_1$	60
Aluminio	m_3	$N_3 < N_1$	60	$Fr_3 < Fr_1$	70	$\mu_3 < \mu_1$	60
Ángulos	θ_1	N1		Fr_1		μ_1	
	$\theta_2 > \theta_1$	$N_2 > N_1$	40	$Fr_2 < Fr_1$	50	$\mu_2 > \mu_1$	60

Tabla 9. Registro de predicciones grupales para la Fuerza de Fricción Estática y Cinética

Descripción y registro de resultados.

El 40% de los estudiantes respondieron que cuando se cambia el ángulo de inclinación, se afecta la normal ya que al cambiar el valor del coseno de éste, también se cambia la normal porque $N = mg\cos\theta$. Si se aumenta el ángulo se afecta la normal. Al cambiar la masa del bloque de madera, el 60% respondió que se cambia el peso y al cambiar el peso también lo hará la Normal como su fuerza de reacción, y al cambiar la normal se afecta el coeficiente de fricción que es afectado por ella. Al aumentar la amplitud del ángulo de inclinación, todos respondieron que hay un momento en el que el bloque empieza a deslizar. Cuando cambiamos la superficie de madera por la de aluminio, el 50% observaron que requiere de menor amplitud en el ángulo para deslizar, por lo tanto, se afecta el tiempo de cambio de fuerza de fricción estática a dinámica. Para calcular el coeficiente de rozamiento, los estudiantes propusieron diversas ecuaciones.

Síntesis, discusión y extrapolación de resultados.

La fuerza de rozamiento estática es la necesaria para que las superficies no se deslicen. La fuerza de fricción entre dos cuerpos aparece aún sin que exista movimiento relativo entre ellos. Cuando así sucede actúa la fuerza de fricción estática, que usualmente se denota como ***Fs*** y su magnitud puede tomar valores entre cero y un máximo, el cual está dado por $f_{smáx}=\mu sN$ (1), donde μ_s es el coeficiente de fricción estático y N es la fuerza normal. En el caso particular, tenemos un objeto inicialmente en reposo sobre un plano inclinado, sobre el cual actúan las fuerzas Normal, el peso y la fuerza de fricción estática. El diagrama de cuerpo libre se muestra en la Figura 19.

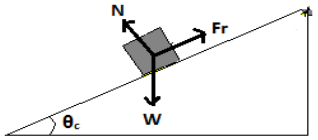


Figura 19. Diagrama de cuerpo libre para la fuerza de fricción[8]

Dado que el objeto está en reposo, a partir del diagrama de fuerzas se encuentran las ecuaciones:

$\Sigma Fx = mgsen\theta - F_s = 0$ (2)

$\Sigma Fy = Nmgcos\theta = 0$ (3)

Si se aumenta el ángulo de inclinación gradualmente, hasta que el valor θc, ángulo al cual el objeto está a punto de iniciar su deslizamiento, la fuerza de fricción estática alcanza su valor máximo. Despejando la Fricción y la Normal, se tiene F_{smax} = *mgsen*θc, N = *mgcos*θc y sustituyendo en la ecuación (1) se obtiene: μ_s = tanθc (4). Esta ecuación, permite determinar el coeficiente de fricción estática entre dos materiales en contacto. Hay tres valores de fuerza de fricción, la Estática, la Límite y la Cinética. Esta descripción se ilustra en la Figura 20.

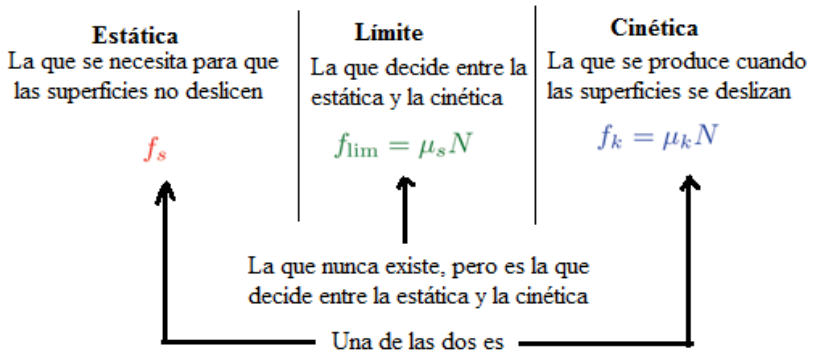


Figura 20. Valores de la fuerza de fricción[9]

Si *fs*<*flim*, la fuerza es *fs* Si *fs*>*flim*, la fuerza es *fk*

[8] Gráfico diseñado por el Autor.

[9] Enseñanza de la Mecánica y la Física Térmica. José Daniel Muñoz. 2015.

7.2. EXPERIENCIAS DE CAMPO

Objetivo: Desarrollar experiencias de campo con los estudiantes de grado décimo, mostrando las aplicaciones de la fuerza de rozamiento teniendo en cuenta su entorno para que establezcan comparaciones entre situaciones ideales y reales.

Unidad 4. De Paseo por el Parque

4.1. Halones y Empujones

4.2. Deslizamiento en un Plano Inclinado

4.3. Fuerza de Fricción en Diferentes Escenarios

4.4. La Fricción del Aire

EXPERIENCIA N° 8. Fuerza Cualitativo

Objetivo: Analizar el papel de la fuerza de rozamiento cuando realizamos actividades de tracción.

Materiales: Cuerda gruesa, guantes.

Descripción: Se tienen dos grupos de igual número de estudiantes con masas globales aproximadas. Cada grupo se ubica en los extremos de una cuerda gruesa de masa despreciable. Hemos trazado en el suelo de la cancha de arena de la institución una línea que simula un límite entre los dos grupos. Se trata entonces que cada grupo hale la cuerda de tal manera que no sobrepase la línea marcada, considerando que el grupo que lo haga será el perdedor.

Montaje

Figura 21. Fuerza de Rozamiento desde un punto de vista cualitativo[10]

[10] Fotografía tomada en el Parque de la Plaza de Patillal

Predicciones individuales:

Qué equipo ganará, ¿el que hale con más fuerza la cuerda o el que haga más fuerza sobre el piso?

¿Cuál sería el diagrama de cuerpo libre que podríamos construir con la situación anterior?

Discusión de predicciones en grupo.

¿Qué equipo ganó,¿ el que haló con más fuerza la cuerda o el que hizo más fuerza sobre el piso?

¿Qué diagrama de cuerpo libre pudieron construir con la situación anterior?

Registro de predicciones grupales

Equipo Ganador	Resultados	Diagrama de cuerpo libre
El que hala más duro la cuerda	90	Se muestra en la síntesis y extrapolación de resultados.
El que hace más fuerza sobre el piso	10	

Tabla 10. Registro de predicciones grupales para la Fuerza Cualitativo.

Descripción y registro de resultados.

Los estudiantes se mostraron muy curiosos, pues pensaban que ganaría el equipo que más fuerza haría sobre la cuerda. El De hecho, 27 estudiantes (90%) apostaron por ello entre compañeros. Repitieron por muchas veces la experiencia y el resultado era el mismo. Pudieron comprobarlo midiendo la profundidad de los surcos dejados por los pies de los competidores en la arena, concluyendo que siempre ganaron los que dejaron surcos más profundos en ella. Todos los estudiantes pudieron determinar correctamente la dirección de la fuerza de rozamiento.

Síntesis, discusión y extrapolación de resultados

Evidentemente que ganará el equipo que empuje el piso con más fuerza porque propiciará que la fuerza estática supere la fuerza límite y se obtenga un mayor deslizamiento del otro equipo, causando que el jalón supere a la oposición al deslizamiento y se consiga que ese equipo se precipite hacia el equipo ganador.

Analizando la experiencia realizada, podemos considerar la fuerza en este caso como los jalones entre los dos equipos, jalones que cambian el movimiento, aceleran, frenan o desvían (Segunda Ley de Newton). Encontramos fuerzas de acción y reacción (las fuerzas entre dos cuerpos son

de la misma Intensidad). (Tercera Ley de Newton). Así mismo hay fuerzas de contacto (Normal, Fricción, Tensión). Podemos dibujar las fuerzas que actúan sobre cada equipo. (Figura 22).

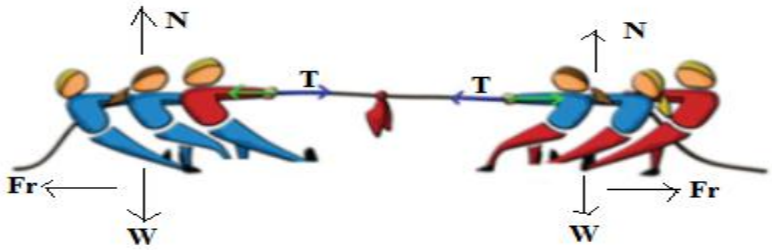


Figura 22. Fuerzas de acción y reacción[11]

En el estudio cualitativo de la fuerza de rozamiento pudimos hacer registros narrativos de los fenómenos que estudiamos mediante técnicas como la observación participante, estableciendo la asociación o relación entre variables como normal, peso y tensión, entre otras, en contextos estructurales y situacionales, identificamos la naturaleza profunda de las realidades, su sistema de relaciones y su estructura dinámica. A través de la asociación o correlación pudimos hacer inferencia causal que nos permitió explicar el por qué las cosas sucedieron o no de una forma determinada.

EXPERIENCIA N° 9. Incidencia de la Normal en la Fricción

Objetivo: Identificar las incidencias de la fuerza normal y el peso en la fuerza de rozamiento.
Materiales: Cuerda Gruesa, Cancha de arena de la Institución Educativa.
Descripción: Solicitamos a uno de los estudiantes que se amarre a la cintura un extremo de la cuerda, se coloque en posición de cuatro pies. Pedimos a un compañero o compañera que tome el otro extremo de la cuerda. El estudiante con la cuerda amarrada inicia caminando en esa posición inicial e intenta ser detenido por el compañero que tiene el otro extremo de la cuerda. Luego repetimos la actividad pero solicitando a otro compañero que se abrace al cuello y cintura por debajo del compañero formando un equipo de dos. Solicitamos nuevamente al compañero que intente detenerlo halando de la cuerda.

[11] Enseñanza de la Mecánica y la Física Térmica. José Daniel Muñoz. 2015

Montaje

Figura 23. Halones, Normal y Fricción[12]

Predicciones Individuales

¿En cuál de las dos situaciones planteadas es más difícil detener al compañero?

¿Qué fuerzas intervienen en la situación planteada?

¿Cuál sería un correcto diagrama de cuerpo libre para la situación anterior?

Discusión de predicciones en grupo

¿En cuál de las dos situaciones planteadas fue más difícil detener al compañero?

¿Qué fuerzas intervinieron en la situación planteada?

¿Qué diagrama de cuerpo libre obtuvieron para la situación anterior?

Registro de predicciones grupales

Situaciones	Nivel de Dificultad	Diagrama de cuerpo libre
1>2	2	Se muestra en la síntesis y extrapolación de resultados.
1 = 2	68	
2> 1	32	

Tabla11. Registro de predicciones grupales para la Incidencia de la Normal en la Fricción

[12] Fotografía tomada en las experiencias de campo en el Parque de Patillal. 2015.

Descripción y registro de resultados

La mayoría de los estudiantes (68%) pensaban que no había diferencias en las dos situaciones porque la fuerza ejercida era la misma y por lo tanto, podrían detener el sistema en los dos casos indistintamente. Cuando observaron la diferencia, que era mucho más difícil detener a los dos estudiantes, su curiosidad fue notoria. Les explicamos que al aumentar la masa, se aumentaba el peso y al aumentar el peso se aumenta la fuerza normal y al aumentar la normal se aumenta la fuerza de rozamiento ya que ésta depende de la normal. Pudimos construir las siguientes ecuaciones.

$N=W=mg$

$Fr = \mu N=\mu mg$

Síntesis, discusión y extrapolación de resultados

En esta experiencia sencilla pero muy significativa, los estudiantes pudieron comprobar la incidencia del cambio de masa en el cambio del valor de la normal debido a que cambia el peso que es su reacción. Al aumentar la normal, se aumenta la fuerza de rozamiento y por lo tanto, es más difícil detener al sistema que se encuentra en movimiento. El diagrama de cuerpo libre se muestra en la figura 24.

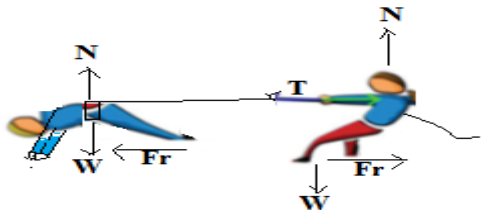


Figura 24. Incidencia de la normal en la fricción[13]

La resistencia de fricción se incrementa proporcionalmente con la fuerza normal porque el área de cobertura para un bloque que resbala es en realidad mucho mayor que el área de contacto. Debido a irregularidades microscópicas en la superficie, el bloque está realmente montando sobre una pequeña fracción del área de cobertura. Debido a que esos puntos de contactos, son deformables, un incremento de la fuerza normal, realmente incrementará el área de contacto real, e incrementará la resistencia al movimiento.

Parte del modelo estándar de fricción de superficie, es la suposición de que la fuerza de resistencia de fricción entre dos superficies, es proporcional a la fuerza normal que las presiona

[13] Gráfico elaborado por el Autor

juntas. Una excepción común ocurre en la nieve, donde se obtiene mayor tracción con neumáticos más anchos y a menor presión. Se ejerce la misma fuerza normal, pero la tracción (fricción) es mayor con neumáticos más anchos puesto que no se hunde tanto en la nieve. El hundimiento en la nieve tiende a depender de la presión ejercida sobre la nieve, y soportar el mismo peso sobre un área más pequeña, implica que se ejerce más presión. Este ejemplo también es, una excepción a la suposición de la independencia del área de contacto. Con un área de contacto dado, el incremento de la fuerza normal empaquetará la nieve, disminuyendo la efectividad del coeficiente de fricción.

EXPERIENCIA N° 10. Halones y Empujones

Objetivo: Determinar la dirección de la fuerza de rozamiento en los Halones y Empujones
Materiales: Canchas de arena y de cemento de la Institución Educativa.
Descripción: Hemos formado parejas de estudiantes y solicitamos a uno de ellos que empuje (comedidamente) al otro. Luego solicitamos al segundo que hale al primero.

Montaje

Figura 25. Halones y Empujones[14]

Predicciones Individuales

Cuando un estudiante empuja al otro, ¿hacia dónde va dirigida la fuerza de rozamiento?
Cuando un estudiante hala al otro, ¿hacia dónde va dirigida la fuerza de rozamiento?

[14] Fotografía de las experiencias de campo tomadas en el Colegio Educación Media de Patillal

Discusión de predicciones en grupo.

Cuando el estudiante empujó al otro, ¿hacia dónde se dirigió la fuerza de rozamiento?

Cuando el estudiante haló al otro, ¿hacia dónde se dirigió la fuerza de rozamiento?

Registro de predicciones grupales

Acción	Dirección de la fuerza de rozamiento	%
Halón	Hacia adelante	40
	Hacia atrás	60
Empujón	Hacia adelante	80
	Hacia atrás	20

Tabla 12. Halones y Empujones

Descripción y registro de resultados

Cuando el estudiante empujó el otro, el 80% de los estudiantes dijeron que la fuerza de rozamiento va dirigida hacia adelante, mientras que cuando el estudiante es halado, el 60% afirmó que va dirigida hacia atrás. Los estudiantes concluyeron que cuando el estudiante es empujado, se observa una tendencia a resistirse a avanzar y cuando es halado, la tendencia es a resistirse a ir hacia el estudiante que lo hala.

Síntesis, discusión y extrapolación de resultados.

Las cosas se siguen moviendo solas, si nadie las altera (Primera Ley de Newton). La fuerza son los jalones o empujones que cambian el movimiento, aceleran, frenan o desvían (2a Ley de Newton). La Acción y Reacción son las fuerzas entre dos cuerpos y tienen la misma intensidad. (3a Ley de Newton). Si el uno desvía más que el otro, esto se debe a las diferencias de masa. Yo empujo las cosas para que las cosas me empujen y cambien mi movimiento. El impulso no es una fuerza. Si no existen fuerzas externas que actúen sobre un cuerpo, este permanecerá en reposo o se moverá con una velocidad constante en línea recta. El movimiento termina cuando fuerzas externas de fricción actúan sobre la superficie del cuerpo hasta que se detiene.

Cuando se presenta un cambio en el movimiento de un cuerpo, éste presenta un nivel de resistencia denominado inercia. En la vida diaria, lo vivimos cuando vamos en un vehículo que frenado de improviso y debemos detenernos con las propias manos, hemos experimentado lo que es la inercia. Igual sucede cuando el vehículo acelera de improviso.

EXPERIENCIA N° 11. Plano Inclinado en el Parque de Diversiones

Objetivo: Analizar los cambios de la normal y la fuerza de rozamiento en un plano inclinado en condiciones reales.

Materiales: Plano Inclinado ubicado en la plaza de la población.

Descripción: Hemos dado al plano inclinado del parque las condiciones ideales para que propicie el deslizamiento de los estudiantes. También les hemos pedido a dos estudiantes que determinen su masa en la báscula del centro de salud de la localidad. Medimos la longitud del plano inclinado y determinamos un ángulo idóneo para el deslizamiento. Vamos a pedir a uno de los estudiantes de masa conocida que se siente en la parte más alta del plano y luego lo empujamos para que deslice. Posteriormente pedimos a este estudiante que cargue al otro del cual también conocemos su masa. Repetimos la operación de empujar el conjunto.

Montaje

Figura 26. Plano Inclinado de la Plaza de Patillal[15]

Predicciones Individuales:

¿En cuál de los dos casos la normal es mayor? ¿Y la fuerza de rozamiento? ¿Y el coeficiente de rozamiento? ¿Y la velocidad?

En estas condiciones, ¿Cuál es el diagrama del cuerpo libre?

[15] Fotografían de las experiencias de campo tomada en el parque de la plaza de Patillal.

¿Cuáles son las ecuaciones apropiadas para obtener la normal, la fuerza y el coeficiente de rozamiento y la velocidad?

Discusión de predicciones en grupo

¿En cuál de los dos casos la normal fue mayor? ¿Y la fuerza de rozamiento? ¿Y el coeficiente de rozamiento? ¿Y la velocidad?

En estas condiciones, ¿Cuál fue el diagrama del cuerpo libre?

¿Qué ecuaciones usaron para obtener la normal, la fuerza y el coeficiente de rozamiento y la velocidad?

Registro de predicciones grupales

Normal	%	Fricción	%	Coeficiente de Fricción	%	Velocidad	%	Ecuaciones
$N_1>N_2$	**0**	$F_1>F_2$	0	$\mu_1>\mu_2$	0	$V_1>V_2$	60	N= mgcosθ
$N_1<N_2$	**90**	$F_1>F_2$	90	$\mu_1>\mu_2$	90	$V_1>V_2$	20	Fr = μN
$N_1=N_2$	**10**	$F_1>F_2$	10	$\mu_1>\mu_2$	10	$V_1>V_2$	20	

Tabla 13. Registro de predicciones grupales para el plano inclinado en el parque de diversiones.

Descripción y registro de resultados.

En las dos situaciones planteadas, el 90% de los estudiantes respondieron que la normal es mayor en la segunda situación porque hay mayor peso, por lo tanto, la fuerza de rozamiento también es mayor así como también el coeficiente de fricción. Acerca de la velocidad, el 60% respondieron que es mayor en la primera situación porque al relacionarla con la masa, en la medida en que ésta se hace mayor, mayor dificultad ofrece para el deslizamiento. Para obtener la normal sugirieron la ecuación N= mgcosθ, para la fuerza de rozamiento $\vec{F}_r$ = μN. Para las otras variables no mostraron gran claridad.

Síntesis, discusión y extrapolación de resultados

Ingresar a un parque de diversiones obviamente se hace pensando en un lugar de esparcimiento, sin embargo existe la posibilidad de ser usado también como espacio de aprendizaje de la física, siendo este el objetivo de esta experiencia. Se muestra cómo el diseño y funcionamiento de sus atracciones se basan en principios físicos, cuyo uso permite crear objetos de aprendizaje para algunos conceptos de la mecánica clásica, concretamente en nuestro caso con el estudio de la fuerza de rozamiento, usándolo como medio para relacionar la teoría con la experiencia, y así conseguir que los estudiantes constituyan aprendizajes.

El parque de diversiones es un espacio que además de la recreación ofrece una opción de tratamiento conceptual en la enseñanza de la física mecánica, ya que son principios mecánicos los que sustentan su funcionamiento. Este espacio efectivamente permite crear situaciones que facilitan el aprendizaje partiendo de la explicación de las sensaciones que las personas experimentan dentro de cada atracción, por ejemplo para nuestro caso, usamos el plano inclinado para explicar los conceptos y aplicaciones de la fuerza de rozamiento. Observamos que las explicaciones de los estudiantes no sólo fueron sobre lo que podían observar con los ojos abiertos, sino de también de lo que podían sentir y lo que podían inferir.

EXPERIENCIA NÚMERO 12. Incidencia de los Lubricantes en la Fricción

Objetivo: Analizar la incidencia de sustancias lubricantes en la fuerza de rozamiento

Materiales: Detergente en polvo, agua.

Descripción: Iniciamos sacando las sillas del salón de clases. Luego le planteamos a los estudiantes que deben, de manera comedida empujar y halar a sus compañeros. Seguidamente, disolvemos detergente en polvo en abundante agua y lo regamos en el salón de tal manera que quede una sustancia muy enjabonada. Pedimos a los estudiantes que repitan la acción de halones y empujones.

Montaje

Figura 27. Incidencia de los Lubricantes en la Fricción[16]

Predicciones Individuales

¿En cuál de las dos situaciones planteadas es más fácil hacer deslizar al compañero?

¿Qué fuerzas intervienen en la situación planteada?

¿Cuál sería un correcto diagrama de cuerpo libre para la situación anterior?

Discusión de predicciones en grupo.

¿En cuál de las dos situaciones planteadas fue más fácil hacer deslizar al compañero?

¿Qué fuerzas intervinieron en la situación planteada?

¿Qué diagrama de cuerpo libre obtuvieron para la situación anterior?

Registro de predicciones grupales

Dificultad		**Fuerzas**	**Cuerpo Libre**
1>2	**30**	Fricción	
1=2	**0**	Peso	
1<2	**0**		

Tabla 14. Incidencia de los Lubricantes en la Fricción

Descripción y registro de resultados.

El 100% de los estudiantes (30) respondieron que es más fácil mover al compañero cuando el piso se encuentra cubierto con agua enjabonada debido a que disminuimos la fricción con el piso.

[16] Fotografía de las experiencias de campo tomada en el Colegio Educación Media de Patillal. 2015.

El movimiento de un objeto que resbala por una superficie lubricada es más fácil y permanece más tiempo que por una superficie de cemento, simplemente porque el lubricante presenta menor fricción que el cemento. Los estudiantes no tuvieron claro el diagrama de cuerpo libre para esta situación. Identificaron como fuerza la fricción y el peso.

Síntesis, discusión y extrapolación de resultados

La mayoría de las superficies, aun las que se consideran pulidas son extremadamente rugosas a escala microscópica. Los picos de las dos superficies que se ponen en contacto determinan el área real de contacto que es una pequeña proporción del área aparente de contacto (el área de la base del bloque). El área real de contacto aumenta cuando aumenta la presión (la fuerza normal) ya que los picos se deforman.

Cuando el bloque desliza sobre el plano, las soldaduras en frío se rompen y se rehacen constantemente. Pero la cantidad de soldaduras que haya en cualquier momento se reduce por debajo del valor estático, de modo que el coeficiente de rozamiento cinético es menor que el coeficiente de rozamiento estático. Finalmente, la presencia de aceite o de grasa en las superficies en contacto evita las soldaduras al revestirlas de un material inerte.

La siguiente gráfica nos da la explicación de que la fuerza de rozamiento es independiente del área de la superficie aparente de contacto.

Figura 28. Esquema (a nivel microscópico) de las deformaciones de los picos de dos superficies en contacto [21].

En el diario transcurrir de nuestras vidas alguna vez nos hemos encontrado ante un problema de lubricación. Ejemplos cotidianos de esto, son la aplicación de aceite a una bisagra o la revisión de aceite en el carro, que permiten evitar o disminuir los fenómenos de fricción y desgaste.

El principal objetivo de los lubricantes es evitar el contacto de partes en forma directa y de esta manera minimizar la fricción y por tanto, las pérdidas de energía.

EXPERIENCIA N° 13. La Fricción Ejercida por el Aire

Objetivo: Analizar la incidencia de la fuerza de fricción ejercida por el aire en la caída de los objetos.

Materiales: Cartón, cuerdas, huevos, cronómetro, cinta métrica.

Descripción: Con la ayuda de cartones y cuerdas hemos diseñado tres tipos de sombrillas: una plana, una normal y otra al revés. Con la ayuda de cuerdas, hemos hecho una especie de bolsa en la que hemos introducido un huevo, que luego hemos fijado por separado a cada sombrilla.

Con la cinta métrica, determinamos la altura de una rama del árbol de caucho que hay en la plaza de la población (3 m). Desde allí soltamos el conjunto sombrilla-huevo y medimos el tiempo que demora en llegar al suelo.

Montaje

Figura 29. Sombrilla plana[17]

Predicciones Individuales

¿En cuál de las tres situaciones es menos factible que se rompa el huevo al llegar al piso?

Conociendo la altura y el tiempo de caída, ¿podríamos determinar la velocidad en cada caso? Si es así, ¿en cuál de los tres casos es mayor?

¿Qué fuerzas que intervienen en las situaciones planteadas?

Discusión de predicciones en grupo

¿En cuál de las tres situaciones fue menos factible que el huevo se rompiera al llegar al piso?

[17] Fotografía tomada en las experiencias de campo. 2016

Conociendo la altura y el tiempo de caída, ¿pudimos determinar la velocidad de caída del huevo en cada caso? Si fue así, ¿en cuál de los tres casos fue mayor?

¿Qué fuerzas intervinieron en las situaciones planteadas?

Registro de predicciones grupales

Sombrillas	Menor riesgo de rotura	Mayor Velocidad	Fuerzas
Plana	20	30	Peso
Normal	80	10	Gravedad
Invertida	0	60	

Tabla 15. La Fricción ejercida por el aire

Descripción y registro de resultados

En esta experiencia, el 80% de los estudiantes identificaron la sombrilla normal como aquella que reduce la factibilidad de que el huevo se rompa, 6 identificaron la plana como aquella de menor posibilidad que se rompa el huevo y ninguno escogió la invertida. Argumentaron que por su forma almacenaban en su seno gran cantidad de aire que limitaba el tiempo de caída. Acerca de la tercera aseguraron que ofrecía el efecto contrario; es decir, aceleraba el tiempo de caída del objeto. Acerca de las fuerzas actuantes en las situaciones planteadas todos mencionaron el peso, relacionándolo con la gravedad, sin embargo, ninguno mencionó la fricción ejercida por el aire. El 60% de los estudiantes afirmaron que el huevo alcanza mayor velocidad en su caída cuando se encuentra sujeto a la sombrilla invertida.

Síntesis, discusión y extrapolación de resultados

El estudio del efecto de la resistencia del aire en objetos que caen es importante porque es parte de nuestra experiencia diaria. Las hojas de los árboles o las gotas de lluvia no parecen tener aceleración al caer (Gluck, 2003).

Cuando el objeto cae, las fuerzas ejercidas sobre el mismo son el peso (W), el empuje del aire (E), la fuerza de rozamiento con el aire (Fr). Si utilizamos un sistema de referencia positivo orientado hacia abajo, de la segunda ley de Newton, tenemos $W - E - F_r(v) = m\frac{dv}{dt}$.

Definimos el peso efectivo del objeto como *Wef = P – E.*

Por razones de complejidad en la ecuación para el Grado Décimo, optamos por seguir como derrotero para calcular la velocidad del huevo al caer el hecho que conocemos la altura, el tiempo de caída y consideramos el movimiento de caída libre.

$2gy = vf^2 - vi^2$, donde g=gravedad (9,8m/s^2), y=altura, v_f = velocidad final y v_i= velocidad inicial. Como v_i=0, entonces $2gy = vf^2$.

Por tanto, $v_f = \sqrt{2gy}$.

La fricción que ofrece el aire a la caída de los objetos también se le conoce como la resistencia aerodinámica. Se denomina resistencia aerodinámica, o resistencia, la fuerza que sufre un cuerpo al moverse a través del aire en la dirección de la velocidad relativa entre el aire y el cuerpo. La resistencia siempre ocurre en sentido opuesto a dicha velocidad. Esta fuerza se opone al avance de un cuerpo a través del aire.

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

8.1. El grupo de estudio

El trabajo se realizó con un grupo de 30 estudiantes del grado decimo (10°) de la *Unidad Educativa Media de Patillal, Valledupar,* con edades que oscilan entre los 15 a los 17 años. Patillal es un corregimiento del Municipio de Valledupar.

Para el estudio se diseñó una prueba de 10 preguntas algunas abiertas y otras de selección múltiple, para aplicarla antes de la estrategia y otras tantas para después de desarrollar la misma.

8.2. Análisis de la Prueba Inicial

Esta prueba consta de 10 preguntas, las cuales podemos analizar de la siguiente manera:

Pregunta Nº 1. La mayoría de los estudiantes (63,34%) no tuvieron claro el papel que juega la fuerza de rozamiento en la vida de las personas.

Pregunta Nº 2. Al 60% de los estudiantes se les dificultó comprender la igualdad de magnitudes entre las fuerzas de acción y reacción.

Pregunta Nº 3. La mayoría de los estudiantes (66,66%) explicaron correctamente por qué podemos deslizarnos en un plano inclinado.

Pregunta Nº 4. El 70% de los estudiantes no explicaron correctamente que en una competencia de dos equipos halando una cuerda en sentido opuesto es determinante el que empuje el piso con mayor fuerza.

Pregunta Nº 5. Sólo el 36,66% de los estudiantes pudieron explicar la relación entre la fricción y los lubricantes.

Pregunta Nº 6. La mayoría de los estudiantes (60%) no tuvieron claridad acerca de la dirección de la fuerza de rozamiento al caminar y al detenernos.

Pregunta Nº 7. Sólo el 36,66% de los estudiantes explicaron acertadamente las características de la fuerza de rozamiento.

Pregunta Nº 8. La mayoría de los estudiantes (60%) se equivocaron al construir los diagramas de cuerpo libre en diversas situaciones.

Pregunta Nº 9. Sólo una minoría de estudiantes (20%) entendió la relación entre la tensión y el peso de un cuerpo.

Pregunta Nº 10. El 60% de los estudiantes no tuvieron claro el concepto de acción y reacción en una cuerda tensa.

Con base en los resultados de la prueba (Anexo G), podemos concluir que las preguntas donde más dificultad tuvieron los estudiantes fueron la 9, 4, 5 y 7, la de menos dificultad fue la 3. Las restantes tuvieron un comportamiento parecido en cuanto al nivel de dificultad.

8.3. Estadísticos descriptivos de la prueba inicial

En la siguiente tabla se resumen los resultados obtenidos en la prueba inicial. Hemos llamado 1 a las respuestas correctas y 0 a las incorrectas.

Preguntas	Valoración	
	0	1
1	63,34	36,66
2	60,00	40,00
3	33,34	66,66
4	70,00	30,00
5	63,34	36,66
6	60,00	40,00
7	63,34	36,66
8	60,00	40,00
9	80,00	20,00
10	60,00	40,00
TOTAL	**61,34**	**38,66**

Tabla 16. Resultados Prueba Inicial

Tabla 17. Cálculos estadísticos de la prueba inicial

Preguntas	(% respuestas correctas)	x-$\overline{x}$	$(x-\overline{x})^2$
1	36,66	-2	4,000
2	40,00	1,34	1,795
3	66,66	28	784,000
4	30,00	-8,66	74,995
5	36,66	-2	4,000
6	40,00	1,34	1,795
7	36,66	-2	4,000
8	40,00	1,34	1,795
9	20,00	-18,66	348,195
10	40,00	1,34	1,795
$\overline{x}$	**38,66**		**1226,37**

Desviación Estándar (DE)

$$DE = \sqrt{\frac{\Sigma(x-x)^2}{N}}$$

$$DE = \sqrt{\frac{1226,37}{30}}$$

DE= 6,39

En conclusión, la mayoría de los estudiantes tuvieron dificultades para responder acertadamente la prueba inicial ya que cuando abordan el concepto de fuerza y sus aplicaciones, generalmente presentan falencias para comprender e interpretar fenómenos relacionados con este concepto, en particular cuando se trabaja fuerza de rozamiento; sus concepciones interfieren en el aprendizaje de las ciencias ya que, en general, no son congruentes con los conceptos, las leyes y las teorías científicas. La desviación media para los datos es 6,39 (ver Tabla 17), que es considerada alta comparada con los datos obtenidos.

8.4. Análisis de la Prueba Final

Esta prueba consta de 10 preguntas, las cuales podemos analizar de la siguiente manera:

Pregunta Nº 1. La mayoría de los estudiantes (53,34%) tuvieron claridad acerca del equilibrio de sistemas en diferentes puntos de referencias.

Pregunta Nº 2. El 60% de los estudiantes construyeron correctamente el diagrama de cuerpo libre para un objeto.

Pregunta Nº 3. El 63,33%) de los estudiantes calcularon correctamente la fuerza de rozamiento. Sin embargo, el 3,33% de ellos desmejoró en sus resultados en comparación con la prueba inicial. El resto se mantuvo en su concepción inicial.

Pregunta Nº 4. El 66,68% de los estudiantes construyeron correctamente el diagrama de cuerpo libre, un 6,66% desmejoró en relación con los resultados obtenidos en la prueba inicial.

Pregunta Nº 5. La mayoría de los estudiantes (56,66%) tuvieron claro la relación entre el coeficiente de rozamiento y el peso, como fuerza que contrarresta la normal.

Pregunta Nº 6. El 66,67% de los estudiantes tuvieron claridad acerca de la dirección de la fuerza de fricción.

Pregunta Nº 7. La mitad (50%) de los estudiantes establece claramente la relación entre fuerza de rozamiento y normal.

Pregunta Nº 8. La mayoría de los estudiantes (60%) se equivocaron al establecer la relación entre velocidad y fricción de un cuerpo en un fluido. Esto pudo ocurrir porque en esta situación encontramos v y v^2.

Pregunta Nº 9. El 66,66% tuvo claridad en la dirección que tiene la fuerza de fricción en una caja halada por una persona.

Pregunta Nº 10. El 56,66% de los estudiantes caracterizó correctamente la fuerza de rozamiento.

Analizando las respuestas de la prueba final (Anexo H), podemos concluir que la pregunta más difícil para los estudiantes fue la número 8 y las de menor dificultad aunque sin valoraciones altas fueron las 4, 6 y 9.

8.5. Estadístico descriptivo de la prueba final

En la Tabla 18 se resumen los resultados obtenidos en la prueba final. Hemos aplicado el coeficiente normalizado de Hake [Hake (1998)] asignando 1 para especificar que el estudiante alcanzó el máximo aprendizaje posible, -1 para indicar que el estudiante ha fallado en la totalidad de las preguntas del test en la segunda aplicación; un coeficiente 0 indica que el estudiante obtuvo el mismo puntaje al inicio y al final de la propuesta.

Preguntas	Valoración		
	-1	0	1
1		46,66	53,34
2		40,00	60,00
3	3,33	33,34	63,33
4	6,66	26,66	66,68
5		43,34	56,66
6		33,33	66,67
7		50,00	50,00
8		60,00	40,00
9		33,34	66,66
10		43,34	56,66
TOTAL	**0,999**	**43,70**	**55,30**

Tabla 18. Resultados de la prueba final

Tabla 19. Cálculos estadísticos de la Prueba final

Preguntas	% Respuestas correctas	x-$\overline{x}$	$(x-\overline{x})^2$
1	63,33	8,03	64,480
2	60,00	4,69	21,996
3	53,34	-1,96	3,841
4	66,68	11,38	129,504
5	56,66	1,36	1,849
6	66,67	11,37	129,276
7	50,00	-5,30	28,090
8	40,00	-1,53	2,340
9	66,66	11,36	129,049
10	56,66	1,36	1,849
$\overline{x}$	**55,30**		**511,81**

Desviación Estándar (DE)

$$DE = \sqrt{\frac{\Sigma(x-x)^2}{N}}$$

$$DE = \sqrt{\frac{511,81}{30}}$$

$$DE = 4,13$$

Con base en los datos anteriores, podemos concluir que los estudiantes obtuvieron en promedio (55,30%) resultados positivos en la prueba final, con una disminución en la desviación estándar (4,13). Hubo una mayor asimilación en los conceptos y aplicaciones de la fuerza de rozamiento así como de sus características y variables inherentes a ella como peso, normal, coeficiente de fricción, entre otras.

8.6. Comparativos entre la prueba inicial y la prueba final

Para establecer estos comparativos usaremos el *coeficiente normalizado de aprendizaje personal* del estudiante conocido como Ganancia de Hake [Hake (1998)], expresión que permite calcular el promedio del aprendizaje conceptual en los estudiantes.

La Ganancia de Hake se obtiene con la expresión:

$$G = \begin{cases} \dfrac{FCIpost - FCIpre}{100 - FCIpost}, \text{si FCIpre} \leq \text{FCIpost} \\ \dfrac{FCIpost - FCIpre}{FCIpre}, \text{si FCIpre} > \text{FCIpost} \end{cases}$$

FCIpost es el puntaje porcentual de la prueba final.

FCIpre es el puntaje porcentual de la prueba inicial.

Hake propone categorizar los resultados de la instrucción en las llamadas zonas de ganancia (Hake, 1998) de acuerdo al resultado obtenido de la siguiente forma:

1. Zona de ganancia baja. Menor a 0.34 ($g \leq 0.34$)
2. Zona de ganancia media. Rango de ($0.34 \leq g \leq 0.70$)
3. Zona de ganancia alta. Mayor a 0.70 ($g \geq 0.70$)

Tabla 20. Conocimiento conceptual y razonamiento científico al iniciar la propuesta

Grupo	n	Conocimiento Conceptual	
		Media FCIpre y FCIpost	DE
a	30	38,66	15,27
b	30	55,30	11,64

a. Grupo impartido con metodología tradicional.
b. Grupo impartido con metodología de Aprendizaje Activo

Tabla 21. Ganancias en el aprendizaje conceptual al finalizar la propuesta

Grupo	n	Aprendizaje Conceptual	
		Media G	DE
a	30	0,149	0,240
b	30	0,372	0,220

a. Grupo impartido con metodología tradicional.
b. Grupo impartido con metodología de aprendizaje activo

$$G = \left\{\frac{55{,}30 - 38{,}66}{100 - 55{,}30} = \frac{16{,}64}{44{,}70} = 0{,}372\right.$$

El Rango se encuentra entre $(0.34 \leq g \leq 0.70)$ en la Zona de Ganancia Media, pero con una marcada tendencia al extremo inferior.

Una vez terminada la propuesta y analizando los resultados de esta implementación concluimos que a pesar de no alcanzar altos registros, sí se pueden mejorar los procesos didácticos en el enseñanza de las fuerzas de rozamiento y fue un acierto agregar las componentes de predicción y las experiencias de campo como actividades fundamentales en clase ya que producen mejoras conceptuales en el estudiante y aumentan la motivación del alumnado, pues plantea el reto de realizar una predicción que sea constatada por el experimento. Sin embargo, los resultados pueden ser mejorados en la medida en que vayamos observando los aspectos con más dificultades para reforzarlos y obtener una ganancia mucho más satisfactoria.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el desarrollo de la propuesta se generaron trece guías de trabajo experimental sobre fuerza de rozamiento, de las cuales las 7 primeras (Carácter Vectorial de la Fuerza, Estudio de la Fuerza de Rozamiento de un cuerpo en una superficie horizontal, Medida del coeficiente de rozamiento por deslizamiento, Fuerzas paralelas y formando un ángulo con el plano, Fuerza de rozamiento en un plano inclinado, Influencia de la Viscosidad en la Fricción, Fuerzas de Fricción Estática y Cinética) corresponden a actividades clásicas de laboratorio y las 6 restantes (Fuerza Cualitativo, Incidencia de la Normal en la Fricción, Halones y Empujones, Plano Inclinado en el Parque de Diversiones, Incidencia de los Lubricantes en la Fricción, La Fricción ejercida por el Aire) se refieren a actividades de campo.

Estas guías fueron desarrolladas teniendo en cuenta la estrategia didáctica de aprendizaje activo y específicamente el modelo de clases interactivas demostrativas (CID). En el componente demostrativo se usaron actividades de campo en tiempo real.

En este trabajo se diseñó e implementó una propuesta didáctica que integra la predicción y la experimentación para lograr el aprendizaje de las fuerzas de rozamiento por parte de los estudiantes del grado 10º de la Institución Educativa Media de Patillal.

Una vez terminada la propuesta y analizando los resultados de esta implementación concluimos que sí se pueden mejorar los procesos didácticos en el enseñanza de las fuerzas de rozamiento. Fue un acierto agregar las componentes de predicción y las experiencias de campo como actividades fundamentales en clase ya que produjeron mejoras conceptuales en el estudiante y aumentaron la motivación del alumnado, pues plantea el reto de realizar una predicción que sea contrastada en la experimentación.

El estudiante responde positivamente a la construcción secuencial del concepto de rozamiento, pues muestra comprender el por qué de las ecuaciones. Sin embargo, cuando el razonamiento se hace más complejo y el nivel matemático se incrementa, el estudiante pierde el interés por el tema, debido principalmente al bajo nivel en matemática con el que cuenta. Tal vez los resultados finales no produjeron los niveles de mejora esperados debido a que la parte de predicción y elaboración de ejercicios de aplicación no fue desarrollada por todos los estudiantes.

Fueron determinantes las experiencias de campo, ya que se convirtieron en un elemento motivador porque el estudiante se siente identificado con su entorno y contrasta en vivo los

preconceptos relacionados con la fuerza de rozamiento y lo ayuda a comprender que los modelos teóricos sólo se cumplen para sistemas ideales, ya que no incluyen todos los factores que pueden modificar los resultados del experimento.

En relación con los informes de laboratorio éstos evidencian que los estudiantes logran clarificar algunos conceptos del rozamiento que normalmente causan confusión, como diferenciar entre la fuerza de rozamiento estática y la máxima fuerza de rozamiento estática, pudieron identificar cuándo usar los coeficientes de rozamiento estático y cinético, así como determinar correctamente los factores que producen o no deslizamiento. Algunas aceleraciones son calculadas correctamente, sin embargo, hay dificultades en los procedimientos teóricos cuando se aumenta la complejidad de las ecuaciones.

Al analizar los resultados de la prueba inicial y la final, observamos que la metodología usada mejora los resultados obtenidos en los estudiantes de manera significativa, sin embargo, se esperaba un nivel más alto en ellos. Aunque se evidenciaron avances significativos en relación con la comprensión de conceptos en los informes de las prácticas experimentales, la parte matemática surgió como una limitante que dificultó la obtención de mejores resultados. El bajo desempeño tuvo origen en aquellas situaciones donde se requería relacionar dos o más variables como se puede ver en las preguntas 7 y 8, y en aquellos casos donde se requería el uso de fórmulas y ecuaciones matemáticas como se puede constatar en la pregunta 3.

A manera de recomendación podemos plantear que en forma previa a la aplicación de esta estrategia y luego de aplicada, se puede hacer uso de ella para determinar el cambio de la visión sobre el concepto de fuerza de rozamiento en los estudiantes a los que se les aplican estos talleres en comparación con un grupo de muestra al que no se le aplica.

Los talleres pueden ser modificados para que los estudiantes determinen parámetros como coeficientes de fricción, de arrastre, tensión, aceleración de la gravedad, constante elástica haciendo induciéndolos al uso de métodos numéricos.

Otra recomendación planteada es aumentar la discusión alrededor de los problemas que se plantean en clase, e incluir la realización de pruebas intermedias. Esto sirve, de una parte, para conocer de primera mano cómo están razonando los estudiantes y, de otra parte, para entrenarlos en la inferencia de información no explicita y en la solución de problemas.

ANEXOS

Anexo A. Prueba Inicial

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

MAESTRIA EN CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

Instrumento de Diagnóstico (Aplicado a 30 estudiantes de Décimo Grado de la Unidad Educativa Media de Patillal)

1. ¿Qué papel juega la fuerza de rozamiento en la vida de las personas?
2. ¿Qué actividad requiere de mayor fuerza: empujar un camión varado o un automóvil también varado? Explique.
3. ¿Por qué podemos deslizarnos en el plano inclinado que se encuentra en el parque de la población?
4. Si dos equipos de 5 estudiantes por ejemplo, y con masas aproximadas, compiten halando una cuerda: ¿Qué equipo creen que ganaría? ¿El que hale más duro la cuerda o el que empuje el piso con más fuerza?
5. Si echamos en el salón agua enjabonada, qué pasaría cuando intentemos correr en él? ¿Y halar a un compañero? ¿O empujarlo?

6. Acerca de las dos situaciones mostradas, es correcto afirmar que las fuerzas de rozamiento están dirigidas respectivamente:

A. Un niño que empieza a caminar B. Un niño que se detiene

a. Derecha y derecha

b. Derecha e izquierda

c. Izquierda y derecha

d. Izquierda e izquierda

7. Escriba V o F según crea usted que son características de la fuerza de rozamiento:

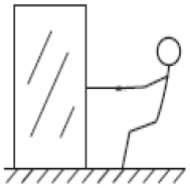
a. Va en contra del movimiento, frenándolo ( )
b. Es la componente paralela de la fuerza de contacto entre el plano y el cuerpo ( )
c. Siempre tiene un aspecto disipativo ( )
d. Depende de las superficies en contacto y del ángulo de aplicación ( )
e. Es independiente del área de contacto ( )

8. Dibuje la fuerza de rozamiento en cada una de las siguientes situaciones:

A. Un niño que empieza a caminar

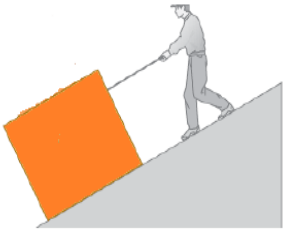
B. Un niño que se detiene

C. Un bloque arrastrado por una persona

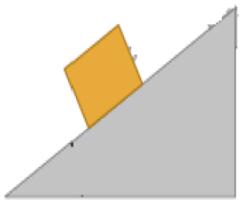


D. Un bloque empujado por una persona

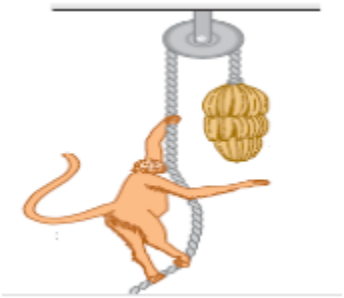
E. Un bloque arrastrado a través de un plano inclinado



F. Un bloque que se desliza a través de un plano inclinado



Responda las preguntas 9 y 10 con base en la siguiente situación:
Un mono sujeta firmemente una cuerda ligera que pasa por una polea sin fricción y está atada a un racimo de plátanos de igual masa que la del mono (como se observa en la figura). El mono ve los plátanos y comienza a trepar por la cuerda para alcanzarlos.



9. Al subir el mono, entonces los plátanos:

a. suben
b. bajan
c. no se mueven
d. suben y bajan alternadamente

10. Al subir el mono, entonces la distancia entre él y los plátanos:

a. disminuye
b. aumenta
c. no cambia
d. aumenta y disminuye alternadamente

Anexo B. Prueba Final

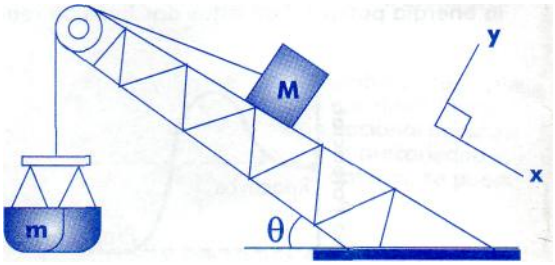
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

MAESTRIA EN CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

Instrumento de Validación de la Propuesta (Aplicado a 30 estudiantes de Décimo Grado de la Unidad Educativa Media de Patillal)

Responde las preguntas 1 y 2 de acuerdo a la siguiente información:

El sistema ilustrado en la figura se utiliza en una construcción civil para subir y bajar el material. El sistema consta de un porta cargas de masa ***m***, un contrapeso de masa ***M*** y una polea fija sostenida por una estructura metálica (la masa de la polea es despreciable y no presenta fricción).



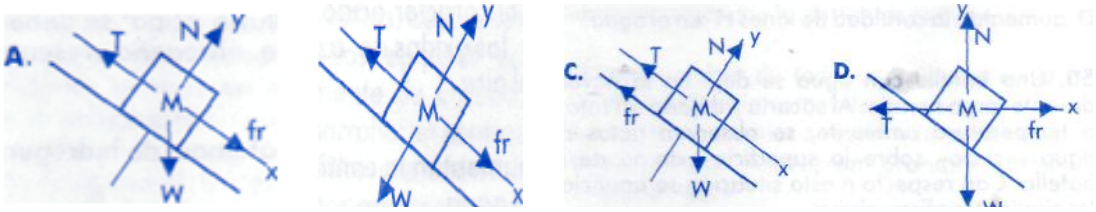
Para ciertos ángulos de inclinación de la estructura metálica respecto a la horizontal, se pueden apreciar dos situaciones cinemáticamente distintas:

I. El sistema porta cargas - contrapeso permanece en reposo.
II. El sistema porta cargas - contrapeso se mueve con velocidad constante.

1. De acuerdo con esto, es correcto concluir que las fuerzas sobre el contrapeso están equilibradas:

A. sólo en la situación I.
B. sólo en la situación II.
C. en ambas situaciones
D. en ninguna de las situaciones.

2. El diagrama de fuerzas para el contrapeso M mientras el porta carga desciende es:



3. Una ecuación que nos permite calcular la fuerza de rozamiento (Fr) es:
(μ= coeficiente de rozamiento, g = gravedad)

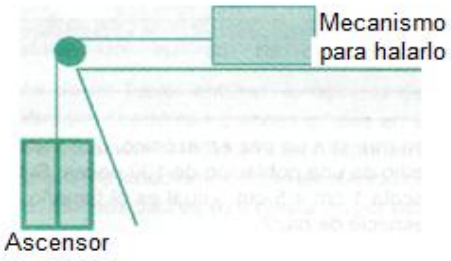
A. μmgcosθ

B. μMgsenθ

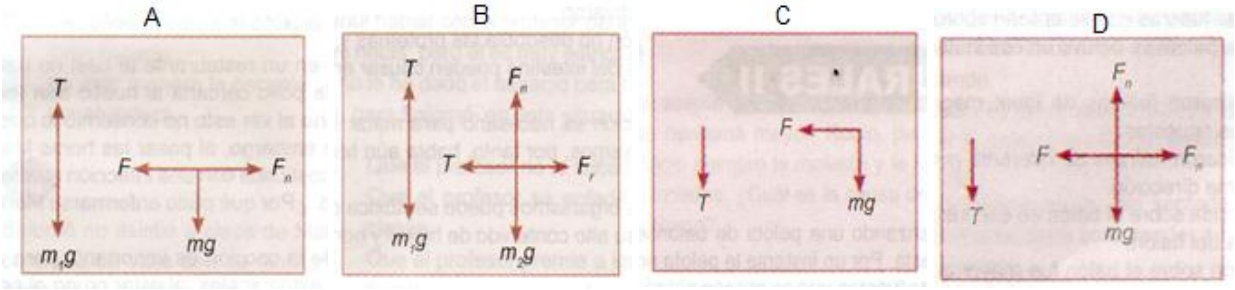
C. μMgcosθ

D. μmgsenθ

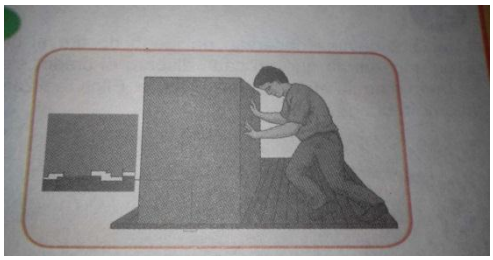
4. Un grupo de niñas está probando un nuevo ascensor para su casa de muñecas. El ascensor tiene la siguiente estructura:



El ascensor se queda quieto solo cuando está en esa posición, de lo contrario este se encuentra arriba o completamente abajo. Con base en esta información y teniendo en cuenta la fricción, ¿cuál diagrama de fuerzas muestra al ascensor cuando está suspendido en el aire?



Responda las preguntas 5 y 6 con base en la siguiente información: Una persona que empuja una caja encuentra que es más fácil agacharse un poco y empujar la caja de forma horizontal.



5. Esto resulta posible porque al empujarla de esta manera:

A. Se reduce el coeficiente de fricción con el piso.

B. Toda la fuerza aplicada está en dirección del movimiento

C. Se reduce el peso de la caja al ser empujada.

D. Se reduce la energía potencial de la caja al agacharse en poco.

6. Acerca de la dirección de la fuerza de fricción, podemos afirmar que ésta va dirigida hacia:

A. la izquierda

B. abajo

C. arriba

D. la derecha

7. Para realizar una actividad de acto cívico, un estudiante debe recoger un parlante y llevarlo al aula múltiple de la institución. Cuando se coloca el parlante al hombro y empieza a caminar, es correcto afirmar que entre él y el piso:

A. Se aumenta la fuerza de rozamiento porque se aumenta la fuerza normal.

B. Se aumenta la fuerza de rozamiento porque se disminuye la normal.

C. Se disminuye la fuerza de rozamiento porque se disminuye la normal.

D. Se disminuye la fuerza de rozamiento porque se aumenta la normal.

8. Tenemos un recipiente el cual hemos llenado con agua. Luego soltamos una piedra que empieza su descenso con una velocidad progresiva. En relación con la fricción entre el agua y la piedra y la velocidad de caída de la misma, podemos asegurar que:

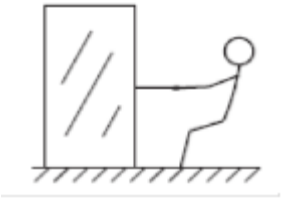
A. A medida que aumenta la velocidad disminuye la fricción

B. A medida que aumenta la velocidad aumenta la fricción

C. La fricción determina la velocidad de la piedra

D. La velocidad y la fricción se comportan en forma independiente.

9. La situación describe a una persona halando una caja.



Acerca de la dirección de la fuerza de rozamiento de la persona y la caja respecto al piso son respectivamente.

a. Derecha y derecha
b. Derecha e izquierda
c. Izquierda y derecha
d. Izquierda e izquierda

10. De las siguientes afirmaciones, **NO** es una característica de la fuerza de rozamiento:

A. Es la componente paralela de la fuerza de contacto.

B. Es opuesta al deslizamiento de los cuerpos.

C. Es una fuerza de contacto

D. Siempre tiene un efecto disipativo

Anexo C. Muestra de Aplicación de la Prueba Inicial

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
MAESTRIA EN CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
AREA: Ciencias Naturales ASIGNATURA: Física
Colegio Educación Media de Patillal
GRADO Décimo
DOCENTE: Luis Miguel Gutiérrez Gutiérrez

Ronald Angarita

PRUEBA DIAGNÓSTICA DE FÍSICA

Instrumento de Diagnóstico (Aplicado a 30 estudiantes de Décimo Grado de la Unidad Educativa Media de Patillal)

1. ¿Qué papel juega la fuerza de rozamiento en la vida de las personas?
Nos permite situaciones como caminar y detenernos

2. ¿Qué actividad requiere de mayor fuerza, ¿empujar un camión varado o un automóvil también varado? Explique.
Empujar un camión varado, porque pesa más

3. ¿Por qué podemos deslizarnos en el plano inclinado que se encuentra en el parque de la población?
Porque con la inclinación se reduce la fricción

4. Si dos equipos de 5 estudiantes por ejemplo, y con masas aproximadas, compiten halando una cuerda: ¿Qué equipo creen que ganaría? ¿El que hale más duro la cuerda o el que empuje el piso con más fuerza?
El que hala más duro la cuerda.

5. Si echamos en el salón agua enjabonada, qué pasaría cuando intentemos correr en él? ¿Y halar a un compañero? ¿O empujarlo?
Deslizamos fácilmente. Sería una acción peligrosa

6. Acerca de las dos situaciones mostradas, es correcto afirmar que las fuerzas de rozamiento están dirigidas respectivamente:

A. Un niño que empieza a caminar B. Un niño que se detiene

a. Derecha y derecha
b. Derecha e izquierda
c. Izquierda y derecha
d. Izquierda e izquierda

7. Escriba V o F según crea usted que son características de la fuerza de rozamiento:

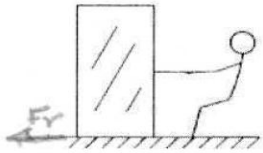
a. Va en contra del movimiento, frenándolo (V)
b. Es la componente paralela de la fuerza de contacto entre el plano y el cuerpo (V)
c. Siempre tiene un aspecto disipativo (V)
d. Depende de las superficies en contacto y del ángulo de aplicación (V)
e. Es independiente del área de contacto (F)

8. Dibuje la fuerza de rozamiento en cada una de las siguientes situaciones:

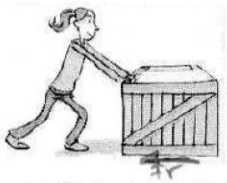
A. Un niño que empieza a caminar

B. Un niño que se detiene

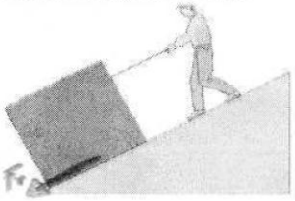
C. Un bloque arrastrado por una persona



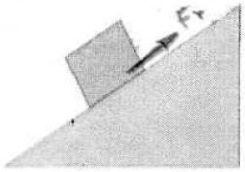
D. Un bloque empujado por una persona



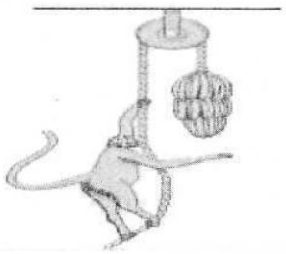
E. Un bloque arrastrado a través de un plano inclinado



F. Un bloque que se desliza a través de un plano inclinado



Responda las preguntas 9 y 10 con base en la siguiente situación:
Un mono sujeta firmemente una cuerda ligera que pasa por una polea sin fricción y está atada a un racimo de plátanos de igual masa que la del mono (como se observa en la figura). El mono ve los plátanos y comienza a trepar por la cuerda para alcanzarlos.



9. Al subir el mono, entonces los plátanos:
a. suben
b. bajan
c. no se mueven
d. suben y bajan alternadamente

10. Al subir el mono, entonces la distancia entre él y los plátanos:
a. disminuye
b. aumenta
c. no cambia
d. aumenta y disminuye alternadamente

Anexo D. Muestra de Aplicación de la Prueba Final

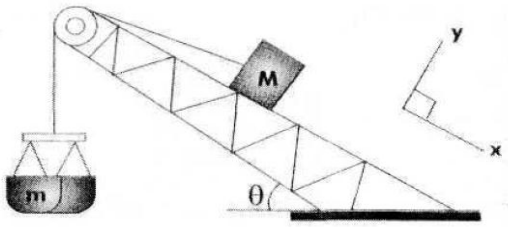
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
MAESTRIA EN CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
AREA: Ciencias Naturales ASIGNATURA: Física
Colegio Educación Media de Patillal
GRADO Décimo
DOCENTE: Luis Miguel Gutiérrez Gutiérrez

Keren Arias

PRUEBA FINAL DE FÍSICA

Instrumento de Validación de la Propuesta (Aplicado a 30 estudiantes de Décimo Grado del Colegio Educación Media de Patillal)

Responde las preguntas 1 y 2 de acuerdo a la siguiente información:
El sistema ilustrado en la figura se utiliza en una construcción civil para subir y bajar el material. El sistema consta de un porta cargas de masa ***m***, un contrapeso de masa ***M*** y una polea fija sostenida por una estructura metálica (la masa de la polea es despreciable y no presenta fricción).

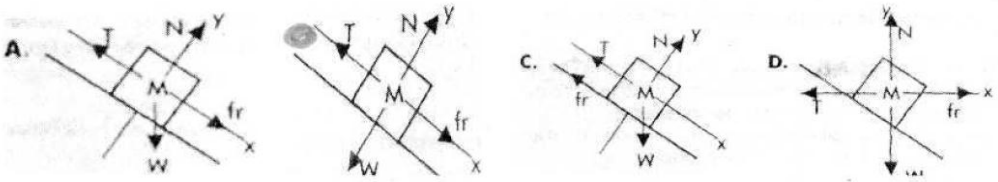


Para ciertos ángulos de inclinación de la estructura metálica respecto a la horizontal, se pueden apreciar dos situaciones cinemáticamente distintas:

I. El sistema porta cargas - contrapeso permanece en reposo.
II. El sistema porta cargas - contrapeso se mueve con velocidad constante.
1. De acuerdo con esto, es correcto concluir que las fuerzas sobre el contrapeso están equilibradas:

A. sólo en la situación I.
B. sólo en la situación II.
C. en ambas situaciones
D. en ninguna de las situaciones.

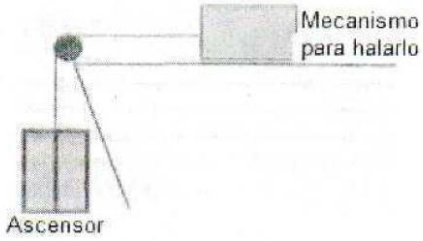
2. El diagrama de fuerzas para el contrapeso M mientras el porta carga desciende es:



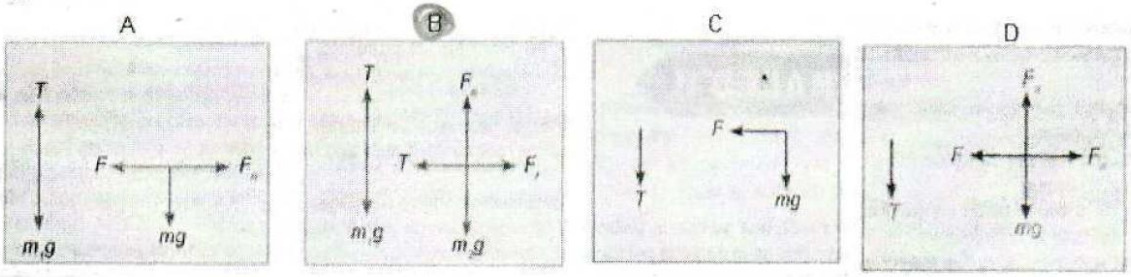
3. Una ecuación que nos permite calcular la fuerza de rozamiento (Fr) es:
(μ= coeficiente de rozamiento, g = gravedad)

A. μmgcosθ
B. μMgsenθ
C. μMgcosθ
D. μmgsenθ

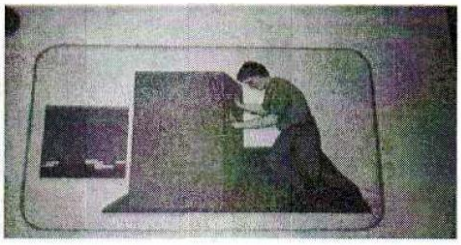
4. Un grupo de niñas está probando un nuevo ascensor para su casa de muñecas. El ascensor tiene la siguiente estructura:



El ascensor se queda quieto solo cuando está en esa posición, de lo contrario este se encuentra arriba o completamente abajo
Con base en esta información y teniendo en cuenta la fricción, ¿cuál diagrama de fuerzas muestra al ascensor cuando est
suspendido en el aire?



Responda las preguntas 5 y 6 con base en la siguiente información: Una persona que empuja una caja encuentra que es má
fácil agacharse un poco y empujar la caja de forma horizontal.



5. Esto resulta posible porque al empujarla de esta manera:

A. Se reduce el coeficiente de fricción con el piso.

B. Toda la fuerza aplicada está en dirección del movimiento

C. Se reduce el peso de la caja al ser empujada.

D. Se reduce la energía potencial de la caja al agacharse en poco.

6. Acerca de la dirección de la fuerza de fricción, podemos afirmar que ésta va dirigida hacia:
A. la izquierda
B. abajo
C. arriba
D. derecha

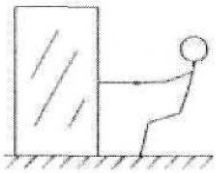
7. Para realizar una actividad de acto cívico, un estudiante debe recoger un parlante y llevarlo al aula múltiple de la institución. Cuando se coloca el parlante al hombro y empieza a caminar, es correcto afirmar que entre él y el piso:

A. Se aumenta la fuerza de rozamiento porque se aumenta la fuerza normal.
B. Se aumenta la fuerza de rozamiento porque se disminuye la normal.
C. Se disminuye la fuerza de rozamiento porque se disminuye la normal.
D. Se disminuye la fuerza de rozamiento porque se aumenta la normal.

8. Tenemos un recipiente el cual hemos llenado con agua. Luego soltamos una piedra que empieza su descenso con una velocidad progresiva. En relación con la fricción entre el agua y la piedra y la velocidad de caída de la misma, podemos asegurar que:

A. A medida que aumenta la velocidad disminuye la fricción
B. A medida que aumenta la velocidad aumenta la fricción
C. La fricción determina la velocidad de la piedra
D. La velocidad y la fricción se comportan en forma independiente.

9. La situación describe a una persona halando una caja.



Acerca de la dirección de la fuerza de rozamiento de la persona y la caja respecto al piso son respectivamente.

a. Derecha y derecha
b. Derecha e izquierda
c. Izquierda y derecha
d. Izquierda e izquierda

10. De las siguientes afirmaciones, **NO** es una característica de la fuerza de rozamiento:

A. Es la componente paralela de la fuerza de contacto.
B. Es opuesta al deslizamiento de los cuerpos.
C. Es una fuerza de contacto
D. Siempre tiene un efecto disipativo

Anexo E. Muestra de Registro de Predicciones Grupales. Carácter Vectorial de la Fuerza.

Masas	Lectura en el Dinamómetro
m_1	1 dina
m_2	2 dinas
$m_{1+}\ m_2$	3 dinas
$m_1 \perp m_2$	3 dinas

Tabla 22. Muestra de Registro de Predicciones Grupales

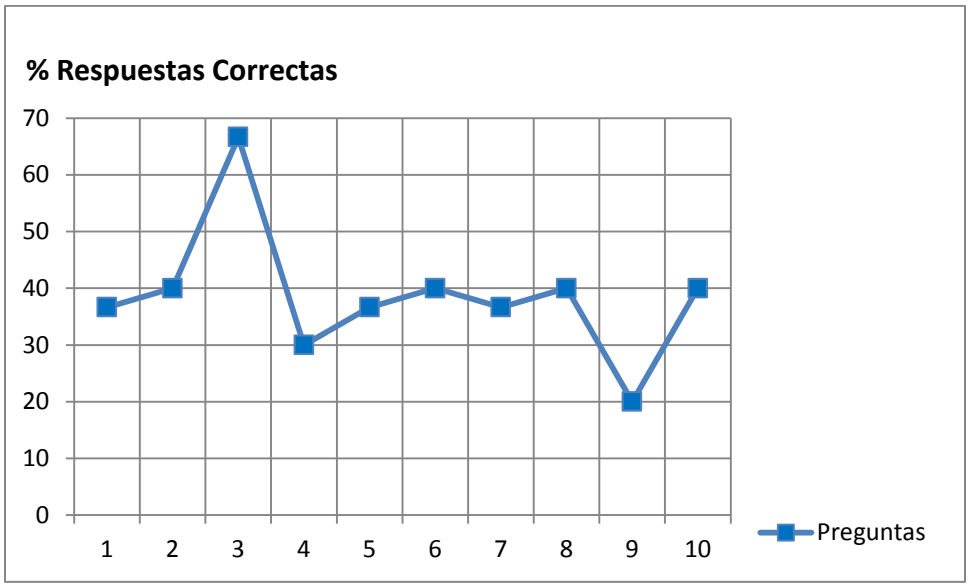
Anexo F. Resultados Pruebas Icfes Instituciones Rurales del Municipio de Valledupar (Año 2015)

PTO	INSTITUCION	CAL	JOR	LC	MAT	SOC	NAT	ING		EVAL
1	EDUCACION MEDIA DE PATILLAL	A	M	49,1	49,7	50,1	50,6	50,6	49,9	36
2	LUIS RODRIGUEZ VALERA (Los Venados)	A	M	48,8	47,4	50,0	47,2	46,2	48,2	33
3	COL. DE EDUC. MEDIA (Aguas Blancas)	A	M	45,7	46,4	46,3	45,8	46,2	46,1	32
4	JOSE CELESTINO MUTIS (Guacoche)	A	M	45,7	45,5	45,8	45,6	44,2	45,5	45
5	LUIS OVIDIO RINCON LOBO (Valencia)	A	M	45,5	46,4	43,9	46,0	46,4	45,5	26
6	VIRGEN DEL CARMEN (La Mesa)	A	M	45,3	44,4	44,9	45,7	46,4	45,2	14
7	RODOLFO CASTRO CASTRO (Mariangola)	A	M	44,1	45,5	42,3	45,8	44,7	44,4	37
8	SAN ISIDRO LABRADOR (Atánquez)	A	M	43,3	44,3	44,0	45,5	43,9	44,2	63
9	INSTITUTO DE PROMOCION SOCIAL (Guatapurí)	A	M	43,5	41,9	42,0	45,4	45,2	43,4	12
10	INSTITUTO AGRICOLA (La Mina)	A	M	43,9	41,5	45,0	42,2	45,2	43,3	28
11	VILLA GERMANIA	A	M	41,5	41,6	41,4	43,8	45,3	42,3	18
12	LUIS RODRIGUEZ VALERA (Los Venados)	A	T	41,1	39,4	42,0	42,6	43,9	41,5	26
13	ANTONIO E. DIAZ MARTINEZ (Badillo)	A	M	39,3	41,1	41,3	42,2	44,6	41,3	21

Tabla 23. Resultados en la Prueba Icfes en la Zona Rural de Valledupar (2015).

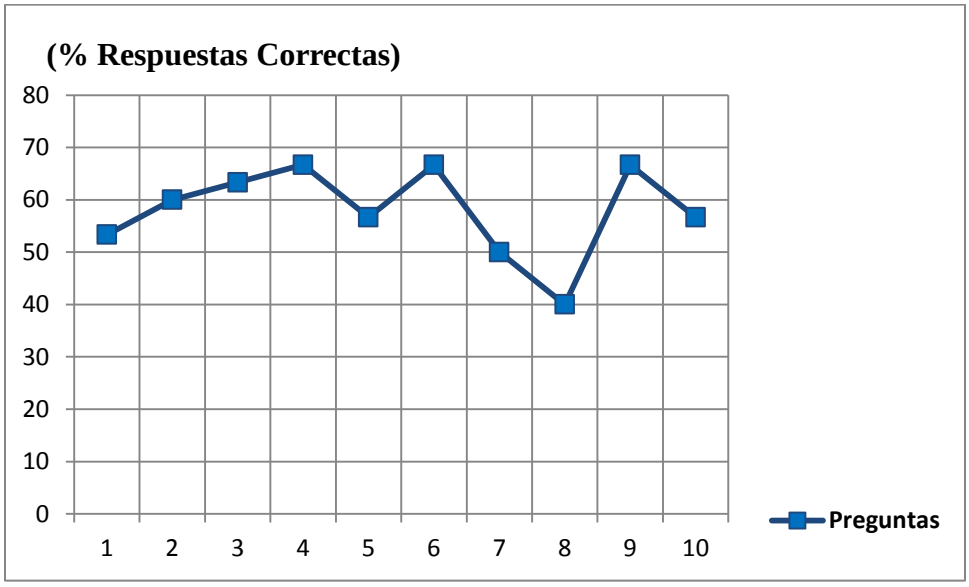
Fuente. Secretaría de Educación Municipio de Valledupar

Anexo G. Porcentaje de Respuestas correctas en la Prueba Inicial



Fuente: Tabla 17. Cálculos estadísticos de la prueba inicial

Anexo H. Porcentaje de Respuestas Correctas en la Prueba Final



Fuente: Tabla 19. Cálculos estadísticos de la prueba final

BIBLIOGRAFIA

[1] MARTÍNEZ, F. (2014). GUÍAS DE TRABAJO EXPERIMENTAL EN DINÁMICA USANDO APRENDIZAJE ACTIVO Y TRACKER. BOGOTÁ, D.C. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.

[2] HICAPIÉ, H. (2011). PREDICCIÓN, EXPERIMENTACIÓN Y SIMULACIÓN EN LA ENSEÑANZA DE LA FUERZA DE ROZAMIENTO. BOGOTÁ. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.

[3] Hincapié, Anderson (2011). Historia del concepto de rozamiento [Figura]. Predicción, Experimentación y Simulación en la Enseñanza de la Fuerza de Rozamiento. Bogotá. Universidad nacional de Colombia.

[4] SEARS, ZEMANSKY, YOUNG, & FREEDMAN (2009). La fuerza como vector [Figura]. Física Universitaria. Pág.129.

[5] FREEDMAN, Y. (2009). FÍSICA UNIVERSITARIA. VOL. 1 Y 2. MÉXICO. PEARSON EDUCACIÓN. Pág. 54.

[6] SERWAY, R. (2008). FISICA PARA CIENCIAS E INGENIERÍA VOL 1. MEXICO. CENGAGE LEARNING EDITORES.

[7] SEARS, ZEMANSKY, YOUNG, & FREEDMAN (2009). Cuerpo en Equilibrio [Figura]. Física Universitaria. Pág.129.

[8] SEARS, ZEMANSKY, YOUNG, & FREEDMAN (2009). Segunda Ley de Newton [Figura]. Física Universitaria. Pág.129.

[9] SEARS, ZEMANSKY, YOUNG, & FREEDMAN (2009). Fuerzas de acción y reacción. [Figura]. Física Universitaria. Pág.129.

[10] SEARS, ZEMANSKY, YOUNG, & FREEDMAN (2009). Física Universitaria. 12 Ed. 202.

[11] Wilson, Jerry D y Buffa, Anthony J. y Bo, L (2007). Física. PEARSON EDUCACIÓN, México.

[12] HERNANDEZ, M. (2012). APRENDIZAJE ACTIVO EN DINÁMICA. MÉXICO. INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL.

[13] SERWAY, R. & JEWETT, J. (2008). Carácter Vectorial de la Fuerza. [Figura]. Física para Ciencias e Ingeniería. Página. 102.

[14] Eagleson H. V. (1945). Diagrama de cuerpo libre que desliza en una superficie horizontal. [Figura]. An experimental method for determining coeffcients of sliding friction. Pp43-44.

[15] Eagleson H. V. (1945). Diagrama de cuerpo libre para coeficiente de rozamiento por deslizamiento. [Figura]. An experimental method for determining coeffcients of sliding friction. Pp43-44.

[16] es.slideshare.net/torimatcordoba/fuerza –de- rozamiento-15376425.Medida de fuerzas paralelas y formando un ángulo con la horizontal [Figura].

[17] es.slideshare.net/torimatcordoba/fuerza –de- rozamiento-15376425.Diagramas de cuerpo libre para fuerzas paralelas y formando ángulos con el plano [Figura].

[18] ALONSO, M. (1971). FISICA MECANICA. MEXICO. FONDO EDUCATIVO INTERAMERICANO.

[19] Alonso, M. (1970). Diagrama de fuerzas para un cuerpo que cae en el seno de un fluido. [Figura]. Física Mecánica. Página 174.

[20] SERWAY, R. (2008). FISICA PARA CIENCIAS E INGENIERÍA VOL 1. MEXICO. CENGAGE LEARNING EDITORES. Página 150.

[21] Eagleson H. V. (1945). Esquema (a nivel microscópico) de las deformaciones de los picos de dos superficies en contacto. An experimental method for determining coeffcients of sliding friction. Pp 43-44. [Figura].