



UASLP

Universidad Autónoma
de San Luis Potosí



**FACULTAD DE
CIENCIAS**

**“ENSEÑANZA DE LA FUERZA DE FRICCIÓN APOYADA EN
LA NOCIÓN DE COMPLEJIDAD Y EN EL
CONTEXTO DE LOS SIMULADORES PHET”**

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**LICENCIADO EN
MATEMÁTICA EDUCATIVA**

PRESENTA:

ESMERALDA JASSO VÁZQUEZ

Directores de tesis:

Dr. Nehemías Moreno Martínez

M. en C. Soraida Cristina Zúñiga Martínez

San Luis Potosí, S.L.P.

Abril de 2019



FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA LA IMPRESIÓN FINAL DE LA TESIS

SECRETARIA GENERAL

FACULTAD DE CIENCIAS

Nombre: Esméralda Jasso Vázquez

Clave: 0178259

Fecha: 14 / Mayo / 2019

Carrera: Lic. en Matemática Edo.

Especialidad: _____

Generación: 2012

Título de la Tesis:

Enseñanza de la fuerza de fricción circunscrita en
la noción de completitud y en el contexto
de los simuladores PhET.

Asesor: Nehemías Moreno Martínez, Soraida Gustavo Zúñiga Mtz.

Adscripción del Asesor: Fac. de Ciencias, Departamento de Física Matemáticas

SINODALES ASIGNADOS

Presidente: César Israel Hernández Vélaz

Secretario: Noé Samuel Sánchez Martínez

Form. to de Autorización para la Impresión Final de la Tesis, Facultad de Ciencias,
UASLP

Vocal: Nehemíu Marco Martínez

Suplente: María del Rosario Sandoval Cedillo

Por medio de la presente atestiguamos que después de leer el documento de tesis
puesto a nuestra consideración, no tenemos recomendaciones o sugerencias a su
contenido y damos nuestra aprobación para que se impriman las versiones finales
del mismo.

Firmas:



Sinodal Presidente



Sinodal Secretario



Sinodal Vocal



Sinodal Suplente

Vo.Bo.



Secretario General



SECRETARIA
GENERAL

DEDICATORIA

A mi hermano Valentín, quien sin escatimar esfuerzos, me apoya incondicionalmente para poder seguir adelante, por creer en mí, ser mi guía y ejemplo a seguir.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mis más sinceros agradecimientos a cada una de las personas que estuvieron apoyándome en este proceso.

En primer lugar, expreso mi especial reconocimiento, gratitud y admiración a mis directores de tesis, al Dr. Nehemías Moreno Martínez y a la M. en C. Soraida Cristina Zúñiga Martínez, por haberme guiado en el proceso de elaboración de esta investigación, por sus consejos y motivación en cada momento.

A la M. en C. Diana Berenice López Tavares, por sus aportaciones tan valiosas en distintas sesiones que han contribuido en la elaboración de esta investigación.

A mis padres, por educarme y convertirme en una persona de bien y una profesionalista íntegra y honesta, por brindarme su apoyo incondicional y amor sincero.

A mis hermanos, por estar siempre a mi lado apoyándome en este trayecto de mi vida.

A mis amigos, por permitirme aprender a su lado compartiendo experiencias y conocimientos que nos llevaron mano a mano a conquistar nuestras metas.

A todos ellos agradezco de corazón.

RESUMEN

Actualmente nos podemos percatar de que los profesores enseñan el concepto de fuerza de fricción de una manera tradicional, donde se les presenta a los estudiantes los temas a través de definiciones y fórmulas, generando que los alumnos apliquen prácticas memorísticas y algorítmicas de aprendizaje en lugar de la reflexión.

De la misma manera, los libros de texto contribuyen a la enseñanza tradicional ya que solamente describen un contexto para abordar el tema de fuerza de fricción con una sola propiedad, $f = \mu N$, describiendo que es siempre opuesta al movimiento, dotándolos de herramientas específicas y no de las necesarias para poder resolver problemas que se les presentan en otras situaciones, incluso, para resolver ejercicios que se proponen en el mismo libro.

Con base en lo anterior y con el desarrollo de esta investigación podemos cuestionarnos sobre:

¿Cómo ayuda la noción de complejidad a la comprensión de la noción física de fuerza de fricción a través del planteamiento de un conjunto representativo de situaciones físicas planteadas en el contexto de los simuladores PhET (Physics Education Technology)?, ¿Cuál es el resultado de aprendizaje en un grupo de estudiantes de ingeniería en la materia de Dinámica, al presentarles distintas situaciones donde aparece la fuerza de fricción utilizando secuencias didácticas y los simuladores PhET?, ¿Cuáles son las diferencias o semejanzas encontradas entre el grupo control y el grupo experimental en relación con el significado de la noción de fuerza de fricción?, ¿Cómo se lograría una perspectiva holística de la fuerza de fricción a través del empleo de los simuladores PhET donde aparece la fricción?, ¿Cómo diseñar secuencias didácticas que permitan estudiar la noción de fuerza de fricción para su implementación en un curso de física de nivel universitario?

En este trabajo se describe una investigación acerca de la propuesta de enseñanza de fuerza de fricción, en el nivel superior considerando el constructo teórico de *complejidad* del Enfoque Ontosemiótico, en el contexto de los simuladores PhET. En dicho contexto se plantea un conjunto de actividades que abordan seis distintas situaciones como son: (I) movimiento en un plano horizontal, (II) movimiento en un plano inclinado, (III) tiro parabólico, (IV) movimiento en una pista en forma de U, (V) movimiento oscilatorio de un resorte y (VI) movimiento de un péndulo. Mediante dichas actividades y con el uso de los simuladores PhET, se ponen de manifiesto los distintos significados y representaciones asociadas a la noción de fuerza de fricción a partir de la reflexión sobre algunos aspectos físicos como son el cambio de dirección y magnitud, la dependencia de la noción de fricción con respecto a otras variables cinemáticas, su relación con el trabajo ejercido sobre un sistema como una transformación de energía, entre otras.

La metodología ha sido implementada en el curso de Dinámica para estudiantes de diferentes carreras de Ingeniería del Área Mecánica Eléctrica de la UASLP con el grupo experimental a fin de contrastarlos con un grupo control que lleve una instrucción tradicional sin

el uso de simuladores PhET y secuencias didácticas también perteneciente a la facultad de Ingeniería de la UASLP, todos los alumnos tenían características de enseñanza similares; dentro de los resultados se hace una descripción del ambiente de aprendizaje. La implementación didáctica se ha realizado en actividades presenciales. El estudio fue con un diseño cualitativo.

La investigación se llevó a cabo en tres fases:

La primera fase consistió en seleccionar los simuladores PhET de la página de la Universidad de Colorado (University of Colorado, 2002). Únicamente se seleccionaron seis simulaciones en el apartado de Movimiento y Trabajo, Energía y Potencia, debido a que no se encuentran más simuladores PhET con características y que estén relacionados con fuerza de fricción. Una vez seleccionadas las simulaciones, se diseñaron seis secuencias didácticas con base en una guía que ofrece la página de los simuladores “Guía para el diseño de hojas de trabajo, actividades con simulaciones interactivas PhET” (Universidad de Colorado, 2017), las cuales fueron realizadas de acuerdo a las características que ofrecen cada una de las simulaciones. Así mismo se diseñó el cuestionario final con 12 reactivos del tema fuerza de fricción en distintas situaciones.

En la segunda fase se les aplicó a los alumnos del grupo experimental cada una de las secuencias didácticas apoyadas con las simulaciones correspondientes a cada secuencia. Los alumnos trabajaron una secuencia por sesión de manera individual, en total se trabajó en seis sesiones de 50 minutos cada una, mientras que los alumnos del grupo control seguían con clases tradicionales. En una séptima sesión, a los alumnos del grupo experimental se les aplicó el cuestionario final que contenía 12 reactivos, al igual que a los alumnos del grupo control.

En la tercera fase se evaluaron las respuestas dadas por los alumnos del grupo experimental y del grupo control a través de los Objetos Físico-Matemáticos (OFM) (conceptos, lenguaje, propiedades y argumentos) del Enfoque Ontosemiótico (EOS de aquí en adelante). Los resultados obtenidos de la evaluación fueron favorables por parte de los alumnos del grupo experimental. Por último, se realizó un análisis y una discusión acerca de los resultados obtenidos de la implementación, los cuales son presentados en los tres últimos capítulos del presente documento.

En el primer capítulo se presentan de manera general los antecedentes del tema, se incluye un tratamiento de fuerza de fricción de los libros de texto, así como la fuerza de fricción en el programa de la asignatura. Acto seguido se presentan las investigaciones previas sobre la fuerza de fricción en la enseñanza y aprendizaje así como la fuerza de fricción disciplinar. Se establecen el objetivo general y se finaliza el capítulo con la justificación y el problema de investigación.

El segundo capítulo contiene las hipótesis y preguntas de investigación, posteriormente se presenta el tercer capítulo el cual contiene el Marco teórico que sustenta con fundamentos teóricos esta investigación. En el cuarto capítulo se encuentra la metodología utilizada, donde se plantea un diseño cualitativo con el detalle de los instrumentos de recolección de datos y los sujetos

participantes dentro de la investigación. En el quinto capítulo se presentan los resultados, con la definición de los procedimientos para la construcción de la información, la identificación de participantes y los resultados que arroja cada uno de los instrumentos utilizados. Acto seguido se presenta el sexto capítulo que corresponde al análisis y discusión sobre los datos obtenidos por los alumnos estudiados en esta investigación. En el séptimo capítulo se encuentran las conclusiones que permiten una visión global de lo realizado hasta ahora.

El último apartado corresponde a las referencias que han sido consultadas y que orientó la realización y consolidación de este trabajo de investigación. Así mismo, en los Apéndice se incorporan aquellos documentos que no se han incluido en los capítulos pero que son necesarios para futuras consultas.

CONTENIDO

RESUMEN	6
INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES	13
1.1 Tratamiento de la fuerza de fricción en libros de texto de nivel superior.	14
1.1.1 Algunas reflexiones acerca del tratamiento que realizan los libros de texto sobre la fuerza de fricción	25
1.2 La fuerza de fricción en el programa de la asignatura	26
1.3 Investigaciones previas	29
1.4. Problema de investigación.....	31
1.4.2 Objetivo general de la investigación.	31
1.4.3 Objetivos específicos	31
1.4.4 Justificación.....	32
CAPÍTULO 2. HIPÓTESIS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	34
2.1. Hipótesis y preguntas de investigación	35
CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO	38
3.1 El Enfoque Ontosemiótico	39
3.2 La complejidad del concepto de fuerza de fricción en el ámbito escolar.....	44
CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA	50
4.1. Perspectiva metodológica.....	51
4.2. Población.....	52
4.3. Esquema de investigación	52
4.4. Instrumentos de recolección de datos	53
4.5. El diseño metodológico de la investigación	53
4.5.1 Configuraciones epistémicas y simulaciones seleccionadas	54
4.5.2 Descripción del diseño de las secuencias	57
4.6. Implementación en el aula.....	60
4.7. Evaluación del cuestionario final.....	60
CAPÍTULO 5. RESULTADOS	61
CAPÍTULO 6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	109
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES	117
REFERENCIAS	121
APÉNDICE I	124

APÉNDICE II. Tablas de resultados 135

INTRODUCCIÓN

La noción de fuerza de fricción ha sido investigada por diferentes autores, algunos centrados en el tratamiento de los libros de texto, otros en la idea que tienen los alumnos sobre dicho concepto y otros sugieren y proponen alguna implementación para mejorar la enseñanza en el aula.

Se han realizado diversas propuestas para mejorar el aprendizaje de los estudiantes de nivel medio superior y superior por Moreno, Font y Ramírez (2016), Arcodía e Islas (2006), Los autores López y Covalada (2005), Concari, Pozzo y Giorgi (1999), Hincapié (2011) y Moreno, Angulo y Reducindo (2018), lo cual ha influido en las metodologías y estrategias de enseñanza-aprendizaje así como en la evaluación, que requieren de una mejora en la práctica docente e involucrar a los estudiantes en la construcción de su conocimiento.

Actualmente nos podemos percatar de que, en las aulas, los profesores les enseñan física a los estudiantes de una manera tradicional y solamente en un contexto físico, propiciando la memorización de conceptos y aplicación de fórmulas para resolver problemas evitando que reflexionen sobre los problemas. Además, a los alumnos se les plantean problemas que abarcan diversos contextos pero ellos no se encuentran capacitados para resolver dichos problemas ya que solamente se les presentó en un solo contexto.

La noción de complejidad se apoya en diversos contextos o situaciones, sin embargo, no es posible disponer de ellos en el laboratorio. A pesar de ello, el empleo de los simuladores PhET como apoyo extra en clase aparece como un elemento relevante dentro de la propuesta.

En este trabajo se presenta una estrategia educativa para favorecer la enseñanza-aprendizaje sobre la noción de complejidad del concepto de fuerza de fricción mediante los simuladores PhET y secuencias didácticas, aplicada a un grupo de 18 estudiantes de ingeniería que cursan la asignatura de Dinámica.

La finalidad de esta investigación es considerar la noción de complejidad (desde el Enfoque Ontosemiótico) en temas de la física escolar (en este caso para la fuerza de fricción) en la práctica docente, ya que podría ayudar a favorecer los procesos de enseñanza-aprendizaje mediante el diseño de nuevas estrategias de enseñanza y así los alumnos obtengan un conocimiento más amplio.

Los elementos teóricos empleados en esta investigación son los objetos físico-matemáticos primarios, configuración de objetos, función semiótica, prácticas y sistemas de prácticas, así como los procesos cognitivos tales como materialización, idealización, significación y generalización.

En esta investigación se analizan los resultados de un grupo de estudiantes universitarios tras la aplicación de seis secuencias didácticas apoyadas en los simuladores PhET y las respuestas dadas por los alumnos, tanto del grupo experimental como del grupo control, al cuestionario final,

el cual fue evaluado mediante los objetos físico-matemáticos (conceptos, argumentos, propiedades y lenguaje).

El objetivo de esta investigación es conocer cuál es el efecto de implementar un conjunto de situaciones didácticas mediante simuladores PhET en el aprendizaje de los estudiantes donde se presenta la fuerza de fricción en distintos contextos.



CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

Capítulo 1. Antecedentes

En el presente capítulo se presenta el tratamiento del tema fuerza de fricción en los libros de texto de nivel universitario, la fuerza de fricción en el programa de la asignatura de Dinámica de nivel superior, investigaciones previas relacionadas con propuestas a la enseñanza de la física y el problema de investigación relacionado con la enseñanza actual de la física escolar en el aula.

Así mismo, se trata de aspectos que motivaron la realización de la investigación debido a la enseñanza tradicional de la física escolar que se ha implementado hasta el día de hoy dentro de las aulas, en donde los alumnos adquieren un aprendizaje mediante fórmulas y conceptos. Es por ello que se plantea la noción de complejidad para mejorar la enseñanza y el aprendizaje de la física escolar implementando distintas tareas que fomenten en los estudiantes un aprendizaje significativo propiciando la reflexión.

1.1 Tratamiento de la fuerza de fricción en libros de texto de nivel superior.

Se realizó una revisión de tres libros de texto (*Pérez, 2014; Serway, 1994; Tippens, 1992*) utilizados en la enseñanza de la física para el nivel medio superior y superior. El propósito del análisis de dichos libros fue observar cómo presentan el tema de fuerza de fricción en cada uno de ellos, si son similares en el tratamiento de tema, cuáles son las situaciones y ejercicios que se les presentan.

Se puede observar que, en esencia, la enseñanza de la fuerza de fricción está descrita en un solo contexto, donde un cuerpo se desliza sobre una superficie horizontal rugosa y dejando de lado otros contextos que muestran las distintas propiedades de la fuerza de fricción.

Al final de la revisión de cada libro, se presenta una tabla donde se muestra la relación de la fuerza de fricción con otros temas.

Revisión del libro (Pérez, 2014)

Al realizar el análisis del tratamiento del tema de fricción en el libro de texto de Física para bachillerato de nombre Pérez, se observa una definición tradicional sobre el concepto de fricción, en donde describen que la fuerza de fricción siempre se opone al movimiento de un cuerpo cuando éste se encuentra en contacto con otro objeto o sobre una superficie. Así mismo, hacen énfasis en que la fricción es una fuerza tangencial, y que dicha fuerza es paralela a las superficies que están en contacto.

En la misma definición describen dos tipos de fricción que son, la fricción estática y la fricción dinámica o de movimiento, las cuales las definen como:

“la fuerza de fricción estática es la reacción que presenta un cuerpo en reposo oponiéndose a su deslizamiento sobre otra superficie. La fuerza de fricción dinámica tiene una magnitud

igual a la que se requiere aplicar para que un cuerpo se deslice a velocidad constante sobre otro” (Pérez, 2014, p.168).

A dicha definición le sigue la descripción de un experimento sencillo para describir las características de la fuerza de fricción que consiste en colocar sobre un plano horizontal un bloque de peso (P) al cual se le ata un hilo, mismo que tiene en su otro extremo un dinamómetro como se observa en la Figura 1.

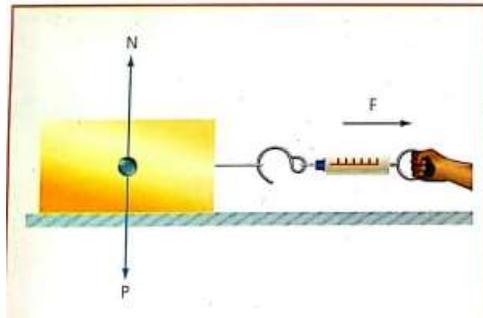


Figura 1. Experimento para estudiar la fricción (Pérez, 2014)

A continuación se presenta una fórmula que determina a la fuerza de fricción, que está dada por $F_{me} = \mu_e N$, donde

F_{me} : la magnitud de la fuerza máxima de la fricción estática

N : valor de la fuerza normal

μ_e : coeficiente de fricción estático

en donde definen al coeficiente de fricción estático como la relación entre la F_{me} y N .

Así mismo se estudia la fuerza de fricción dinámica (F_d) la cual la definen como:

“La fuerza de fricción dinámica que actuará siempre en la misma dirección, pero en sentido contrario al movimiento de un objeto, en donde una vez iniciado el movimiento la fuerza de fricción dinámica se mantiene constante” (Pérez, 2014, p.168).

La definición es descrita mediante la siguiente fórmula: $F_d = \mu_d N$, donde

F_d : magnitud de fricción dinámica

N : valor de la fuerza normal

μ_d : coeficiente de fricción dinámico

donde se define al coeficiente de fricción dinámico como la relación entre F_d y N que tiende a mantener unidas dos superficies.

Después se presenta un listado de problemas resueltos sobre el tema de fricción en donde se pide encontrar el coeficiente de fricción estático, coeficiente de fricción dinámico, la fuerza aplicada (F_d), aceleración, velocidad y distancia, utilizando las fórmulas anteriormente dadas, como se

muestra en la Figura 2, en donde se desea encontrar el coeficiente de fricción estático cuando se le aplica una fuerza de fricción máxima a una viga de madera que se encuentra sobre una superficie horizontal.

Resolución de problemas de fricción

❶ Un instante antes de que una viga de madera que tiene un peso con una magnitud de 490 N comience a deslizarse sobre una superficie horizontal de cemento, se aplica una fuerza máxima de fricción estática cuya magnitud es de 392 N, como se ve en la figura. Calcular el coeficiente de fricción estático entre la madera y el cemento.

Solución:

Datos
 $P = N = 490 \text{ N}$
 $F_{me} = 392 \text{ N}$
 $\mu_0 = ?$

Fórmula

$$\mu_0 = \frac{F_{me}}{N}$$

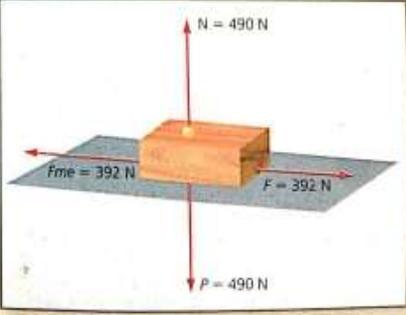
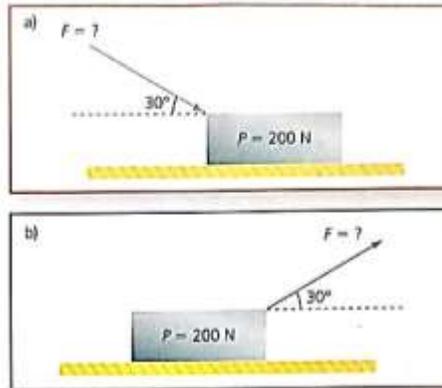


Figura 2. Resolución de un problema de fricción (Pérez, 2014)

Al final del tema se muestra un listado de ejercicios propuestos, los cuales son ejercicios similares a los ejemplos antes mencionados, en donde se presentan objetos que son jalados sobre una superficie horizontal y una superficie inclinada, como se puede apreciar en la Figura 3, que son problemas donde se requiere encontrar el coeficiente de fricción estático y dinámico entre una superficie horizontal y un bloque de madera, algunos otros donde se desea encontrar la magnitud de la fuerza que se debe aplica cuando se empuja o se jala con cierto ángulo un bloque que se encuentra sobre una superficie horizontal, algunos donde se debe calcular el coeficiente de fricción en el mismo sistema de un bloque sobre una superficie horizontal pero involucrando la aceleración y uno más donde se debe de determinar la fuerza que se debe aplicar para que un objeto se mueva a velocidad constante sobre un plano inclinado.

- 1 Un bloque de madera cuyo peso tiene una magnitud de 20 N es jalado con una fuerza máxima estática cuya magnitud es de 12 N; al tratar de deslizarlo sobre una superficie horizontal de madera, ¿cuál es el coeficiente de fricción estático entre las dos superficies?
- 2 Se aplica una fuerza cuya magnitud es de 85 N sobre un cuerpo para deslizarlo a velocidad constante sobre una superficie horizontal. Si la masa del cuerpo es de 21.7 kg, ¿cuál es el coeficiente de fricción dinámico?
- 3 Se requiere mover un bloque cuyo peso tiene una magnitud de 30 N sobre una superficie horizontal a una velocidad constante, si el coeficiente de fricción dinámico es de 0.5, determine la magnitud de la fuerza que se necesita para moverlo y la magnitud de la aceleración que adquirirá el bloque si se le aplica el doble de la magnitud de la fuerza calculada.
- 4 Calcular la magnitud de la fuerza que se debe aplicar para deslizar un bloque cuyo peso tiene una magnitud de 200 N con velocidad constante sobre una superficie con coeficiente de fricción igual a 0.4, al presentarse las siguientes situaciones:

- a) Se empuja el bloque con un ángulo de 30° [figura a].
- b) Se jala el bloque con un ángulo de 30° [figura b].



- 5 Un camión de carga cuyo peso tiene una magnitud de 98 000 N viaja a una velocidad cuya magnitud es de 70 km/h, el conductor aplica los frenos y lo detiene a una distancia de 100 m. ¿Cuál es la magnitud de la fuerza de fricción promedio que lo detiene?
- 6 Sobre un bloque de 40 N se aplica una fuerza cuya magnitud es de 15 N formando un ángulo de 25° con la horizontal, como se ve en la figura. Si el bloque adquiere una aceleración cuya magnitud es de 1.5 m/s² calcular el coeficiente de fricción dinámico.

Figura 3. Ejercicios propuestos (Pérez, 2014)

Contenido	Capítulo y sección del libro	Expresión algebraica de la fricción	Propiedad asociada a la fricción
Caída libre: se estudia la caída de un cuerpo bajo los efectos de la fuerza resistiva que opone el aire	Unidad 4. Cinemática Aceleración y movimiento rectilíneo uniforme -Caída libre de los cuerpos y tiro vertical.	No hay expresiones para la fuerza de fricción debido a que la desprecian en esta sección.	La fuerza de fricción del aire es opuesta al movimiento y causa que el cuerpo adquiera una velocidad límite
Oscilador armónico	Unidad 4. Cinemática Movimiento armónico simple	$m \frac{d^2 y}{dt^2} = -ky$ m: masa y: distancia entre posición de equilibrio y la masa k: constante elástica del resorte. $f = -b \frac{d\vec{x}}{dt}$	La fuerza de fricción en la oscilación de una masa en un resorte se entiende como la relación entre la transferencia de energía.

Péndulo simple	Unidad 4. Cinemática Movimiento armónico simple -Péndulo simple	No hay expresiones para la fuerza de fricción	La transformación de energía es el trabajo ejercido por la fuerza de fricción sobre la oscilación del péndulo.
Fricción	Unidad 5. Dinámica -Fricción	$f_s = \mu_s N$ y $f_k = \mu_k N$ μ_s : Coeficiente de fricción estático μ_k : Coeficiente de fricción dinámico N : Fuerza normal	La fuerza de fricción es la fuerza que existe en el contacto de dos superficies y que es opuesta al movimiento.

Tabla 1. La fuerza de fricción en distintos contenidos del libro (Pérez, 2014)

La tabla 1 muestra los diferentes contenidos en donde se presenta la fuerza de fricción a lo largo del libro de texto pero representada matemáticamente de manera distinta y mostrando diversas propiedades. Existen contextos en donde la noción de fuerza de fricción aparece, por ejemplo, en la caída de un cuerpo bajo la resistencia del aire, esta situación está asociada al concepto de velocidad terminal, en donde la fuerza de fricción es opuesta al movimiento y deja ver una propiedad como $f = \alpha v$, que es distinta a la de otras situaciones.

Otra de las situaciones presentadas es la del movimiento armónico simple, donde la fuerza de fricción está modelada matemáticamente como $f = \mu N$. Aquí la fuerza de fricción aparece con otra propiedad y el sentido cambia periódicamente.

Revisión de libro (Tippens, 1992), segunda edición

Al realizar el análisis del tema de fuerza de fricción en el libro utilizado para la enseñanza de la física en el nivel superior del autor (Tippens, 1992), se puede observar que el tratamiento es similar que el texto anteriormente revisado.

Comienzan describiendo que la fuerza de fricción se produce por el contacto de dos cuerpos que están en movimiento y que existen fuerzas de rozamiento que se oponen al movimiento. Así mismo dan ejemplos de donde se presenta la fricción, “el rozamiento aumenta el trabajo necesario para operar alguna máquina, causa desgaste y genera calor” (Tippens, 1992, p.56).

Nos dice que siempre que una superficie se desliza sobre otra, la fuerza de rozamiento es paralela y opuesta al movimiento.

Acto seguido, nos muestran un ejemplo de la fuerza de fricción, el deslizamiento de un bloque que se desliza sobre una superficie horizontal. En el mismo ejemplo describen el movimiento del bloque cuando este se encuentra en reposo y cuando comienza a su movimiento, refiriendo a la

“fuerza de rozamiento estático” y la “fuerza de rozamiento cinético”. En seguida describen el diagrama de fuerzas¹ cuando el objeto permanece en reposo o en movimiento con velocidad constante. En la misma descripción ejemplifican con una caja que se encuentra en una superficie horizontal sujeta a una cuerda que pasa por una polea de la cual cuelga un objeto. Es entonces cuando aparecen las fórmulas $f_s = \mu_s N$ y $f_k = \mu_k N$

Una vez presentada la teoría y las fórmulas, prosiguen con cuatro ejemplos resueltos, los cuales son de bloques que descansan sobre una superficie horizontal y sobre un plano inclinado, los cuales son empujados o jalados, como se muestran en la figura 4, donde muestran problemas no contextualizados y presentados en un sistema tradicional de una caja sobre una superficie horizontal donde se pretende que los alumnos resuelvan el problema encontrando el coeficiente de fricción estático y cinético de dicho sistema, aplicando las fórmulas previamente presentadas.

EJEMPLO 3-5

Un bloque de 50 lb descansa sobre una superficie horizontal. Se requiere una fuerza horizontal de 10 lb para iniciar el movimiento del bloque. Una vez en movimiento, sólo se necesita una fuerza de 5 lb para mantener una velocidad constante. Encuéntrense los coeficientes de fricción estática y cinética.

Solución

Las palabras clave que deben ser reconocidas son *para iniciar el movimiento y movimiento con velocidad constante*. Las primeras implican fricción estática, mientras que las últimas se refieren a fricción cinética. En cada caso existe una condición de equilibrio. Los diagramas de cuerpo libre correctos se ilustran en las figuras 3-13a y 3-13b. Consideremos la fuerza que contrarresta la fricción estática. Al aplicar la primera condición del equilibrio en la figura 3-13a obtenemos

$$\begin{aligned} \sum F_x = 0 & & 10 \text{ lb} - \mathcal{F}_s = 0 \\ \sum F_y = 0 & & \mathcal{N} - 50 \text{ lb} = 0 \end{aligned}$$

de lo que podemos observar que

$$\mathcal{F}_s = 10 \text{ lb} \quad \mathcal{N} = 50 \text{ lb}$$

Fig. 3-13 a) Se requiere una fuerza de 10 lb para contrarrestar la fuerza máxima de fricción estática. b) Se requiere una fuerza de solamente 5 lb para mover el bloque con velocidad constante.

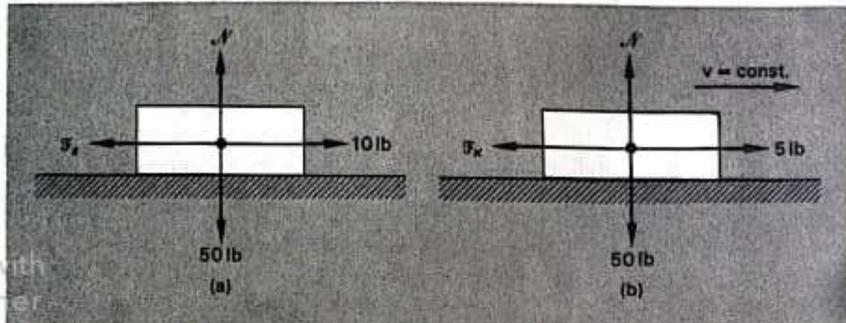


Figura 4. Ejercicio resuelto de fuerza de fricción (Tippens, 1992)

¹ Un diagrama de fuerzas o diagrama de cuerpo libre es un diagrama vectorial que describe todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo u objeto (Tippens, 1992, p. 48).

Al término de los ejemplos, se encuentra un resumen del capítulo, preguntas de tipo abiertas y una serie de ejercicios propuestos, algunos similares a los ejemplos, relacionados con tensión, deslizamiento sobre superficie horizontal y plano inclinado y otros con un mayor grado de dificultad, como se muestra en la figura 5.

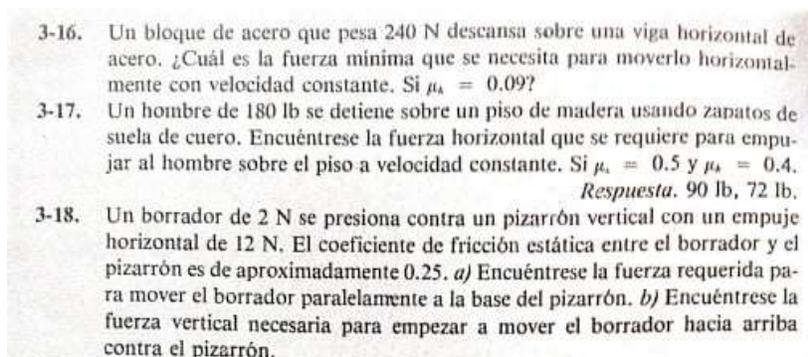


Figura 5. Ejercicios propuestos de fuerza de fricción (Tippens, 1992)

Contenido	Capítulo y sección del libro	Expresión algebraica de la fricción	Propiedad asociada a la fricción
Caída libre: se estudia la caída de un cuerpo bajo los efectos de la fuerza resistiva que opone el aire	Capítulo 5. Movimiento uniformemente acelerado 5.6. Gravedad y caída libre	No hay expresión para la fuerza de fricción, debido a que la desprecian en esta sección.	La fuerza de fricción del aire es opuesta y causa que el cuerpo adquiera una velocidad límite
Rozamiento o fricción: se estudia la fuerza que actúa con el contacto entre dos objetos	Capítulo 3. Equilibrio traslacional 3.6 Rozamiento o fricción	$f_s = \mu_s N$ y $f_k = \mu_k N$ μ_s : coeficiente de fricción estático μ_k : coeficiente de fricción dinámico N : fuerza normal	La fuerza de fricción es la fuerza que existe en el contacto de dos superficies y que es opuesta al movimiento.
Trabajo y energía	Capítulo 8. Trabajo, energía y potencia 8.2 Trabajo resultante 8.3 Energía	8.2 $f_k = \mu_k W \cos \theta$ 8.3 (no hay expresiones) 8.6 $f_k = \mu_k N$ μ_k : coeficiente de fricción dinámico	La transformación de energía es el trabajo ejercido por la fuerza de fricción sobre un sistema.

	8.6 Conservación de la energía	W: peso N: fuerza normal	
Peralte de curvas	Capítulo 10. Movimiento circular uniforme 10.4 Peralte de curvas	$f_s = \mu_s N$ $\frac{mv^2}{R} = \mu_s N$ R: radio de la curva μ_s : coeficiente de fricción estático N: fuerza normal m: masa v: velocidad	La fuerza de fricción sirve como fuerza centrípeta que permite al automóvil seguir una trayectoria circular y es que ésta tiene una dirección perpendicular al desplazamiento del automóvil.

Tabla 2. La fuerza de fricción en distintos contenidos del libro (Tippens, 1992).

La tabla 2 muestra los distintos contenidos en donde se presenta la fuerza de fricción a lo largo del libro de texto anteriormente analizado, en donde la fuerza de fricción es descrita matemáticamente de distinta manera, mostrando diferentes propiedades. Existen contextos en donde la noción de fuerza de fricción aparece, por ejemplo en la caída de un cuerpo bajo la resistencia del aire, esta situación está asociada al concepto de velocidad terminal, en donde la fuerza de fricción es opuesta al movimiento y deja ver una propiedad como $f = av$, que es distinta a la de otras situaciones.

Otra de las situaciones presentadas es la del movimiento de un carro en una curva peraltada, aquí la fuerza de fricción sirve como fuerza centrípeta.

Revisión de libro (Serway, 1994), tercera edición.

El libro de texto de nivel universitario contiene una introducción sobre el concepto de fuerza de fricción, el cual lo describen como un cuerpo que está en movimiento sobre una superficie áspera o a través de un medio viscoso lo cual presenta una resistencia al movimiento, que describen como fuerza de rozamiento.

Para explicar más sobre el concepto, ejemplifican considerando un bloque que se encuentra sobre una superficie horizontal, explicando que la fuerza que evita el movimiento del bloque es la fuerza de rozamiento. Aquí mismo describen la fuerza de rozamiento estática f_s y la fuerza de rozamiento cinética f_k . Por otra parte, el cociente entre la magnitud de la fuerza máxima de rozamiento estática y de la fuerza normal se llama coeficiente de rozamiento estático μ_s de las superficies y se establece que $f_s \leq \mu_s N$, donde el signo de igualdad se obtiene cuando se adquiere su valor máximo y la relación entre la magnitud de la fuerza de rozamiento cinético y la fuerza normal se llama coeficiente de rozamiento cinético μ_k y se establece que $f_k = \mu_k N$.

Así mismo se dice que los valores de dichos coeficientes dependen del material de las superficies en contacto. Además se tiene que la fuerza de rozamiento estática siempre es mayor que la fuerza de rozamiento cinética $\mu_k > \mu_s$.

Por otra parte mencionan que “los coeficientes de rozamiento son casi independientes del área de contacto entre las superficies. Aún cuando el coeficiente de rozamiento cinético varía con la rapidez, se desprecian esas variaciones” (Serway, 1994, p.116).

Acto seguido presentan ejemplos resueltos en un solo contexto, donde se ejemplifican métodos para medir los coeficientes de rozamientos con ejemplos en los que una caja se desliza sobre un plano inclinado, sobre una superficie horizontal y un ejemplo de un bloque sobre una superficie horizontal atado a una polea que del otro extremo de la polea está sujeta un objeto, en donde se determina la aceleración y la tensión de la cuerda como se muestran en la figura 6, en donde se muestra la solución para encontrar los coeficientes entre un bloque y un plano inclinado. También se presenta el ejemplo de una cuerda conectada a una masa en cada uno de sus extremos y que dicha cuerda pasa por una polea donde se explica la solución para encontrar la aceleración de las masas y la tensión de la cuerda.

EJEMPLO 5.8 Determinación experimental de μ_s y μ_k

En este ejemplo se describe un método sencillo para medir los coeficientes de rozamiento entre un objeto y una superficie áspera. Supóngase que el objeto es un bloque pequeño colocado sobre una superficie inclinada con respecto a la horizontal, como en la figura 5.17. El ángulo que forma el plano inclinado se incrementa hasta que el bloque se empieza a deslizar. Midiendo el ángulo θ_c en el que se inicia precisamente este deslizamiento, se obtiene μ_s en forma directa. Se observa que las únicas fuerzas que actúan sobre el bloque son su peso, mg , la fuerza normal, N , y la fuerza de rozamiento estático, f_s . Si se toma x paralela al plano y y perpendicular al mismo, al aplicar la segunda ley de Newton al bloque se tiene

Caso estático: (1) $\sum F_x = mg \cos \theta - f_s = 0$
 (2) $\sum F_y = N - mg \sin \theta = 0$

Se puede eliminar mg si se sustituye $mg = N \sin \theta$ de (2) en (1) para obtener

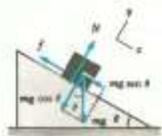
(3) $f_s = mg \cos \theta = \left(\frac{N}{\sin \theta}\right) \cos \theta = N \tan \theta$

Cuando el plano inclinado está en el ángulo crítico, θ_c (llamado el ángulo de reposo), $f_s = f_{s, \max} = \mu_s N$, y por tanto, en este ángulo, (3) queda de la siguiente manera:

$\mu_s N = N \tan \theta_c$

Caso estático: $\mu_s = \tan \theta_c$

Por ejemplo, si se halla que el bloque empieza a deslizarse en $\theta_c = 20^\circ$, entonces $\mu_s = \tan 20^\circ = 0.364$. Una vez que el bloque inicia su movimiento en $\theta \geq \theta_c$, se acelerará



EJEMPLO 5.10 Bloques conectados con fricción □

Un bloque de masa m_1 que está sobre una superficie horizontal y áspera, se conecta a una segunda masa m_2 por medio de una cuerda ligera que pasa sobre una polea ligera y sin fricción, como en la figura 5.19a. Se aplica una fuerza de magnitud F a la masa m_1 , como se indica. El coeficiente de rozamiento cinético entre m_1 y la superficie es μ . Determinese la aceleración de las masas y la tensión en la cuerda.

Solución Se dibujan primero los diagramas de cuerpo libre de m_1 y m_2 , como en las figuras 5.19b y 5.19c. Note que la

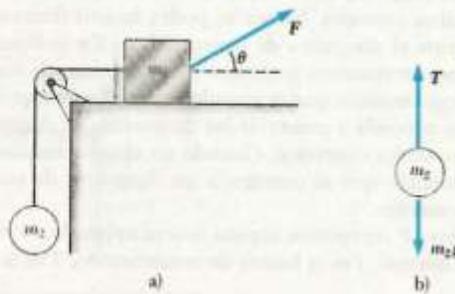


Figura 6. Ejercicio resuelto de fuerza de fricción (Serway, 1994).

Después de los ejercicios presentados, se encuentra un resumen del capítulo. Acto seguido muestran preguntas de tipo abiertas y finalmente un listado de ejercicios propuestos con un grado de dificultad mayor que los ejemplos presentados a lo largo del tema y que son de tipo ficticio

(como el problema 53 de la figura 8). Aquí la fuerza de fricción se presenta en un solo contexto (el de un bloque sobre un plano inclinado y sobre una superficie horizontal) y pretenden que los alumnos apliquen las fórmulas presentadas para poder encontrar valores involucrados en la fuerza de fricción, así como aceleración, distancias, etc. como los presentados en la figura 8, por ejemplo, el rodamiento de las llantas de un vehículo (ver problema 52 de la figura 8) que se plantea en los ejercicios propuestos, el cual es distinto al contexto del bloque sobre la superficie horizontal. Otros de los contextos que se presentan en los ejercicios propuestos son de un bloque que se desliza sobre un plano inclinado, problemas de encontrar la aceleración de un trineo que se desliza sobre una colina, encontrar coeficientes de fricción entre dos superficies, el peso y la fuerza aplicada sobre un objeto.

48. Un bloque de 25 kg está inicialmente en reposo sobre una superficie horizontal áspera. Se requiere una fuerza horizontal de 75 N para hacer que el bloque se ponga en movimiento. Una vez que se encuentra en movimiento, se requiere una fuerza horizontal de 60 N para mantenerlo en movimiento con rapidez constante. Calcule los coeficientes de rozamiento estático y cinético a partir de esta información.
49. El coeficiente de rozamiento estático entre un bloque de 5 kg y una superficie horizontal es de 0.4. ¿Cuál es la fuerza horizontal *máxima* que se puede aplicar al bloque antes de que empiece a resbalar?
50. Un automóvil de carreras se acelera uniformemente desde 0 hasta 80 mi/h en 8 s. La fuerza externa que acelera al automóvil es la fuerza de rozamiento entre los neumáticos y el piso. Si los neumáticos no giran, determine el coeficiente *mínimo* de rozamiento entre los neumáticos y el piso.
51. En un juego de tejo, se le imprime a un disco una rapidez inicial de 5 m/s; el disco recorre una distancia de 8 m antes de quedar en reposo. ¿Cuál es el coeficiente de rozamiento cinético entre el disco y la superficie?
52. Un automóvil se está moviendo a 50 mi/h sobre una carretera horizontal. a) Si el coeficiente de rozamiento entre el piso y los neumáticos en un día lluvioso es de 0.1, ¿cuál es la distancia *mínima* en la que el automóvil se detendrá? b) ¿Cuál es la distancia para detenerse cuando la superficie está seca y $\mu = 0.6$? c) ¿Por qué debe evitarse oprimir de golpe los frenos si se desea detenerlo en la distancia más corta?
53. Un muchacho arrastra su trineo de 60 N a una rapidez constante hacia arriba de una colina que tiene una pendiente de 15° , tirando de él con una fuerza de 25 N por medio de una cuerda que está atada al trineo. Si la cuerda tiene una inclinación de 35° respecto a la horizontal, a) ¿cuál es el coeficiente de rozamiento cinético entre el trineo y la nieve? b) En la cima de la colina él brinca sobre el trineo y se desliza hacia abajo; ¿cuál es su aceleración a lo largo de la pendiente?
54. Un bloque se mueve hacia arriba de un plano inclinado a 45° con rapidez constante con la acción de una fuerza de 15 N aplicada en forma *paralela* al plano. Si el coeficiente de rozamiento cinético es de 0.3, determine a) el peso del bloque y b) la fuerza *mínima* requerida para

Figura 8. Ejercicios propuestos de fuerza de rozamiento (Serway, 1994)

La tabla 3 muestra los distintos contenidos en donde se presenta la fuerza de fricción a lo largo del libro de texto analizado, en donde la fuerza de fricción se aborda matemáticamente de distinta manera, mostrando distintas propiedades. Existen contextos en donde la noción de fuerza de fricción aparece, por ejemplo, en la caída de un cuerpo bajo la resistencia del aire, ésta situación está asociada al concepto de velocidad terminal, en donde la fuerza de fricción es opuesta al movimiento y deja ver una propiedad como $f = \alpha v$, que es distinta a la de otras situaciones.

Contenido	Capítulo y sección del libro	Expresión algebraica de la fricción	Propiedad asociada a la fricción
Caída libre: se estudia la caída de un cuerpo bajo los efectos de la fuerza	Capítulo 3. Movimiento en una dimensión	Se desprecia la fricción en esta sección. No hay	La fuerza de fricción del aire es opuesta y causa que

resistiva que opone el aire	3.5. Cuerpos en caída libre	expresión para la fuerza de fricción.	el cuerpo adquiera una velocidad límite
Fuerza de fricción: se estudia la fuerza que actúa con el contacto entre dos objetos	Capítulo 5. Las leyes del movimiento 3.6. Fuerza de Rozamiento	$f_s = \mu_s N$ y $f_k = \mu_k N$ μ_s : coeficiente de fricción estático μ_k : coeficiente de fricción dinámico N : fuerza normal	La fuerza de fricción es la fuerza que existe en el contacto de dos superficies y que es opuesta al movimiento.
La segunda ley de Newton aplicada al movimiento circular uniforme	Capítulo 6. Movimiento circular y otras aplicaciones de las leyes de Newton. 10.4. Movimiento circular uniforme (movimiento automóvil sobre una curva y curva peraltada)	$f_{s\text{ máx}} = \mu N$ μ_s : coeficiente de fricción estático N : fuerza normal $f_s = m \frac{v^2}{r}$ $N \text{ sen } \theta + F_r \text{ cos } \theta = \frac{mv^2}{R}$ v : velocidad r : radio de la curva $f_{s\text{ máx}}$: fuerza de fricción máxima m : masa	La fuerza de fricción sirve como fuerza centrípeta que permite al automóvil seguir una trayectoria circular.
Trabajo y energía	Capítulo 7. Trabajo y energía 7.5 Trabajo realizado por un resorte	$f = \mu N$ μ : coeficiente de fricción N : fuerza normal $W_f = -fs$ W_f : trabajo realizado por la fricción f : fuerza de fricción s : desplazamiento	La transformación de energía es el trabajo ejercido por la fuerza de fricción sobre un sistema.
Movimiento oscilatorio	Capítulo 13. Movimiento oscilatorio 13.4. El péndulo	$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{g}{L} \text{sen } \theta$ θ : ángulo L : longitud g : gravedad	El trabajo ejercido por la fuerza de fricción está relacionada con el cambio de energía en la oscilación del péndulo.

Tabla 3. La fuerza de fricción en distintos contenidos del libro (Serway, 1994).

A cada una de las situaciones presentadas se le asocian distintas propiedades a la fuerza de fricción, también se puede observar que el sentido que se le asocia a la fricción depende de los conceptos con los que se relaciona.

1.1.1 Algunas reflexiones acerca del tratamiento que realizan los libros de texto sobre la fuerza de fricción

En cada una de las situaciones físicas donde aparece la fuerza de fricción se deja ver una propiedad distinta, en algunos casos la fuerza de fricción se opone al movimiento, pero en otros va en la misma dirección del movimiento pero cambiar de sentido (el oscilador), o bien, tiene una dirección perpendicular al movimiento (movimiento de un vehículo en una curva peraltada), ahí es donde la fuerza de fricción adquiere otro significado dependiendo del contexto.

Sin embargo, cada uno de estos temas son presentados como diversos aspectos, como si se tratara de distintos temas en donde no se involucra la fuerza de fricción, cuando en realidad se trata de un solo tema, la fuerza de fricción.

En el análisis de los textos anteriores, se observa que el tratamiento es muy similares en la descripción del tema de fricción. En primera instancia contienen una breve introducción sobre el concepto de fuerza de fricción donde la describen como aquella fuerza que se produce por el contacto de dos superficies y que es paralela a ellas, así mismo, coinciden en que la fuerza de fricción es opuesta al movimiento.

Posteriormente a la descripción teórica del tema, los escritos muestran una fórmula para calcular la fuerza de fricción la cual describen como: $F_f = \mu N$.

Los textos contienen una serie de ejercicios resueltos, entre ellos se presenta el ejemplo de un objeto jalado en una superficie horizontal, en el que se incluyen conceptos como la fuerza ejercida por una cuerda, propiedades como la segunda Ley de Newton, así como el caso de un objeto sobre un plano inclinada. Finalmente hay un listado de ejercicios para su resolución similares a los ejercicios resueltos.

La manera en que se aborda el tema de la fricción no dota a los estudiantes de la capacidad para poder enfrentar a los problemas que se plantean al final del mismo capítulo, puesto que los contextos que se plantean son escenarios distintos al que se usó para definir la fuerza de fricción. Así mismo se observa que en esa misma sección donde se habla de fuerza de fricción, sólo presentan dos contextos que son la caja sobre una superficie horizontal y la caja sobre un plano inclinado.

La noción de fuerza de fricción se vuelve a presentar al alumno cuando se abordan otros contenidos como el de oscilación, tiro vertical, movimiento circular, etc., en donde la fuerza de fricción se encuentra modelada de otra manera y muestra otras propiedades.

Con base en el análisis anterior, es posible percatarse que los autores dotan al alumno de herramientas específicas, donde sólo se les presentan ejemplos en un solo contexto, y no de herramientas esenciales para resolver problemas en distintos contextos donde aparece la fricción.

1.2 La fuerza de fricción en el programa de la asignatura

En este apartado se describe el programa de la asignatura de Dinámica, así como el programa del curso de Física A, el cual es un curso que toman los alumnos de la facultad de Ingeniería antes del curso de Dinámica y es aquí donde aparece el tema de fuerza de fricción.

Curso de Física A

Dentro del programa que se maneja en el curso de Física A contiene cinco unidades las cuales son: Unidad 1. Herramientas de la física, Unidad 2. La cinemática en una y dos dimensiones y la dinámica, Unidad 3. Energía y conservación de la energía, Unidad 4. Impulso y momentum y Unidad 5. Gravitación universal.

A continuación se describe el contenido de algunas de las unidades.

Unidad 2. La cinemática en una y dos dimensiones y la dinámica

2.1	Movimiento en una dimensión	7h
2.1.1	Movimiento uniforme rectilíneo con aceleración constante	
2.1.2	Análisis gráfico del movimiento	
2.1.3	Posición contra tiempo	
2.1.4	Velocidad contra tiempo	
2.1.5	Aceleración contra tiempo	
2.1.6	Caida libre	
2.1.7	Movimiento en dos dimensiones	
2.1.8	Proyectiles	
2.1.9	Movimiento circular uniforme	
2.1.20	Movimiento circular uniformemente acelerado	
2.1.11	Velocidades relativas	
2.1.12	Aplicaciones.	
2.2	Dinámica 1	4h
2.2.1	Conceptos fundamentales de la dinámica	
2.2.2	Entorno, fuerza, inercia	
2.2.3	Leyes de fuerza	
2.2.4	Leyes de Newton	
2.2.5	Aplicaciones de las leyes de Newton: con un solo cuerpo y con dos o más cuerpos.	
2.2.6	Peso	
2.2.7	Cuerpos suspendidos en equilibrio (estática)	
2.2.8	Cuerpos sobre superficies planas horizontales e inclinadas	
2.2.9	Sistemas de dos o más cuerpos	
2.2.10	Movimiento circular (caso especial)	
2.2.11	Fuerzas de fricción.	
2.2.12	Aplicaciones	

En esta unidad, dentro del tema “Movimiento en una dimensión” incluye subtemas como “Proyectiles” y “Caída libre”, que dichos temas están relacionados con la simulación PhET “**Movimiento de un proyectil**”. En el tema de “Dinámica”, incluye el subtema de “Cuerpos sobre superficies planas horizontales e inclinadas” y “Fuerza de fricción” los cuales están relacionados con las simulaciones PhET “**Fuerza y movimiento**” y “**Rampa: Fuerza y movimiento**”.

Unidad 3. Energía y conservación de la energía

3.1 Trabajo	8h
3.1.1 Producto escalar entre vectores	
3.1.2 Trabajo hecho por una fuerza constante	
3.1.3 Trabajo hecho por una fuerza variable	
3.1.4 Aplicaciones	
3.1.5 El trabajo hecho por:	
3.1.5.1 El campo gravitatorio	
3.1.5.2 El rozamiento	
3.1.5.3 Un resorte	
3.2 Teorema del trabajo y la energía	2h
3.2.1 Definición y análisis	
3.2.2 Aplicaciones	
3.3 Potencia	1h
3.3.1 Definición y análisis	
3.3.2 Aplicaciones	
3.4 Conservación de la energía	9h
3.4.1 Análisis de los intercambios energéticos entre el medio ambiente y una partícula	
3.4.2 Energía potencial	
3.4.3 Definición de sistema	
3.4.4 Sistemas conservativos y no conservativos	
3.4.5 Principios de conservación de la energía	
3.4.6 Aplicaciones a sistemas conservativos y no conservativos	
3.4.7 Sistema masa-resorte	
3.4.8 Sistema partícula-tierra	
3.4.9 Sistema superficie-partícula (rozamiento)	

Esta unidad contiene temas como “Trabajo”, “Teorema del trabajo y la energía”, “Potencia” y “Conservación de la energía”, este último tema contiene el subtema “Sistema masa-resorte” el cual está relacionado con la simulación PhET “**Masas y resortes**”. Los temas como “Energía potencial” y “Conservación de la energía” están relacionados con las simulaciones “**Laboratorio de péndulo**”, “**Masas y resortes**” y “**Energía en la pista de patinaje**”.

Así mismo, para el contenido del curso se sugiere la siguiente bibliografía: Resnick, Halliday & Krane, (2004), Serway & Jewett (2004) y Sears, Zemansky, Young & Freedman (2004).

Curso de Dinámica

El programa del curso de Dinámica de la facultad de ingeniería no contiene el tema de Fuerza de fricción debido a que ya se vio en el curso de Física A, esperando que los alumnos transfieran su conocimiento sobre la fuerza de fricción a nuevas situaciones presentadas en este curso. Se puede

observar el contenido del programa el cual tiene seis unidades las cuales son: Unidad 1. Cinemática de la partícula, Unidad 2. Cinemática de un cuerpo rígido, Unidad 3. Centroides y momentos de inercia de volúmenes, Unidad 4. Dinámica de la partícula, Unidad 5. Trabajo y energía y Unidad 6. Dinámica del cuerpo rígido. A continuación se describe el contenido de algunas de las unidades.

1.- Cinemática de la partícula

- 1.1 Ecuaciones del movimiento
 - 1.1.1 Introducción
 - 1.1.2 Posición, velocidad y aceleración
 - 1.1.3 Determinación del movimiento de una partícula
- 1.2 Movimiento rectilíneo de partículas
 - 1.2.1 Movimiento rectilíneo uniforme
 - 1.2.2 Movimiento rectilíneo uniforme acelerado
- 1.3 Componentes del movimiento
 - 1.3.1 Componentes rectangulares de la velocidad y aceleración
 - 1.3.1.1 Movimiento absoluto
 - 1.3.1.2 Movimiento relativo
 - 1.3.2 Tiro parabólico
 - 1.3.3 Componentes tangencial y normal de la aceleración
 - 1.3.4 Componentes radial y transversal de la velocidad y aceleración

4.- Dinámica de la partícula

- 4.1 Introducción
- 4.2 Leyes de Newton
- 4.3 Expresión matemática de la segunda ley de Newton
- 4.4 Conceptos de masa
- 4.5 Ecuaciones de movimiento para un punto
- 4.6 Movimiento rectilíneo para una partícula
- 4.7 Movimiento curvilíneo de una partícula
- 4.8 Movimiento bajo una fuerza central
- 4.9 Ley de la gravitación universal

La Unidad 4 contiene temas como “Leyes de Newton” y “Expresión matemática de la segunda ley de Newton”, los cuales están relacionados con las primeras dos simulaciones PhET las cuales son “Fuerza y movimiento” y “Rampa: Fuerza y movimiento”.

5.- Trabajo y energía

- 5.1 Introducción
- 5.2 Trabajo de una fuerza
- 5.3 Trabajo de un momento
- 5.4 Energía cinética de una partícula
- 5.5 Principio del trabajo y energía
- 5.6 Energía potencial
- 5.7 Fuerzas conservativas y no conservativas
- 5.8 Principio de conservación de la energía
- 5.9 Potencia y eficiencia

En la Unidad 5 incluyen temas como “Energía cinética de una partícula”, “Energía potencial”, “Principio de conservación de la energía”, que dichos temas están relacionados solamente por la

energía con las simulaciones PhET “Laboratorio de péndulo”, “Masas y resortes” y “Energía en la pista de patinaje”.

También sugieren información bibliográfica para consulta de lecturas: Beer & Johnston, (2010), Seely & Ensign, (1992) y Hibbeler, (1991).

El tema de Fuerza de fricción no aparece en el programa del curso de Dinámica debido a que está incluido en el programa correspondiente al curso de Física A, el cual es un curso que toman los alumnos antes del curso de Dinámica.

En el programa del curso de Física A incluye al tema Fuerza de fricción al final de la “Unidad 2. La cinemática en una y dos dimensiones y la dinámica”, también se puede observar que previo a este tema se incluyen otros temas como “Vectores”, “Cinemática: velocidad”, “Rapidez”, “Movimiento uniformemente rectilíneo con aceleración constante”, “Caída libre”, “Proyectiles”, “Movimiento circular uniforme”, “Leyes de fuerza” y “Leyes de Newton”. Después del tema de fuerza de fricción van temas como “Trabajo y energía”, “Conservación de la energía”, “Centro de masa”, “Gravitación”, entre otros. El concepto de fuerza de fricción aparece, tanto en el programa del curso de Física A como en los libros de texto, de forma separada, pero se puede observar que la fuerza de fricción aparece a lo largo de los temas en distintos contextos, pero eso da la impresión de que se trata de distintas fuerzas de fricción, más bien, lo que sería más viable es que tomaran en cuenta el concepto de complejidad desde el EOS e incluyeran en el mismo tema de fuerza de fricción los contextos en los que aparece la fricción con las distintas propiedades y representaciones, y retomar los temas más adelante incluyendo la formulación matemática avanzada.

1.3 Investigaciones previas

En la siguiente sección se exponen los planteamientos acerca de la física escolar de algunas investigaciones previamente realizadas por los autores Moreno, Font y Ramírez (2016), Arcodía e Islas (2006), López y Covalada (2005), Concari, Pozzo y Giorgi (1999), Hincapié (2011) y Moreno, Angulo y Reducindo (2018).

Algunos autores como Moreno, Font y Ramírez (2016), en su estudio “La importancia de los diagramas en la resolución de problemas de cuerpos deformables en Mecánica: el caso de la fuerza de fricción” exponen actividades relacionadas con la fuerza de fricción y la caracterización de la complejidad de la actividad físico-matemática que realiza un grupo de estudiantes al resolver problemas en los que está involucrada la fuerza de fricción, donde supone una investigación de la comprensión de los estudiantes sobre la fuerza de fricción ya que permite explicar mejor las causas de los errores y dificultades en el aprendizaje de los alumnos y cómo sugerir recomendaciones para la enseñanza. Consideran que para mejorar la enseñanza de la fuerza de rozamiento es importante profundizar más en las situaciones cotidianas que se utilizan como contextos para

estudiar la fuerza de rozamiento, puesto que a pesar de ser familiares al alumno, hay casos en los que no tiene claro el sentido de la fuerza de rozamiento.

Por otra parte, los autores Arcodía e Islas (2006) en su investigación “Las fuerzas de roce en libros de texto y en revistas científicas”, mencionan la realización del análisis de la fuerza de fricción en los libros de texto de nivel medio superior y superior, considerando que el tratamiento de los libros de texto no facilitarían la comparación entre las ideas previas de los estudiantes y las ideas científicas, dado a que no se encuentran expresiones que estimulen a los lectores a reflexionar sobre las situaciones presentadas.

Los autores Concari, Pozzo y Giorgi (1999) en su estudio “Un estudio sobre el rozamiento en libros de física de nivel universitario” mencionan que existe una gran preocupación por las concepciones que los estudiantes tienen acerca de las fuerzas y el movimiento en general, evidenciada en la extensa bibliografía sobre el tema, es por ello que realizan un análisis del contenido de 15 libros de física universitaria con el objetivo de analizar la manera en que se interpreta el modo en que son enunciadas las manifestaciones del fenómeno de rozamiento, los modelos explicativos, las leyes empíricas y los ejemplos.

Los autores López y Covalada (2005) en su investigación “Ideas de los estudiantes sobre los conceptos de fuerza y fuerza de fricción” mencionan que los estudiantes inician los cursos de física sin ideas muy claras sobre determinados conceptos físicos y consideran que los alumnos tienen una muy débil conceptualización de la fuerza de fricción y el concepto de fuerza. Los autores proponen una actividad experimental en la clase de física, haciendo uso de actividades exploratorias de modelación computacional.

Hincapié (2011) en su trabajo “Predicción, experimentación y simulación en la enseñanza de la fuerza de rozamiento” señala que la fuerza de rozamiento es uno de los temas que mayores errores presenta en libros de texto, tanto de educación media como universitarios, y que además son pocas las estrategias didácticas que intenten resolver estos problemas. Así que en su investigación propone una estrategia didáctica para la enseñanza correcta de la fuerza de rozamiento que combina clases magistrales orientadas hacia la predicción, prácticas experimentales y prácticas en simuladores virtuales.

Otros autores como Moreno, Angulo y Reducindo (2018), en su trabajo “La enseñanza de la física: el caso de la fricción” consideran que el aprendizaje de la física y las matemáticas, desde el nivel educativo básico hasta el universitario presenta a los estudiantes dificultades mismas que se reflejan en los resultados de las evaluaciones. Ellos consideran que la complejidad de una noción física en la práctica docente podría ayudar a los alumnos a lograr un aprendizaje más adecuado. Sugieren que es necesario tomar en cuenta la complejidad de las nociones físicas para la enseñanza utilizándolas en distintos contextos y no mirarlas como de una definición o expresión matemática.

1.4. Problema de investigación

Con base en los estudios anteriores, se puede observar que los profesores enseñan concepto de fuerza de fricción de una manera tradicional, donde se les presenta a los estudiantes los temas a través de definiciones y fórmulas, generando que los alumnos apliquen prácticas memorísticas y algorítmicas de aprendizaje en lugar de la reflexión.

De la misma manera, los libros de texto contribuyen a la enseñanza tradicional ya que solamente describen un contexto para abordar el tema de fuerza de fricción con una sola propiedad, $f = \mu N$, y que es siempre opuesta al movimiento, dotándolos de herramientas específicas y no de las necesarias para poder resolver problemas que se les presentan en otras situaciones incluso, para resolver ejercicios que se proponen en el mismo libro.

Con base en lo anterior y con el desarrollo de esta investigación podemos cuestionarnos sobre: ¿Cómo ayuda la noción de complejidad a la comprensión de la noción física de fuerza de fricción a través del planteamiento de un conjunto representativo de situaciones físicas planteadas en el contexto de los simuladores PhET?

El cuestionamiento anterior nos permiten llevar a cabo una investigación profunda para conocer cuáles son las concepciones que tienen los alumnos sobre la fuerza de fricción y cómo se pueden cambiar.

1.4.2 Objetivo general de la investigación.

Conocer cuál es el efecto de implementar un conjunto de situaciones mediante simuladores PhET en el aprendizaje donde se presenta la fuerza de fricción en distintos contextos.

1.4.3 Objetivos específicos

1. Seleccionar los simuladores PhET relacionados con fuerza de fricción.
2. Diseñar secuencias didácticas donde se presenta la fuerza de fricción en diferentes situaciones como caída libre, movimiento de un cuerpo sobre una superficie horizontal, entre otras.
3. Aplicar las secuencias didácticas utilizando los simuladores PhET a estudiantes del grupo experimental de la Facultad de Ingeniería de la UASLP que cursan la materia de Dinámica, a fin de contrastarlos con un grupo control que lleve una instrucción tradicional sin el uso de simuladores PhET y secuencias didácticas.
4. Diseñar un cuestionario final donde involucren preguntas sobre la fuerza de fricción en distintos contextos.

5. Aplicar el cuestionario final a los alumnos del grupo experimental y del grupo control.
6. Identificar la evidencia del efecto de la complejidad de la fuerza de fricción a partir de la producción de los alumnos.
7. Evaluar el cuestionario final mediante el EOS.

1.4.4 Justificación

La investigación educativa se ha convertido en un factor importante para el crecimiento de las universidades en la búsqueda de solución a las problemáticas académicas que enfrentamos hoy día.

Existe una problemática a la que se enfrentan los alumnos y profesores de todos los niveles de educación dentro de la enseñanza-aprendizaje de la física, ya que a muchos alumnos se les presenta gran dificultad el comprender temas de la física escolar, la mayoría de ellos no profundiza en el análisis de la resolución de problemas, ocasionando que apliquen únicamente un algoritmo para resolver problemas físico-matemáticos.

La problemática surge a partir de varios factores, entre ellas la metodología de enseñanza empleada para la enseñanza de la física escolar ya que se considera un factor muy importante que influye en la obtención de los malos resultados arrojados por los estudiantes, ya que solamente se les presenta las nociones físicas mediante definiciones y fórmulas, generando en los estudiantes prácticas memorísticas de aprendizaje e impidiendo el análisis y la reflexión.

Actualmente la enseñanza de la fuerza de fricción en el salón de clases, por parte de los profesores y de los libros de texto, toman en cuenta un solo contexto como son el caso de un objeto que se desliza sobre una superficie horizontal y sobre un plano inclinado. Sin embargo, existen otras situaciones en otros contextos donde se encuentra la fuerza de fricción y en cada contexto, el concepto de fricción se relaciona con un conjunto diferente de significados de tal manera que éste adquiere diferentes representaciones, propiedades y significado.

Los enfoques alternativos a la enseñanza tradicional insisten en la necesidad de que los alumnos desempeñen un papel más activo en clase.

Así mismo, las representaciones visuales de los problemas ayudan a su comprensión y son ampliamente utilizadas en las matemáticas, física y otras disciplinas científicas, ya que nos permiten identificar patrones, describir tendencias, observar correlaciones entre las variables involucradas,

Por ello, la finalidad de esta investigación es indagar la comprensión de la noción física de fuerza de fricción mediante el empleo del constructo Complejidad proveniente del EOS, el cual es una teoría de la Matemática Educativa. Esto podría ayudar a favorecer los procesos de enseñanza-aprendizaje mediante el diseño de nuevas estrategias de enseñanza como puede ser la implementación de tareas que involucren distintos contextos y así los alumnos obtengan un mejor aprendizaje.



CAPÍTULO 2.

HIPÓTESIS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Capítulo 2. Hipótesis y preguntas de investigación

En este capítulo se presentan las hipótesis planteadas y las preguntas de investigación relacionadas a cada una de las hipótesis.

Desde la perspectiva del Enfoque Ontosemiótico, una manera de entender el constructo de la complejidad es a través de la perspectiva dual unitario-sistémico de la noción física de fuerza de fricción. Desde una perspectiva sistémica lo que hay son diferentes representaciones, propiedades y significados, y por otro lado, desde una perspectiva unitaria, se tiene a la fuerza de fricción desde una perspectiva holística que no circunscribe evidentemente, a una definición o una fórmula, sino que más bien se va a particularizar según el contexto que se esté abordando.

En el presente trabajo, a través del constructo de complejidad, se trata de llevar a los estudiantes a través de un proceso de reificación desde una perspectiva sistémica a una perspectiva unitaria con la intención de dotar a los estudiantes de una mejor comprensión de la noción de fuerza de fricción. Con base en estos aspectos teóricos, a continuación, se describen las hipótesis y las preguntas de investigación.

2.1. Hipótesis y preguntas de investigación

En relación con el proceso de reificación, es decir, con el proceso que lleva al sujeto desde una perspectiva sistémica a una perspectiva unitaria, se plantea la idea de que cuando el estudiante se enfrenta con la tarea de describir un conjunto de situaciones físicas que mantienen en común a la fuerza de fricción el estudiante mejora la comprensión de dicha noción. Esta idea se describe a través del planteamiento de la siguiente hipótesis.

Hipótesis 1. La implementación de diferentes situaciones que involucra a la fuerza de fricción a través de los simuladores PhET, proveen a los estudiantes de una perspectiva compleja de la noción de fuerza de fricción, que dota a los alumnos de herramientas para poder resolver problemas de física.

La implementación de la complejidad de la fuerza de fricción en la clase de física involucra cierto conjunto de situaciones físicas, se considera entonces necesario plantear la tarea de describir (y sólo describir, aunque también se podría plantear la tarea de resolver problemas, sin embargo, esto queda fuera del alcance de la presente investigación) distintas situaciones físicas a través del uso de simulaciones PhET. Esto motivó el planteamiento de dos preguntas de investigación.

La primera pregunta tiene que ver con acompañar la simulación PhET con una secuencia didáctica para guiar la exploración, experimentación y descripción del fenómeno simulado.

1. ¿Cuál es el resultado de aprendizaje en un grupo de estudiantes de ingeniería en la materia de Dinámica, al presentarles distintas situaciones donde aparece la fuerza de fricción utilizando secuencias didácticas y los simuladores PhET?

Para conocer el impacto de la implementación de la complejidad de la fricción a través del uso de los simuladores PhET, en la investigación se indagó a dos grupos de estudiantes universitarios. Uno de ellos experimentó con el conjunto secuencia-simulador y el otro realizó el estudio de la fricción en el marco de una enseñanza tradicional. Con esto en mente se planteó la segunda pregunta de investigación.

2. ¿Cuáles son las diferencias o semejanzas encontradas entre el grupo control y el grupo experimental en relación con el significado de la noción de fuerza de fricción?

La respuesta a las dos preguntas anteriores permitirá validar o refutar la primera hipótesis. Esto es, no sólo se trata de mostrar a los alumnos el conjunto de simulaciones sino que también es necesario guiar al alumno tanto en el uso del simulador como en la exploración del fenómeno presentado en la situación simulada. La ganancia de los alumnos a través de su experiencia en cada situación-simulación pretender ser un catalizador para la realización del proceso de reificación.

La hipótesis que se presenta a continuación tiene que ver con el uso de los simuladores PhET y el diseño de secuencias didácticas, así mismo se presentan las preguntas de investigación relacionadas a la hipótesis planteada.

En relación con el proceso de reificación, se plantea otra idea de que cuando el estudiante se enfrenta con la tarea de describir un conjunto de situaciones físicas que mantienen en común a la fuerza de fricción mediante secuencias didácticas y uso de los simuladores PhET, ayuda al estudiante a reflexionar sobre algunas propiedades y representaciones asociadas a la fuerza de fricción, ya que al estudiante solamente se les presenta la formulación de la fuerza de fricción de manera tradicional y en un sólo contexto. Esta idea se describe a través del planteamiento de la siguiente hipótesis.

Hipótesis 2. La aplicación de secuencias didácticas y el uso de los simuladores PhET como recurso extra en clase, ayuda a los alumnos en la reflexión sobre algunos aspectos físicos, propiedades y representaciones asociadas a la fuerza de fricción.

La tercera pregunta tiene que ver con el planteamiento de situaciones didácticas acompañadas de los simuladores PhET.

3. ¿Cómo se lograría una perspectiva holística de la fuerza de fricción a través del empleo de los simuladores PhET donde aparece la fricción?

Es necesario tener en cuenta qué elementos se deben considerar para diseñar secuencias didácticas y qué es lo que se pretende estudiar al implementar dichas secuencias. Esto motivó el planteamiento de la cuarta y última pregunta de investigación.

4. ¿Cómo diseñar secuencias didácticas que permiten estudiar la noción de fuerza de fricción para su implementación en un curso de física de nivel universitario?

La respuesta a las dos preguntas anteriores permitirá validar la segunda hipótesis. No sólo se trata de mostrar a los alumnos el conjunto de secuencias y simulaciones sino que, con apoyo de ellas, los estudiantes reflexionen sobre algunas propiedades y representaciones asociadas a la fuerza de fricción.



CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO

Capítulo 3. Marco teórico

En el presente capítulo se presenta la teoría que sustenta la presente investigación la cual es el Enfoque Ontosemiótico (EOS) propuesta por el investigador Juan D. Godino y colaboradores. Así mismo, para analizar los conceptos empleados por los alumnos del grupo control y del grupo experimental y poder validar la hipótesis de investigación, tomamos en cuenta la categorización de los conceptos descrita en la Teoría de Categorías Ontológicas de los conceptos (TCO) propuesta por Chi y Slotta (1993).

3.1 El Enfoque Ontosemiótico

La teoría empleada en esta investigación proviene de la Matemática Educativa, sin embargo, esta ha sido empleada para la investigación de los fenómenos educativos relacionados con la física escolar o ciencias físicas escolares. Actualmente el EOS propone un conjunto de elementos teóricos que pueden ser clasificados en cinco ejes o grupos: (i) sistema de prácticas, (ii) configuración de objetos y procesos matemáticos, (iii) configuración didáctica, (iv) la dimensión normativa e (v) idoneidad didáctica. Estos ejes permiten estudiar diversos aspectos de la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas escolares, y en nuestro caso, de la física escolar. En la presente investigación únicamente nos apoyaremos en los dos primeros ejes, estos se describen a continuación.

Sistema de prácticas, objetos y configuración de objetos

Se considera una práctica matemática a toda actuación o expresión que puede ser verbal o gráfica, realizada por un sujeto para resolver problemas matemáticos, comunicar a otros la solución obtenida, validarla o generalizarla a otros contextos y problemas (Godino y Batanero, 1994). Las prácticas pueden ser características de una persona o realizadas en una institución.

Desde la perspectiva del Enfoque Ontosemiótico (EOS), cuando un sujeto resuelve un problema físico-matemático implica la realización de un sistema de prácticas donde hace uso de un conjunto de Objetos Físico-Matemáticos Primarios que son:

- **Conceptos:** estos son introducidos mediante definiciones, tales como punto, fuerza, masa, aceleración, materia, entre otros.

Para analizar la producción de los estudiantes del grupo experimental, en la presente investigación nos apoyamos en la clasificación ontológica de los conceptos físicos señalada por la Teoría de las Categorías Ontológicas (TCO) de conceptos que emplea el sujeto (docente o estudiante) del grupo control y del grupo experimental cuando describe una situación física. Para analizar los conceptos tomaremos en cuenta las categorías Materia, Procesos y Estados mentales, las cuales se describen a detalle en la Figura 9.

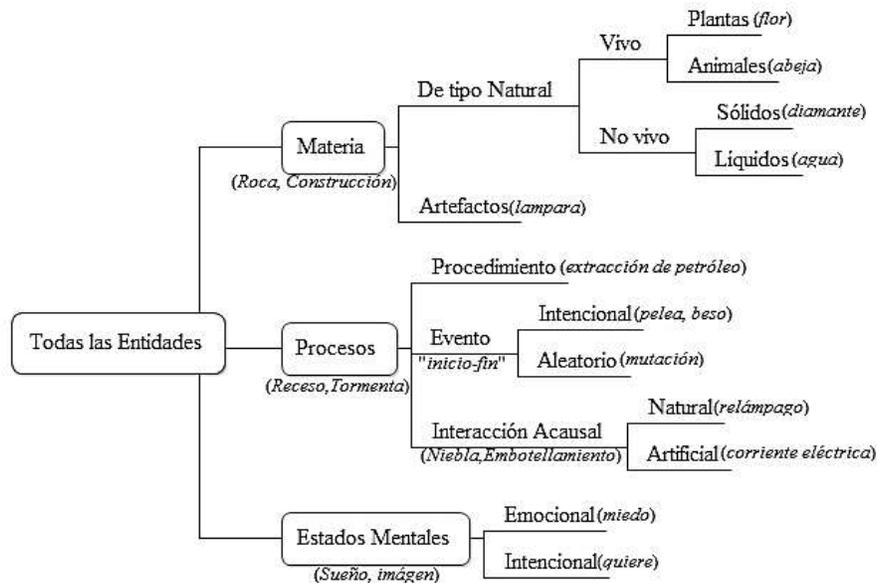


Figura 9. Una posible organización ontológica de los objetos del mundo que nos rodea (Chi y Slotta, 1993).

La TCO se apoya en un supuesto epistemológico y en uno metafísico, mediante el primero señala que los objetos del mundo que nos rodea pueden pertenecer a una de las tres categorías ontológicas: Materia, Proceso y Estados mentales. Estas categorías poseen jerarquías de subcategorías, así por ejemplo la categoría de Procesos está dividida en Procedimiento, Evento e Interacción acausal. Este último se encuentra dividido a su vez en Natural y Artificial. Mediante el segundo supuesto, la TCO advierte que muchos conceptos físicos como el de fuerza gravitacional, calor, corriente eléctrica, etc. pertenecen a la subcategoría de Interacciones Acausales (acausales en el sentido de que tienen que ver únicamente con las relaciones de restricción entre sus componentes) dentro de la categoría de Procesos.

Cabe destacar que, en relación con el objeto primario “concepto” propuesto por el EOS únicamente se ha considerado la clasificación ontológica de los conceptos físicos señalada por la TCO, sin embargo, el análisis de los resultados se apoya esencialmente en el EOS.

- **Lenguaje:** se refiere a las notaciones (como “m” masa, “ μ_s ” coeficiente de fricción estática, por mencionar algunos), expresiones (por ejemplo la energía cinética $E_c = \frac{1}{2}mv^2$, segunda ley de Newton $\sum \vec{F} = m\vec{a}$), gráficos (que pueden ser esquemas, representaciones pictóricas, por mencionar algunas), que se pueden dar en forma oral, escrita o gesticulación.
- **Propiedades:** son argumentos que permiten relacionar conceptos. Como ejemplo de propiedades se tiene la segunda ley de Newton.
- **Procedimientos:** son algoritmos, operaciones, etc., que emplea el sujeto para resolver una tarea. Por ejemplo cuando un alumno desea encontrar la distancia que recorre una motocicleta después de un tiempo (t) que parte del reposo experimentando una aceleración (a). Es aquí

donde el alumno identifica el problema sobre qué es lo que se desea encontrar, busca una fórmula en la que estén involucrados dichos datos para finalmente sustituir los valores y encontrar el resultado.

- **Argumentos:** son enunciados de tipo justificativo que se emplea o dice para justificar procedimientos. Por ejemplo, en física a un cuerpo lo suponen como una partícula porque en la física no se consideran las dimensiones del cuerpo.
- **Situación-problema:** son las tareas, ejercicios, etc. (por ejemplo un ejercicio de encontrar el centro de masa de un objeto)



Figura 10. Objetos Físico-Matemáticos Primarios

Los objetos primarios y las configuraciones de objetos pueden ser vistas o interpretadas desde cinco perspectivas, dimensiones o dualidades. (Font, Godino, & D'Amore (2007), Godino (2003) y Godino (2002)).

- **Personal-institucional:** la cognición matemática debe contemplar las facetas personal e institucional, entre las cuales se establecen relaciones dialécticas complejas y cuyo estudio es esencial para la educación matemática. La “cognición personal” es el resultado del pensamiento y la acción del sujeto individual ante una cierta clase de problemas, mientras la “cognición institucional” es el resultado del diálogo, el convenio y la regulación en el seno de un grupo de individuos que forman una comunidad de prácticas, es decir, son las distintas formas en que los objetos primarios y las prácticas o los procesos cognitivos se pueden ver. Si un sujeto es quien resuelve una tarea (por ejemplo, la descripción de un fenómeno, la resolución de un problema o la elaboración de una gráfica), esa práctica es de tipo personal, en cambio si esas tareas son realizadas dentro de una institución, a través de la resolución que propone un experto docente, un investigador o se encuentra resuelto en un libro de texto, esa práctica es considerado de tipo institucional.
- **Unitario-sistémico:** en algunas circunstancias los objetos matemáticos participan como entidades unitarias (que se suponen son conocidas previamente), mientras que otras intervienen como sistemas que se deben descomponer para su estudio. Los conceptos tienen una perspectiva unitaria o sistémica. Sistémico a cerca de los elementos constituyentes, que es como se aprende y la perspectiva unitaria no interesa de que esté constituido, se ve como una unidad y se aplica en diferentes circunstancias.

- **Ostensivo-no ostensivo:** podemos entender por ostensivo cualquier objeto que es público y que, por tanto, se puede mostrar a otro, es decir lo ostensivo es cualquier objeto que es observable por cualquier sujeto, y no ostensivo es algo que tiene en la mente el sujeto.
- **Extensivo-intensivo:** se entiende por extensivo algo concreto y como intensivo algo abstracto y permite centrar la atención en la dialéctica entre lo particular y lo general.
- **Expresión-contenido:** antecedente y consecuente de cualquier función semiótica. La actividad matemática y los procesos de construcción y uso de los objetos matemáticos se caracterizan por ser esencialmente relacionales. Los distintos objetos no se deben concebir como entidades aisladas, sino puestas en relación unos con otros. La relación se establece por medio de funciones semióticas, entendidas como una relación entre un antecedente (expresión, signifiante) y un consecuente (contenido, significado) establecida por un sujeto (persona o institución) de acuerdo con un cierto criterio o código de correspondencia. La actividad matemática y los procesos de construcción y uso de los objetos matemáticos se caracterizan por ser relacionales. Esto está dado a través de la correspondencia entre una expresión y un significado, los cuales están establecidos por un sujeto (persona o institución).

Procesos

Según el EOS, diversos procesos cognitivos también son llevados a cabo a lo largo de la práctica de resolución de un problema, los cuales se encuentra asociados a las cinco dualidades. Font, Godino y D'Amore (2007), Godino (2003) y Godino (2002).

- **Materialización-idealización:** estos procesos se encuentran asociados a la dualidad ostensivo-no ostensivo, puesto que cuando un sujeto idealiza algo pasa de lo concreto a lo abstracto, es decir, pasa de lo ostensivo a lo no ostensivo y viceversa, cuando materializa va de lo abstracto a lo concreto. El vínculo entre ambos objetos (entre el objeto ostensivo y el no ostensivo) es establecido a través de una función semiótica.
- **Institucionalización–personalización:** estos se encuentran asociados a la dualidad institucional-personal, debido a que cuando un sujeto va de lo personal a lo institucional se llama institucionalización y si se va de lo institucional a lo personal se llama personalización.
- **Representación–significación:** estos procesos están asociados a las dualidades expresión/contenido.
- **Generalización-particularización:** estos procesos están asociados a la dualidad extensivo/intensivo.
- **Descomposición-reificación:** estos procesos están asociados a la dualidad sistémico/unitario.

Significado

El significado es entendido como un sistema de prácticas que considera a la perspectiva expresión/contenido, donde el significado está dado a través de una expresión y un significado, los cuales son establecidos por un sujeto (persona o institución) de acuerdo a ciertos criterios.

El significado es entendido en el EOS como función semiótica o como sistema de prácticas. Mediante el primero, se considera la perspectiva expresión/contenido, el significado está dado a través de la correspondencia (relaciones de dependencia) entre un antecedente (expresión) y un consecuente (significado o contenido) establecidos por un sujeto (persona o institución) de acuerdo a ciertos criterios (convenios, reglas matemáticas) Moreno, Zúñiga y Tovar (2018).

Complejidad

La complejidad es cuando un concepto dado se encuentra en diferentes situaciones problemáticas con distintas representaciones, así mismo, cuando dicho concepto se relaciona con otros conceptos dando lugar a distintos significados.

De manera que la complejidad de una noción física es entendida desde una perspectiva sistémica al presentar a los sujetos un sistema de prácticas donde aparece esa noción física en distintos contextos y con distintas propiedades.

La enseñanza tradicional de algunos temas de la física en el aula, son presentadas a los estudiantes como definiciones y fórmulas, lo cual lleva a que los alumnos realicen prácticas memorísticas de aprendizaje en lugar de la reflexión. Sin embargo, la consideración de la complejidad de una noción física en la práctica docente, podría ayudar a los alumnos a lograr un aprendizaje más significativo dotándolos de herramientas para poder resolver otros problemas de física relacionados con esa noción, realizando un proceso de reificación al ir de lo sistémico a lo unitario y, de manera inversa, de lo unitario a lo sistémico mediante el proceso de particularización.

Otra manera de entender la complejidad de una noción física es a través del constructo llamado Configuración Epistémica (CE) de objetos físico-matemáticos (Moreno, Font y Ramírez, 2016). Cuando un profesor de física resuelve un problema en una situación física concreta, éste lleva a cabo una práctica donde utiliza y organiza en seis objetos físico-matemáticos (situaciones-problema, lenguaje, conceptos, propiedades, procedimiento y argumentos) en la llamada CE.

En términos de la noción de CE, la complejidad puede verse como aquel conjunto de CE en el que cierta noción física (en nuestro caso, la fuerza de fricción) es determinante para la resolución del problema.

En el presente trabajo se tiene la postura de que a través de la implementación de la noción de complejidad en la física escolar se dota al alumno de las herramientas necesarias para poder

resolver situaciones físicas problematizadas en donde se encuentra involucrada la fuerza de fricción.

3.2 La complejidad del concepto de fuerza de fricción en el ámbito escolar

En el trabajo “La enseñanza de la física: el caso de la fuerza de fricción” (Moreno, Angulo y Reducindo, 2018), se ha propuesto abordar el tema de fuerza de fricción mediante la noción de complejidad, la cual tiene relación con la perspectiva dual unitario-sistémico.

Mencionan que la complejidad ayuda al aprendizaje de prácticas de resolución de problemas y que una de las razones por la cual es importante abordar el tema de las nociones físicas en el caso de la fuerza de fricción, es debido a que, en la mayoría de los estudiantes, es común encontrar que fracasen en la resolución de problemas que involucran a la fricción en otros contextos, dado a que tratan de emplear las mismas estrategias de resolución utilizadas y las mismas propiedades.

Dentro de la misma investigación se abordan distintas situaciones en donde se presenta la fuerza de fricción mediante Configuraciones Epistémicas, por ejemplo, la caída de cuerpos, el rodamiento de los cuerpos, el movimiento oscilatorio, el movimiento circular, el movimiento de los cuerpos sobre superficies planas y el movimiento del cuerpo humano.

En cada una de estas situaciones mencionan las distintas propiedades y cómo es que se modela la fuerza de fricción.

En la caída de los cuerpos mencionan que es posible elaborar configuraciones epistémicas donde la fuerza de fricción se representa de manera distinta, una como proporcional a la velocidad y otra como el cuadrado de la velocidad y que es interpretada como una fuerza que se opone al movimiento.

En el rodamiento de los cuerpos, mencionan que se ha propuesto abordar la fuerza de fricción mediante tres situaciones que involucran el rodamiento sin deslizamiento de un cuerpo. En esta situación se puede elaborar configuraciones epistémicas, por ejemplo, una de ellas se puede encontrar al resolver el problema del rodamiento de un cuerpo sobre una superficie horizontal, en donde la fuerza de fricción tiene el mismo sentido que el desplazamiento del cuerpo. Así mismo, otro contexto que se toma en cuenta es el de un cuerpo que rueda cuesta abajo en un plano inclinado donde la fuerza de fricción tiene sentido opuesto al desplazamiento del cuerpo. Otro contexto que toman en cuenta es el caso del movimiento de bicicletas o de un automóvil.

En el movimiento oscilatorio propone analizar el movimiento amortiguado y el movimiento forzado de un cuerpo inmerso en un fluido que se puede llevar a cabo mediante configuraciones epistémicas.

Dentro del movimiento circular presentan situaciones como la del movimiento de un automóvil en una curva.

En el movimiento de los cuerpos sobre superficies planas plantean situaciones cotidianas como la de arrastrar una caja sobre una superficie horizontal o inclinada. Para el movimiento del cuerpo humano presentan el movimiento de un corredor.

Lo que se pretende es que tomen en cuenta la complejidad de las nociones físicas y no mirarlas como objetos acabados y expresados por medio de una sola definición o expresión matemática. Mencionan que, si se considera la complejidad de una noción física en la práctica docente, podría ayudar a los alumnos a lograr un aprendizaje más adecuado. El estudio realizado por Moreno, Font y Ramírez (2016) sugiere la importancia de diseñar clases prácticas que se encuentren apoyadas en la resolución de diversos ejemplos y problemas mejor contextualizados extraídos a partir de la revisión de distintos libros de texto o de la adaptación de propuestas didácticas.

A continuación se describen las simulaciones seleccionadas para la elaboración de las secuencias didácticas y la aplicación de estas acompañadas de dichas simulaciones.

La situación simulada “Fuerza y movimiento” describe el movimiento de una caja que es empujada por una persona sobre una superficie horizontal. La simulación contiene una barra para aumentar o disminuir la fuerza aplicada, así como la opción de ver el diagrama de cuerpo libre de todas las fuerzas que actúan sobre la caja. También se tiene una ventana especial para estudiar la fricción con la posibilidad de modificar los valores como el coeficiente de fricción estático y cinético, la masa del objeto, la gravedad y la fuerza aplicada, esto para ver su influencia en el movimiento, así mismo se tiene una ventana de “Gráficas” para observar gráficamente lo que ocurre con las fuerzas presentes al mover la caja.



Figura 11. Simulación PhET “Fuerza y Movimiento”.

La simulación “Rampa: Fuerza y movimiento” es similar a la simulación anterior, sólo que aquí se describe el movimiento de una caja que es empujada por una persona sobre una superficie inclinada con la opción de modificar el ángulo de inclinación de la rampa. La simulación contiene una barra para aumentar o disminuir la fuerza aplicada, así como la opción de ver el diagrama de cuerpo libre de todas las fuerzas que actúan sobre la caja. También se tiene una ventana especial para estudiar la fricción con la posibilidad de modificar los valores como el coeficiente de fricción estático y cinético, la masa del objeto, la gravedad y la fuerza aplicada, esto para ver su influencia en el movimiento, así mismo se tiene una ventana de “Gráficas” para observar gráficamente lo que ocurre con las fuerzas presentes al mover la caja.

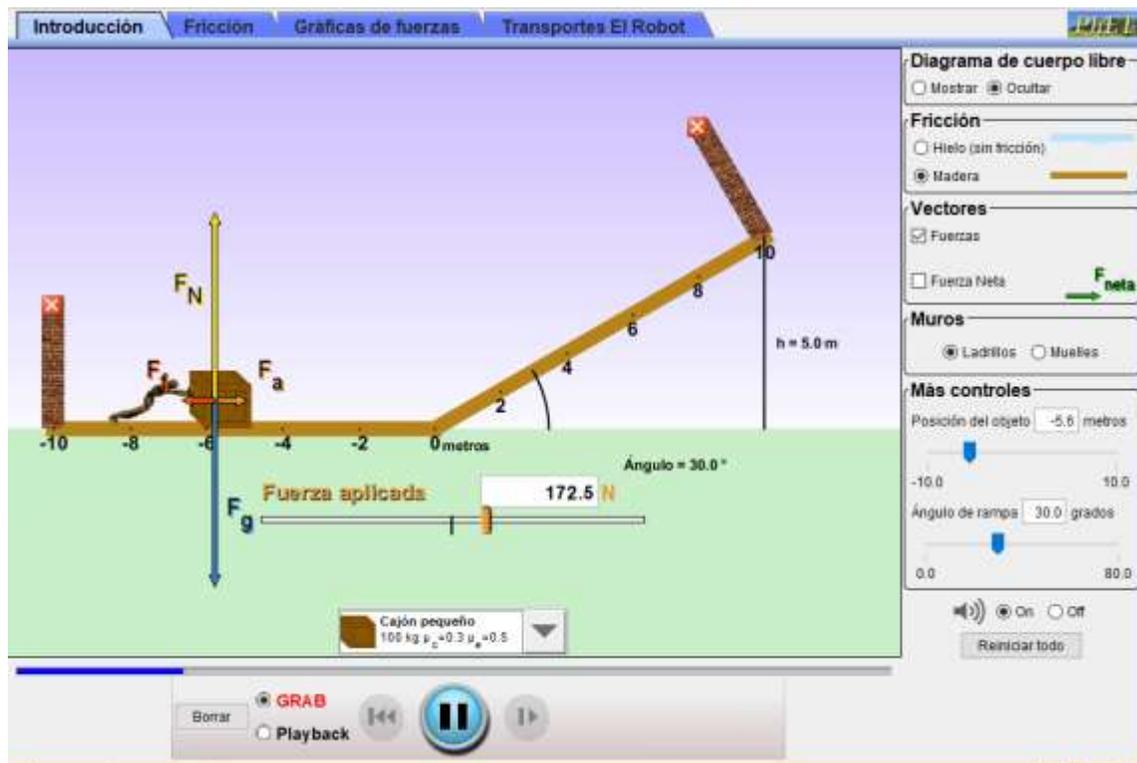


Figura 12. Simulación PhET “Rampa: Fuerza y Movimiento”.

La simulación “Movimiento de un proyectil”, es acerca del movimiento de tiro parabólico con la opción de modificar el ángulo de lanzamiento, sin embargo, se usó para el caso de tiro vertical por lo cual el ángulo en la que se posicionó el cañón que lanza el objeto se usó siempre a 90°. La simulación tiene la opción de elegir el objeto que se desea disparar, así como modificar la masa, el diámetro del objeto, la gravedad y la resistencia del aire. También contiene cuatro ventanas: introducción, vectores, arrastre y laboratorio, en todas las ventanas de la simulación se tiene un coeficiente de arrastre. Se tiene una ventana especial para visualizar su efecto, en función del diámetro, masa y altitud. También incluye la representación vectorial y herramientas de medición. La fuerza de resistencia tiene el modelo: $F = (0.5)(rho)(v^2)(Cd)(A)$

ρ : densidad del aire (1.225 kg/m^3)

V: velocidad

C_d : coeficiente de arrastre (dependiente de la forma del objeto)

A: área del objeto

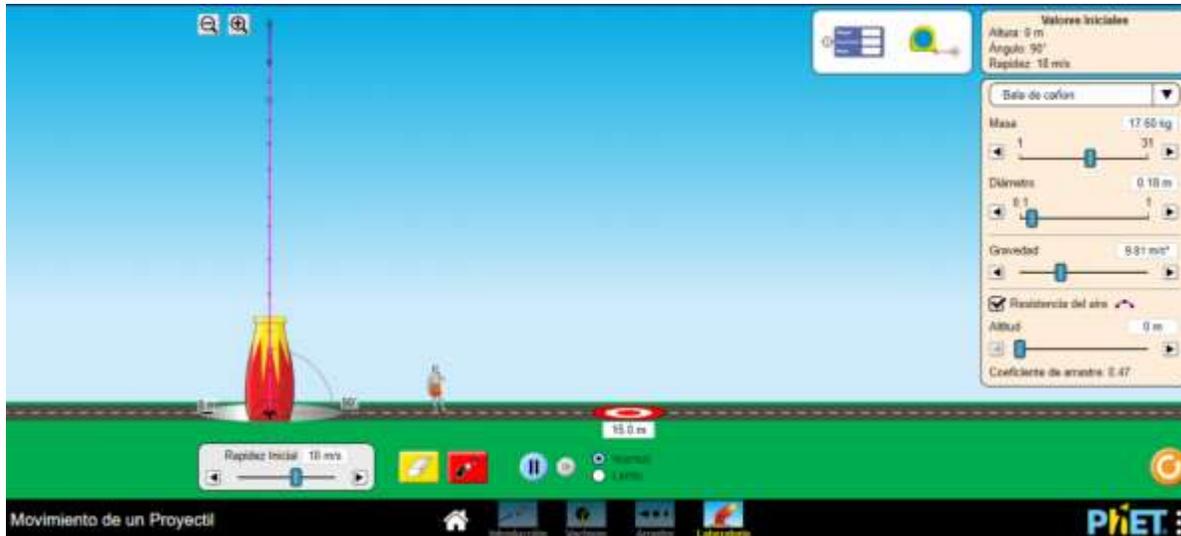


Figura 13. Simulación PhET “Movimiento de un proyectil”.

La simulación “Laboratorio del péndulo” supone la existencia de una fuerza de fricción que reduce la amplitud de las oscilaciones de un péndulo simple, del cual cuelga una masa. Esta simulación contiene tres ventanas las cuales son: introducción, energía y laboratorio. Todas las ventanas contienen barras para aumentar o disminuir la gravedad, masa, longitud y la fricción, así como gráficos de energía y herramientas de medición como regla, cronómetro y rastro del periodo.

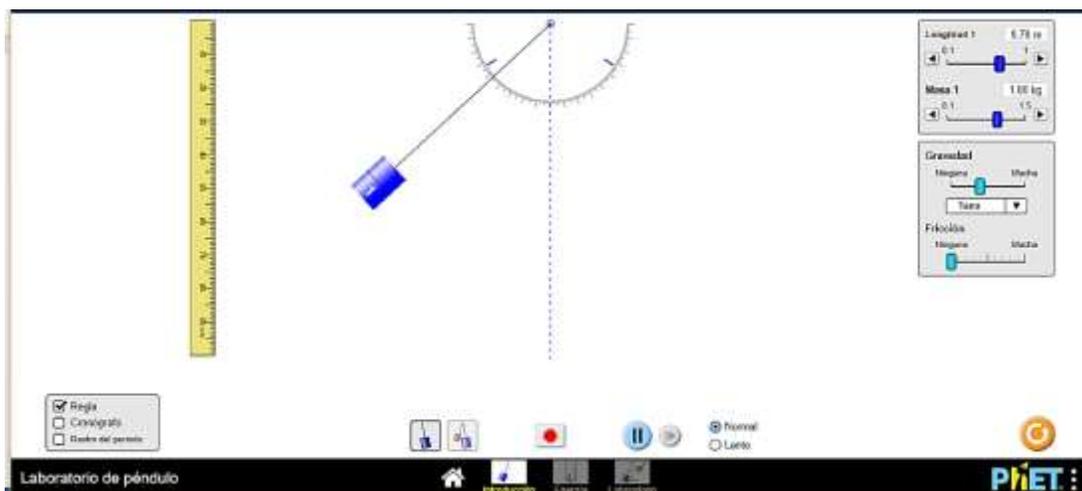


Figura 14. Simulación PhET “Laboratorio de péndulo”.

“Energía en la pista de patinaje”, esta simulación contiene tres ventanas: introducción, fricción y patio. En las ventanas introducción y fricción puedes seleccionar entre tres tipos de pista, sin embargo en la ventana “patio” se crea una pista de patinaje propia. Todas las ventanas contienen casillas para seleccionar gráficos de pie, gráfico de barras, cuadrícula y velocidad, también contiene barras para aumentar o disminuir la masa del patinador y la fricción entre la pista en forma de U y el patinador.

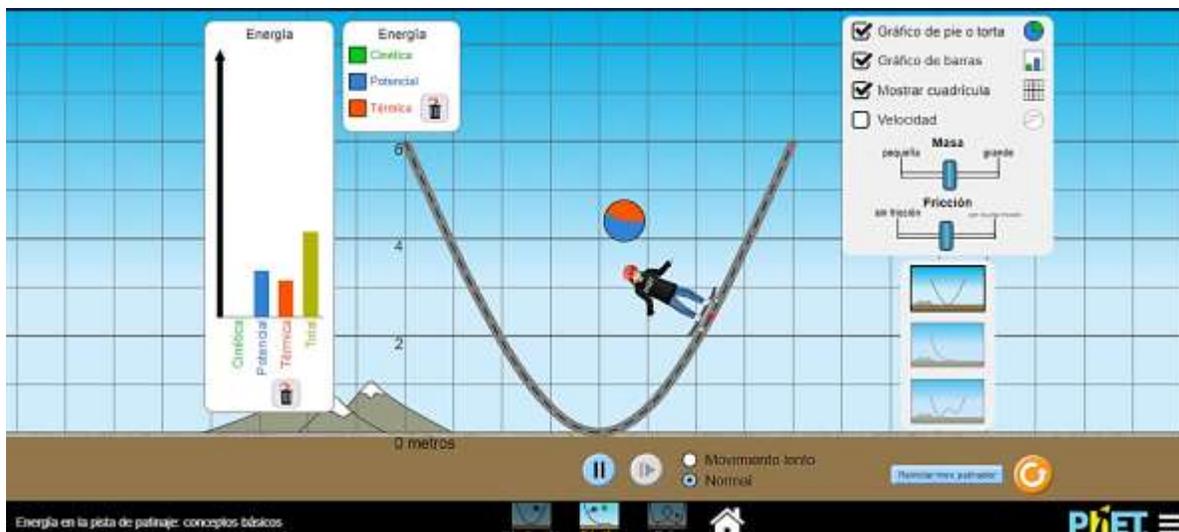


Figura 15. Simulación PhET “Energía en la pista de patinaje: conceptos básicos”.

La simulación “Masas y resortes” contiene la ventana “laboratorio” en la cual se encuentra un resorte colgado y tres masas, una de 100 gr. y otras dos que se desconoce su valor. Esta simulación incluye una gráfica de energía donde se puede ver la energía cinética, la energía potencial gravitacional, energía térmica y la energía total. También contiene la opción de seleccionar la gravedad de la tierra, la luna, por mencionar algunas, o bien de personalizarla. Así mismo se puede modificar la fricción que en este caso se muestra como amortiguamiento y se pueden utilizar las herramientas de medición como la regla y el cronómetro.

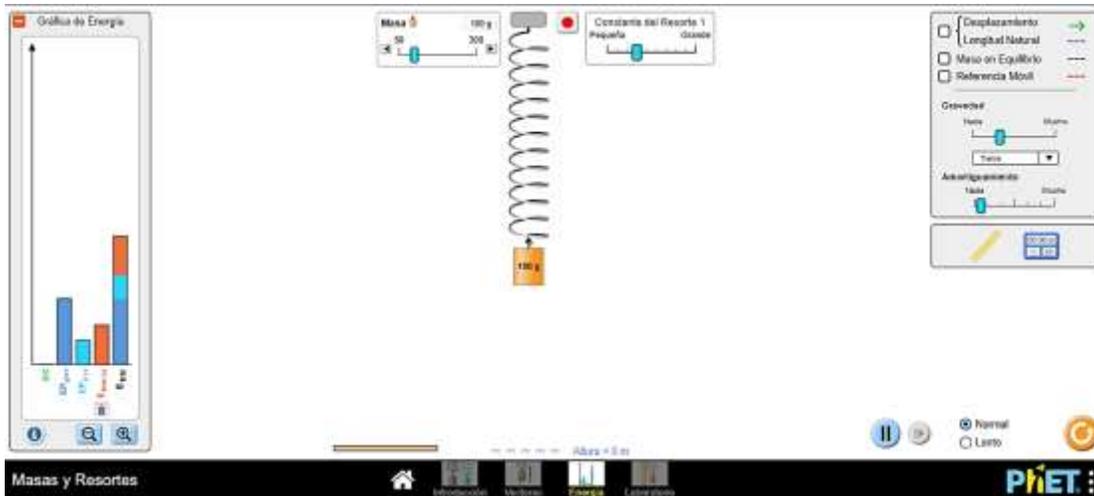


Figura 16. Simulación PhET “Masas y Resortes”.

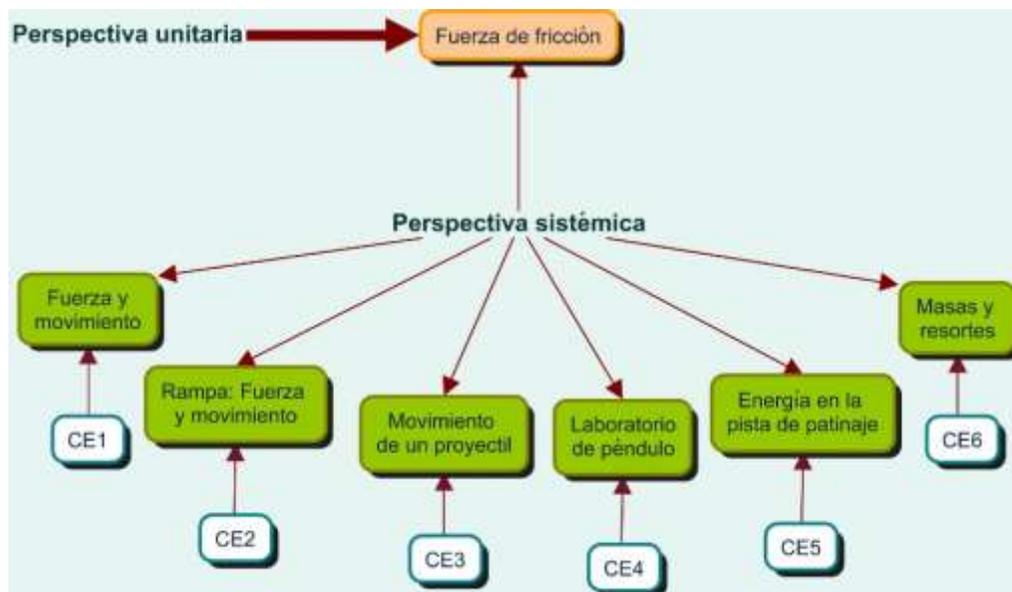


Figura 17. Complejidad de una noción física a través de Configuraciones Epistémicas (CE)



CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA

Capítulo 4. Metodología

Este apartado contiene aspectos metodológicos de la investigación. Se expone la perspectiva metodológica y el diseño metodológico de distintas fases de la investigación desarrollada.

La metodología empleada en esta investigación es de tipo cualitativa y esto es debido a que se desea conocer las concepciones de los estudiantes una vez que han experimentado con el conjunto de situaciones simuladas mediante los PhET. Cabe mencionar que no es del interés de la investigación realizar algún estudio de tipo estadístico, pues lo que interesa es encontrar hallazgos a través de las producciones de los estudiantes acerca del efecto de la complejidad en la comprensión de la noción física de fuerza de fricción.

4.1. Perspectiva metodológica

La investigación tiene un enfoque cualitativo ya que reconoce la importancia del contexto educativo y de fondo en el análisis e interpretación de los datos, este permite entender el mundo, como se ve por los estudiantes, y no el como se ve por los investigadores, además se centra en el proceso de aprendizaje y los resultados.

Por otra parte, esta perspectiva metodológica sigue una estrategia de investigación principalmente inductiva, por lo que el producto de estudio es descriptivo. En la investigación cualitativa el investigador es el principal instrumento en la obtención y análisis de datos (Merriam, 1998).

Podemos decir que esta investigación es de carácter cualitativo debido a que se aplica un estudio de caso (casos múltiples) y de carácter fenomenológica.

La fenomenología es una escuela del pensamiento filosófico que subyace a toda la investigación cualitativa. La investigación cualitativa toma de la filosofía la de la fenomenología el énfasis en la experiencia y la interpretación. En la conducción de un estudio fenomenológico el foco estará en la esencia o estructura de una experiencia (fenómeno) explorando sistemáticamente el sentido de lo que acontece y la forma en lo que la acontece (Canedo, 2009).

El estudio de caso se utiliza para obtener una comprensión profunda de una situación y del significado para los sujetos. Aquí el proceso toma más importancia que el producto; el contexto más que en una variable específica; y el descubrimiento más que en la confirmación (Canedo, 2009). Los estudios de caso son descripciones y análisis intensivos de unidades o de sistemas delimitados (Smith, 1978) tales como un individuo, un programa, un acontecimiento, un grupo, una intervención, o una comunidad.

4.2. Población

Los sujetos de estudio fueron 18 estudiantes de ingeniería que cursaron la asignatura de Dinámica, en el Área Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Los estudiantes del grupo experimental, con un rango de edad de 20-23 años, fueron 14 hombres y 4 mujeres. En el grupo de control hubo un total de 15 estudiantes que también cursaban la asignatura de Dinámica, 11 hombres y 4 mujeres, con un rango de edad de 20-23 años. Algunas características de los estudiantes del grupo experimental y de control se describen en la Tabla 4.

	Alumnos grupo experimental	Alumnos grupo control
Hombres	14	11
Mujeres	4	4
Carreras		
Ingeniería en Mecatrónica	7	4
Ingeniería en Mecánica	-	1
Ingeniería en Mecánica Administrativa	8	5
Ingeniería Mecánica Eléctrica	3	3
Ingeniería en Electricidad y Automatización	-	2

Tabla 4. Descripción del grupo experimental y grupo control

4.3. Esquema de investigación

Se trata de un diseño orientado a conocer cuál es el efecto en el aprendizaje donde se presenta la fuerza de fricción en distintos contextos mediante la implementación de un conjunto representativo de situaciones físicas planteadas en el contexto de los simuladores PhET. El proceso está desarrollado en las siguientes fases:

Fase I. Diagnóstico.

1. Identificación del problema. Análisis del contexto educativo.
2. Búsqueda de bibliografía para identificar cómo abordar el problema.
3. Planteamiento del problema y diseño de la investigación.
4. Selección de simuladores PhET.
5. Diseño de seis secuencias didácticas con base en una “Guía para el diseño de hojas de trabajo, actividades con simulaciones interactivas PhET” (Universidad de Colorado, 2017).
6. Diseño de cuestionario final con 12 reactivos del tema fuerza de fricción en distintas situaciones.

Fase II. La puesta en marcha.

7. Aplicación de seis secuencias didácticas con el uso de simuladores PhET.
8. Aplicación de cuestionario de 12 reactivos en modalidad posttest.

Fase III. Evaluación del aprendizaje

9. Se evaluó las respuestas del cuestionario final aplicado a ambos grupos.
10. Se procedió al análisis de datos, y la discusión de los resultados.

4.4. Instrumentos de recolección de datos

Las herramientas empleadas para la recolección de los datos se obtuvieron a partir de grabaciones de audio y video, cuestionario final, secuencias didácticas y encuestas.

Dentro del diseño de la investigación se consideró evaluar aspectos relacionados a la noción de complejidad del concepto de fuerza de fricción lo cuales es descrito en el apartado siguiente.

4.5. El diseño metodológico de la investigación

A continuación se describe y fundamenta el diseño metodológico de la investigación.

En primera instancia, se diseñaron seis secuencias distintas con base en una “Guía para el diseño de hojas de trabajo, actividades con simulaciones interactivas PhET” tomada de la página principal de PhET de la Universidad de Colorado <https://bit.ly/2U47GBb> (Universidad de Colorado, 2017). Tres de las secuencias están relacionadas con el concepto de fuerza de fricción y otras tres con el concepto de fricción y energía.

Cada una de las secuencias estuvo acompañada de una simulación PhET, esto con la finalidad de que los alumnos exploraran cada situación física que se presentó de manera animada en el PhET, con objeto de que visualizaran aspectos de la fuerza de fricción (magnitud, dirección de acción, efecto sobre el movimiento y otras propiedades a ser definidas en cada situación). Las secuencias didácticas tenían la intención de guiar al estudiante hacia la observación de las distintas propiedades de la fuerza de fricción y la asociación de un significado.

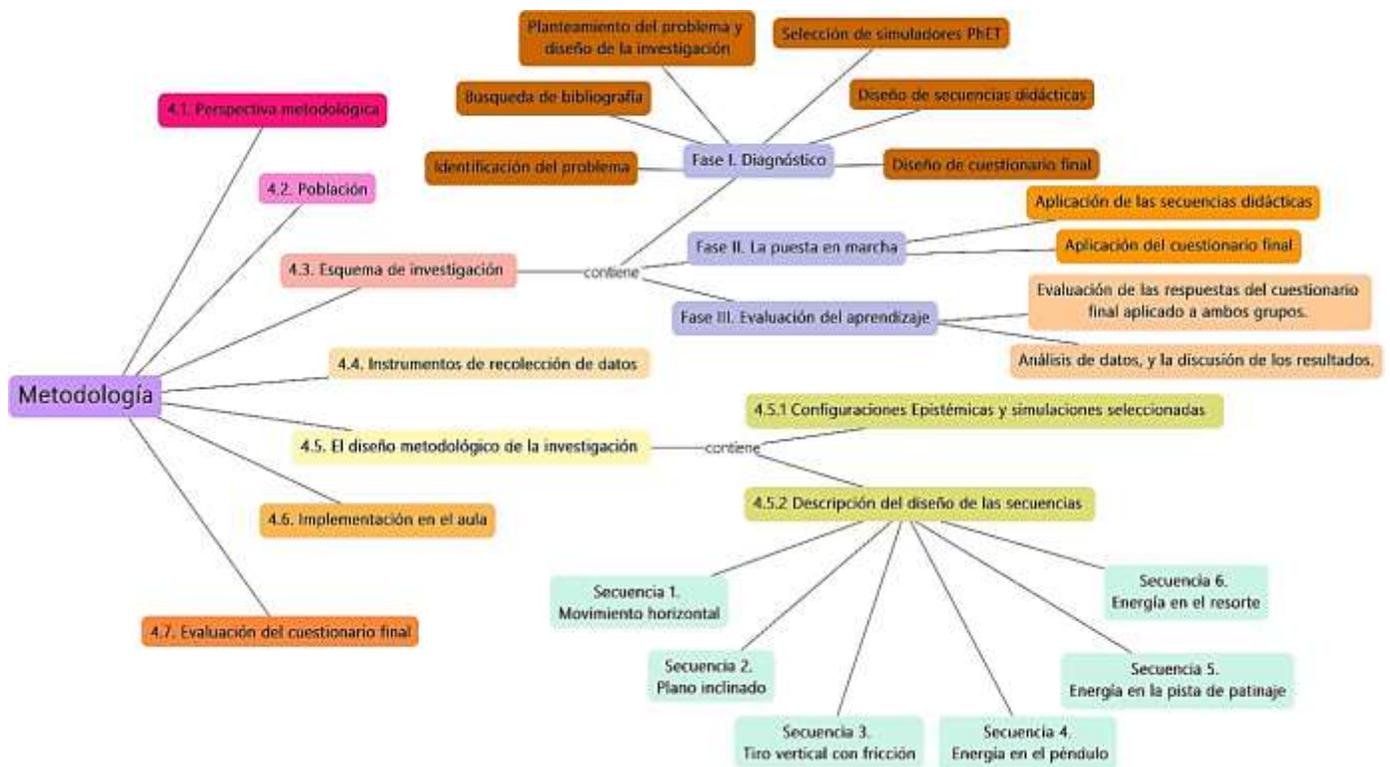


Figura 18. Esquema del contenido de la metodología

4.5.1 Configuraciones Epistémicas y simulaciones seleccionadas

La tabla 5 presenta con las Configuraciones Epistémicas (CE) y las simulaciones seleccionadas para la elaboración de las secuencias didácticas.

CE	Descripción	Simulación	Observación
CE1	La fuerza de fricción es proporcional al cuadrado de la velocidad, como ejemplo se tiene la caída de un cuerpo hasta llegar a su velocidad terminal en un fluido turbulento (Fuerza de arrastre de Rayleigh)	Movimiento de proyectiles https://phet.colorado.edu/es/simulacion/projectile-motion	En todas las ventanas de la simulación se tiene un “coeficiente de arrastre”. Se tiene una ventana especial para visualizar su efecto, en función del diámetro, masa y altitud. Se tiene la representación vectorial e instrumentos para medir. La fuerza de resistencia tiene el modelo: $F = (0.5)(rho)(v^2)(Cd)(A)$ Rho: densidad del aire (1.225 kg/m ³) v: velocidad Cd: coeficiente de arrastre (dependiente de la forma del objeto) A: área del objeto.

			<p>Los objetivos de la simulación con respecto a esto son:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Investiga las variables que afectan la fuerza de arrastre. ● Describe el efecto que tiene la fuerza de arrastre en la velocidad y la aceleración. ● Observa el efecto en una trayectoria cuando se toma en cuenta la Resistencia del aire. ● Comprender la dependencia de los componentes de la aceleración en la resistencia del aire. ● Para el arrastre – comprender que el coeficiente de arrastre esta una función de la forma (depende sólo de la forma). El Movimiento depende tanto de la fuerza de arrastre como de la masa (por lo que la masa se considera en caso de existir resistencia de aire).
CE2	La fuerza de fricción es proporcional a la velocidad, como ejemplo, llegar a la velocidad terminal en un fluido laminar (fuerza de Stokes)	<p>Presión del fluido y flujo</p> <p>https://phet.colorado.edu/es/simulations/legacy/fluid-pressure-and-flow</p>	En la segunda ventana bajo el nombre de “Flujo” se tiene un fluido fluyendo dentro de una tubería que puede modificar su área. El usuario puede seleccionar “Fricción” y observar como la velocidad del fluido disminuye. Cuenta con un medidor de presión, velocidad y cálculo del flujo para hacer análisis numéricos.
CE3	Resolver un problema de rodamiento de un cuerpo sobre una superficie horizontal en donde la fuerza de fricción tiene el mismo sentido que el desplazamiento del cuerpo	<p>Energía en la pista de patinaje</p> <p>https://phet.colorado.edu/es/simulations/energy-skate-park-basics</p> <p>No hay ninguna simulación de objetos rodando que incluya fricción.</p>	<p>La simulación de una patinadora en una rampa, la simulación incluye fricción, pero no se aprecia el movimiento de las ruedas para visualizar ahí cómo está actuando la fricción.</p> <p>De igual forma es posible que algunas imágenes de esta simulación puedan ser usadas para representar de forma visual el problema.</p>
CE4	La fuerza de fricción tiene sentido opuesto al desplazamiento del cuerpo el caso de un cuerpo que rueda	No hay simulación de objetos rodando	

	cuesta abajo en un plano inclinado		
CE5	Fuerza externa (como el empuje de un ciclista en el caso de una bicicleta) que provoca un momento de torsión y la fuerza de fricción en ambas ruedas pero necesariamente en sentido opuesto.	No hay simulación para visualizar esto.	
CE6	Describe un cuerpo que oscila bajo la acción de la fuerza de restitución de un resorte, la fuerza gravitatoria y la acción de una fuerza resistiva (proporcional a la velocidad) que se opone al desplazamiento del cuerpo	Laboratorio de masas y resortes https://phet.colorado.edu/sims/mass-spring-lab/mass-spring-lab_es.html	
CE7	Incorporar al caso de CE6 una fuerza externa T, periódica generada por un aparato electromecánico.	Onda en una cuerda https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-on-a-string/latests/wave-on-a-string_es.html	* no es un resorte, es una cuerda En una onda a la que se le puede poner un oscilador que genera el movimiento de manera periódica. A la cuerda se le puede agregar un factor de amortiguación que corresponde a la fricción.
CE8	Donde la fuerza de fricción es interpretada como aquella fuerza centrípeta que permite al automóvil con un peso mg seguir una trayectoria circular.	No se tiene simulación para este caso.	
CE9	Ejemplo de un objeto jalado en una superficie horizontal. Considera conceptos (fuerza ejercida por la cuerda, fuerza de fricción), propiedades (segunda ley de Newton, la fuerza de fricción), procedimiento y argumentos (la fuerza normal igual al peso, la componente horizontal de la fuerza que ejerce la cuerda provoca el movimiento de la caja)	Fuerza y movimiento https://phet.colorado.edu/es/simulations/legacy/forces-and-motion	Se tiene una ventana especial para estudiar la fricción que contiene todo lo descrito en la descripción con la posibilidad de modificarlos para ver su influencia en el movimiento. La simulación no ofrece valores numéricos. El objeto no es jalado, es empujado.

C10	El caso de CE9 pero en una superficie inclinada.	Rampa: Fuerza y movimiento https://phet.colorado.edu/es/simulations/legacy/ramp-forces-and-motion	Tiene una ventana dedicada a la fricción donde se puede apreciar y modificar todas las características comentadas en la descripción. El objeto no es jalado, es empujado por una persona.
C11	El péndulo: La fuerza de fricción se relaciona esencialmente con la noción de oscilación.	Péndulo https://phet.colorado.edu/es/simulation/pendulum-lab	La animación supone la existencia de una fuerza de fricción que reduce la amplitud de las oscilaciones. No se señala la dirección de acción de la fuerza de fricción, al parecer se supone a la oscilación del péndulo en un medio resistivo. <i>*Este problema podría sustituir CE6</i>
C12	Laboratorio de resortes y masa: La fuerza de fricción se relaciona con la noción de oscilación.	Laboratorio de resortes y masa https://phet.colorado.edu/sims/mass-spring-lab/mass-spring-lab_es.html	La animación es similar a la del péndulo. La fuerza de fricción tiene el mismo efecto que en el péndulo, sin embargo, en vez de considerar ángulos pequeños, la situación plantea estiramientos del resorte muy pequeños respecto a la posición de equilibrio. <i>*Este problema sería el análogo de CE6.</i>

Tabla 5. Configuraciones epistémicas y simulaciones seleccionadas.

Cabe destacar que existen situaciones en las que se presenta la fuerza de fricción, por ejemplo, el movimiento del cuerpo humano, el rodamiento de los cuerpos, por mencionar algunos, que no se incluyeron en las secuencias debido a que no se encuentran simuladores PhET que tengan esas características y relacionados con fuerza de fricción, es por ello que dentro del conjunto de simulaciones que ofrece la página, únicamente se seleccionaron seis simulaciones que se relacionan con fricción en el apartado de Movimiento y Trabajo, Energía y Potencia, las cuales se describen en el siguiente apartado.

4.5.2 Descripción del diseño de las secuencias

En este apartado se describen brevemente cada una de las secuencias aplicadas a los alumnos del grupo experimental, que fueron diseñadas con base en una “Guía para el diseño de hojas de trabajo, actividades con simulaciones interactivas PhET” y adaptadas a las propiedades y características proporcionadas por las simulaciones.

Secuencia 1. Movimiento horizontal

Se plantea una situación donde se describe el movimiento de una caja que se desliza sobre una superficie horizontal. El objetivo de aprendizaje que se pretende con esta situación es que los alumnos entiendan el comportamiento de la magnitud y sentido de la fuerza de fricción estática y cinética de un cuerpo en reposo sobre un plano horizontal. Para esta secuencia se utilizó una simulación que dejaba ver cada una de las propiedades presentadas en dicha situación descrita. Esta secuencia consta de nueve preguntas en las cuales se pide que describan lo que ocurre con la simulación PhET, “**Fuerza y Movimiento**” y un problema analítico al final de las preguntas. En la secuencia siempre se ayudó a los alumnos en el manejo de la simulación con el uso de botones, gráficos y la ubicación de cada uno de los elementos que contiene dicha simulación.

Para observar detalladamente la secuencia 1, ver **Anexo 1 del Apéndice I**.

Secuencia 2. Plano inclinado

Se centra en el análisis de la fuerza de fricción y la fuerza aplicada donde se describe el problema de una caja que se desliza sobre un plano inclinado. Aquí el objetivo de aprendizaje es profundizar en el conocimiento de la fuerza de fricción estática y cinética en un plano inclinado y entender el comportamiento de la magnitud y sentido de la fuerza de fricción estática de un cuerpo en reposo sobre un plano inclinado. La secuencia contiene 13 preguntas que deben contestar de acuerdo a lo que ocurre en la simulación utilizada, que en este caso es “**Rampa: Fuerza y Movimiento**”, de la misma manera, al final de la secuencia incluye un problema analítico. En la secuencia siempre se ayudó a los alumnos en el manejo de la simulación con el uso de botones, gráficos y la ubicación de cada uno de los elementos que contiene la simulación.

Para observar detalladamente la secuencia 2, ver **Anexo 2 del Apéndice I**.

Secuencia 3. Tiro vertical con fricción

En ella se describe una situación de tiro vertical de un proyectil, donde el objetivo de aprendizaje es que los alumnos analicen un caso donde la fuerza de fricción se modela como dependiente de una variable cinemática. La secuencia contiene seis preguntas las cuales deben responder analizando y modificando la simulación según sean las instrucciones señaladas, un problema analítico y una serie de 10 preguntas abiertas relacionadas con el concepto de fuerza de fricción en diferentes situaciones. La simulación que aquí se utiliza es “**Movimiento de un proyectil**”. En la secuencia siempre se ayudó a los alumnos en el manejo de la simulación con el uso de botones, gráficos y la ubicación de cada uno de los elementos que contiene la simulación.

Para observar detalladamente la secuencia 3, ver **Anexo 3 del Apéndice I**.

Secuencia 4. Energía en el péndulo simple

Esta secuencia fue diseñada con una situación de un péndulo simple donde se describen situaciones físicas que deben ser analizadas con la simulación PhET “**Laboratorio de péndulo**” y se plantean 13 preguntas. Los objetivos de aprendizaje que se describen son: analizar el efecto de la fuerza de fricción en la oscilación de un péndulo y entender la relación del cambio de energía como trabajo ejercido por la fuerza de fricción. Esta secuencia 4 y la secuencia 5 son tratadas de manera equivalente. En la secuencia siempre se ayudó a los alumnos en el manejo de la simulación con el uso de botones, gráficos y la ubicación de cada uno de los elementos que contiene la simulación.

Para observar detalladamente la secuencia 4, ver **Anexo 4 del Apéndice I**.

Secuencia 5. Energía en la pista de patinaje

Se describe una situación de un sistema patinador y pista de patinaje en forma de U. Aquí se plantean 13 preguntas y se describen situaciones físicas que van a ser analizadas con la simulación PhET “**Energía en la pista de patinaje: conceptos básicos**”. El objetivo de aprendizaje que se plantea es el efecto de la fuerza de fricción en una pista de patinaje y entender la relación del cambio de energía como trabajo ejercido por la fuerza de fricción. En la secuencia siempre se ayudó a los alumnos en el manejo de la simulación con el uso de botones, gráficos y la ubicación de cada uno de los elementos que contiene la simulación.

Para observar detalladamente la secuencia 5, ver **Anexo 5 del Apéndice I**.

Secuencia 6. Energía del resorte

En esta secuencia se analiza una situación de un sistema masas-resorte donde se describen situaciones físicas que serán analizadas con la simulación PhET “**Masas y Resortes**” y se plantean nueve preguntas. La secuencia tiene como objetivo de aprendizaje analizar el efecto de la fuerza de fricción en la oscilación de una masa en un resorte y entender la relación entre la transferencia de energía del sistema y la fuerza de fricción.

En esta secuencia, los alumnos no resuelven problemas de manera cuantitativa, como ecuaciones diferenciales, sino sólo de manera cualitativa y siempre se ayudó a los alumnos en el manejo de la simulación con el uso de botones, gráficos y la ubicación de cada uno de los elementos que contiene la simulación.

Para observar detalladamente cada una de las secuencias, ver **Anexo 6 del Apéndice I**.

4.6. Implementación en el aula

Se les proporcionó a los alumnos seis secuencias instruccionales. En cada sesión los alumnos trabajaron con una simulación y una secuencia instruccional, en donde los alumnos exploraron cada situación física animada que se presentó en la simulación PhET. Se estuvo trabajando durante seis sesiones con una duración de 50 minutos cada una, es decir, una sesión por secuencia. Aquí el investigador tomó únicamente el papel de guía.

En una séptima sesión, a los alumnos se les aplicó un examen con tres problemas relacionados con la fuerza de fricción y en una octava sesión de 50 minutos se les aplicó un cuestionario final de 12 preguntas relacionadas con el concepto de fuerza de fricción aplicada a diferentes situaciones.

En el segundo grupo (grupo control), participaron 15 alumnos de las distintas carreras como son Ingeniería Mecánica, Ingeniería en Electricidad y Automatización, Ingeniería en Mecatrónica, Ingeniería en Mecánica Administrativa e Ingeniería Mecánica y Eléctrica, todos cursando la materia de Dinámica.

La forma en que se impartió la clase en el grupo control fue de manera tradicional, en éste no se hizo el uso de las simulaciones PhET ni aplicación de secuencias. Al término de la presentación del tema de forma tradicional en este grupo, se les aplicó el mismo examen de tres problemas relacionados con el concepto de fuerza de fricción en una sesión, y en una segunda sesión de 50 minutos, se les aplicó el mismo cuestionario final de 12 preguntas relacionadas con el concepto de fuerza de fricción aplicada a diferentes situaciones.

4.7. Evaluación del cuestionario final

El cuestionario final que se aplicó a los alumnos del grupo experimental y de grupo control, consta de 12 reactivos relacionados con la fuerza de fricción. Los reactivos del 1 al 6 están enfocados en la comparación de los distintos contextos relacionados con la fuerza de fricción y algunos de los reactivos son similares a los que se presentan tradicionalmente en clase. Los reactivos del 7 al 12 están enfocados en la comparación de los diferentes contextos relacionados con la fuerza de fricción y energía.

Para ver detalladamente el cuestionario final, ver **Anexo 8 del Apéndice I**.

La evaluación del cuestionario final se llevó a cabo mediante la categorización de las respuestas dadas por los alumnos del grupo experimental y del grupo control a cada uno de los reactivos con la ayuda de los Objetos Primarios Físico-Matemáticos (conceptos, lenguaje, argumentos, propiedades) del EOS.



CAPÍTULO 5. RESULTADOS

Capítulo 5. Resultados

En esta sección se presentan los resultados que fueron obtenidos al aplicar el cuestionario final, el cual se encuentra en el Anexo 8 del Apéndice I, a los alumnos del grupo experimental y del grupo control. En primera instancia se presenta el reactivo, posteriormente se realiza una síntesis de las respuestas de todos los alumnos del grupo experimental y los conceptos utilizados, acto seguido se muestran las respuestas del grupo control y también los conceptos utilizados, finalmente aparece un diagrama de los conceptos empleados por ambos grupos.

Para presentar los reactivos, estos se agruparon en dos grupos, el grupo 1 enfocado en fuerza de fricción incluye los reactivos 1 al 6 y el grupo 2 enfocado en la comparación de los diferentes contextos relacionados con la fuerza de fricción y energía, el cual incluye los reactivos 7 al 12. Se presentan los resultados globales de las respuestas a cada uno de los reactivos. La producción de los alumnos fue clasificada en categorías las cuales se trataban de los Objetos Primarios Físico-Matemáticos: lenguaje, argumentos, conceptos y propiedades.

En relación con los resultados de los reactivos 7 al 12, a manera de ejemplo, se discute el caso de dos alumnos, uno del grupo control y otro del grupo experimental, los cuales son alumnos destacados en los resultados del cuestionario final aplicado. Esto con objeto de poder realizar algunos señalamientos relacionados con el efecto causado por la implementación en el aula del conjunto de situaciones físicas organizadas mediante la noción de complejidad y apoyadas mediante las simulaciones PhET.

Para ver información a detalle de los resultados, ver **Apéndice II Tablas de resultados**.

Los conceptos presentados en las tablas 6-17 y 19-41 se clasifican en distintas categorías tomando en cuenta la ontológica propuesta por la TCO (ver la sección 3.1 del capítulo 3).

Reactivo 1. ¿Por qué cuando se conduce un automóvil por el pavimento y deseas frenar súbitamente se aconseja aplicar gradualmente los frenos?

Grupo experimental: dentro del análisis existen 5 categorías que son:

- **Categoría 1 Centrado en fuerzas.** Son los alumnos que consideraron solamente la acción de las fuerzas en el fenómeno.
- **Categoría 2 Centrada en las personas.** Se refiere a los alumnos que únicamente consideraron lo que podría sucederle a las personas.
- **Categoría 3 Centrada en fuerzas y personas.** Esta se refiere a los alumnos que consideraron una combinación de los efectos en las personas y las fuerzas que actúan en el fenómeno que se está considerando.

- **Categoría 4 Centrado en las partes del vehículo.** Son los alumnos que se centraron solamente a los efectos con el mecanismo sin prestar atención a la dirección o a la acción de las fuerzas.
- **Categoría 5 sin responder.** Que se refiere a los alumnos que no respondieron la pregunta.

Una gran parte de los alumnos, 7 de 18 alumnos, se centraron en la categoría 1 que se refiere a las fuerzas que actúan sobre el automóvil cuando este frena súbitamente, argumentando que *“Al frenar, existe una fuerza de fricción opuesta entre el pavimento y la llanta provocando que el auto resbale”*. Uno de los alumnos está centrado en la categoría 2, la cual se enfoca en el daño de los ocupantes argumentando que es *“Para evitar el impacto contra el volante”*. Otros siete de los alumnos se centraron en la categoría 3, que además de considerar las fuerzas que actúan sobre el automóvil, consideraron también el daño a los ocupantes *“Porque provocaría una fuerza de fricción contraria al movimiento del automóvil causando reacción al pasajero”*. Aquí los alumnos consideran la propiedad de la fuerza de fricción como opuesta al movimiento ($F = \mu N$), suponiendo que se aplicaron los frenos súbitamente en dicho fenómeno, además toman en cuenta la “Ley de la Inercia” que es la manera en la que llaman a la primera ley de Newton.

Uno de los alumnos del grupo experimental se centró únicamente en el daño de las partes del automóvil considerando que *“se puede arruinar una parte del sistema de frenos o de la marcha”*.

En la tabla 6 se presentan los conceptos empleados por los alumnos del grupo experimental al responder el reactivo 1, los cuales fueron clasificados en tres categorías.

Conceptos:

Categoría 1. Procesos. Interacción acausal artificial	Categoría 2. Materia	Categoría 3. Estados mentales
Fuerza de fricción, frenar, desaceleración, colisión, equilibrio, reposo, velocidad, distancia, reacción, trayectoria, fuerza, conservar, roce, sistema, aplicar, fuerza impulsora, punto, dirección, desgastar, contrarrestar.	Pavimento, llantas, cuerpo, volante, sistema de frenos, conductor.	Patinar, secuelas, drástico, movimiento brusco, derrapar, impacto, desviar, voltear, accidente, jalón.

Tabla 6. Clasificación de conceptos utilizados por los alumnos del grupo experimental en el reactivo 1.

Grupo control:

Las categorías para el reactivo 1 únicamente son cuatro, las cuales son las mismas que las primeras cuatro del grupo experimental.

- **Categoría 1 Centrado en fuerzas.** Son los alumnos que consideraron solamente la acción de las fuerzas en el fenómeno.
- **Categoría 2 Centrada en las personas.** Se refiere a los alumnos que únicamente consideraron lo que podría sucederle a las personas.

- **Categoría 3 Centrada en fuerzas y personas.** Esta se refiere a los alumnos que consideraron una combinación de los efectos en las personas y las fuerzas que actúan en el fenómeno que se está considerando.
- **Categoría 4 Centrado en las partes del vehículo.** Son los alumnos que se centraron solamente a los efectos con el mecanismo sin prestar atención a la dirección o a la acción de las fuerzas.

En este grupo, la mayoría de los alumnos, 9 de 15 alumnos, se centraron en la categoría 3, tomaron en cuenta la propiedad de la fuerza de fricción como opuesta al movimiento ($f = \mu N$), considerando que al aplicar súbitamente los frenos, ***“La fuerza de fricción actúa de manera opuesta provocando que el auto resbale y además provocar un accidente lesionando a los ocupantes”***. Solo tres de los alumnos se centraron en la categoría 1, que se refiere a las fuerzas que actúan sobre el automóvil en el fenómeno descrito argumentando que ***“Al frenar drásticamente se experimenta una fuerza de fricción proporcional a la aceleración”***.

Solo un alumno está centrado en la categoría 2, él consideró el daño que sufrirían los ocupantes argumentando que ***“la inercia podría impulsar hacia adelante y los ocupantes sufrir golpes”***. Otros dos estudiantes se centraron en la categoría 4, quienes consideraron solamente los daños que podría sufrir el automóvil justificando que ***“se ocasiona que el carro patine y se dañen las partes del mismo”***.

En la tabla 7 se presentan los conceptos que fueron empleados por los alumnos del grupo control al responder el reactivo 1, los cuales fueron clasificados en tres categorías.

Conceptos:

Categoría 1. Procesos. Interacción acausal artificial	Categoría 2. Materia	Categoría 3. Estados mentales
Fuerza de fricción, desaceleración, fuerza, velocidad, inercia, aceleración, coeficiente de fricción, frenar, desgaste.	Superficie, llantas, frenos ABS, pavimento, motor, carrocería.	Barrido, empujar, golpear, jalón, quemar, voltear, patinar, dañar.

Tabla 7. Clasificación de conceptos utilizados por los alumnos del grupo control en el reactivo 1

Observaciones sobre los conceptos empleados por parte del grupo control y experimental.

En relación al número de conceptos utilizados, se observa que en el grupo control el número de conceptos es menor en comparación con el conjunto de conceptos empleados por los alumnos del grupo experimental, también se puede ver que los alumnos del grupo control emplean menos conceptos físicos (procesos), de tipo materia y de estados mentales.

Los conceptos de tipo físicos que tienen en común ambos grupos son: fuerza de fricción, desaceleración, fuerza, frenar, desgaste y velocidad, como se puede observar en la Figura 19 (ii), pero se puede observar que los alumnos del grupo experimental utilizan otros conceptos a parte de los que tienen en común con el grupo control, los cuales son: colisión, equilibrio, reposo, distancia, reacción, trayectoria, conservar, roce, sistema, aplicar, fuerza impulsora, punto, contrarrestar y dirección como se observa en la Figura 19 (i), mientras que los alumnos del grupo control también utilizan otros conceptos físicos pero en menor cantidad, como inercia, aceleración y coeficiente de fricción, observar la Figura 19 (iii).

Los conceptos de tipo material empleados por ambos grupos son muy similares y son la misma cantidad, algunos de los que tienen en común son: pavimento, llantas, sistema de frenos. En cuanto a los conceptos de tipo estado mentales, existen conceptos como jalón, voltear y patinar que los alumnos de ambos grupos utilizan pero sin embargo los alumnos del grupo experimental utilizan otros como secuelas, drástico, movimiento brusco, derrapar, impacto, desviar y accidente, que son más que los conceptos empleados por los alumnos del grupo control, los cuales son barrido, empujar, golpear, quemar, patinar y dañar.

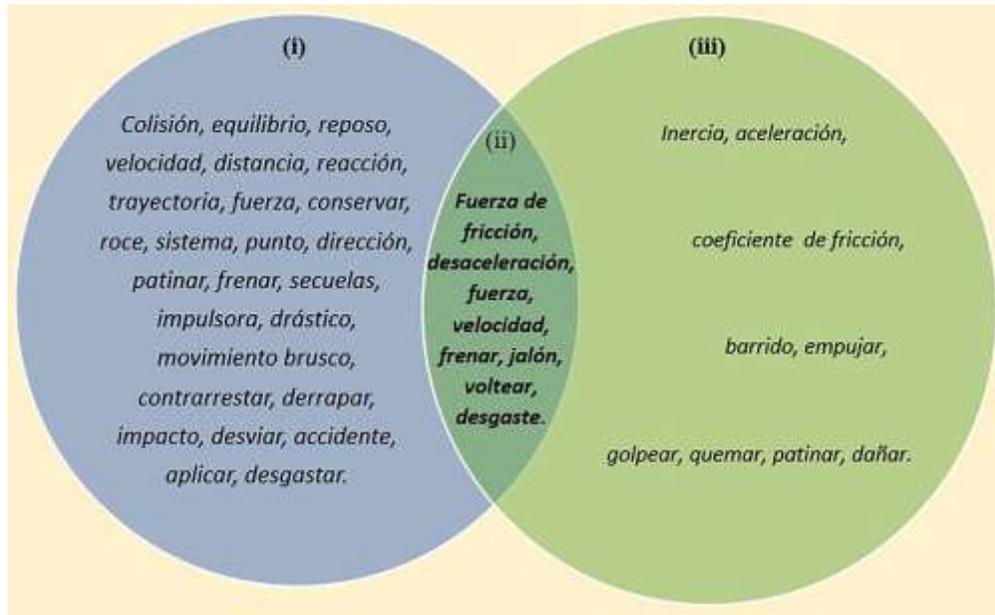


Figura 19. (i) Conceptos empleados en el reactivo 1 por los alumnos del grupo experimental. (ii) Conceptos en común empleados por los alumnos del grupo experimental y grupo control en el reactivo 1. (iii) Conceptos empleados en el reactivo 1 por los alumnos del grupo control.

Reactivo 2. ¿Por qué la distancia de frenado de un camión es mucho menor que la de un tren que va a la misma velocidad?

Grupo experimental:

En este reactivo hay cinco categorías las cuales son:

- **Categoría 1 Centrado en el peso.** Se refiere a los alumnos que consideraron solamente el peso de los objetos como responsable de dicho fenómeno.
- **Categoría 2 Centrado en la fuerza de fricción en cada sistema.** Son los alumnos que se centraron únicamente en la fuerza de fricción que hay en cada uno de los sistemas (fricción del pavimento mayor que en los rieles).
- **Categoría 3 Centrado en la velocidad y el peso.** Esta se refiere a los alumnos que consideraron la acción de la velocidad y el peso de los objetos en el fenómeno que se está considerando.
- **Categoría 4 Centrada en fuerza de fricción y peso.** Aquí los alumnos se centraron principalmente en el peso que tiene cada objeto además de considerar la fuerza de fricción como una fuerza que influye en el fenómeno.
- **Categoría 5 Centrado en la masa y energía.** Se refiere a los alumnos que relacionan la masa con la energía para detener los objetos.

La mayoría de los alumnos, 7 de 18 alumnos, se centraron en la categoría 1, la cual está centrada en el peso de cada uno de los objetos, argumentando los siguiente: ***“Porque el tren tiene mayor peso”*** considerando la propiedad $F = ma$, otros cuatro alumnos se centraron en la categoría 2, quienes consideraron solamente la fuerza de fricción que hay en cada sistema, argumentando que ***“la fuerza de fricción que existe entre el pavimento y el camión es mucho mayor que la fuerza de fricción que existe entre los rieles y el tren”***. Cinco de los alumnos consideraron el peso de los objetos y la velocidad de los mismos justificando que ***“El tren tiene más peso y velocidad por eso se ocupa una fuerza mayor”***. Uno de ellos relaciona el peso con la fuerza de fricción que existe en el sistema ***“Al camión se necesita aplicar menor fuerza debido a que tiene menor peso y la fuerza de fricción es menor, en cambio el tren tiene mayor peso”*** y uno más, relaciona la energía y el peso ***“Porque el tren posee mayor masa y por lo tanto mayor energía por lo que necesita más distancia para disipar la energía”***.

En la tabla 8 se presentan los conceptos que fueron empleados por los alumnos del grupo experimental al responder el reactivo 2, los cuales fueron clasificados en dos categorías.

Conceptos:

Categoría 1. Procesos. Interacción acausal artificial	Categoría 2. Materia
Fuerza de fricción, masa, peso, aceleración, tiempo, distancia, trabajo, sistema, fuerza, distribución, coeficiente de fricción, equilibrar fuerzas, generar, energía, velocidad, proporción, sentido, referencia, menor, frenar, fuerza distribuida, equivalente, disipar, aplicar, detenerse, frenado, empuje, disminuir, tardar.	Pavimento, llantas, vías, rieles, camión, vagones.

Tabla 8. Clasificación de conceptos utilizados por los alumnos del grupo experimental en el reactivo 2.

Grupo control:

En el grupo control sólo las cuatro primeras categorías son iguales que las del grupo experimental, la categoría 5 del grupo control son los alumnos que no contestaron el reactivo.

- **Categoría 1 Centrado en el peso.** Se refiere a los alumnos que consideraron solamente el peso de los objetos como responsable de dicho fenómeno.
- **Categoría 2 Centrado en la fuerza de fricción en cada sistema.** Son los alumnos que se centraron únicamente en la fuerza de fricción que hay en cada uno de los sistemas (fricción del pavimento mayor que en los rieles).
- **Categoría 3 Centrado en la velocidad y el peso.** Esta se refiere a los alumnos que consideraron la acción de la velocidad y el peso de los objetos en el fenómeno que se está considerando.
- **Categoría 4 Centrada en fuerza de fricción y peso.** Aquí los alumnos se centraron principalmente en el peso que tiene cada objeto además de considerar la fuerza de fricción como una fuerza que influye en el fenómeno.
- **Categoría 5 Sin contestar.** Son los alumnos que no respondieron a la pregunta.

Aquí 5 de los 18 alumnos se centraron en la categoría 1 la cual se refiere al peso de cada uno de los objetos, considerando la propiedad $F = ma$, argumentando que *“el tren tiene mayor peso”*. Otros cinco alumnos se centraron en la categoría 2 la cual está centrada en la fuerza de fricción en cada sistema, consideraron solamente la fuerza de fricción que hay en cada sistema, argumentando que *“la fuerza de fricción del camión es mayor que entre el tren y las vías”* considerando. Aquí solamente un alumno considero la relación del peso y la velocidad de los objetos justificando que *“los trenes llevan vagones que al llevar una aceleración y al ser masa, llevan más fuerza, al frenarlos por eso tardan más”*, y otros dos alumnos consideraron el peso y la fuerza de fricción que influye en el fenómeno argumentando que *“el tren es más pesado, influye la fricción que ejerce con la superficie de frenado”*. El resto de los alumnos, 2 de los 18, no respondieron el reactivo.

En la tabla 9 se presentan los conceptos que fueron empleados por los alumnos del grupo control al responder el reactivo 2, los cuales fueron clasificados en dos categorías.

Conceptos:

Categoría 1. Procesos. Interacción acausal artificial	Categoría 2. Materia
Masa, tiempo, movimiento, inercia, aceleración, fuerza, peso, distancia, ecuaciones, trabajo, fricción, coeficiente de fricción, recorrer, pesado, ejercer y frenar.	Superficie, pavimento, llanta, riel, tren, camión, carga, vagones, freno.

Tabla 9. Clasificación de conceptos utilizados por los alumnos del grupo control en el reactivo 2

Observaciones sobre los conceptos empleados por parte del grupo control y experimental.

Los alumnos del grupo control utilizan menos conceptos físicos y conceptos materiales dentro de los argumentos en comparación con el número de conceptos que emplean los alumnos del grupo experimental. Aunque el número de conceptos es menor, la mayoría de estos son conceptos de tipo físicos.

Los conceptos físicos que utilizan ambos grupos se muestra en la Figura 20, los cuales son: masa, tiempo, aceleración, fuerza, distancia, coeficiente de fricción, trabajo, aceleración, fricción, frenar y peso. De la misma manera los conceptos de tipo material que también tienen en común son pavimento, llantas, rieles, vías camión y vagones, mientras que los alumnos del grupo control utilizan los conceptos superficie, tren, carga y freno, los alumnos del grupo experimental sólo utilizan el concepto vías.

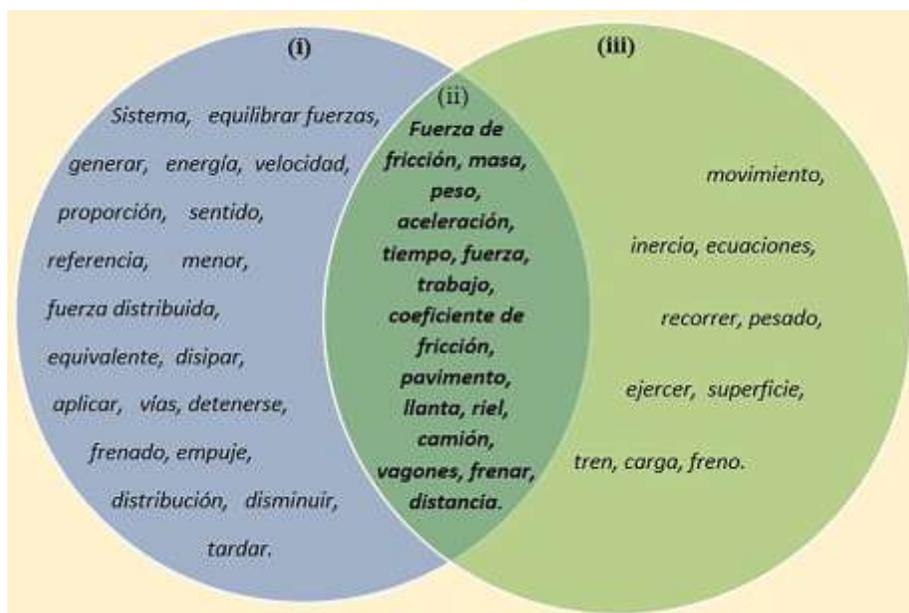


Figura 20. (i) Conceptos empleados en el reactivo 2 por los alumnos del grupo experimental. (ii) Conceptos en común empleados por los alumnos del grupo experimental y el grupo control en el reactivo 2. (iii) Conceptos empleados en el reactivo 2 por los alumnos del grupo control.

Reactivo 3. Un objeto pesado descansa en la plataforma de un camión. Cuando este acelera, el objeto permanece en su lugar sobre la plataforma, por lo tanto, también se mueve junto con el camión. ¿Cuál es la fuerza que hace que el objeto acelere?

Grupo experimental:

En el reactivo 3 se consideran dos categorías las cuales son:

- **Categoría 1 Centrado la fuerza de fricción.** Que se refiere a los alumnos que consideraron solamente la fuerza de fricción entre el objeto y la plataforma presentados en el fenómeno que se está considerando.
- **Categoría 2 Centrada en la fuerza del camión.** Son los alumnos que consideraron únicamente la fuerza que ejerce el motor del camión para que el objeto acelere.

En este reactivo, 8 de 18 alumnos se centraron en la categoría 1 la cual se refiere a la fuerza de fricción, en donde los alumnos consideraron la propiedad de la fuerza de fricción la cual evita el deslizamiento entre dos superficies, argumentando que *“la caja se mantiene sobre el camión debido a la fuerza de fricción”*. Un poco más de la mitad de los alumnos, 10 de 18 alumnos, se centraron en la categoría 2 centrada en la fuerza del camión, donde consideraron la propiedad $F = ma$, donde argumentaban que *“el fenómeno se debía a la fuerza que ejerce el motor del camión porque se comporta como un solo sistema”*.

En la tabla 10 se presentan los conceptos que fueron empleados por los alumnos del grupo experimental al responder el reactivo 3, los cuales fueron clasificados en dos categorías.

Conceptos:

Categoría 1. Procesos. Interacción acausal artificial	Categoría 2. Materia
Movimiento, espacio, inercia, reposo, permanecer, fuerza de fricción estática, aceleración, fuerza, velocidad, aceleración centrípeta, aumento, desplazamiento, sistema, punto, masas, peso, fuerza de empuje, impulso, recíproca, comportamiento.	Caja, plataforma, superficie, objeto, camión, motor, pavimento, llantas.

Tabla 10. Clasificación de conceptos utilizados por los alumnos del grupo experimental en el reactivo 3.

Grupo control:

Las primeras dos categorías que aparecen en el grupo control son las mismas categorías utilizadas en el grupo experimental, además, en el grupo control existen dos nuevas categorías que son la categoría 3 y 4.

- **Categoría 1 Centrado la fuerza de fricción.** Que se refiere a los alumnos que consideraron solamente la fuerza de fricción entre los objetos descritos en el fenómeno que se está considerando.
- **Categoría 2 Centrada en la fuerza del camión.** Son los alumnos que consideraron únicamente la fuerza que ejerce el motor del camión para que el objeto acelere.
- **Categoría 3 Centrada en el peso y la gravedad.** Esta se refiere a los alumnos que consideraron la acción de la fuerza de la gravedad y el peso del objeto para mantener al objeto sobre la plataforma.
- **Categoría 4 Sin contestar.** Son los alumnos que no respondieron el reactivo.

En este grupo, una tercera parte de los alumnos, 5 de 15 alumnos, se centraron en la categoría 1, considerando que el fenómeno se debía por la fuerza de fricción que existe entre la plataforma y el objeto, otros tres de los alumnos están centrados en la categoría 2, quienes consideraron que se debía a *“la fuerza que ejerce el camión porque se comporta como un solo sistema”*, cuatro más se centraron en la categoría 3, considerando que era debido al peso y a la fuerza de gravedad justificando que *“el peso y la fuerza de gravedad hacen que el objeto permanezca en la plataforma”*, y el resto del grupo que fueron tres alumnos se centraron en la categoría 4, quienes no respondieron el reactivo.

En la tabla 11 se presentan los conceptos que fueron empleados por los alumnos del grupo control al responder el reactivo 3, los cuales fueron clasificados solamente en una categoría.

Conceptos:

Categoría 1. Procesos. Interacción acausal artificial

Fuerza de fricción, fuerza de inercia, fuerza aplicada, aceleración, sistema, coeficiente, reposo, estática, movimiento, peso, fuerza de gravedad, jalar, permanecer, deslizar.

Tabla 11. Clasificación de conceptos utilizados por los alumnos del grupo control en el reactivo 3.

Observaciones sobre los conceptos empleados por parte del grupo control y experimental.

Dentro del conjunto de conceptos utilizados por el grupo control, se observa que hay un número menor de estos comparados con el número de conceptos empleados por los alumnos del grupo experimental. Se observa que en este reactivo los alumnos del grupo control no hacen uso de conceptos materiales, en cambio los alumnos del grupo experimental sí.

Los conceptos de tipo físicos que tienen en común son: movimiento, inercia, reposo, sistema, aceleración, peso y permanecer, mientras que los alumnos del grupo experimental emplean otros conceptos como impulso, recíproca, comportamiento, espacio, permanecer, fuerza de fricción estática, fuerza, velocidad, aceleración centrípeta, aumento, desplazamiento, sistema, punto, masas y fuerza de empuje, así mismo, los alumnos del grupo control solamente utilizan fuerza de fricción, fuerza aplicada, coeficiente, estática, fuerza de gravedad, jalar y deslizar.

Los alumnos del grupo experimental utilizan conceptos de tipo material como caja, plataforma, superficie, objeto, camión, motor, pavimento y llantas.

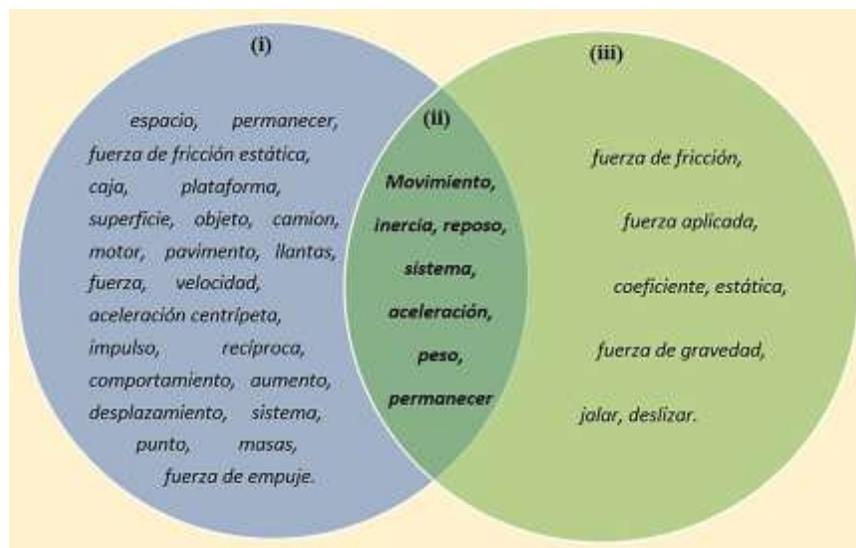


Figura 21. (i) Conceptos empleados en el reactivo 3 por los alumnos del grupo experimental. (ii) Conceptos en común empleados por los alumnos del grupo experimental y control en el reactivo 3. (iii) Conceptos empleados en el reactivo 3 por los alumnos del grupo control.

Reactivo 4. ¿Cuál es el error en la afirmación “como el automóvil está en reposo, no existen fuerzas que actúen sobre este”?

Grupo experimental: dentro del grupo experimental existen cuatro categorías las cuales son:

- **Categoría 1 Centrada en la descripción de la existencia de fuerza que actúan sobre el objeto.** Que se refiere a los alumnos que consideraron y describieron solamente las fuerzas que actúan sobre el objeto descrito en el fenómeno que se está considerando.
- **Categoría 2 Centrada la existencia de fuerza.** Que se refiere a los alumnos que consideraron únicamente la existencia de fuerzas que están presentes en el objeto sin describir cada una de ellas
- **Categoría 3 Centrada en la Primera Ley de Newton.** Esta se refiere a los alumnos que consideraron la Primera Ley de Newton para describir que existen fuerzas actuando sobre el objeto en reposo.
- **Categoría 4 Centrada en la energía.** Esta se refiere a los alumnos que consideraron la energía presente en el automóvil.

La mayoría de los alumnos, 11 de 18 alumnos, se centraron en la categoría 1, quienes consideran que sí existen fuerzas actuando sobre el automóvil que se encuentra en reposo argumentando que *“el auto está en reposo, sobre la superficie se encuentra la fuerza de fricción estática, el peso y normal”*. Otros cuatro alumnos están dentro de la categoría 2, ellos respondieron que *“Cualquier objeto en equilibrio tiene fuerzas actuando sobre él”*. Otro alumno está dentro de la categoría 4, quien se lo adjudica a la energía y presión atmosférica que se está ejerciendo sobre el automóvil, argumentando que *“El auto está en reposo conserva la misma energía cinética, la atmósfera y el suelo ejercen fuerza sobre el auto”*, mientras que sólo dos personas, quienes están dentro de la categoría 3, justifican que sí existen fuerzas actuando sobre el automóvil pero la suma de estas fuerzas es 0 utilizando la Primera Ley de Newton *“Si hay fuerzas presentes, la primera ley de Newton donde dice que la suma de las fuerzas es igual a 0”*.

En la tabla 12 se presentan los conceptos que fueron empleados por los alumnos del grupo experimental al responder el reactivo 4, los cuales fueron clasificados en dos categorías.

Conceptos:

Categoría 1. Procesos. Interacción acausal artificial	Categoría 2. Materia
Fuerza de fricción, perpendicular, reposo, conservación, energía cinética, atmósfera, ejercer, fuerza, equilibrio, gravedad, primera ley de Newton, suma de fuerzas, movimiento, tiempo, estado estático, magnitud, sentido, reacción, peso, espacio, fuerza normal, fricción estática.	Objeto, automóvil, superficie.

Tabla 12. Clasificación de conceptos utilizados por los alumnos del grupo experimental en el reactivo 4.

Grupo control:

Las primeras tres categorías de este grupo, son las mismas que las categorías del grupo experimental, a diferencia que en el grupo experimental existe una cuarta categoría relacionada con energía y **en este grupo la cuarta categoría es de los alumnos que no respondieron el reactivo.**

- **Categoría 1 Centrada en la descripción de existencia de fuerza que actúan sobre el automóvil.** Que se refiere a los alumnos que consideraron y describieron solamente las fuerzas que actúan sobre el objeto descrito en el fenómeno que se está considerando.
- **Categoría 2 Centrada la existencia de fuerza.** Que se refiere a los alumnos que consideraron únicamente la existencia de fuerzas que están presentes en el objeto sin describir cada una de ellas
- **Categoría 3 Centrada en la primera Ley de Newton.** Esta se refiere a los alumnos que consideraron la primera ley de Newton para describir que existen fuerzas actuando sobre el objeto en reposo
- **Categoría 4 sin contestar.** Son los alumnos que no respondieron el reactivo.

La mayoría de los alumnos del grupo control, 9 de 15 alumnos, se centraron en la categoría 1, la cual se refiere a la existencia de fuerzas que actúan sobre el automóvil, quienes argumentaron que **“Existe la fricción, el peso y la normal”**. Otros tres alumnos se centraron en la categoría 2, quienes solamente argumentaron que **“Existen fuerzas actuando sobre el automóvil”**, dos alumnos están dentro de la categoría 3, quienes se centraron en la primera Ley de Newton justificando que **“sí existen fuerzas que hacen que este en reposo”** y uno de los alumnos no respondió el reactivo.

En la tabla 13 se presentan los conceptos que fueron empleados por los alumnos del grupo control al responder el reactivo 4, los cuales fueron clasificados en dos categorías.

Conceptos:

Categoría 1. Procesos. Interacción acausal artificial	Categoría 2. Materia
Fricción, reacción, fuerza normal, peso, movimiento, masa, reposo, fuerzas, velocidad, constantes, gravedad, deslizar, contacto, aceleración.	Objeto, automóvil, superficie, llantas, cuerpo.

Tabla 13. Clasificación de conceptos utilizados por los alumnos del grupo control en el reactivo 4.

Observaciones sobre los conceptos empleados por parte del grupo control y experimental.

Al analizar el conjunto de conceptos utilizados por el grupo control, se observa que utilizan menor cantidad de conceptos físicos, conceptos materiales muy similares.

Los conceptos físicos que ambos grupos emplean son: fuerza de fricción, fuerza normal, peso, movimiento, reposo, fuerzas y gravedad mientras que los alumnos del grupo experimental emplean otros conceptos los cuales son perpendicular, conservación, energía cinética, atmósfera, ejercer, equilibrio, primera ley de Newton, suma de fuerzas, tiempo, estado estático, magnitud, sentido, reacción, espacio y fricción estática, así mismo los alumnos del grupo control utilizan otros pero en menor cantidad como son reacción, masa, velocidad, constantes, deslizar, contacto y aceleración.

También se puede observar que los conceptos de tipo material que tienen en común ambos grupos son objeto, automóvil y superficie, dichos conceptos son los únicos empleados por los alumnos del grupo experimental, mientras que los alumnos del grupo control utilizan otros dos como son llantas y cuerpo.

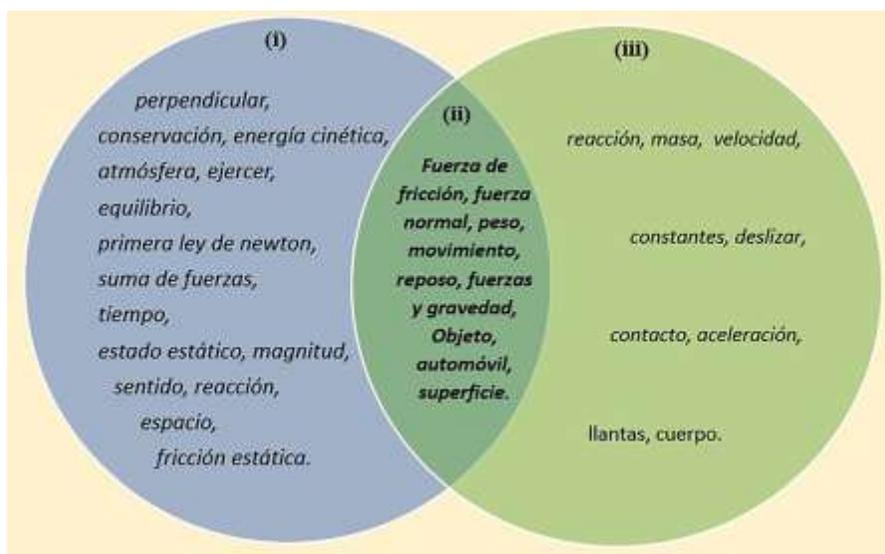


Figura 22. (i) Conceptos empleados en el reactivo 4 por los alumnos del grupo experimental. (ii) Conceptos en común empleados por los alumnos del grupo experimental y control en el reactivo 4. (iii) Conceptos empleados en el reactivo 4 por los alumnos del grupo control.

Reactivo 5. Si una persona empuja una caja pesada, que está en reposo, esta requiere una fuerza “F” para iniciar su movimiento, sin embargo un vez que esta se desliza, requiere una fuerza *más pequeña* para mantener su movimiento, ¿por qué esto es así?

Grupo experimental: En este reactivo existen tres categorías las cuales se describen como:

- **Categoría 1 Centrado en la fuerza de fricción estática y cinética.** Que se refiere a los alumnos que consideraron y describieron que la fuerza de fricción estática es mayor que la fuerza de fricción cinética.

- **Categoría 2 Centrada en una fuerza para romper el equilibrio.** Que se refiere a los alumnos que consideraron las fuerzas que actúan sobre el objeto y por ende necesitan aplicar una fuerza de gran magnitud para romper el equilibrio.
- **Categoría 3 Centrada en la fuerza de fricción opuesta al movimiento.** Que se refiere a los alumnos que consideraron únicamente la existencia de una fuerza de fricción que está presente entre la superficie y el objeto y que es opuesta al movimiento.

En este reactivo, 13 de los 18 alumnos del grupo experimental, se centraron en la categoría 1, quienes consideran la propiedad $F_k < F_s$, justificando que el fenómeno se debe **“Porque la fuerza de fricción estática es mayor que la fuerza de fricción cinética”**, mientras que cuatro alumnos se están dentro de la categoría 3, quienes respondieron que se necesita aplicar una fuerza mayor para poder romper el equilibrio o vencer la fuerza de fricción **“Cuando la persona empieza a empujar la caja tiene una fuerza de fricción y conforme la tiene la fuerza aplicada es menor ya que se ha vencido la fricción”** considerando la propiedad de la fuerza de fricción opuesta al movimiento y mayor a la fuerza aplicada. Solamente un alumno se centró en la categoría 2, quien consideró que se necesita una fuerza para romper el equilibrio **“Porque se requiere más fuerza para romper el equilibrio”**.

En la tabla 14 se presentan los conceptos que fueron empleados por los alumnos del grupo experimental al responder el reactivo 5, los cuales fueron clasificados en dos categorías.

Conceptos:

Categoría 1. Procesos. Interacción acausal artificial	Categoría 2. Materia
Coeficiente de fricción, fuerza mayor, punto, romper equilibrio, fuerza de fricción, movimiento, aplicar, peso, estático, distribuir, dirección, cantidad, fricción estática, fricción cinética, aumento máximo, magnitud, coeficiente dinámico, desplazamiento, fuerza aplicada, cambio de fricción, cambio, estabilidad, estado, fácil, deslizar, ceder, romper, alcanzar, empujar, vencer.	caja

Tabla 14. Clasificación de conceptos utilizados por los alumnos del grupo experimental del reactivo 5.

Grupo control: En este grupo **solamente existen dos categorías**, las cuales son iguales a las primeras dos categorías utilizadas en el grupo experimental.

- **Categoría 1 Centrado en la fuerza de fricción estática y cinética.** Que se refiere a los alumnos que consideraron y describieron que la fuerza de fricción estática es mayor que la fuerza de fricción cinética.

- **Categoría 2 Centrada en una fuerza para romper el equilibrio.** Que se refiere a los alumnos que consideraron las fuerzas que actúan sobre el objeto y por ende necesitan aplicar una fuerza de gran magnitud para romper el equilibrio.

La mayor parte de los alumnos del grupo control, 12 de 15 alumnos, están centrados en la categoría 1, quienes consideran la propiedad $F_k < F_s$, argumentando que el fenómeno se debe **“Porque la fuerza de fricción estática es mayor que la fuerza de fricción cinética”**, mientras que tres alumnos, se centraron en la categoría 2, justificando que **“se requiere una fuerza para salir del reposo”** considerando la propiedad de la fuerza de fricción como opuesta al movimiento.

En la tabla 15 se presentan los conceptos que fueron empleados por los alumnos del grupo control al responder el reactivo 5, los cuales fueron clasificados en dos categorías.

Conceptos:

Categoría 1. Procesos. Interacción acausal artificial	Categoría 2. Materia
Aplicar, fuerza, aceleración, peso, fricción, gravedad, reposo, fricción estática, detener, fricción cinética, movimiento, dinámico, estacionario, empujar, vencer.	caja

Tabla 15. Clasificación de conceptos utilizados por los alumnos del grupo control en el reactivo 5.

Observaciones sobre los conceptos empleados por parte del grupo control y experimental.

Al comparar los grupos de conceptos del grupo control y el grupo experimental, se observa que el grupo control emplea menos conceptos que en su mayoría son de tipo físicos, así como menos cantidad de conceptos de tipo estado mental.

Los conceptos de tipo físicos como aplicar, peso, fuerza de fricción, fricción estática, fricción cinética, movimiento y coeficiente dinámico, son conceptos que los alumnos de ambos grupos tienen en común, sin embargo los alumnos del grupo experimental emplean otros cantidad de conceptos de este tipo como son coeficiente de fricción, fuerza mayor, punto, romper equilibrio, estático, distribuir, dirección, cantidad, aumento máximo, magnitud, desplazamiento, fuerza aplicada, cambio de fricción, cambio, estabilidad, estado y fácil, mientras que los alumnos del grupo control emplean una menor cantidad de conceptos como son fuerza, aceleración, gravedad, reposo, detener y estacionario.

Los conceptos de tipo estado mental que tienen en común los alumnos del grupo control y del grupo experimental son empujar y vencer, sin embargo, los alumnos del grupo experimental utilizaron otros como son deslizar, ceder, romper y alcanzar.

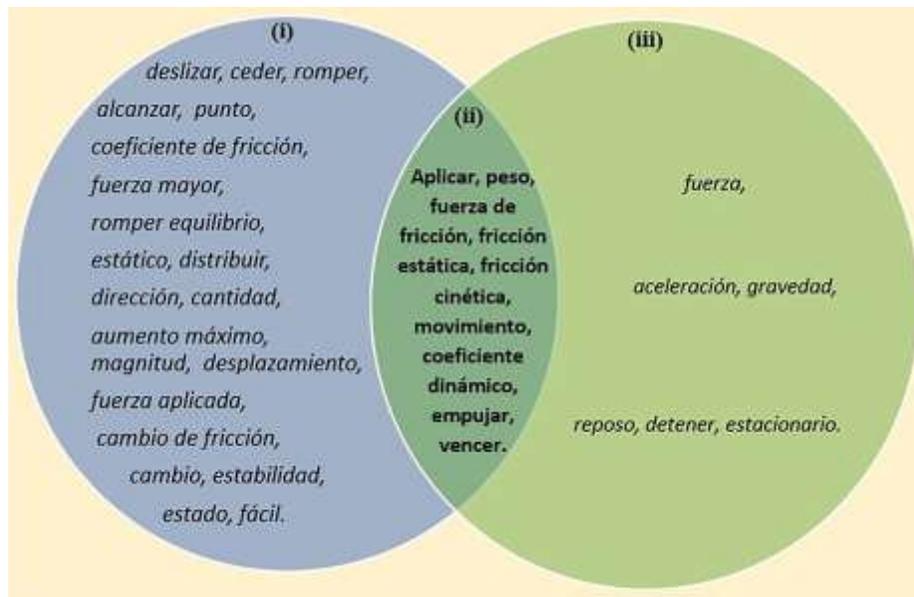


Figura 23. (i) Conceptos empleados en el reactivo 5 por los alumnos del grupo experimental. (ii) Conceptos en común empleados por los alumnos del grupo experimental y control en el reactivo 5. (iii) Conceptos empleados en el reactivo 5 por los alumnos del grupo control.

Reactivo 6. Cuando se camina sobre una pista de patinaje sobre hielo, donde la fricción es muy baja, ¿se deben dar pasos cortos o pasos largos? ¿Por qué? Si no hubiera fricción en la pista, ¿sería posible salirse de la pista congelada?

Grupo experimental: En este reactivo existen cinco categorías los cuales son:

- **Categoría 1 Pasos cortos.** Esta categoría está centrada en los alumnos que respondieron que se deben dar pasos cortos y justificando que no se podría salir del lago si no hubiera fuerza de fricción.
- **Categoría 2 Pasos cortos con posibilidad de salir.** Los alumnos que consideraron dar pasos cortos para poder salir del lago y además consideraron que sería posible salir de la pista sin una fuerza de fricción actuando.
- **Categoría 3 Pasos largos.** Son los alumnos que se centraron en dar pasos largos para caminar sobre el lago congelado y sin la posibilidad de poder salir sin fricción en el lago.
- **Categoría 4 Pasos cortos relacionados con el ángulo.** Aquí los alumnos se centraron en la relación que existe en el ángulo menor que se tiene entre cada paso para poder caminar sobre el lago, considerando además que no sería posible salir del mismo sin una fuerza de fricción actuando.
- **Categoría 5 Sin contestar.** Son los alumnos que no respondieron a la pregunta.

La mayoría de los alumnos del grupo experimental, 8 de 18 alumnos, se centraron en la categoría 1 pasos cortos, argumentando que “*Se deben dar pasos cortos porque si das pasos largos podrías*

resbalar debido a que la fricción es muy pequeña, si no hay fricción sería imposible salir porque te resbalarías en cada paso". Otros dos alumnos están centrados en la categoría 2, quienes respondieron que es necesario dar pasos cortos y que sin fricción sí se podría salir de la pista *"Pasos cortos, porque sería poca fricción que se desplazaría en cada paso, mientras más cortos los pasos más equilibrio se tiene. Sí sería posible salir de la pista sin fricción con solo una fuerza inicial"*. Otros cuatro alumnos del grupo están dentro de la categoría 3, ellos respondieron que era necesario dar pasos largos y con posibilidad de salir del lago si no hubiera fricción *"Se deben dar pasos largos para tener un mejor agarre y evitar una caída, sin fricción no podríamos salir ya que nos resbalaríamos"*, así mismo, sólo tres alumnos están en la categoría 3, relacionaron el ángulo al cual se deben de dar los pasos y argumentando que sin fricción no se podría salir del lago congelado *"Se deben realizar pasos cortos ya que el ángulo es menor y esto permite mantener el equilibrio ya que la fuerza aplicada está más centrada en el eje y. Sin fricción no es posible salir"*. Sólo un alumno no respondió el reactivo.

En la tabla 16 se presentan los conceptos que fueron empleados por los alumnos del grupo experimental al responder el reactivo 6, los cuales fueron clasificados en tres categorías.

Conceptos:

Categoría 1. Procesos	Categoría 2. Materia	Categoría 3. Estados mentales
Fricción, distancia, fuerza, equilibrio, control, fuerza aplicada, desplazar, velocidad, impulso, reposo, movimiento, eje y, eje x, fuerza aplicada, equilibrio, suma de fuerzas, aceleración, ángulo, masa, proporción, fuerza resistiva, pasos cortos, contrarrestar, pasos largos, recorrer, deslizar.	Pista, suelo.	Resbalar, salir, caer, mantener de pie.

Tabla 16. Clasificación de conceptos utilizados por los alumnos el grupo experimental en el reactivo 6.

Grupo control: Aquí sólo se presentan 3 categorías las cuales son iguales a las tres primeras categorías del grupo experimental.

- **Categoría 1 Pasos cortos.** Esta categoría está centrada en los alumnos que respondieron que se deben dar pasos cortos y justificando que no se podría salir del lago si no hubiera fuerza de fricción.

- **Categoría 2 Pasos cortos con posibilidad de salir.** Los alumnos que consideraron dar pasos cortos para poder salir del lago y además consideraron que sería posible salir de la pista sin una fuerza de fricción actuando.
- **Categoría 3 Pasos largos.** Son los alumnos que se centraron en dar pasos largos para caminar sobre el lago congelado y sin la posibilidad de poder salir sin fricción en el lago.

En este reactivo, 9 de los 18 alumnos del grupo control se centraron en la categoría 1, quienes argumentaron que se deben de dar pasos cortos *“Se recomienda dar pasos cortos ya que lo que evita que te resbales es la fuerza de fricción y en el hielo es muy baja, si no hubiera fricción nadie se podría mantener en pie y no se pudiera salir de la pista”*. Otros cuatro de los alumnos están dentro de la categoría 2, considerando que se deben dar pasos cortos y que sin fricción sí sería posible salir del lago congelado *“Si se dan pasos largos es más difícil sostenerse, si no hay fricción sería posible salirse ya que no habría una fuerza que se oponga al movimiento”*, mientras que el resto de los alumnos (sólo 2) consideraron dar pasos largos con posibilidades de salir del lago cuando no hay fricción *“Largos para aprovechar la poca fricción y movernos más. Sí, sí sería posible en caso de encontrar la manera de no sólo patinar”*.

En la tabla 17 se presentan los conceptos que fueron empleados por los alumnos del grupo control al responder el reactivo 6, los cuales fueron clasificados en tres categorías.

Conceptos:

Categoría 1. Procesos. Interacción acausal artificial	Categoría 2. Materia	Categoría 3. Estados mentales
Fricción, despreciable, distancia, estáticos, velocidad, peso, equilibrio, coeficiente, estable, fuerza, movimiento, desplazamiento, pasos cortos, deslizamiento, detener.	Patines	Resbalar, mantenerse de pie, avanzar, caer, patinar, salir.

Tabla 17. Clasificación de conceptos utilizados por los alumnos del grupo control en el reactivo 6.

Observaciones sobre los conceptos empleados por parte del grupo control y experimental.

Al analizar ambos conjuntos de conceptos empleados por el grupo experimental y el grupo control, se observa que los alumnos del grupo control emplean un menor número de conceptos tanto físicos como de estado mental.

Los conceptos como fricción, pasos cortos, desplazamiento, deslizar, distancia, fuerza, equilibrio, velocidad y movimiento con conceptos de tipo físicos en común que emplearon los alumnos de ambos grupos. Sin embargo los alumnos del grupo experimental emplean una mayor cantidad de

conceptos a parte de los antes mencionados como son: control, fuerza aplicada, impulso, reposo, eje y, eje x, fuerza aplicada, equilibrio, suma de fuerzas, aceleración, ángulo, masa, proporción y fuerza resistiva, mientras que los alumnos del grupo control emplean una menor cantidad de conceptos como despreciable, estáticos, peso, coeficiente, detener y estable.

Los conceptos de tipo estado mental como, resbalar, mantener, caer y salir, son los conceptos que tienen en común ambos grupos. Se observa también que los alumnos del grupo control emplean otros conceptos, por ejemplo avanzar y patinar.

En este reactivo no comparten conceptos en común de tipo material, los alumnos del grupo experimental emplean los siguientes conceptos: pista y suelo, mientras que los alumnos del grupo experimental utilizan el concepto patinar.

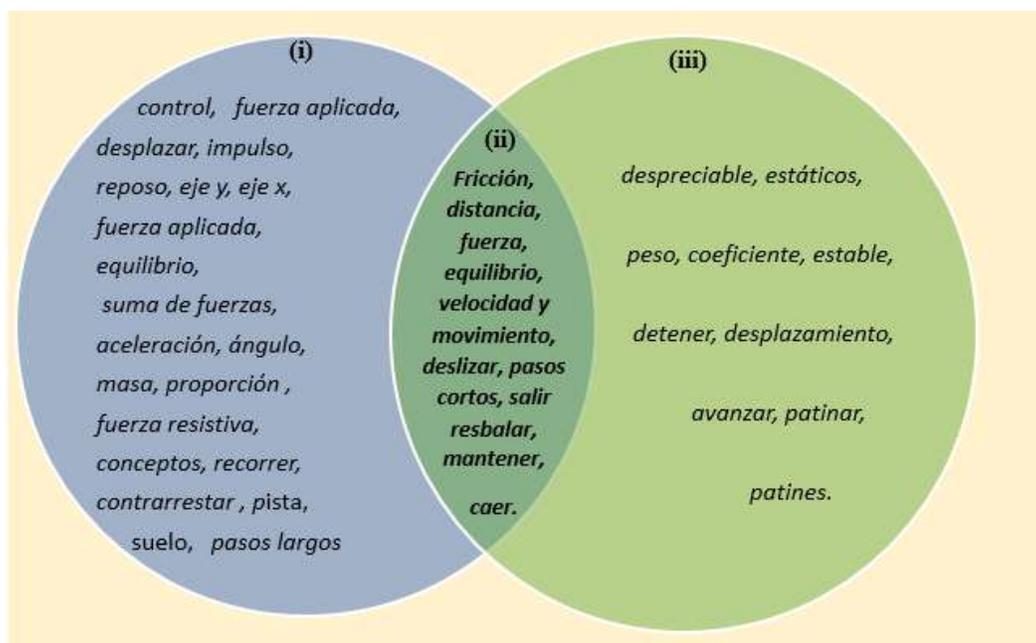


Figura 24. (i) Conceptos empleados en el reactivo 6 por los alumnos del grupo experimental. (ii) Conceptos en común empleados por los alumnos del grupo experimental y control en el reactivo 6. (iii) Conceptos empleados en el reactivo 6 por los alumnos del grupo control.

En la tabla 18, se describe una síntesis de los resultados más importantes de los reactivos 1 al 6, los cuales están enfocados en la fuerza de fricción.

SÍNTESIS GRUPO 1. ENFOCADO EN FUERZA DE FRICCIÓN

Reactivos 1, 2, 3, 4, 5 y 6

En la revisión de los distintos tipos de conceptos empleados, se observa que los alumnos del grupo control emplean un menor número de conceptos físicos en comparación con los del grupo experimental, también emplean un menor número de conceptos materiales y de tipo estado mental.

Los alumnos del grupo experimental, además de utilizar los conceptos típicos que manejan los alumnos del grupo control, también profundizan y emplean otros conceptos.

El hecho de que los alumnos del grupo experimental utilicen un mayor número de conceptos no depende del número de alumnos.

Se observa que en el grupo experimental se clasificaron en más categorías las respuestas a cada uno de los reactivos en comparación a las categorías del grupo control, debido a los distintos argumentos utilizados por los alumnos del grupo experimental y el uso de diferentes propiedades.

Algunas de las propiedades empleadas por los alumnos del grupo experimental son similares a las propiedades que emplearon los alumnos del grupo control como ejemplo de algunas propiedades son las siguientes: *fuerza de fricción opuesta al movimiento* ($F = ma$), *primera ley de Newton*, $F = ma$, $\Sigma F = ma$, *fuerza de fricción evita el deslizamiento entre dos superficies*, $F_k < F_s$, *poca fricción hay poca estabilidad*, sin embargo el grupo experimental emplea otras más como son: *ángulo*, *energía* y *fuerza*.

El significado que le asocian a la fuerza de fricción los alumnos del grupo experimental y los alumnos del grupo control es, en la mayoría de los casos, como opuesta al movimiento y como tradicionalmente se enseña $f = \mu N$, en otros casos la asocian a la sumatoria de fuerzas $\Sigma F = ma$ y dependiendo de la superficie en la que se encuentre un objeto será la fuerza de fricción que existirá.

Tabla 18. Síntesis del grupo 1.

A continuación se describen los resultados del segundo grupo, que incluye los reactivos 7 al 12, el cual se enfoca en la comparación de los distintos contextos relacionados con la fuerza de fricción y energía.

Aquí se describen de manera global los resultados de los reactivos y de manera particular se analizan las respuestas de dos alumnos muestra, uno del grupo control y uno del grupo experimental, quienes destacan del resto del grupo en la resolución del cuestionario final.

Reactivo 7. Considera el sistema masa-resorte y describe ¿Cómo es la magnitud del trabajo de la fuerza de fricción a medida que la masa se mueve alrededor de su posición de equilibrio? ¿A qué se debe dicho comportamiento?

Grupo experimental: En el reactivo 7 existen cinco categorías las cuales son:

- **Categoría 1 Problematizado, Ley de Hooke.** Son los alumnos que se centraron en la ley de Hooke describiendo mediante la descripción de la propiedad
- **Categoría 2 Trabajo negativo.** Aquí los alumnos se centraron en el movimiento del resorte refiriéndose a la realización de un trabajo negativo.
- **Categoría 3 Calor y movimiento.** Son los alumnos que consideran el movimiento como responsable de que la magnitud del trabajo de la fuerza de fricción vaya en aumento.
- **Categoría 4 Respuestas no concretas.** En esta categoría los alumnos dan una respuesta poco concreta divagando sobre ella.
- **Categoría 5 Sin responder.** Son los alumnos que no responden la pregunta.

Tres de los alumnos del grupo experimental se centraron en la categoría 1, la cual se refiere a la Ley de Hooke justificando que *“El trabajo es directamente proporcional a la amplitud y la constante del resorte”*. Uno de los alumnos se centró en la categoría 2, quien respondió lo siguiente: *“Va en aumento porque el trabajo depende de la distancia que se mueva el objeto”*, mientras que otros dos alumnos están en la categoría 3, ellos argumentaron que *“Alcanza un límite y regresa por lo que el trabajo del resorte es negativo y va en aumento según el número de veces que se mueva”*. Otra parte de los alumnos y que fueron la mayoría (5 de 18 alumnos), están dentro de la categoría 4, ellos dieron respuestas no concretas, utilizando propiedades como el movimiento oscilatorio y justificando que *“Actúa de manera irregular ya que se está moviendo de su punto de equilibrio no sería la misma en todos los puntos donde se encuentre”*. Mientras que los siete alumnos restantes del grupo no respondieron el reactivo.

En la tabla 19 se presentan los conceptos que fueron empleados por los alumnos del grupo experimental al responder el reactivo 7, los cuales fueron clasificados en dos categorías.

Conceptos:

Categoría 1. Procesos. Interacción acausal artificial	Categoría 2. Materia
Lineal, proporción, distancia, masa, punto, equilibrio, fuerza de fricción, fuerza, variable, tiempo, proporción, constante, elongación, ley de Hooke, amplitud, límite, trabajo negativo, aumento, movimiento, conversión, calor, magnitud, menor, punto de equilibrio, oscilación, origen, opuesto, trabajo, separar, ceder.	resorte, objeto

Tabla 19. Clasificación de conceptos utilizados por los alumnos del grupo experimental en el reactivo 7.

Alumno muestra del grupo experimental: No respondió el reactivo

Grupo control: En comparación con el grupo experimental, **dentro del grupo control existen solamente 3 categorías, la categoría 1 corresponde a la categoría 4 del grupo experimental, la categoría 3 corresponde a la categoría 5 del grupo experimental y existe una nueva categoría la cual es la categoría 2 centrada en la fuerza de fricción, que dicha categoría no se encuentra en el grupo experimental.**

- **Categoría 1 Respuestas no concreta.** En esta categoría los alumnos dan una respuesta poco concreta divagando sobre ella.
- **Categoría 2 Centrada en la fuerza de fricción.** Son los alumnos que se centraron en la fuerza de fricción como opuesta al movimiento.
- **Categoría 3 Sin responder.** Son los alumnos que no responden la pregunta.

En este reactivo, 4 de 15 alumnos se centraron en la categoría 1 que se refiere a las respuestas no concretas y poco justificada del tipo “ *La magnitud de la fuerza de fricción es grande debido a la contracción o elongación del resorte ya que si constante es directamente proporcional a esta fuerza*”, mientras que sólo uno se centró en la categoría 2, quien respondió que la magnitud de la fuerza de fricción es siempre opuesta al movimiento “*Sigue siendo igual contraria al movimiento, ya que el resorte al empujarlo a su posición de equilibrio que es cuando la compresión es 0, genera un movimiento en la masa y al moverse hay una fricción oponiéndose*”. Así mismo 10 de los alumnos, que fueron el resto del grupo, no respondieron el reactivo.

En la tabla 20 se presentan los conceptos que fueron empleados por los alumnos del grupo control al responder el reactivo 7, los cuales fueron clasificados en dos categorías.

Conceptos:

Categoría 1. Procesos. Interacción acausal artificial	Categoría 2. Materia
Fuerza de fricción, magnitud positiva, masa, posición, dirección, peso, segmento, reposo, contracción, elongación, constante, proporcional, fuerza, movimiento, equilibrio, compresión, generar, empujar, opuesto.	resorte

Tabla 20. Clasificación de conceptos utilizados por los alumnos del grupo control en el reactivo 7.

Alumno muestra del grupo control:

Aquí el alumno muestra del grupo control se centró en la categoría 2, considerando el trabajo de la fuerza de fricción como opuesta al movimiento argumentando que ***“Sigue siendo igual al contrario del movimiento, ya que el resorte al empujarlo a su posición de equilibrio que es cuando la compresión es cero, genera un movimiento en la masa y al moverse hay una fricción oponiéndose”***.

En la tabla 21 se presentan los conceptos que fueron empleados por el alumno muestra del grupo control al responder el reactivo 7, los cuales fueron clasificados en dos categorías.

Conceptos:

Categoría 1. Procesos. Interacción acausal artificial	Categoría 2. Materia
Movimiento, contrario, posición de equilibrio, compresión, masa, generar, fricción, opuesta, empujar.	resorte

Tabla 21. Clasificación de conceptos utilizados por el alumno muestra del grupo control en el reactivo 7.

Observaciones sobre los conceptos empleados por parte del grupo control y experimental, así como de los alumnos muestra.

Se puede observar que dentro del conjunto de conceptos empleados por ambos grupos, existen conceptos físicos en común como posición, empujar, dirección, peso, segmento, reposo, contracción, movimiento, compresión y generar. Sin embargo, los alumnos del grupo experimental utilizan otros conceptos de tipo físicos tales como lineal, distancia, masa, punto, equilibrio, variable, tiempo, proporción, ley de Hooke, trabajo, amplitud, límite, trabajo negativo, aumento, movimiento, conversión, calor, menor, oscilación, origen y trabajo, mientras que los alumnos del grupo control utiliza conceptos como proporción, fuerza de fricción, magnitud positiva, masa, elongación, constante, fuerza, equilibrio y opuesto.

El único concepto de tipo material que tienen en común ambos grupos es resorte, ya que es el único empleado por el grupo control, mientras que el grupo experimental también utiliza el concepto objeto.

Los conceptos utilizados por el alumno muestra del grupo experimental están marcados con el superíndice C en la figura 25.

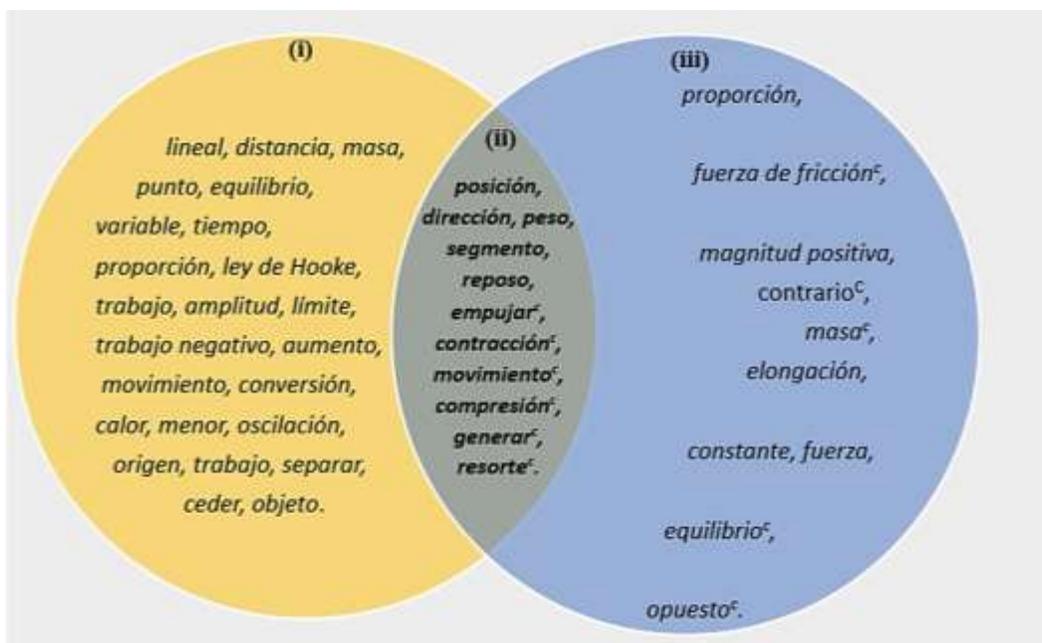


Figura 25. (i) Conceptos empleados en el reactivo 7 por los alumnos del grupo experimental. (ii) Conceptos en común empleados por los alumnos del grupo experimental y control en el reactivo 7. (iii) Conceptos empleados en el reactivo 7 por los alumnos del grupo control.

Reactivo 8. ¿Cómo se comporta la magnitud de la velocidad, la energía potencial y la energía cinética cada vez que el cuerpo alcanza el punto más alto en su movimiento, ya sea el patinador o la masa del péndulo?

Grupo experimental: En este grupo, existen cinco categorías las cuales se describen como:

- **Categoría 1 Centrada en la transformación de energía y la velocidad.** Se refiere a los alumnos que consideraron la transformación de energía del sistema debido al movimiento oscilatorio y el trabajo ejercido por la fuerza de fricción.

- **Categoría 2 Centrado en la altura, energía potencial, cinética, la velocidad y la existencia de fricción.** Se refiere a los alumnos que consideraron únicamente la energía potencial, cinética y la velocidad que depende de la altura.
- **Categoría 3 Centrados en energía potencial, cinética y la velocidad relacionadas con las oscilaciones.** Los alumnos consideran que no tiene la misma energía potencial debido a las oscilaciones del sistema.
- **categoría 4 Consideraron el sistema igual debido a la existencia de la resistencia del aire.** Aquí los alumnos se centraron en la comparación de los sistemas considerándolos iguales y relacionando el cambio de las energías y la velocidad con una resistencia que se opone al movimiento.
- **Categoría 5 Sin contestar.** Aquí se encuentran los alumnos que no contestaron el reactivo.

En esta respuesta, 4 de los 18 alumnos se centraron en la categoría 1, considerando la propiedad de la transformación de energía, tomando en cuenta que el trabajo de la fuerza de fricción que ejerce sobre el sistema disminuye la altura a la que llega el péndulo o el patinador en cada oscilación. *“La velocidad máxima cada vez es menor, la energía potencial disminuye hasta alcanzar una altura menor en cada oscilación y la energía perdida se transforma en calor hasta el punto en que se detiene y la energía térmica es la energía del sistema”.*

En este reactivo se puede observar que la mayor parte de los alumnos del grupo, 9 de 18 alumnos, se centraron en la categoría 2, que se refiere a la energía potencial, cinética y la velocidad, justificando que existía energía potencial debido a que había altura y no existía energía cinética ni velocidad. *“Existe energía potencial gravitacional porque tiene altura, no existe energía cinética porque en el punto más alto la velocidad es cero, existe fuerza de fricción”.*

Dos de los alumnos se centraron en la categoría 3, ellos consideraron las oscilaciones de los sistemas para justificar que la energía potencial cambiaba, además de tomar en cuenta una resistencia opuesta al movimiento. *“Energía potencial es máxima y decrece en cada pasada, Energía cinéticas nula, velocidad es cero”*

Sólo uno de los alumnos se centró en la categoría 4, argumentando que *“Son iguales ya que se toma como el punto de partida. Ambos tienen una resistencia que se opone a su fuerza y velocidad”.* El resto del grupo, 2 alumnos, no respondió el reactivo.

En la tabla 22 se presentan los conceptos que fueron empleados por los alumnos del grupo experimental al responder el reactivo 8, los cuales fueron clasificados en dos categorías.

Conceptos:

Categoría 1. Procesos. Interacción acausal artificial	Categoría 2. Materia
Velocidad máxima, energía potencial, disminución, altura, oscilación, energía perdida, transformación de energía, calor, energía térmica, energía del sistema, fricción, velocidad, energía cinética, punto, reposo, sin movimiento, decrecer, nula, magnitudes, máximo, sistema, resistencia, oposición, fuerza, mínimo, punto de partida, punto máximo decrecer, disminuir, gradualmente, conversión, alcanzar, detener.	Objetos

Tabla 22. Clasificación de conceptos utilizados por los alumnos del grupo experimental en el reactivo 8.

Alumno muestra del grupo experimental:

En este grupo, el alumno “muestra” se centró en la categoría 1, considerando **la transformación de energía** en el sistema argumentando que *“Cuando pasa por el punto más alto, la energía potencial está en su máximo y la energía cinética es nula así como la velocidad es cero. Con el paso de las oscilaciones se convertirá en energía térmica hasta dejar de moverse”*.

En la tabla 23 se presentan los conceptos que fueron empleados por el alumno muestra del grupo experimental al responder el reactivo 8, los cuales fueron clasificados en dos categorías.

Conceptos:

Categoría 1. Procesos. Interacción acausal artificial
Energía potencial, energía cinética, máximo, nulo, oscilaciones, conversión, energía térmica, dejar de moverse.

Tabla 23. Clasificación de conceptos utilizados por el alumno muestra del grupo experimental en el reactivo 8.

Grupo control: En comparación con el grupo experimental, **en el reactivo 8 sólo existen 3 categorías de las cuales la categoría 1 corresponde a la categoría 2 del grupo experimental, la categoría 3 corresponde a la categoría 5 del grupo experimental y existe una nueva categoría que es la categoría 2, la cual no existe en el grupo experimental.**

- **Categoría 1 Centrado en la altura, energía potencial, cinética y la velocidad.** Se refiere a los alumnos que consideraron únicamente la energía potencial, cinética y la velocidad que depende de la altura.

- **Categoría 2 Consideraron todo cero.** Son los alumnos que consideraron que las magnitudes consideradas en el fenómeno eran cero.
- **Categoría 3 Sin contestar.** Aquí se encuentran los alumnos que no contestaron el reactivo.

Al igual que los alumnos del grupo experimental, la mayoría de los alumnos de grupo control, 9 de 15 alumnos, se centraron en la categoría 1, la cual se refiere a la energía potencial, cinética y la velocidad considerando que en el punto más alto hay altura y existe energía potencial y no energía cinética ni velocidad argumentando que *“En el punto más alto hay altura y existe energía potencial y no energía cinética ni velocidad”*.

Únicamente 3 alumnos se centraron en la categoría 2, quienes consideraron todo cero, pues argumentaron que *“Todo es cero, ya que al llegar al punto más alto todo queda en reposo”*.

El resto de los alumnos, 3 alumnos, no respondieron el reactivo.

En la tabla 24 se presentan los conceptos que fueron empleados por los alumnos del grupo control al responder el reactivo 8, los cuales fueron clasificados en dos categorías.

Conceptos:

Categoría 1. Procesos. Interacción acausal artificial

Velocidad, energía cinética, energía potencial, máxima, punto, aumento, disminución, segundos, cero, reposo, descender, regresar, detener.

Tabla 24. Clasificación de conceptos utilizados por los alumnos del grupo control en el reactivo 8.

Alumno muestra del grupo control:

En comparación con el grupo experimental y comparando al alumno “muestra” del grupo experimental, el alumno “muestra” de este grupo se centró en la categoría 2, quien únicamente consideró **la energía cinética, la energía potencial y la velocidad** por las condiciones dadas, es decir por la altura, argumentando lo siguiente: *“En el punto más alto la velocidad es cero, ya que no hay más a subir, sino sería su punto más alto, por ende su velocidad cinética es cero en ese instante, pero es donde la energía potencial es máxima, ya que hay mayor altura respecto a su eje”*.

En la tabla 25 se presentan los conceptos que fueron empleados por el alumno muestra del grupo control al responder el reactivo 8, los cuales fueron clasificados en dos categorías.

Conceptos:

Categoría 1. Procesos. Interacción acausal artificial
Punto máximo, velocidad, energía cinética, energía potencial, máxima, eje.

Tabla 25. Clasificación de conceptos utilizados por el alumno muestra del grupo control en el reactivo 8.

Observaciones sobre los conceptos empleados por parte del grupo control y experimental, así como también por parte de los alumnos muestra de ambos grupos

Analizando los conjuntos de conceptos empleados por el grupo experimental y el grupo control, se observa que tienen elementos en común, por ejemplo los conceptos de tipo físicos como energía cinética, energía potencial, máxima, punto, disminuir y reposo, sin embargo los alumnos del grupo experimental emplean más conceptos a parte de los antes mencionados tales como velocidad máxima, disminución, altura, oscilación, energía perdida, transformación de energía, calor, energía térmica, energía del sistema, fricción, velocidad, sin movimiento, decrecer, nula, magnitudes, sistema, conversión, resistencia, oposición, fuerza, mínimo, punto de partida y punto máximo, mientras que los alumnos del grupo control también emplean otros conceptos físicos pero en menor cantidad como velocidad, aumento, segundos, cero y descender.

Así mismo, los alumnos del grupo control no emplean conceptos de tipo material.

Los alumnos muestra del grupo experimental y del grupo control, tienen conceptos físicos en común tales como energía cinética, energía potencial y máxima, mientras que el alumno del grupo experimental utiliza más conceptos como son: nulo, oscilaciones, conversión, energía térmica y dejar de moverse (marcados con el superíndice E en la figura 26), así mismo el alumno del grupo control emplea menos conceptos físicos los cuales son punto máximo, velocidad y eje (marcados con el superíndice C en la figura 26).

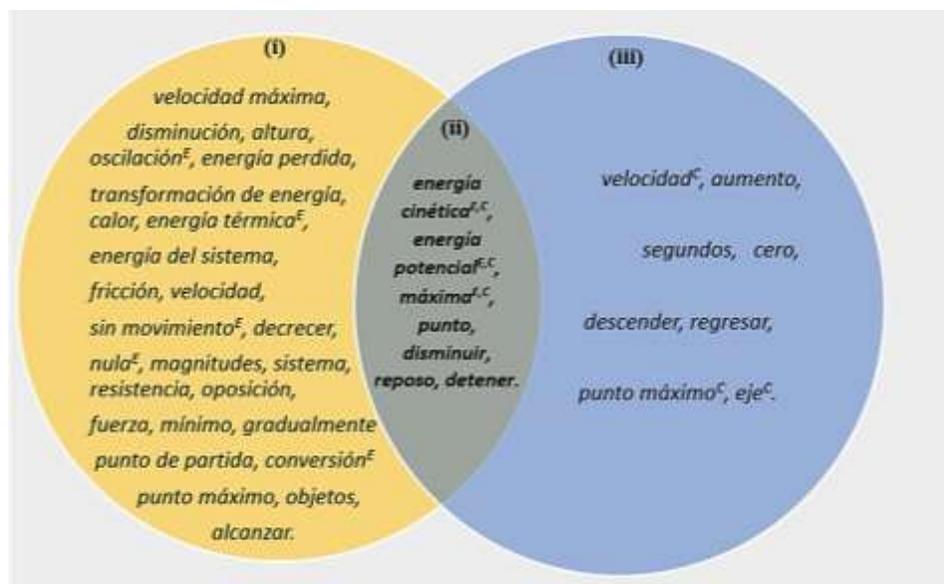


Figura 26. (i) Conceptos empleados en el reactivo 8 por los alumnos del grupo experimental. (ii) Conceptos en común empleados por los alumnos del grupo experimental y control en el reactivo 8. (iii) Conceptos empleados en el reactivo 8 por los alumnos del grupo control.

Reactivo 9. ¿Cómo se comporta la velocidad, la energía potencial y la energía cinética cada vez que el cuerpo pasa por el punto más bajo de su movimiento, patinador o masa del péndulo?

Grupo experimental:

En este reactivo, se pueden observar cuatro categorías las cuales son:

- **Categoría 1 Centrado en la altura, energía potencial, cinética y la velocidad.** Que se refiere a los alumnos que consideraron únicamente la energía potencial, cinética y la velocidad que depende de la altura.
- **Categoría 2 Centrada en la transformación de energía, EPG, EK.** Son los alumnos que consideraron la transformación de energía del sistema debido al movimiento oscilatorio, tomando en cuenta el punto de referencia el cuál era el punto más bajo para describir la energía potencial.
- **Categoría 3 Respuestas poco concreta.** En esta categoría los alumnos dan una respuesta poco esperada e inconclusa del fenómeno estudiado.
- **Categoría 4 Sin contestar.** Aquí se encuentran los alumnos que no contestaron el reactivo.

Dentro de las respuestas dadas por los alumnos del grupo experimental, la mayoría de los alumnos, 11 de 18 alumnos, están dentro de la categoría 1, donde argumentan que *“En el punto más bajo no hay altura y existe energía cinética y velocidad máxima pero no energía potencial”*.

Se puede observar que 5 de los alumnos se centraron en la categoría 2, quienes argumentaron que dicho fenómeno se debe a la transformación de energía, donde la energía potencial se transforma en energía cinética, así mismo que *“La energía potencial es 0 porque no hay altura, la energía cinética se encuentra en su máximo y la energía térmica se acumula con las oscilaciones”*.

Sólo uno de los alumnos está dentro de la categoría 3, quien no tiene una respuesta lo suficientemente concreta como la siguiente *“Las fuerzas que están actuando sobre el cuerpo se encuentran en total equilibrio”*.

Finalmente, dos de los alumnos no respondieron el reactivo.

En la tabla 26 se presentan los conceptos que fueron empleados por los alumnos del grupo experimental en el reactivo 9, los cuales fueron clasificados en dos categorías.

Conceptos:

Categoría 1. Procesos. Interacción acausal artificial	Categoría 2. Materia
Fuerzas, equilibrio, velocidad, energía potencial, menor, punto, energía cinética, altura, energía térmica, oscilaciones, gravedad, trayecto, tiempo, punto bajo, velocidad máxima, distancia, aceleración, energía total, descender, transformación de energía, cambio, punto alto, transformación, energía potencial gravitacional, acumular, máximo, fuerza de fricción, decrecer, magnitudes máximas, sistema, fuerzas, repartir.	cuerpo

Tabla 26. Clasificación de conceptos utilizados los alumnos del grupo experimental en el reactivo 9.

Alumno muestra del grupo experimental:

Al igual que el reactivo 8, el alumno “muestra” se centró en la categoría 2, él consideró en este sistema una **transformación de energía** argumentando que *“La energía potencial sería cero porque no hay altura y sería donde la energía cinética se encuentra en su máximo y la energía térmica al igual que la pregunta 11 se va a ir acumulando con el paso de las oscilaciones”*.

En la tabla 27 se presentan los conceptos que fueron empleados por el alumno muestra del grupo experimental al responder el reactivo 9, los cuales fueron clasificados en dos categorías.

Conceptos:

Categoría 1. Procesos. Interacción acausal artificial
Energía cinética, energía potencial, punto máximo, energía térmica, acumular, oscilaciones, altura.

Tabla 27. Clasificación de conceptos utilizados el alumno muestra del grupo experimental en el reactivo 9.

Grupo control:

A diferencia del grupo experimental, **en el grupo control existen solamente tres categorías** de las cuales, la categoría 1 del grupo control es igual a la categoría 1 del grupo experimental, la categoría 2 es igual a la categoría 3 del grupo experimental y finalmente la categoría 4 del grupo experimental corresponde a la categoría 3 del grupo control.

- **Categoría 1 Centrado en la altura, energía potencial, cinética y la velocidad.** Que se refiere a los alumnos que consideraron únicamente la energía potencial, cinética y la velocidad que depende de la altura.
- **Categoría 2 Respuestas poco concreta.** En esta categoría los alumnos dan una respuesta poco esperada e inconclusa del fenómeno estudiado.
- **Categoría 3 Sin contestar.** Aquí se encuentran los alumnos que no contestaron el reactivo.

Al igual que el grupo experimental, la mayoría de los alumnos del grupo control, 7 de 15, están dentro de la categoría 1, donde argumentan que *“En el punto más bajo no hay altura y existe energía cinética y velocidad máxima pero no energía potencial”*, mientras que cuatro de los alumnos se centraron en la categoría 2, quienes dieron respuestas poco concretas sobre el fenómeno dado como la siguiente *“Serían valores más altos”*. El resto del grupo, 4 alumnos, no respondió el reactivo.

En la tabla 28 se presentan los conceptos que fueron empleados por los alumnos del grupo control al responder el reactivo 9, los cuales fueron clasificados en dos categorías.

Conceptos:

Categoría 1. Procesos. Interacción acausal artificial	Categoría 2. Materia
Velocidad máxima, punto bajo, energía potencial, altura, energía cinética, eje de referencia, inclinación, desacelerar, energías, disminuir, punto máximo, disminuir, mínimo, máximo, masa, aceleración, dirección negativa.	objeto

Tabla 28. Clasificación de conceptos utilizados los alumnos del grupo control en el reactivo 9.

Alumno muestra del grupo control:

El alumno “muestra” del grupo control, consideró únicamente el punto mínimo para describir la energía cinética y potencial así como la velocidad, argumentando lo siguiente: *“Al contrario que en el pasado se invierte, ya que al estar en el punto más bajo, que en este caso sería el eje de referencia, la altura es cero y su velocidad es máxima, ya que al no haber una inclinación y antes de subir, es justo el punto máximo antes de empezar a desacelerar al subir”*.

En la tabla 29 se presentan los conceptos que fueron empleados por el alumno “muestra” del grupo control al responder el reactivo 9, los cuales fueron clasificados en una categoría.

Conceptos:

Categoría 1. Procesos. Interacción acausal artificial
Punto bajo, eje de referencia, altura, velocidad máxima, inclinación, punto máximo, desacelerar, cambio, subir.

Tabla 29. Clasificación de conceptos utilizados el alumno muestra del grupo control en el reactivo 9.

Observaciones sobre los conceptos empleados por parte del grupo control y experimental, así como también por parte de los alumnos muestra de ambos grupos

Al comparar el conjunto de conceptos físicos empleados por el grupo experimental y el grupo control, se observa que tienen elementos en común tales como: velocidad, energía potencial, energía cinética y altura. Además de los conceptos que tienen en común, los alumnos del grupo experimental hace uso de otros conceptos físicos como fuerzas, cuerpo, equilibrio, energía térmica, oscilaciones, gravedad, trayecto, tiempo, distancia, aceleración, energía total, así mismo los alumnos del grupo control también utilizan otros conceptos de tipo físicos pero en menor cantidad como son: punto, eje de referencia, inclinación, desacelerar, energías, disminuir y máxima.

Aquí podemos observar que los alumnos muestra tienen conceptos físicos en común como altura y punto máximo como se observa en la figura 16 (ii) marcados con superíndices E,C, sin embargo el alumno del grupo experimental emplea otros conceptos como acumular, energía térmica y oscilaciones como se muestra en la figura 27 marcados con superíndice E, mientras que el alumno del grupo control utiliza conceptos como eje de referencia, inclinación, punto bajo, máxima y desaceleración marcados con superíndice C en la figura 27.

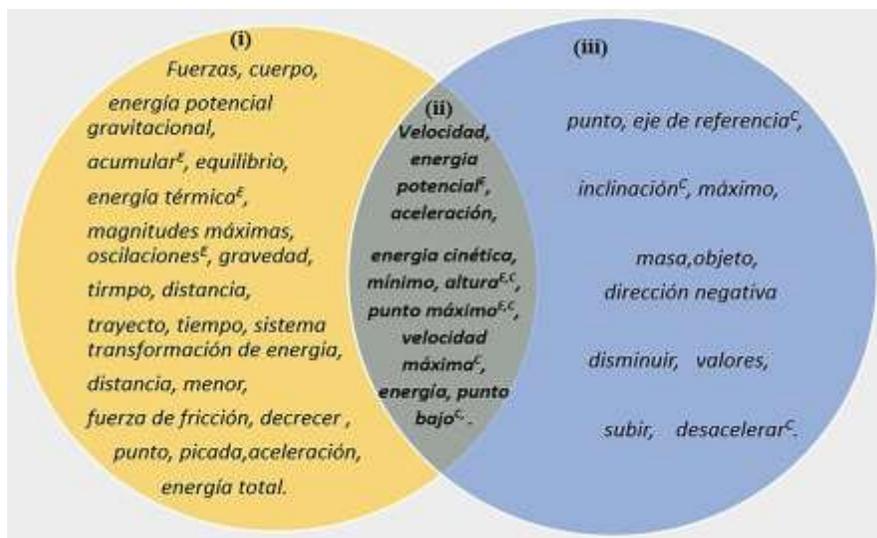


Figura 27. (i) Conceptos empleados en el reactivo 9 por los alumnos del grupo experimental. (ii) Conceptos en común empleados por los alumnos del grupo experimental y control en el reactivo 9. (iii) Conceptos empleados en el reactivo 9 por los alumnos del grupo control.

Reactivo 10. ¿De qué signo es el trabajo debido a la fuerza de fricción sobre estos sistemas? ¿Por qué? ¿Qué significado tienen dicho signo?

Grupo experimental:

En el reactivo 10 se encuentran 4 categorías que son:

- **Categoría 1 Negativo y transformación de energía.** Son los alumnos que consideraron que el trabajo debido a la fuerza de fricción se refiere a una transformación de energía del sistema y su signo es negativo debido a esto.
- **Categoría 2 Fuerza de fricción opuesta al movimiento y negativa.** Son los alumnos que consideraron a la fuerza de fricción opuesta al movimiento.
- **Categoría 3 Trabajo negativo.** Aquí los alumnos se centraron en el trabajo negativo únicamente
- **Categoría 4 Sin responder.** Son los alumnos que no respondieron el reactivo.

La mitad de los alumnos, 9 de 18, se centraron en la categoría 2, quienes consideraron el signo del trabajo como negativo debido a que la fricción siempre se opone al movimiento argumentando que *“La fuerza de fricción se opone al movimiento del péndulo y el patinador”*, sin embargo cuatro alumnos están dentro de la categoría 1, ellos consideraron que el signo negativo se debía a una transformación o pérdida de energía *“Es negativo ya que es contraria al movimiento lo que quiere decir que el sistema pierde energía la cual se transforma”*. Mientras que sólo uno de los alumnos se centró en la categoría 3, argumentando solamente que *“Es un trabajo negativo”*. El resto de los alumnos, que son cuatro, no respondieron el reactivo.

En la tabla 30 se presentan los conceptos que fueron empleados por los alumnos del grupo experimental al responder el reactivo 10, los cuales fueron clasificados en dos categorías.

Conceptos:

Categoría 1. Procesos. Interacción acausal artificial	Categoría 2. Materia
Movimiento, sistema, pérdida de energía, transformación, restar, energía, frenado, reposo, opuesto, dirección, partículas, fuerza de fricción, fuerza, velocidad, aire, trabajo negativo, transformación de energía, dirección, fuerza aplicada, fricción negativa, disminuir, fuerza, sentido contrario, ángulo, energía cinética, energía potencial, positivo, negativo, energía total, signo negativo, terminar, partícula.	Pavimento, péndulo, cuerpo,

Tabla 30. Clasificación de conceptos utilizados los alumnos del grupo experimental en el reactivo 10.

Alumno muestra del grupo experimental:

En este reactivo, el alumno “muestra” se centró en la categoría 2, considerando la fricción como opuesta al movimiento y argumentando lo siguiente:

“La fuerza de fricción para estos sistemas siempre sería opuesta a donde el objeto se está moviendo”.

En la tabla 31 se presentan los conceptos que fueron empleados por el alumno “muestra” del grupo experimental al responder el reactivo 10, los cuales fueron clasificados en dos categorías.

Conceptos:

Categoría 1. Procesos. Interacción acausal artificial	Categoría 2. Materia
Fuerza de fricción, sistemas, opuesta, movimiento	objeto

Tabla 31. Clasificación de conceptos utilizados por el alumno muestra del grupo experimental en el reactivo 10.

Grupo control:

En este reactivo, existen las mismas categorías que en el grupo experimental.

- **Categoría 1 Negativo y transformación de energía.** Son los alumnos que consideraron que el trabajo debido a la fuerza de fricción se refiere a una transformación de energía del sistema y su signo es negativo debido a esto.
- **Categoría 2 Fricción opuesta al movimiento y negativa.** Son los alumnos que consideraron a la fuerza de fricción opuesta al movimiento.

- **Categoría 3 Trabajo negativo.** Aquí los alumnos se centraron en el trabajo negativo únicamente
- **Categoría 4 Sin responder.** Son los alumnos que no respondieron el reactivo

Al igual que los alumnos del grupo experimental, la mayoría de los alumnos del grupo control, 10 de 15, se centraron en la categoría 2, ellos consideraron el signo del trabajo como negativo debido a que *“Es negativo porque la fricción siempre se opone al movimiento”*.

Únicamente un alumno se centró en la categoría 1, él consideró que el signo negativo se debía a una transformación o pérdida de energía pero no consideró un diagrama para representar dicho fenómeno, *“Representa una pérdida de energía por la fricción”*. Sólo uno de los alumnos dio una respuesta poco concreta argumentando lo siguiente *“Es negativo”*. El resto de los alumnos, 3 alumnos, no respondieron el reactivo.

En la tabla 32 se presentan los conceptos que fueron empleados por los alumnos del grupo control al responder el reactivo 10, los cuales fueron clasificados en dos categorías.

Conceptos:

Categoría 1. Procesos. Interacción acausal artificial	Categoría 2. Materia
Pérdida de energía, fricción, sentido, dirección, trabajo negativo, fuerza opuesta, trabajo, movimiento, detener, fuerza, empuje, frenado, resistencia del aire, negativo, opuesto, fuerza de resistencia del aire, sistema, trabajo positivo, detener, fuerza de empuje, altura frenado.	péndulo, rampa, patineta, patinador, piso, objeto

Tabla 32. Clasificación de conceptos utilizados por los alumnos del grupo control en el reactivo 10

Alumno muestra del grupo control:

El alumno “muestra” se centró en la categoría 3, considerando el trabajo con signo negativo justificando que es una fuerza que se opone al movimiento. *“Negativo porque es una fuerza que se opone al movimiento y eso al hacerlo trabajo, se considera un trabajo negativo”*.

En la tabla 33 se presentan los conceptos que fueron empleados por el alumno “muestra” del grupo control al responder el reactivo 10, los cuales fueron clasificados en una sola categoría.

Conceptos:

Categoría 1. Procesos. Interacción acausal artificial
Trabajo negativo, negativo, opuesto, movimiento.

Tabla 33. Clasificación de conceptos utilizados el alumno muestra del grupo control en el reactivo 10.

Observaciones sobre los conceptos empleados por parte del grupo control y experimental, así como también por parte de los alumnos muestra de ambos grupos

Los alumnos del grupo control y del grupo experimental tienen un conjunto de conceptos en común los cuales son: pérdida de energía, fuerza de fricción, dirección, trabajo negativo, movimiento, fuerza. Se puede observar que los alumnos del grupo experimental emplean más conceptos a parte de los que tienen en común con los alumnos del grupo control, los cuales son: sistema, transformación, restar, energía, frenado, reposo, opuesto, partículas, velocidad, aire mientras que los alumnos del grupo control emplean otros conceptos como sentido, fuerza opuesta, trabajo, detener, empuje, frenado, resistencia del aire y negativo.

Comparando los conjuntos de conceptos empleados por los alumnos muestra del grupo experimental y del grupo control, se observa que solamente comparten algunos conceptos físicos como son opuesto y movimiento, como se observa en la figura 28 marcados con superíndices E,C, sin embargo el alumno del grupo experimental utiliza, además de los conceptos antes mencionados, los conceptos fuerza de fricción y sistemas marcados con superíndice E en la figura 28, y el alumno del grupo control utiliza conceptos físicos como trabajo negativo y negativo como se muestra en la figura 28 marcados con superíndice C. El alumno del grupo experimental utiliza solamente un concepto de tipo material.

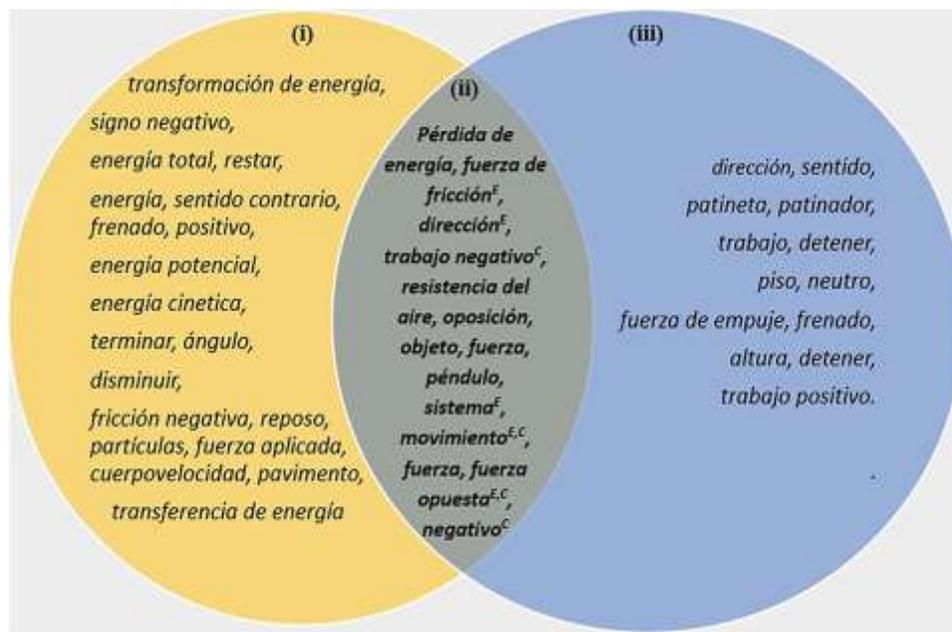


Figura 28. (i) Conceptos empleados en el reactivo 10 por los alumnos del grupo experimental. (ii) Conceptos en común empleados por los alumnos del grupo experimental y control en el reactivo 10. (iii) Conceptos empleados en el reactivo 10 por los alumnos del grupo control.

Reactivo 11. ¿Son los anteriores sistemas diferentes de acuerdo al análisis por energía que se ha realizado?

Grupo experimental:

En el reactivo 11 existen seis categorías que son:

- **Categoría 1. Centrados en el concepto de oscilación y propiedades de la fricción.** Son los alumnos que consideraron los sistemas iguales y las propiedades de la fuerza de fricción en las diferentes situaciones
- **Categoría 2. Centrados en la velocidad y energía cinética y potencial.** Los alumnos que se centraron especialmente en la velocidad y la energía potencial y cinética, considerando los sistemas similares.
- **Categoría 3. Los que consideraron sistemas iguales.** Aquí se encuentran los alumnos que respondieron que los sistemas son similares.
- **Categoría 4. Sin contestar.** Son los alumnos que no respondieron el reactivo
- **Categoría 5. Centrados en el concepto de oscilación.** Son los alumnos que consideraron a ambos sistemas como iguales bajo el concepto de oscilación.
- **Categoría 6. Centrados en propiedades de la fuerza de fricción y conceptos de oscilación.** Son los alumnos que consideraron a los sistemas con propiedades diferentes de la fuerza de fricción pero dentro del mismo concepto de oscilación.

Aquí sólo 1 de 18 alumnos está dentro de la categoría 6, él consideró la propiedad de la fuerza de fricción de acuerdo a las situaciones presentadas, así mismo tomando en cuenta que los sistemas de péndulo y pista de patinaje como un movimiento oscilatorio similar y argumentando lo siguiente *“Cambia la fuerza de fricción por la acción resistiva del aire pero siguen en el mismo concepto de oscilación”*.

Otro de los alumnos únicamente se centró en la categoría 1, considerando las propiedades de la fuerza de fricción de acuerdo a la situación presentada y argumentando que *“En el péndulo hay tensión, fuerza de fricción de aire y en la rampa fuerza normal y fuerza de fricción de la superficie y la patineta”*.

Mientras que dos de los alumnos están dentro de la categoría 5, consideraron a los sistemas iguales debido a que se comportan como un movimiento oscilatorio *“No, son muy similares porque los dos cumplen una trayectoria de oscilación”*.

Cinco de los alumnos están dentro de la categoría 2, ellos solamente consideraron la existencia de la velocidad y la energía potencial y cinética argumentando lo siguiente *“En ambos sistemas existe energía cinética y potencia, velocidad depende del punto en que se ubique”*.

Tres de los alumnos se centraron en la categoría 3, donde solamente argumentaron que los sistemas son similares *“Son los mismos sistemas”*.

Hubo seis alumnos que no respondieron el reactivo.

En la tabla 34 se presentan los conceptos que fueron empleados por los alumnos del grupo experimental al responder el reactivo 11, los cuales fueron clasificados en dos categorías.

Conceptos:

Categoría 1. Procesos. Interacción acausal artificial	Categoría 2. Materia
Tensión, fuerza normal, fuerza de fricción del aire, fuerza de fricción, energía potencial, energía cinética, sistemas, fricción cinética, velocidad, trayectoria, oscilación, sistema armónico, energías, acción resistiva del aire, fricción cinética, similares, movimiento, estado final, estado inicial, igual, punto.	Péndulo, rampa, superficie.

Tabla 34. Clasificación de conceptos empleados por los alumnos del grupo experimental en el reactivo 11.

Alumno muestra del grupo experimental:

El alumno “muestra” está dentro de la categoría 1 y considera que los sistemas no son diferentes, justificando que lo que cambia son las fuerzas donde en el péndulo existe una tensión y la fuerza de fricción del aire y en la rampa existe una fuerza normal y fuerza de fricción de la superficie y la patineta argumentando lo siguiente:

“No, sólo cambia que en el péndulo es tensión y en la rampa es una fuerza normal”.

En la tabla 35 se presentan los conceptos que fueron empleados por el alumno “muestra” del grupo experimental al responder el reactivo 11, los cuales fueron clasificados en dos categorías,

Conceptos:

Categoría 1. Procesos. Interacción acausal artificial	Categoría 2. Materia
Tensión, fuerza normal.	Péndulo, rampa.

Tabla 35. Clasificación de conceptos empleados por el alumno muestra del grupo experimental en el reactivo 11.

Grupo control: En el reactivo 11, sólo existen cuatro categorías, de las cuales **la categoría 1 es distinta.**

- **Categoría 1. Centrados en las propiedades de la fricción.** Son los alumnos que consideraron las propiedades de la fuerza de fricción en las diferentes situaciones y sistemas iguales.

- **Categoría 2. Centrados en la velocidad y energía cinética y potencial.** Los alumnos se centraron especialmente en la velocidad y la energía potencial y cinética, considerando que los sistemas son iguales.
- **Categoría 3. Los que consideraron sistemas iguales.** Aquí se encuentran los alumnos que respondieron que los sistemas son similares.
- **Categoría 4. Sin contestar.** Son los alumnos que no respondieron el reactivo.

Se observa que 1 de los 18 alumnos se centró en la categoría 1, él respondió que los sistemas sí son diferentes, argumentando que *“En un sistema aparece la fuerza de fricción y en otro la resistencia del aire”*.

Aquí la mayoría de los alumnos, 5 de 15, se centraron en la categoría 2, argumentando que *“En ambos sistemas existe energía cinética y potencia, velocidad depende del punto en que se ubique”*.

Cuatro de los alumnos se centraron en la categoría 3, dando una respuesta poco concreta *“No, son similares”*.

El resto del grupo, 4 alumnos, no respondió el reactivo.

En la tabla 36 se presentan los conceptos que fueron empleados por los alumnos del grupo control al responder el reactivo 11, los cuales fueron clasificados en dos categorías.

Conceptos:

Categoría 1. Procesos. Interacción acausal artificial	Categoría 2. Materia
Fricción, resistencia del aire, fuerza de gravedad, energía potencial, energía cinética, movimiento, velocidad, máximo, mínimo, sistemas, movimiento parabólico, fuerzas resistentes, altura, peso, similar, sistemas, trayectoria de oscilación, altura máxima, altura mínima.	Piso, superficie lisa, patineta.

Tabla 36. Clasificación de conceptos utilizados por los alumnos del grupo control en el reactivo 11.

Alumno muestra del grupo control:

El alumno “muestra” argumentó lo siguiente:

“No, de hecho son iguales, tiene un movimiento parabólico que provoca una “h” máxima y una mínima donde tienen los mismos sistemas las mismas características”.

Aquí el alumno “muestra” consideró los sistemas iguales y aunque pareciera que el alumno está dando la respuesta correcta al decir que los sistemas son iguales, la afirmación del alumno se basa en el mal entendido de que las trayectorias que siguen cada uno de los sistemas son en un

movimiento parabólico lo cual no es cierto, por ejemplo, el péndulo sigue una trayectoria como semicírculo y no como parábola.

En la tabla 37 se presentan los conceptos que fueron empleados por el alumno “muestra” del grupo control al responder el reactivo 11, los cuales fueron clasificados en una categoría.

Conceptos:

Categoría 1. Procesos. Interacción acausal artificial
Movimiento parabólico, altura máxima, altura mínima, sistemas.

Tabla 37. Clasificación de conceptos utilizados por el alumno muestra del grupo control en el reactivo 11.

Observaciones sobre los conceptos empleados por parte del grupo control y experimental, así como también por parte de los alumnos muestra de ambos grupos

Los alumnos del grupo experimental y grupo control tienen conceptos físicos en común tales como fuerza de fricción, acción resistiva del aire, energía potencial, energía cinética, velocidad y sistemas, pero se puede observar que los alumnos del grupo experimental emplea otros como tensión, fuerza normal, fuerza de fricción del aire, sistemas, fricción cinética, trayectoria, oscilación, sistema armónico y energías, mientras que los alumnos del grupo control emplean una menor cantidad de éstos los cuales son fuerza de gravedad, movimiento, máximo, mínimo, movimiento parabólico, fuerzas resistentes, altura y peso.

El concepto superficie que es de tipo material, es el único concepto que tienen en común ambos grupos ya que el grupo experimental utiliza otros como péndulo, rampa y patineta, mientras que los alumnos del grupo control utilizan únicamente el concepto piso.

Se puede observar que los alumnos muestras del grupo control y del grupo experimental no tienen conceptos físicos en común, pero emplean la misma cantidad de conceptos. Así mismo el alumno muestra del grupo experimental utiliza dos conceptos materiales mientras que el alumno del grupo control no emplea ninguno.

Los conceptos empleados por el alumno muestra del grupo experimental están señalados en la figura 29 con el superíndice E y los conceptos empleados por el alumno muestra del grupo control con el superíndice C.

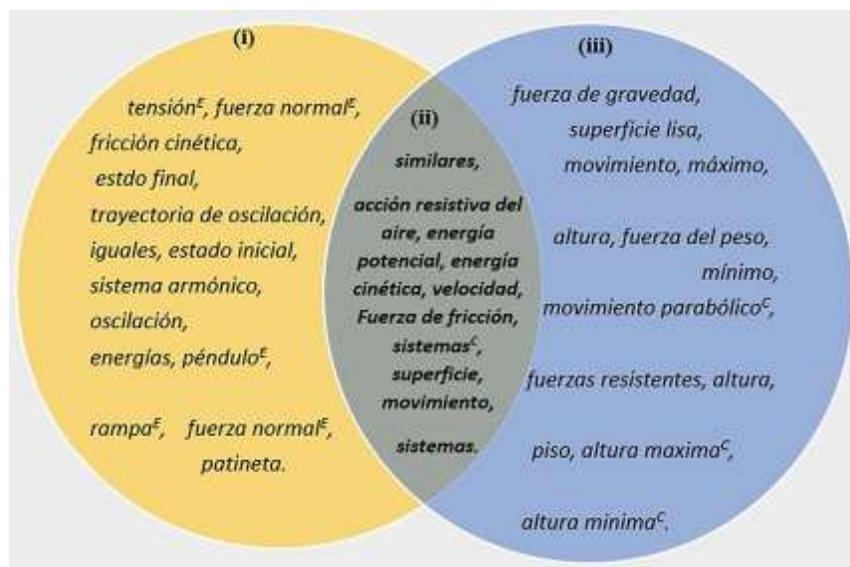


Figura 29. (i) Conceptos empleados en el reactivo 11 por los alumnos del grupo experimental. (ii) Conceptos en común empleados por los alumnos del grupo experimental y control en el reactivo 11. (iii) Conceptos empleados en el reactivo 11 por los alumnos del grupo control.

Reactivo 12. ¿Consideras que la fuerza de fricción que actúa sobre una caja que se desplaza horizontalmente sobre una superficie rugosa es distinta a la fuerza de fricción que actúa sobre el patinador o la masa del péndulo? Justifica tu respuesta

Grupo experimental: En el reactivo 12 existen 6 categorías las cuales se describen a continuación.

- **Categoría 1 Centrados en la Fuerza de fricción opuesta al movimiento.** Los alumnos consideran que la fuerza de fricción siempre se opone al movimiento.
- **Categoría 2 Centrados en la rugosidad de los sistemas caja y patinador** Aquí los alumnos consideran únicamente dos sistemas que es la caja sobre la superficie horizontal y la pista de patinaje considerando que la magnitud de la fuerza de fricción de la caja es mayor debido a la rugosidad.
- **Categoría 3 Sin contestar.** Son los alumnos que no respondieron el reactivo.
- **Categoría 4 Centrados en el concepto fuerza de fricción y sus propiedades.** Son los alumnos que consideraron las propiedades de la fuerza de fricción en las diferentes situaciones.
- **Categoría 5 Péndulo y pista de patinaje como un mismo sistema.** Los alumnos se centraron en dos sistemas que son el péndulo y la pista de patinaje considerándolos como un sistema similar.
- **Categoría 6 Centrado en coeficientes de fricción y el peso de los objetos.** Los alumnos tienen en cuenta solamente los coeficientes entre las superficies y el peso de los objetos.

Sólo 1 de los 18 alumnos se centró en la categoría 1, quien consideró lo siguiente ***“Tienen las mismas condiciones donde la fricción se opone al movimiento”***.

Dos de los alumnos se centraron en la categoría 4 con la propiedad de la fuerza de fricción en la pista se modelada como $f = \mu N$ y en el péndulo como resistencia del aire v^2 , ambos oponiéndose al movimiento, argumentando que ***“Sí, porque una es la fuerza de fricción que se opone en la superficie mientras que en el péndulo es la del aire aunque ambas se oponen al movimiento”***.

Tres de los alumnos se centraron en la categoría 2, ellos consideraron únicamente dos sistemas, el de la caja sobre superficie horizontal y la pista con el patinador, argumentando que es diferente la fuerza de fricción a causa de los coeficientes que hay en cada sistema ***“Al estar en una superficie de fricción rugosa la fuerza de fricción es mayor que en una superficie lisa”***.

Mientras que dos alumnos se centraron en la categoría 5, ellos consideraron los tres sistemas argumentando que el sistema de patinador-pista es similar al sistema péndulo, debido a que ambos sistemas tienen puntos máximos, mínimos, energía cinética y potencial, estos dos sistemas los comparan con el sistema caja sobre superficie horizontal justificando que la fuerza de fricción del sistema de la caja es mayor al de los otros dos sistemas antes mencionados argumentando lo siguiente ***“Pista de patinaje y péndulo son sistemas similares. Mayor magnitud de fricción en la superficie de caja”***.

Uno de los alumnos se centró en la categoría 6, él considero que los sistemas tienen las mismas condiciones debido a que la fuerza de fricción se opone al movimiento y argumentó que ***“Es diferente la fricción depende de los coeficientes que tenga cada superficie y el peso del objeto”***.

En la tabla 38 se presentan los conceptos que fueron empleados por los alumnos del grupo experimental al responder el reactivo 12, los cuales fueron clasificados en dos categorías.

Conceptos:

Categoría 1. Procesos. Interacción acausal artificial	Categoría 2. Materia
Movimiento, oponer, mayor, coeficiente de fricción estático, fuerza de fricción, resistencia del aire, resolución, magnitud, aire, puntos, fuerza, coeficientes, peso, sistemas similares, contacto, condiciones iguales, coeficiente de fricción, menor, rugosidad, mayor.	Superficie rugosa, rampa, superficie lateral, caja, suelo, superficie lisa, péndulo, patinadora, objeto.

Tabla 38. Clasificación de conceptos utilizados por los alumnos del grupo experimental en el reactivo 12.

Alumno muestra de grupo experimental:

El alumno “muestra” está dentro de la categoría 1, argumentando que ***“Sí es diferente ya que la fuerza de fricción que actúa en una caja en la superficie de contacto con el suelo, la fuerza de***

fricción que actúa sobre el péndulo va más sobre la superficie lateral del péndulo". Solamente consideró el sistema de la caja y el péndulo, respondiendo que son diferentes debido a la fuerza de fricción que actúa en una caja es la superficie de contacto con el suelo solamente sobre una de las caras y la fuerza de fricción que actúa sobre el péndulo es sobre la superficie lateral del mismo. En la respuesta del alumno no se observa la respuesta estándar de la fuerza de fricción como opuesta al movimiento.

En la tabla 39 se presentan los conceptos que fueron empleados por el alumno muestra del grupo experimental al responder el reactivo 12, los cuales fueron clasificados en dos categorías tomando en cuenta la ontológica propuesta por la TCO, ver el capítulo 3 sección 3.1.

Conceptos:

Categoría 1. Procesos. Interacción acausal artificial	Categoría 2. Materia
Fuerza de fricción, contacto, actuar.	Superficie, suelo, superficie lateral, péndulo.

Tabla 39. Clasificación de conceptos utilizados por el alumno muestra del grupo experimental en el reactivo 12.

Grupo control:

Para el reactivo 12 del grupo control, **únicamente existen tres categorías que son iguales a las tres primeras categorías del grupo experimental.**

- **Categoría 1 Centrados en la Fuerza de fricción opuesta al movimiento.** Los alumnos consideran que la fuerza de fricción siempre se opone al movimiento.
- **Categoría 2 Centrados en la rugosidad de los sistemas caja y patinador.** Aquí los alumnos consideran únicamente dos sistemas que es la caja sobre la superficie horizontal y la pista de patinaje considerando que la magnitud de la fuerza de fricción de la caja es mayor debido a la rugosidad.
- **Categoría 3 Sin contestar.** Son los alumnos que no respondieron el reactivo.

Tres de los alumnos se centraron en la categoría 1, ellos consideraron solamente los sistemas de la caja y del patinador respondido que la fuerza de fricción actúa como opuesta al movimiento y argumentaron lo siguiente *“La fuerza de fricción siempre será contraria a la fuerza aplicada”*.

La mayoría de los alumnos, 10 de 18, consideraron sólo la situación de la caja y el patinador, refiriéndose solamente a la comparación del coeficiente de fricción que existe entre estos dos sistemas justificando que la magnitud de la fuerza de fricción era diferente debido a que en el sistema de la caja existe mayor rugosidad que en el sistema pista de patinaje. Además, cabe mencionar que dos alumnos consideraron una pista de hielo y argumentaron que *“Al estar en una superficie de fricción rugosa la fuerza de fricción es mayor que en una superficie lisa”*.

Dos alumnos no respondieron el reactivo.

En la tabla 40 se presentan los conceptos que fueron empleados por los alumnos del grupo control al responder el reactivo 12, los cuales fueron clasificados en dos categorías.

Conceptos:

Categoría 1. Procesos. Interacción acausal artificial	Categoría 2. Materia
Fuerza de fricción, provocar, desgaste, fuerza aplicada, movimiento, resistencia del aire, coeficiente de resistencia, coeficiente de fricción, menor, mayor, aire, aplicar, fuerza, sistemas, magnitud, opuesto, peso, condiciones iguales, ejercer.	Patinador, patineta rampa, pista, superficie rugosa, pista de hielo, liso, objeto.

Tabla 40. Clasificación de conceptos utilizados por los alumnos del grupo control en el reactivo 12.

Alumno muestra del grupo control:

El alumno “muestra” está centrado en la categoría 1, argumentando lo siguiente:

“No, la fuerza de fricción es la fuerza que se opone al movimiento así como la fuerza de resistencia del aire en el caso del péndulo, lo que los hace diferentes es su coeficiente de resistencia, pero si son iguales”.

El alumno “muestra” da la respuesta estándar de la fuerza de fricción considerándola siempre como opuesta al movimiento y entiende que la fuerza de reacción en el caso del péndulo se modela con respecto al coeficiente de resistencia.

En la tabla 41 se presentan los conceptos que fueron empleados por el alumno muestra del grupo control empleados en el reactivo 12, los cuales fueron clasificados en dos categorías.

Conceptos:

Categoría 1. Procesos. Interacción acausal artificial	Categoría 2. Materia
Fuerza de fricción, oponer, movimiento, resistencia del aire, coeficiente de resistencia.	Péndulo.

Tabla 41. Clasificación de conceptos empleados por el alumno muestra del grupo control en el reactivo 12.

Observaciones sobre los conceptos empleados por parte del grupo control y experimental, así como también por parte de los alumnos muestra de ambos grupos

Los conceptos físicos como movimiento, oponer, mayor, fuerza de fricción, resistencia del aire, coeficiente, peso, magnitud, aire y fuerza son conceptos que tienen en común ambos grupos.

En este caso los alumnos del grupo control emplearon tres conceptos físicos más que los alumnos del grupo experimental, los conceptos empleados por el grupo control son provocar, desgaste, fuerza aplicada, coeficiente de resistencia, aplicar y sistemas, mientras que los conceptos utilizados por el grupo experimental son coeficiente de fricción estático, resolución y puntos.

Los conceptos de tipo material que tienen en común ambos grupos son patinador, superficie rugosa y objeto, mientras que los conceptos suelo, superficie lisa y péndulo son otros conceptos que emplearon los alumnos del grupo experimental, mientras que los conceptos pista, pista de hielo y liso, son conceptos empleados por los alumnos del grupo control.

Analizando a los alumnos muestra, se observa que en los conceptos físicos únicamente tienen un concepto en común que es fuerza de fricción, que dicho concepto es el único utilizado por el alumno del grupo experimental como se muestra en la figura 30 marcado con superíndice E, mientras que el alumno del grupo control utiliza otros conceptos como oponer, movimiento, resistencia del aire y coeficiente de resistencia mostrados en la figura 30 marcados con superíndice C. Así mismo, en los conceptos de tipo material el concepto que tienen en común es péndulo, que es el único utilizado por el alumno del grupo control, mientras que el alumno del grupo experimental utiliza otros como superficie, suelo y superficie lateral.

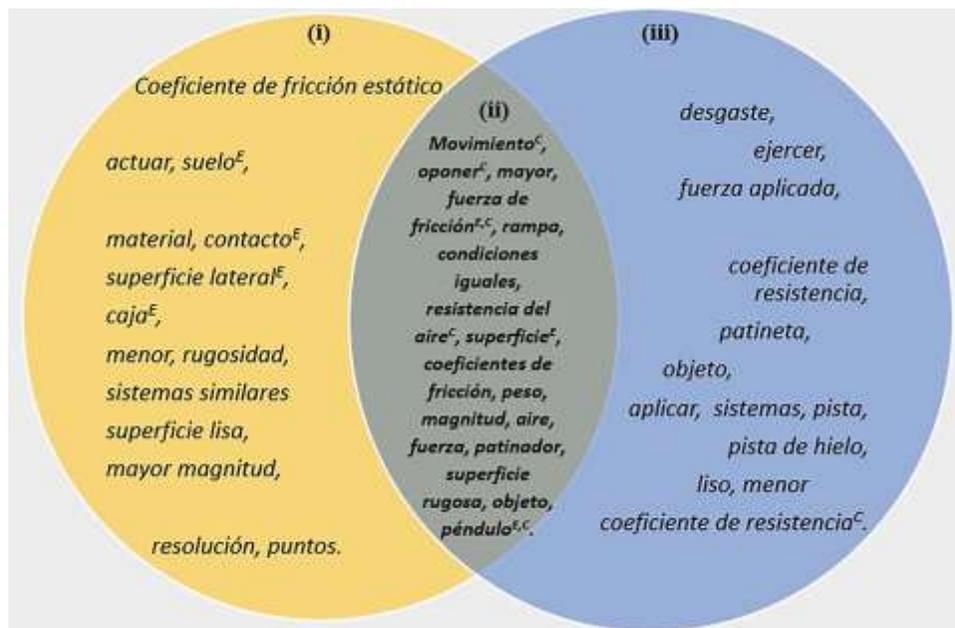


Figura 30. (i) Conceptos empleados en el reactivo 12 por los alumnos del grupo experimental. (ii) Conceptos en común empleados por los alumnos del grupo experimental y control en el reactivo 12. (iii) Conceptos empleados en el reactivo 12 por los alumnos del grupo control.

En la tabla 42 aparece la síntesis del grupo 2 que incluye los reactivos 7 al 12.

SÍNTESIS GRUPO 2. ENFOCADO EN LA COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES CONTEXTOS RELACIONADOS CON LA FUERZA DE FRICCIÓN Y ENERGÍA.

Reactivos 7, 8, 9, 10, 11, 12

Al comparar los conjuntos de conceptos utilizados por el grupo experimental y el grupo control, se observa que los alumnos del grupo control emplean menos conceptos físicos y materiales, sin embargo la mayoría de los conceptos son de tipo físicos.

Los alumnos del grupo experimental, además de utilizar los conceptos típicos que manejan los alumnos del grupo control, también profundizan y emplean otros conceptos relacionados con la transformación de energía como trabajo realizado por la fuerza de fricción. El hecho de que los alumnos del grupo experimental utilicen un mayor número de conceptos no depende del número de alumnos.

Se observa que los alumnos del grupo experimental mantienen un mayor número de conceptos que los conceptos empleados por los alumnos del grupo control. Así mismo se puede observar que los conceptos utilizados por los alumnos del grupo experimental disminuyen en comparación a los reactivos 1 al 6.

La mayoría de los alumnos del grupo experimental se centraron en la propiedad de la transformación de energía, y otras propiedades de la fuerza de fricción, mientras que los alumnos del grupo control siguen considerando la fuerza de fricción en el concepto tradicional y no relacionándola como transformación de energía, sólo uno de los alumnos del grupo control utilizó, en pocas ocasiones, el concepto de transformación de energía.

Se puede observar que en el grupo experimental se clasificaron en más categorías las respuestas a cada uno de los reactivos dadas por los alumnos que las respuestas de los alumnos del grupo control, esto debido a los distintos argumentos y el uso de diferentes propiedades.

Algunas de las propiedades que tienen en común los alumnos del grupo experimental y del grupo control son: energía potencial, energía cinética, fuerza de fricción opuesta al movimiento, mayor rugosidad, mayor coeficiente de fricción estático. También se puede observar que los alumnos del grupo control utilizan otros como: elongación, y le asociaron el signo negativo a la fuerza de fricción debido a que esta es opuesta al movimiento. Así

mismo las propiedades como pérdida de energía y resistencia del aire son empleadas por el alumno “muestra” del grupo control.

Otras de las propiedades empleadas por los alumnos del grupo experimental son: la ley de Hooke, trabajo, movimiento oscilatorio, transformación de energía, resistencia del aire y le asociaron el signo negativo a la fuerza de fricción a la pérdida o transformación de energía. Por otra parte, se puede ver que los alumnos del grupo experimental le asocian un significado a la fuerza de fricción como una transformación de energía involucrando también la resistencia del aire y el movimiento oscilatorio de los sistemas involucrados, mientras que los alumnos del grupo control siguen en el mismo concepto tradicional de la fuerza de fricción como opuesta al movimiento y descrita como $f = \mu N$, sólo el alumno “muestra” de grupo control le asoció el significado de resistencia del aire y transformación de energía.

También, a manera de ejemplo, se discute el caso de dos alumnos “muestra”, uno del grupo control y otro del grupo experimental, los cuales son alumnos destacados en los resultados del cuestionario final aplicado. Se puede observar que el alumno “muestra” del grupo experimental emplea conceptos como oscilación, energía térmica, acumular, tensión, superficie lateral, mientras que el alumno “muestra” del grupo control no emplea ninguno de estos, solamente utiliza conceptos como desaceleración, movimiento parabólico, coeficiente de resistencia, inclinación y eje de referencia. Sin embargo tienen conceptos en común como energía cinética, energía potencial, fuerza de fricción, altura, punto máximo. Se puede notar también que el alumno muestra del grupo control emplea la definición operativa “tradicional” de la fuerza de fricción con la necesidad del coeficiente de fricción y opuesta al movimiento, siendo que el alumno muestra del grupo experimental expresa que la fuerza de fricción puede estar relacionada con otros aspectos de acuerdo a la forma del objeto, así mismo, relaciona las semejanzas entre dos sistemas de acuerdo a las fuerzas que esta involucradas y en cómo estas son iguales o diferentes, en cambio en el alumno muestra del grupo control se genera una confusión relacionada con la trayectoria que siguen las partículas al moverse, lo cual es erróneo también.

Tabla 42. Síntesis del grupo 2.



CAPÍTULO 6. **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN**

En el presente capítulo se describe el análisis y discusión de los resultados obtenidos al evaluar mediante el cuestionario final aplicado a los alumnos del grupo experimental y el grupo control. El análisis se llevó a cabo tomando en cuenta la Teoría Ontosemiótica a través de la noción de complejidad, la cual se apoya en otros constructos Ontosemióticos como el de Objetos Físico-Matemáticos Primarios tales como lenguaje, conceptos, propiedades y argumentos (se prescinde del objeto procedimiento, debido a que sólo se plantearon tareas que tienen que ver con la descripción de los fenómenos físicos y no la resolución de problemas); las perspectivas o dimensiones duales (concretamente unitario/sistémico y ostensivo/no-ostensivo), procesos cognitivos (idealización, materialización, institucionalización, personalización, entre otros) y el de funciones semióticas.

6.1 Grupo 1. Análisis y discusión de los reactivos 1 al 6

A continuación se describe el análisis y la discusión de las concepciones de los alumnos acerca de la fuerza de fricción construida a partir del trabajo mediante los simuladores PhET “Fuerza y movimiento”, “Rampa: Fuerza y Movimiento” y “Movimiento de un proyectil”, los cuales están ubicados en la sección de **Movimiento** en el área **Física** de la página de los simuladores PhET (University of Colorado, 2002).

En la simulación “**Fuerza y movimiento**”, la cual se describe a detalle en la sección 3.2 del capítulo 3, dicha simulación describe el movimiento de una caja sobre una superficie horizontal y la simulación “**Rampa: Fuerza y Movimiento**”, que también se describe a detalle en la sección 3.2 del capítulo 3, donde presenta el deslizamiento de una caja sobre un plano inclinado, la fuerza de fricción es la fuerza que existe al estar en contacto un objeto (en este caso, con una superficie) y que es opuesta al movimiento, además, en la simulación “**Rampa: Fuerza y Movimiento**” el alumno entiende que la fuerza de fricción puede cambiar su sentido de acuerdo al movimiento que tiene la caja sobre el plano inclinado y la fuerza que se le aplique, además entiende que la fuerza de fricción estática no siempre es constante, sino que va aumentando dependiendo de la cantidad de fuerzas que están presentes y que la fuerza de la normal cambia cuando la caja se encuentra sobre el plano inclinado.

Así mismo, en la simulación “**Movimiento de un proyectil**”, la cual se describe a detalle en la sección 3.2 del capítulo 3, relacionada con el tiro vertical de un proyectil, se estudia la caída de un cuerpo bajo los efectos de la fuerza resistiva que opone el aire, donde la fuerza de fricción del aire es opuesta al movimiento y causa que el cuerpo adquiera una velocidad límite, lo cual se puede observar en los argumentos de las respuestas de los reactivos 1 a 6.

También se pudo observar que los alumnos del grupo experimental muestran evidencia de comprender la noción de fuerza de fricción, lo cual es un indicio de cómo el uso de las simulaciones

desde la perspectiva de complejidad da estos resultados, ya que al analizar los resultados, los alumnos del grupo experimental emplearon un mayor número de conceptos (físicos, materiales y de estado mental) en todas las respuestas a los reactivos del cuestionario final que los alumnos del grupo control. Se puede notar también que los alumnos del grupo experimental, además de utilizar los conceptos típicos que manejan los alumnos del grupo control, profundizan y emplean otros conceptos, de los cuales algunos como ángulo, dirección, sentido, fuerza máxima y fuerza aplicada se encuentran relacionados con el uso de las simulaciones (ver la tabla 18. Síntesis del grupo 1 en la página 78), así mismo, el hecho de que los alumnos del grupo experimental utilicen un mayor número de conceptos no depende del número de alumnos sino del sistema de prácticas.

Como se puede apreciar en los resultados obtenidos de todos los reactivos finales, hay conceptos comunes empleados por los alumnos del grupo experimental y de control (por ejemplo, ver (ii) en las figuras 19, 20, 21, 22, 23 y 24), los cuales, por un lado, son propios del nuevo contexto o situación abordada, y por otro lado, provienen de su conocimiento previo. Si bien, se considera que los estudiantes tendrían que experimentar en esa nueva situación (ya sea mediante la experimentación en el laboratorio o mediante las simulaciones) para poder percatarse de alguna propiedad de la fuerza de fricción, sin embargo, los resultados muestran que los estudiantes del grupo experimental se encuentran más capacitados o cuentan con más elementos (resultado de la realización del conjunto de prácticas que les permiten establecer el conjunto de tramas de funciones semióticas), en comparación con los estudiantes del grupo control, para responder de una manera más adecuada a una nueva tarea que involucra a la fricción.

Por otra parte, las respuestas dadas en el cuestionario final por los alumnos del grupo experimental fueron clasificadas en más categorías en comparación a las categorías del grupo control, esto debido a los distintos argumentos utilizados por los alumnos del grupo experimental y el uso de diferentes propiedades.

Algunas de las propiedades empleadas por los alumnos del grupo experimental y los alumnos del grupo control fueron *fuerza de fricción opuesta al movimiento* ($f = \mu N$), *primera ley de Newton*, $F=ma$, $\Sigma F = ma$, *fuerza de fricción evita el deslizamiento entre dos superficies*, $F_k < F_s$, *poca fricción hay poca estabilidad*, sin embargo, el grupo experimental emplea otras más como son: *ángulo, energía y fuerza*.

El significado que le asocian a la fuerza de fricción los alumnos del grupo experimental y los alumnos del grupo control es, en la mayoría de los casos, como opuesta al movimiento y como tradicionalmente se enseña $f = \mu N$, en otros casos la asocian a la sumatoria de fuerzas $\Sigma F = ma$ y dependiendo de la superficie en la que se encuentre un objeto será la fuerza de fricción que existirá. Los alumnos del grupo experimental y del grupo control, mostraron similitudes en las respuestas a los primeros reactivos debido al tipo de ejercicios, sin embargo, los alumnos del grupo experimental pudieron entender que la fuerza de fricción puede tener la misma dirección

del movimiento pero cambiar de sentido como se observó en la simulación PhET “**Rampa: Fuerza y Movimiento**”. Más adelante se muestra el hallazgo de que los alumnos del grupo experimental si mejoraron sus concepciones sobre la fuerza de fricción.

Por otra parte, se puede notar cómo los alumnos realizan un proceso de idealización y materialización en sus respuestas, por ejemplo en la figura 31 que corresponde a la respuesta del reactivo 5 el cual dice **¿Si una persona empuja una caja pesada, que está en reposo, esta requiere una fuerza “F” para iniciar su movimiento, sin embargo un vez que esta se desliza, requiere una fuerza *más pequeña* para mantener su movimiento, ¿por qué esto es así?**, los alumnos están materializando al expresar las fuerzas que están actuando sobre la caja como la normal, la fuerza de fricción y el peso, así como representando la caja y a la persona que la empuja, como se puede observar en la figura 31 del inciso a y b.

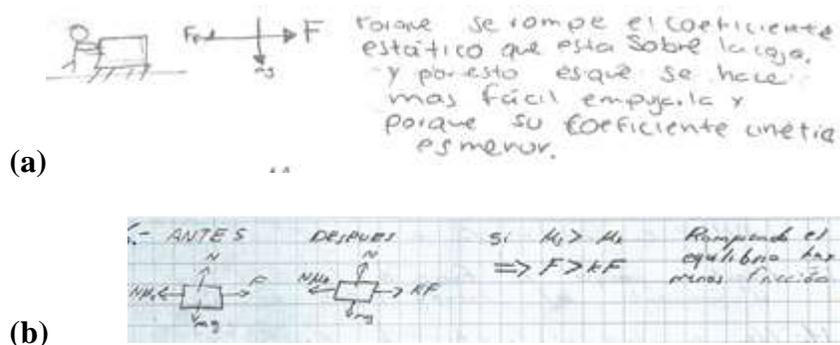


Figura 31. Respuestas del reactivo 5 dadas por dos alumnos del grupo experimental

Los alumnos del grupo experimental realizaron un proceso de generalización a través de las prácticas implementadas, debido a que estos alumnos tomaron experiencias de las anteriores prácticas para poder responder a los reactivos del cuestionario final, relacionando algunas situaciones y empleando conceptos provenientes de las prácticas.

Además, se puede observar que los alumnos del grupo experimental utilizaron representaciones gráficas para interpretar cada una de las situaciones presentadas en el cuestionario final, de las cuales algunas estuvieron relacionadas con las simulaciones, más que con el empleo de diagramas de cuerpo libre, los cuales fueron más utilizados por los alumnos del grupo control.

Cuando un estudiante realiza la tarea de describir o explicar la ocurrencia de una situación física particular simulada mediante el PhET, el alumno realiza una práctica en la que pone en juego un conjunto de objetos físico-matemáticos (lenguaje, conceptos, propiedades y argumentos) que le permiten atribuir un significado específico a la fuerza de fricción.

El sujeto que experimentó con las situaciones físicas simuladas establece una trama de funciones semióticas que le permiten dotar de significado a la fricción según la situación, de hecho, el grupo

experimental de estudiantes desarrolla en su mente un conjunto de tramas de funciones semióticas como resultado de haber resuelto el conjunto de tareas apoyadas en las simulaciones.

Lo dicho en el párrafo anterior permite explicar el resultado de que los estudiantes del grupo experimental hacen uso de un mayor número de conceptos (o equivalentemente, fue posible clasificar los conceptos empleados por el grupo experimental mediante más categorías) cuando se enfrentan a la tarea nueva de responder el conjunto de reactivos finales que implican otras situaciones físicas (ver figura 19, 20, 21, 22, 23 y 24), mientras que los estudiantes del grupo control, únicamente se apoyan en aquel grupo de objetos provenientes de las situaciones típicas que se presentan en la clase tradicional. En otras palabras, un estudiante del grupo experimental se muestra más capaz, en comparación con un alumno del grupo control, de movilizar sus conocimientos para tratar de explicar la ocurrencia de otro fenómeno físico que implica a la fricción.

6.2 Grupo 2. Análisis de los reactivos 7 al 12

A continuación se describe cómo aparece la fuerza de fricción en los siguientes dos simuladores PhET que se implementaron en los estudiantes del grupo experimental, los cuales son **“Masas y Resortes”**, **“Laboratorio de péndulo”** y **“Energía en la pista de patinaje: conceptos básicos”**, estos están ubicados en la sección **Trabajo, Energía y Potencia** en el área **Física** de la página de los simuladores PhET (University of Colorado, 2002) y los cuales están descritos detalladamente en la sección 3.2 del Capítulo 3.

En la simulación **“Laboratorio de péndulo”** donde se describe la energía en el péndulo simple, aquí el trabajo ejercido por la fuerza de fricción en la oscilación del péndulo es entendida como la relación del cambio de energía, en la simulación **“Energía en la pista de patinaje: conceptos básicos”** en la cual se describe a un patinador que se desliza sobre una pista de patinaje en forma de U, la fuerza de fricción es entendida como la relación del cambio de energía y el trabajo ejercido por la fuerza de fricción y en la simulación **“Masas y Resortes”** la cual corresponde a la energía en el resorte, la fuerza de fricción en la oscilación de una masa en un resorte se entiende como la relación entre la transferencia de energía.

Cada una de las simulaciones PhET estuvo acompañada de una secuencia didáctica y en cada secuencia didáctica se tenía la intención de guiar al estudiante hacia la observación de las distintas propiedades de la fuerza de fricción y la asociación de un significado, en este caso estuvieron relacionadas con la transformación de energía. También se pudo observar que los alumnos del grupo experimental muestran evidencia de comprender la noción de fuerza de fricción, lo cual es un indicio de cómo el uso de las simulaciones desde la perspectiva de complejidad da estos resultados, ya que al analizar los resultados, los alumnos del grupo experimental emplearon un mayor número de conceptos (físicos y materiales) en todas las respuestas a los reactivos del cuestionario final que los alumnos del grupo control así como conceptos relacionados con la

transformación de energía como trabajo realizado por la fuerza de fricción. Se puede notar también que los alumnos del grupo experimental, además de utilizar los conceptos típicos que manejan los alumnos del grupo control, profundizan y emplean otros conceptos, de los cuales algunos como ángulo, oscilación, resistencia del aire, transferencia de energía del sistema, energía térmica, resistencia, amplitud, fuerza de gravedad los cuales están relacionados directamente con el uso de las simulaciones. Solamente uno de los alumnos del grupo control fue quien utilizó el concepto de transformación de energía en la respuesta de uno de los reactivos (ver la tabla 42. Síntesis del grupo 2 en la página 105), así mismo, el hecho de que los alumnos del grupo experimental utilicen un mayor número de conceptos no depende del número de alumnos sino del uso de los simuladores PhET y las secuencias.

Como se puede apreciar en los resultados obtenidos de todos los reactivos finales, hay conceptos comunes empleados por los alumnos del grupo experimental y de control (por ejemplo, ver (ii) en las figuras 25, 26, 27, 28, 29 y 30), así como conceptos empleados por los alumnos muestra del grupo experimental (marcados con superíndices E) y del grupo control (marcados con superíndices C) los cuales, por un lado, son propios del nuevo contexto o situación abordada, y por otro lado, provienen de su conocimiento previo. Si bien, se considera que los estudiantes tendrían que experimentar en esa nueva situación (ya sea mediante la experimentación en el laboratorio o mediante las simulaciones) para poder percatarse de alguna propiedad de la fuerza de fricción, sin embargo, los resultados muestran que los estudiantes del grupo experimental se encuentran más capacitados o cuentan con más elementos (resultado de la realización del conjunto de prácticas que les permiten establecer el conjunto de tramas de funciones semióticas), en comparación con los estudiantes del grupo control, para responder de una manera más adecuada a una nueva tarea que involucra a la fricción.

Los alumnos del grupo experimental, quienes experimentaron con las situaciones físicas simuladas, establecieron una trama de funciones semióticas que les permitieron dotar de significado a la fricción según la situación, de hecho, los estudiantes del grupo experimental desarrollaron en su mente un conjunto de tramas de funciones semióticas fricción-energía como resultado de haber resuelto el conjunto de tareas apoyadas en las simulaciones PhET, esto se pudo notar debido a que los alumnos del grupo experimental hacían referencia a los contextos de péndulo simple y pista de patinaje, argumentando en el cuestionario final que los contextos péndulo simple y pista de patinaje eran contextos similares con características similares y que ambos se trataban de sistemas oscilatorios debido a lo antes visto en las prácticas implementadas, lo cual no se observó en las respuestas dadas por los alumnos del grupo control. Además de que empleaban conceptos relacionados a la transformación de energía.

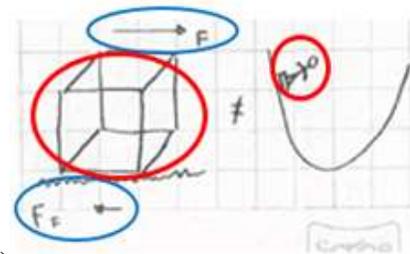
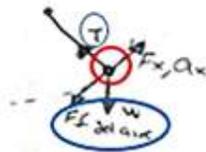
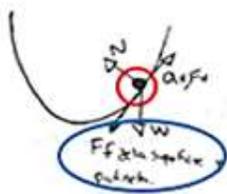
Otro de los Objetos Físico-Matemáticos Primarios presentes en las respuestas dadas al cuestionario final fue el de propiedades. Las propiedades que emplearon los alumnos del grupo experimental y de grupo control son: energía potencial, energía cinética, fuerza de fricción opuesta al movimiento, mayor rugosidad mayor coeficiente de fricción estático. También se puede observar que los

alumnos del grupo control utilizan otros como: elongación y le asociaron el signo negativo a la fuerza de fricción debido a que ésta es opuesta al movimiento, así mismo, las propiedades como pérdida de energía y resistencia del aire son empleadas por el alumno muestra del grupo control. Otras de las propiedades empleadas por los alumnos del grupo experimental son: la ley de Hooke, trabajo, movimiento oscilatorio, transformación de energía, resistencia del aire y le asociaron el signo negativo a la fuerza de fricción a la pérdida o transformación de energía. Por otra parte, se puede ver que los alumnos del grupo experimental le asocian un significado a la fuerza de fricción como una transformación de energía involucrando también la resistencia del aire y el movimiento oscilatorio de los sistemas involucrados mientras que los alumnos del grupo control siguen en el mismo concepto tradicional de la fuerza de fricción como opuesta al movimiento y descrita como $f = \mu N$, sólo el alumno “muestra” de grupo control le asoció el significado de resistencia del aire y transformación de energía.

Con respecto a las diferentes categorías que aparecen en las respuestas dadas en el cuestionario final, las respuestas de los alumnos del grupo experimental fueron clasificadas en más categorías en comparación a las del grupo control, esto debido a los distintos argumentos utilizados por los alumnos del grupo experimental y el uso de diferentes propiedades como la transformación de energía. También se puede notar cómo los alumnos del grupo experimental realizan un proceso de idealización y materialización en sus respuestas, por ejemplo en la figura 32 que corresponde a la respuesta del reactivo 12 el cual dice **¿Consideras que la fuerza de fricción que actúa sobre una caja que se desplaza horizontalmente sobre una superficie rugosa es distinta a la fuerza de fricción que actúa sobre el patinador o la masa del péndulo?**, los alumnos están idealizando al representar al patinador como un punto o simplemente dibujando al patinador o la caja (encerrados con un círculo rojo) como se puede ver en la figura 32 en los incisos (a) y (b) y materializa al expresar las fuerzas que están actuando sobre el cuerpo como la normal, la fuerza de fricción y el peso, y en el caso del péndulo representa la resistencia del aire, la tensión, el peso, etc. (encerrados en un círculo azul).

Además, se puede observar que los alumnos del grupo experimental utilizan representaciones gráficas para interpretar cada una de las situaciones presentadas en el cuestionario final, de las cuales algunas estuvieron relacionadas con las simulaciones, más que el empleo de diagramas de cuerpo libre, los cuales fueron más utilizados por los alumnos del grupo control.

No, solo cambia que en el pedulo es Tensión y en la rampa es una Fuerza Normal.



a)

b)

Figura 32. Respuesta del reactivo 12 dada por dos alumnos del grupo experimental.

También se puede observar que el alumno “muestra” del grupo experimental emplea conceptos como oscilación, energía térmica, acumular, tensión, superficie lateral, mientras que el alumno “muestra” del grupo control no emplea ninguna de estos, solamente utiliza conceptos como desaceleración, movimiento parabólico, coeficiente de resistencia, inclinación y eje de referencia, sin embargo tienen conceptos en común como energía cinética, energía potencial, fuerza de fricción, altura y punto máximo. Se puede notar también que el alumno muestra del grupo control emplea la definición operativa “tradicional” de la fuerza de fricción con la necesidad del coeficiente de fricción y opuesta al movimiento, siendo que el alumno muestra del grupo experimental expresa que la fuerza de fricción puede estar relacionada con otros aspectos de acuerdo a la forma del objeto, así mismo, relaciona las semejanzas entre dos sistemas de acuerdo a las fuerzas que esta involucradas y en cómo estas son iguales o diferentes, en cambio en el alumno muestra del grupo control se genera una confusión relacionada con la trayectoria que siguen las partículas al moverse, lo cual es erróneo también.

Además, los alumnos del grupo experimental realizaron un proceso de generalización a través de las prácticas implementadas, debido a que los alumnos tomaron experiencias de estas para poder responder a los reactivos del cuestionario final, relacionando algunas situaciones y empleando conceptos provenientes de las prácticas.

Con base en el análisis anterior, se puede decir que la realización del conjunto de prácticas descriptivas de la ocurrencia de los fenómenos físicos simulados condujeron a los estudiantes al desarrollo de una concepción más adecuada de la fuerza de fricción que la concepción lograda por los estudiantes a los que se les impartió clases tradicionales. La realización del sistema de prácticas condujo a los estudiantes del grupo experimental a la realización del proceso de reificación para lograr una perspectiva unitaria de la fuerza de fricción. La perspectiva unitaria de la fuerza de fricción fue movilizaba por los estudiantes del grupo experimental cuando se les planteó la tarea de responder el cuestionario final. De este modo, cuando los estudiantes respondían cada reactivo, los estudiantes realizaban un proceso de particularización, el cual se vio reflejado a través del empleo de un mayor número de conceptos en comparación con el número de conceptos empleados por los alumnos del grupo control.



CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES

Capítulo 7. Conclusiones

En este último capítulo se presentan las conclusiones de la investigación realizada con los alumnos de Ingeniería de la asignatura de Dinámica, para esto se describen en un primer momento las hipótesis, posteriormente se plantean las preguntas de investigación y finalmente sus respuestas.

El planteamiento de situaciones físicas problematizadas que involucran a la fuerza de fricción a través de los simuladores PhET, proveen a los estudiantes de una perspectiva compleja de la noción de fuerza de fricción, que dota a los alumnos de herramientas para poder resolver problemas de física. Esta aseveración fue validada a través de la respuesta a las primeras dos preguntas de investigación:

¿Cuál es el resultado de aprendizaje en un grupo de estudiantes de ingeniería en la materia de Dinámica, al presentarles distintas situaciones donde aparece la fuerza de fricción utilizando secuencias didácticas y los simuladores PhET?

El resultado del aprendizaje en los alumnos del grupo experimental, fue que los alumnos están más capacitados y dotados de herramientas para resolver problemas de física, ya que al presentarles los distintos contextos donde aparece la fuerza de fricción estos comprendieron la noción de fuerza de fricción más allá de la noción tradicional, y que además ésta es modelada de diferente manera.

De la misma manera, se pudo observar que los alumnos del grupo experimental emplearon un mayor número de conceptos físicos, materiales y en algunas ocasiones conceptos de tipo estado mental, esto en comparación con los conceptos que utilizaron los alumnos del grupo control, también se pudo ver que los alumnos del grupo experimental empleaban conceptos relacionados con la transformación de energía y algunos otros relacionados con el uso de los simuladores PhET, en cambio los alumnos del grupo control no lo hacían.

¿Cuáles son las diferencias o semejanzas encontradas entre el grupo control y el grupo experimental en relación con el significado de la noción de fuerza de fricción?

Se observó que los alumnos del grupo experimental llevan a cabo distintos procesos cognitivos como idealización, materialización y generalización. Además fueron capaces de entender la noción de fuerza de fricción desde una perspectiva compleja, lo cual es un indicio de cómo el uso de las simulaciones desde la perspectiva de complejidad da estos resultados, en cambio los alumnos del grupo control siguen con el concepto tradicional de la fuerza de fricción presentada como opuesta al movimiento y modelada como $f = \mu N$.

Por otro lado, *en relación con las secuencias didácticas implementadas y sobre el uso de los simuladores PhET como recurso extra en clase, se observó que éstos ayudan a los alumnos en la reflexión sobre algunos aspectos físicos presentados en diferentes situaciones, distintas propiedades de la fuerza de fricción según el contexto y representaciones asociadas a la fuerza de fricción. De manera que es posible responder a las últimas dos preguntas de investigación:*

¿Cómo se lograría una perspectiva holística de la fuerza de fricción a través del empleo de los simuladores PhET donde aparece la fricción?

Es importante tomar en cuenta que, para lograr una perspectiva holística de la fuerza de fricción a través del empleo de los simuladores PhET, se debe plantear una muestra representativa de situaciones a través de los simuladores PhET que problematicen en distintos contextos y que aporten propiedades diferentes de la fuerza de fricción.

También se puede presentar al alumno situaciones más complejas en donde se presenta la fuerza de fricción, pero sin necesidad de usar una formulación y resolución matemática avanzada, más bien lo que se busca es mostrar la propiedad física de la fuerza de fricción en ese contexto, como es el caso de la Secuencia 4. Energía en el péndulo simple, Secuencia 5. Energía en la pista de patinaje y Secuencia 6. Energía del resorte, las cuales están relacionadas con la propiedad de la transformación de energía como un trabajo ejercido por la fuerza de fricción.

¿Cómo diseñar secuencias didácticas que permiten estudiar la noción de fuerza de fricción para su implementación en un curso de física de nivel universitario?

Para diseñar las secuencias didácticas sobre la noción de la fuerza de fricción, deben ser planteadas situaciones donde se problematicen y se pongan en juego los Objetos Físico-Matemáticos Primarios.

El uso de los simuladores PhET como recurso extra en clase, ayudó a los alumnos en la reflexión sobre algunos aspectos físicos, propiedades y representaciones asociadas a la fuerza de fricción, ya que por medio de estas podían ver a detalle el comportamiento de manera gráfica y los elementos que actuaban en la situación dentro de cada una de las simulaciones y que no se pueden ver en un diagrama, por ejemplo en el plano inclinado el alumno entiende que la fuerza de fricción puede cambiar su dirección de acuerdo al movimiento que tiene la caja. También se pudo notar, a partir del análisis de resultados, que los alumnos relacionan elementos de las simulaciones para responder al cuestionario final.

No todos los temas que se abordan en el programa de la asignatura cuentan con un conjunto de simuladores en la página de los PhET, sin embargo una simulación sirve para estudiar distintas nociones físicas, por ejemplo, el caso de la simulación “Energía en la pista de patinaje”.

En esta investigación no fue posible integrar otras secuencias relacionadas con la fuerza de fricción donde se involucren situaciones como la del movimiento de un automóvil en una curva peraltada, el rodamiento de cuerpos o el movimiento del cuerpo humano debido a que no existen simuladores PhET que describen estas situaciones, las cuales también hubieran sido útiles para la investigación, sin embargo, esta investigación no está limitada por la cuestión de no haber más simuladores, más bien es una propuesta que al ser implementada dio resultados.

La noción de complejidad desde el EOS para la enseñanza de la física escolar, mostrando un conjunto de secuencias didácticas acompañadas de simuladores PhET donde se presenta la fuerza de fricción en distintos contextos y con distintas propiedades, capacita y dota de herramientas a los alumnos para que puedan resolver problemas en otros contextos, siendo que comprenden, por medio de estas, la noción de la fuerza de fricción realizando un proceso de generalización al ir de lo sistémico a lo unitario.

Si bien, en el sitio de los simuladores PhET se plantean diversas situaciones físicas, sin embargo, en relación al contenido del programa de física de una licenciatura, dichas simulaciones son escasas para abordar todos los temas.

Se pretende seguir en la línea de investigación de otros temas de la física escolar con apoyo de la noción de complejidad del EOS como es el caso de la energía, la cual es una noción muy importante en la física, debido a que aparece como energía cinética, potencial y química relacionada a través del equivalente mecánico del calor.

REFERENCIAS

- Acordía, M. F. e Islas, S. M. (2006). Las fuerzas de roce en libros de texto y en revistas científicas. *Revista de enseñanza de la física*, 19(2), 7-24.
- Barnett, D., Pennington, M. y Rouinfar, A. (sf). *Masas y Resortes*. Recuperado el 20 de febrero de 2018, de PhET: Interactive simulations.: <https://phet.colorado.edu/es/simulation/masses-and-springs>
- Canedo Ibarra, S. (2009). *Contribución al estudio del aprendizaje de las ciencias experimentales en la educación infantil: cambio conceptual y construcción de modelos científicos precursores*. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona.
- Chi, H.T. y Slotta, D.J. (1993). The Ontological Coherence of Intuitive Physics. *Cognition and Instruction*, 10 (2 & 3), 249-260.
- Concari, S., Pozzo, R. y Giorgi, S. (1999). Un estudio sobre el rozamiento en libros de física de nivel universitario. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 17(2), 273-280
- D'Amore, B. y Godino, J. D. (2007). El enfoque ontosemiótico como un desarrollo de la teoría antropológica en didáctica de la matemática. *Revista latinoamericana de investigación en matemática educativa*, 10(2), 191-218.
- Facultad de Ingeniería. (2017). Programa Analítico. San Luis Potosí: Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Obtenido de <http://www.ingenieria.uaslp.mx/ame>
- Font, V. y Contreras, Á. (2008). The problem of the particular and its relation to the general in mathematics education. *Educational Studies in Mathematics*, 69(1), 33-52.
- Font, V. y Rubio, N. V. (2017). Procesos matemáticos en el enfoque ontosemiótico. Actas del Segundo Congreso Internacional Virtual sobre el Enfoque Ontosemiótico del Conocimiento y la Instrucción Matemáticos. Obtenido de enfoqueontosemiotico.ugr.es/civeos.html
- Godino, J. D. (2002). Un enfoque Ontológico y Semiótico de la Cognición Matemática. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 22(2.3), 237-284.
- Godino, J. D. (2003). Teoría de las funciones semióticas. Un enfoque ontológico-semiótico de la cognición e instrucción matemática. Obtenido de Departamento de Didáctica de la Matemática. Universidad de Granada.: http://www.ugr.es/local/jgodino/indice_tfs.htm
- Godino, J. D. y Batanero, C. (1994). Significado institucional y personal de los objetos matemáticos. *Recherches en didactique des Mathématiques*, 14(3), 325-355.
- Godino, J., Batanero, C. y Font, V. (2007). The onto-semiotic approach to research in mathematics education. *The International Journal on Mathematics Education*, 39(1-2), 127-135.
- Google Drive. (2010). Recuperado el 8 de diciembre de 2018, de <https://drive.google.com/drive/>

- Hincapié Martínez, H. (2011). *Predicción, Experimentación y Simulación en la Enseñanza de la Fuerza de Rozamiento*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia.
- López Ríos, S. y Covalada, R. (2005). Ideas de los estudiantes sobre los conceptos de fuerza y fuerza de fricción. *Revista educación y pedagogía*, 17(43), 197-206.
- Martínez, C. y Piedad, C. (2006). *El método de estudio de caso: estrategia metodológica de la investigación científica. Pensamiento & Gestión*. Obtenido de Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal.: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64602005>
- Merriam, S. (1998). *Investigaciones cualitativas y aplicación de estudio de casos en la educación*. San Francisco: Jossey-Bass Publishers.
- Montiel, H. P. (2010). Fricción. En *Física general* (pp. 168-174). México, D.F.: Editorial Patria.
- Moreno Martínez, N., Angulo Villanueva, R. y Reducindo Ruíz, I. (2018). La enseñanza de la física: el caso de la fuerza de fricción. *Universitarios Potosinos. Revista de divulgación científica*, (223), 22-27.
- Moreno Martínez, N., Font Moll, V., & Ramírez Maciel, J. C. (2016). La importancia de los diagramas en la resolución de problemas de cuerpos deformables en Mecánica: el caso de la fuerza de fricción. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 24(1), 158-172.
- Moreno, M. N., Zuñiga, M. S. y Tovar, R. D. (2018). Una herramienta gráfica para la enseñanza de la cinemática mediante la resolución de problemas. *Latin-American Journal of Physics Education*, (en prensa).
- Olson, J., Dubson, M. y Rouinfar, A. (sf). *Laboratorio de péndulo*. Recuperado el 20 de febrero de 2018, de PhET: Interactive simulations.: <https://phet.colorado.edu/es/simulation/pendulum-lab>
- Paul, A., Podelfsky, N. y Reid, S. (sf). *Energía en la pista de patinaje: conceptos básicos*. Recuperado el 20 de febrero de 2018, de PhET: Interactive simulations.: <https://phet.colorado.edu/es/simulation/energy-skate-park-basics>
- Reid, S., Podelfsky, N. y Loeblein, T. (sf). *Fuerza y movimiento*. Recuperado el 20 de febrero de 2018, de PhET: Interactive simulations.: <https://phet.colorado.edu/es/simulation/legacy/forces-and-motion>
- Reid, S., Podelfsky, N. y Loeblein, T. (sf). *Fuerza y movimiento*. Recuperado el 20 de febrero de 2018, de PhET: Interactive simulations.: <https://phet.colorado.edu/es/simulation/legacy/ramp-forces-and-motion>
- Rouinfar, A., Lin, A. y Adams, W. (sf). *Movimiento de un proyectil*. Recuperado el 20 de febrero de 2018, de PhET: Interactive simulations.: <https://phet.colorado.edu/es/simulation/projectile-motion>
- Serway, R. A. (1994). Fuerza de rozamiento. En *Física* (pp. 114-124). México: McGRAW-HILL.
- Tippens, P. E. (1992). Rozamiento o fricción. En *FÍSICA conceptos y aplicaciones* (pp. 56-72). México: McGRAW-HILL.

University of Colorado. (2002). PhET Interactive Simulations - Physics. Recuperado el 20 de febrero de 2018, de PhET: Interactive simulations.: <https://phet.colorado.edu/>

Universidad de Colorado. (20 de febrero de 2017). *Actividades con Simulaciones Interactivas PhET. Guía para el diseño de hojas de trabajo*. Recuperado de: https://phet.colorado.edu/files/guides/TeacherGuide_ActivityDesign_es.pdf

APÉNDICE I

ANEXO 1. SECUENCIA 1, MOVIMIENTO HORIZONTAL

Objetivos de aprendizaje:

- Entender el comportamiento de la magnitud y sentido de las fuerzas de fricción estática, estática máxima y cinética de un cuerpo en reposo sobre un plano horizontal.

Situación 1: Magnitud y Sentido de la fuerza de fricción estática. Diagrama de cuerpo libre

Una caja de 100 kg se encuentra en una superficie horizontal con coeficientes de fricción estática y cinética de $\mu_k = 0.3$ y $\mu_s = 0.5$. Se aplica una fuerza horizontal, la cual comenzará a aumentar de poco en poco hasta lograr sacar a la caja de su estado de reposo.

Dentro de la simulación PhET, selecciona la pestaña de **FRICCIÓN**. Explora esta simulación por 1 minuto.

- Verifica en la simulación que los parámetros sean acorde a la situación planteada.
- Presiona el botón **Play** 
- Dar click en el deslizador de la barra **Fuerza aplicada** y muévelo lentamente para aplicar fuerza sobre la caja en el límite hasta que ésta empieza a moverse (evita chocar con el muro), mantén el movimiento un instante y después **PAUSA** el movimiento.
- Puedes volver a ver lo que sucedió usando la función **Playback** y el botón para avanzar cuadro por cuadro en el tiempo  para observarlo de manera detallada.

P1: ¿Cuál es la magnitud de la fuerza mínima que se requiere para iniciar el movimiento de la caja? Si la situación anterior se realiza hacia el lado izquierdo ¿Es de la misma magnitud la fuerza que se tiene que aplicar? Justifique

- Observe el Diagrama de cuerpo libre.

P2: ¿Qué fuerzas actúan sobre la caja cuando ésta se encuentra en reposo? ¿Existe fuerza de fricción cuando no se aplica fuerza sobre la caja? ¿Por qué?

P3: ¿Cómo se comporta la fuerza de fricción estática desde que empiezas a aplicar la fuerza hasta el instante en que la caja empieza a moverse? ¿Cómo es su dirección y sentido?

P4: Observe el diagrama de cuerpo libre y escriba una expresión algebraica que describa la acción de las fuerzas horizontales (eje x) sobre la caja, mediante la segunda ley de Newton $\Sigma F_x = ma_x$, cuando se encuentra en reposo o en movimiento acelerado:

*Expresión para la caja en reposo

*Expresión con la caja en movimiento acelerado

P5: Observe el diagrama de cuerpo libre y escriba una expresión algebraica que describa la acción de las fuerzas verticales (eje y) sobre la caja empleando la segunda ley de Newton $\Sigma F_y = ma_y$, cuando se encuentra en reposo o en movimiento acelerado:

*Expresión para la caja en reposo

*Expresión con la caja en movimiento acelerado

Situación 2: Interpretación gráfica de la Magnitud y Sentido de la fuerza aplicada y fuerza de fricción estática.

Una caja de 100 kg se encuentra en una superficie horizontal con coeficientes de fricción estática y cinética de $\mu_k = 0.3$ y $\mu_s = 0.5$. Se aplica una fuerza horizontal, la cual comenzará a aumentar de poco en poco hasta lograr sacar a la caja de su estado de reposo, después de esto se mantendrá dicha fuerza unos segundos provocando que continúe en movimiento.

Dentro de la simulación PhET, selecciona la pestaña de **GRÁFICAS**. Explora esta simulación por 1 minuto.

P6: Realiza una gráfica en la cual describas el comportamiento de la fuerza aplicada y las fuerzas de fricción con respecto al tiempo antes de que se mueva la caja y cuando logra moverla por unos instantes.

1. En la casilla **Fuerzas paralelas (N)** asegúrate de marcar **F aplicada** y **F fricción**.
2. Presiona el botón **Play** 
3. Mueve el deslizador de **F aplicada** para que se aplique una fuerza horizontal, la cual comenzará a aumentar de poco en poco hasta lograr sacar a la caja de su estado de reposo, después de esto se mantendrá dicha fuerza unos segundos provocando que continúe en movimiento. **Pausa** la simulación.
4. Observa lo que ocurre gráficamente. Puedes usar la opción de **Playback** para volver a ver el movimiento. Y el botón para avanzar cuadro por cuadro en el tiempo  para observarlo de manera detallada.

P7: ¿Tu hipótesis (P6) concuerda con lo que reporta la simulación? ¿Por qué?

P8: Observa y dibuja la gráfica mostrada en la simulación.

P9: Describe el comportamiento de cada una de las porciones de la Gráfica anterior (P8) usando los conceptos de **fuerza aplicada** y **fuerza de fricción estática, estática máxima y cinética**, usa diferentes colores para gráfica. Comparando el comportamiento de la fuerza de fricción con la fuerza aplicada antes de que se mueva la caja y cuando se logra moverla por unos instantes. Justifica de manera EXPLÍCITA tu respuesta.

Problema 1

Una caja de 100 kg se encuentra sobre una superficie horizontal con coeficientes de fricción estático y cinético de $\mu_k = 0.3$ y $\mu_s = 0.5$. a) ¿Cuál debe ser la magnitud de fuerza de empuje horizontal necesaria para que la caja se empiece a mover?, b) ¿Cuál debe ser la magnitud de fuerza de empuje horizontal necesaria para que la caja se mantenga en movimiento a velocidad constante? Muestre las ecuaciones y procedimientos utilizando la segunda ley de Newton y justifique textualmente cada uno de los pasos.

ANEXO 2. SECUENCIA 2, PLANO INCLINADO

Objetivos de aprendizaje:

- Profundizar en el conocimiento de la fuerza de fricción estática y cinética en un plano inclinado.
- Entender el comportamiento de la magnitud y sentido de la fuerza de fricción estática de un cuerpo en reposo sobre un plano inclinado.

Situación 1: Diferentes ángulos

Una caja de 100 kg se encuentra en plano inclinado con coeficientes de fricción estático y dinámico son $\mu_s = 0.5$ y $\mu_k = 0.3$. El ángulo de la rampa puede ser modificado

1. Coloca la rampa en un ángulo $= 0^\circ$ (horizontal).
2. Usando los controles, coloca la caja en la posición 6m.
3. Presiona el botón **Play** . Aumenta el ángulo de inclinación lentamente hasta que la caja empiece a moverse. **Pausa** el movimiento.
4. Observa cómo cambia la fuerza de fricción en la gráfica, puedes usar la opción de **Playback** para volver a ver el movimiento.

P1: Escribe tu interpretación de la gráfica usando los conceptos de fuerza de fricción estática y cinética.

P2: ¿Qué es lo que hace que la fuerza de fricción estática este cambiando? Explica.

P3: Encuentra el valor del ángulo al que comienza a moverse la caja.

Situación 2: Magnitud y Sentido de la fuerza de fricción estática

Etapa 1: Una caja de 100 kg se encuentra en la horizontal con coeficientes de fricción estático y cinético de $\mu_s = 0.5$ y $\mu_k = 0.3$.

P4: Calcula la fuerza de fricción estática máxima F_0 , es decir la fuerza necesaria para empezar a mover la caja a la derecha. Comprueba ese valor usando la simulación. $F_0 =$ _____
Da clic en **Reinicia todo** en la simulación.

Etapa 2: El mismo bloque ahora se encuentra en un plano inclinado con un ángulo de 33° y se le aplica inicialmente una fuerza paralela al plano inclinado de igual magnitud a F_0 y que se va incrementando en magnitud.

1.- Usando los controles, coloca la caja en una posición sobre la rampa con el ángulo y la fuerza aplicada descritos en la etapa 2. Presiona el botón Play  por un momento y después pausa el movimiento.

P5: Explica qué pasó con la caja.

2.- Vuelve a presionar Play y aumenta la fuerza aplicada lentamente hasta que la caja comience a moverse (evita chocar muro). Pausa el movimiento.

3.- Observa el comportamiento de la fuerza aplicada y la fuerza de fricción en las gráficas, puedes usar la opción de **Playback** para volver a ver el movimiento.

P6: Escribe tu interpretación de la gráfica usando los conceptos de fuerza aplicada y fuerza de fricción estática y cinética, así como el sentido de las fuerzas.

P7: ¿En qué dirección está presente la fuerza de fricción estática mientras aumentas la fuerza aplicada?

P8: ¿Cuál es la fuerza máxima que puede ser aplicada para mantener la caja en reposo sobre el plano, es decir a partir de la cual la caja empieza moverse en forma ascendente?

P9: ¿Cómo es la fuerza calculada anteriormente comparada con F_0 ? Explica porque ahora son diferentes.

Da clic en **Reinicia todo** en la simulación.

Etapa 3: El mismo bloque ahora se encuentra en un plano inclinado con un ángulo de 33° y se le aplica inicialmente una fuerza igual a F_0 que se va disminuyendo

1.- Repite toda la etapa 2, pero ahora ve disminuyendo la fuerza aplicada hasta que la caja comience a deslizarse por el plano. Observa el comportamiento de la Fuerza aplicada y la Fuerza de Fricción en las gráficas.

P10: Escribe tu interpretación de la gráfica usando los conceptos de fuerza aplicada y fuerza de fricción estática y cinética, así como el sentido de las fuerzas.

P11: ¿En qué dirección está presente la fuerza de fricción estática mientras disminuyes la fuerza aplicada?

P12: ¿Cuál es la fuerza aplicada mínima requerida para que la caja permanezca en reposo, es decir antes de que comience a deslizarse en el plano?

P13: ¿Cómo es la fuerza calculada anteriormente (P12) comparada con F_0 ? Explica porque ahora son diferentes.

Contesta P10, P11, P12 Y P13 al reverso de la hoja

PROBLEMA 2

Obtenga la magnitud de la fuerza aplicada (en dirección paralela al plano inclinado) mínima y máxima que se requiere para mantener una caja de 100 kg de masa, en reposo sobre un plano

inclinado a 33° , donde los coeficientes de fricción estático y cinético entre la caja y el plano son de $\mu_s = 0.5$ y $\mu_k = 0.3$. Muestre las ecuaciones y procedimientos. Resuelva mediante el uso de segunda ley. Justifique textualmente cada uno de los pasos usados en la resolución del mismo.

ANEXO 3. SECUENCIA 3, TIRO VERTICAL CON FRICCIÓN

Objetivos de aprendizaje:

- Analizar un caso donde la fuerza de fricción se modela como dependiente de una variable cinemática.

Situación 1: Tiro vertical sin fricción.

Se dispara verticalmente un proyectil de 10 kg desde el suelo, con una velocidad inicial de 30 m/s. El proyectil tiene un diámetro de 1.43 m.

Ajusta la simulación a los parámetros descritos en la situación. Asegúrate que en la simulación este **desmarcada** la casilla **resistencia del aire**. Usa la aceleración de la gravedad como 9.81 m/s^2 .

P1. Usa las herramientas de medición y obtén la altura máxima y el tiempo que tarda el proyectil en llegar a esa posición.

Altura máxima _____ Tiempo: _____

P2: ¿Cuáles son las fuerzas que actúan sobre la bala cuando es disparada por el cañón?

P3: Aumenta y disminuye los valores de la masa de la bala, pero mantén constante la velocidad de lanzamiento ¿Cómo cambia el tiempo y la altura máxima de la bala?

Situación 2: Tiro vertical con fricción.

Se dispara verticalmente un proyectil de 10 kg y con un **diámetro de 1.43 m** desde el suelo, con una velocidad inicial de 30 m/s, **considerando la fuerza resistiva del aire**.

Usando la opción de personalizar, ajusta la simulación a los parámetros descritos en la situación. Asegúrate que en la simulación esté **marcada** la casilla **resistencia del aire** y modifica el coeficiente de arrastre para que sea de 0.04. Usa la aceleración de la gravedad como 9.81 m/s^2

P4: ¿Cuál es la altura máxima y el tiempo que tarda en llegar a esa posición el proyectil?

P5: ¿Qué ocurre con la altura y el tiempo si se le aumenta o disminuye el coeficiente de arrastre?

P6: ¿Cuáles son las fuerzas que intervienen en el movimiento vertical del proyectil?

Problema 3.

Se dispara verticalmente un proyectil de 10 kg, que tiene un diámetro de 1.43 m, desde el suelo con una velocidad inicial de 30 m/s. Encuentra **la altura máxima** que alcanza, a) despreciando la resistencia del aire, b) considerando la fuerza resistiva del aire como dependiente de la rapidez al cuadrado mediante la expresión $\mathbf{F} = -0.04 v^2$ (ésta ecuación corresponde al modelo usado en la situación 2 de la simulación donde el coeficiente de arrastre es 0.04 y el diámetro del proyectil es de 1.43 m) Compara el resultado obtenido con la simulación. (Recuerda que:

$$\int_a^b \frac{du}{u} = \ln \frac{b}{a}$$

DISCUSIÓN FINAL:

- 1.- Si un objeto está en reposo, ¿Se puede afirmar que no hay fuerzas externas actuando sobre él?
- 2.- En las tres situaciones presentadas anteriormente (plano horizontal, plano inclinado y tiro vertical) ¿Las fuerzas que actúan sobre los objetos son similares?
- 3.- ¿Cómo se interpreta la fricción en cada una de las situaciones?
- 4.- ¿Por qué se habla de fuerza de fricción estática máxima y no de fuerza de fricción cinética máxima?

- 5.- Si una persona empuja una caja que está en reposo en un plano horizontal, esta requiere una fuerza F para iniciar su movimiento. Sin embargo, una vez que esta se desliza requiere una fuerza más pequeña para mantener ese movimiento. ¿A qué se debe?
- 6.- Imagina que vas corriendo rápidamente... ¿Cómo le haces para detenerte bruscamente? Describe la acción usando los conceptos físicos relacionados.
- 7.- ¿Por qué es más fácil tirar de un trineo con cierto ángulo que empujarlo con el mismo ángulo?
- 8.- Cuando se camina sobre un lago congelado, ¿Se deben dar pasos cortos o pasos largos? ¿Por qué? Si no hubiera fricción en el lago, ¿Sería posible salirse del lago congelado?
- 9.- Además de las situaciones presentadas anteriormente ¿Conoces otra situación en donde se presenta la fuerza de fricción? ¿Cómo actúan? ¿Cómo se describe la fuerza de fricción en dichas situaciones?
- 10.- ¿En cualquier situación dada, la fuerza de fricción tiene la misma interpretación? Explica.

ANEXO 4. SECUENCIA 4. ENERGÍA EN EL PÉNDULO SIMPLE

Objetivos de aprendizaje:

- Analizar el efecto de la fuerza de fricción en la oscilación de un péndulo
- Entender la relación del cambio de energía como trabajo ejercido por la fuerza de fricción.

Situación 1: Análisis de un péndulo simple

CASO 1) SIN FRICCIÓN

En un péndulo simple de longitud 0.70 m, cuelga una masa de 1.00 kg. El péndulo oscila sin fricción.

1. Modifique los parámetros de la animación según la información que proporciona la situación descrita anteriormente.
2. Toma el péndulo y colócalo a un ángulo de 10° con respecto a su posición de equilibrio (ángulo igual a cero) y suéltalo para que oscile.
3. Usa las herramientas de medición **Regla** y **Rastro del periodo**

P1: ¿Qué es lo que ocurre con el ángulo de oscilación cuando no hay fricción?

P2: Explica qué ocurre con la energía potencial y cinética en las siguientes condiciones:

El péndulo se encuentra en:	Energía Potencial	Energía Cinética
la parte más alta		
un ángulo intermedio		
en la posición de equilibrio		

CASO 2: FRICCIÓN MEDIA

4. Desliza la barra de **Fricción** hasta que esté ubicada justo a la **Mitad** y haz oscilar el péndulo con el mismo ángulo inicial.

P3: ¿Qué cambios observas?

CASO 3: MUCHA FRICCIÓN

5. Desliza la barra de **Fricción** hasta que esté ubicada en **Mucha** y haz oscilar el péndulo.

P4: ¿Qué cambios observas?

Análisis final

P5: Compara lo que sucede con el ángulo de oscilación cuando: a) no hay fricción, b) media fricción y c) mucha fricción.

P6: Describe el comportamiento de las gráficas de energía cinética, energía potencial, y energía total para cada uno de los casos a) no hay fricción, b) media fricción y c) mucha fricción

P7: ¿En qué se transforma esa energía?

P8: Realiza un diagrama de fuerzas de la masa considerando los puntos más altos de la trayectoria y el punto de equilibrio de la misma. Considera cuando hay fricción y cuando no la hay

Punto más alto sin fricción	punto de equilibrio sin fricción
Punto más alto con fricción	punto de equilibrio con fricción

Situación 2: *Energía potencial y cinética.*

En un péndulo simple de longitud $L_0=0.70$ m, cuelga una masa de 1.00 kg

1. **Reinicia todo** en la simulación.
2. Desliza la barra de **Fricción** hasta que esté ubicada en **Ninguna**
3. Usa la **regla** para medir la distancia vertical del centro de la masa al punto fijo “L” y Calcula la altura máxima. Para calcular la altura máxima usa la fórmula $h_{max}= L_0 - L$.

Utilice las unidades de **metros**. Puedes usar la opción de **Movimiento Lento**  **Lento** para observar detalladamente el movimiento.

$L=$ _____ $h_{max}= L_0 - L=$ _____

P9: ¿Cuál es el valor de la energía potencial en el punto más alto? Realiza el cálculo $E= mgh_{max}$

P10: ¿Cuál es el valor de la velocidad en el punto más bajo? Realiza el cálculo

4. **Reinicia todo.** Desliza la barra de **Fricción** hasta que esté ubicada **una línea antes de mucha**.
5. Mide la distancia vertical del centro de masa al punto fijo, usa las unidades de metros y calcula la energía potencial máxima en las primeras cuatro oscilaciones. Completa la tabla.

Oscilaciones	distancia L (m)	$h_{max}= L_0 - L$	Energía potencial $E= mgh_{max}$	Transferencia de energía del sistema (E_f-E_i)
1				
2				
3				
4				

P11: ¿Cuál es la transferencia total de energía al cabo de 4 oscilaciones?

P12: ¿Cómo es la velocidad en el punto de equilibrio para este caso en cada una de las oscilaciones? Compara tu respuesta con el caso sin fricción.

P13: Para el caso que acabas de estudiar que es el sistema de péndulo simple con fricción a) ¿Cómo actúa la fuerza de fricción?

- b) ¿Es la fuerza de fricción constante o variable?
 c) ¿De qué depende la fuerza de fricción?

Explica justificando tus respuestas con los conceptos físicos relacionados.

ANEXO 5. SECUENCIA 5. ENERGÍA EN LA PISTA DE PATINAJE

Objetivos de aprendizaje:

- Analizar el efecto de la fuerza de fricción en una pista de patinaje.
- Entender la relación del cambio de energía como trabajo ejercido por la fuerza de fricción.

Situación 1: Análisis de la fricción en un sistema patinador-pista de patinaje

CASO 1) SIN FRICCIÓN

Un patinador de masa 75 kg se desliza sobre una pista de patinaje.

1. Modifique los parámetros de la animación según la información que proporciona la situación descrita anteriormente. Utilice la primera pista de patinaje en forma de parábola.
2. Selecciona la casilla **Gráfico de barras** y **Mostrar cuadrícula**.
3. Toma el patinador y colócalo en una **posición de 6 metros** y suéltalo para que deslice sobre la pista.

P1: ¿Qué es lo que ocurre con la altura a la que llega el patinador cuando no hay fricción?

P2: Explica qué ocurre con la energía potencial y cinética en las siguientes condiciones:

El patinador se encuentra en:	Energía Potencial	Energía Cinética
La parte más alta		
En una altura media		
En la posición de equilibrio		

CASO 2: FRICCIÓN MEDIA

1. Desliza la barra de **Fricción** hasta que esté ubicada justo a la **Mitad**, vuelve a colocar al patinador en la altura de 6m y suéltalo para que se deslice.

P3: ¿Qué cambios observas?

CASO 3: MUCHA FRICCIÓN

1. Desliza la barra de **Fricción** hasta que esté ubicada en **Mucha**, vuelve a colocar al patinador en la altura de 6m y suéltalo para que se deslice.

P4: ¿Qué cambios observas?

Análisis de la situación

P5: Compara lo que sucede con la altura cuando: a) no hay fricción, b) media fricción y c) mucha fricción.

P6: Describe el comportamiento de las gráficas de energía cinética, energía potencial, y energía total para cada uno de los casos a) no hay fricción, b) media fricción y c) mucha fricción

P7: ¿En qué se transforma esa energía?

P8: Realiza un diagrama de fuerzas de la masa considerando los puntos más altos de la trayectoria y el punto de equilibrio de la misma. Considera cuando hay fricción y cuando no la hay

Punto más alto sin fricción	Punto de equilibrio sin fricción
Punto más alto con fricción	Punto de equilibrio con fricción

Situación 2: *Energía potencial y cinética.*

Un patinador de masa 75 kg se desliza sobre una pista de patinaje.

1. **Reinicia todo** en la simulación.
2. Desliza la barra de **Fricción** hasta que esté ubicada en **Ninguna**
3. Usa la **cuadrícula**, posiciona al patinador en la altura de 6 metros respecto al suelo. Usa la **cinta métrica** para medir la distancia vertical del patinador con respecto al suelo en: la altura máxima que alcanza el patinador “**h_{max}**” y la altura que alcanza en la posición de equilibrio (en medio de la pista) “**h_o**”. Utilice las unidades de **metros**. Puedes usar la opción de **Movimiento lento** **Lento** para observar detalladamente el movimiento.

h_{max}=_____ **h_o**=_____

Encuentra la altura que tiene el patinador con respecto al punto de equilibrio a través de la ecuación **h = h_{max} - h_o**

P9: ¿Cuál es el valor de la energía potencial en el punto más alto al que llegue el patinador?

Realiza el cálculo usando la ecuación $E = mgh_{max}$

P10: ¿Cuál es el valor de la velocidad en el punto más bajo de la pista? Realiza el cálculo

4. **Reinicia todo.** Desliza la barra de **Fricción** hasta que esté ubicada en la **mitad**.

5. Mide la distancia vertical (altura) del patinador con respecto del equilibrio, para cada una de las trayectorias de subida. Usa las unidades de metros y calcula la energía potencial máxima en las primeras cuatro trayectorias. Completa la tabla.

Trayectoria	distancia L (m)	$h = h_{max} - h_o$	Energía potencial $E = mgh_x$	Cambio o Transferencia de energía del sistema ($E_f - E_i$)
1				
2				
3				
4				

Análisis de la situación

P11: ¿Cuál es el cambio o transferencia total de energía al cabo de 4 trayectorias?

P12: ¿Cómo es la velocidad en el punto de equilibrio para este caso en cada una de las trayectorias? Compara tu respuesta con el caso sin fricción.

P13: Para el caso que acabas de estudiar que es el sistema de pista de patinaje con fricción

- a) ¿Cómo actúa la fuerza de fricción?
- b) ¿Es la fuerza de fricción constante o variable?
- c) ¿De qué depende la fuerza de fricción?

Explica justificando tus respuestas con los conceptos físicos relacionados.

ANEXO 6. SECUENCIA 6. ENERGÍA EN EL RESORTE

Objetivos de aprendizaje:

- Analizar el efecto de la fuerza de fricción en la oscilación de una masa en un resorte.
- Entender la relación entre la transferencia de energía del sistema y la fuerza de fricción.

Situación 1: Análisis del sistema masa-resorte

CASO 1) SIN FRICCIÓN

Una masa de 100 gr se cuelga de un resorte y se pondrá a oscilar sin fricción.

1. Modifique los parámetros de la simulación según la información que proporciona la situación descrita anteriormente.
2. Desliza la barra de **Fricción** hasta que esté ubicada en **Ninguna**. Pon la suavidad de resorte en **media**.
3. Muestre la gráfica de energía del resorte utilizado en la casilla **Muestra de la energía**.
4. Haz oscilar el resorte con una amplitud de **10 cm**. Puedes usar la **regla** para medirlo, pausa el movimiento o hazlo más lento en la casilla del tiempo (1/4 de tiempo o 1/16 de tiempo).

P1: ¿Qué es lo que ocurre con la amplitud del movimiento cuando no hay fricción?

P2: Observa las gráficas de energía y explica qué ocurre con las energías potenciales gravitacional y elástica, y la energía cinética en las siguientes condiciones:

La masa se encuentra en:	Energía Potencial gravitacional	Energía Potencial Elástica	Energía Cinética
la amplitud máxima			
una posición intermedia (entre la máxima y la de equilibrio)			
en la posición de equilibrio			

CASO 2) FRICCIÓN MEDIA

1. Desliza la barra de **Fricción** hasta que esté ubicada justo a la **Mitad**. Haz oscilar el resorte con una amplitud de 10 cm.
2. Muestre la gráfica de energía del resorte

P3: ¿Qué cambios observas?

CASO 3) MUCHA FRICCIÓN

1. Desliza la barra de **Fricción** hasta que esté ubicada en **Mucha** y haz oscilar el resorte.
2. Muestre la gráfica de energía del resorte

P4: ¿Qué cambios observas?

Análisis Final

P5: Realiza un diagrama de fuerzas de la masa considerando los puntos; la amplitud máxima y el punto de equilibrio de la misma. Considera cuando hay fricción y cuando no la hay

Amplitud máxima sin fricción	Punto de equilibrio sin fricción
-------------------------------------	---

Amplitud máxima con fricción	Punto de equilibrio con fricción
------------------------------	----------------------------------

P6: Compara lo que sucede con la amplitud del movimiento, cuando: a) no hay fricción, b) media fricción y c) mucha fricción.

P7. Describe el comportamiento de las gráficas de las energías potenciales gravitacional y elástica, la energía cinética, y energía total cuando: a) no hay fricción, b) media fricción y c) mucha fricción.

P8: ¿En qué se transforma la energía que se pierde por la fricción?

P9: Para el caso que acabas de estudiar, que es el movimiento del sistema masa-resorte con fricción, responde las siguientes preguntas. Justifica tus respuestas con los conceptos físicos relacionados.

- ¿Cómo actúa la fuerza de fricción?
- ¿Es la fuerza de fricción constante o variable?
- ¿De qué depende la fuerza de fricción?

ANEXO 7. Examen 1

Problema 1. Un embalaje tiene una masa de 80 kg y lo remolca una cuerda horizontal “P”. Si la magnitud de la fuerza P se incrementa hasta que el embalaje comienza a deslizarse y a partir de ese momento P permanece constante. Determine la aceleración del embalaje si el coeficiente de fricción estático es $\mu_s = 0.5$ y el de fricción cinética es $\mu_k = 0.3$

Problema 3. Un bloque de 3.00 kg de masa es empujado contra una pared mediante una fuerza P que forma un ángulo $\theta = 50.0^\circ$ con la horizontal, como se muestra en la figura. El coeficiente de fricción estática entre el bloque y la pared es 0.250. a) Determine los valores posibles para la magnitud de P que permiten al bloque permanecer fijo. b) Describa qué sucede si $|P|$ tiene un valor mayor y qué ocurre si es más pequeño.

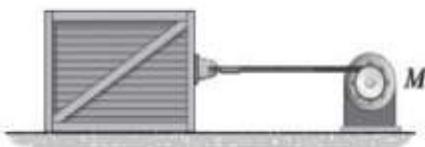


Figura del problema 1

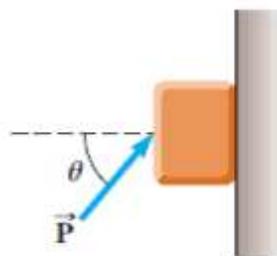


Figura del problema 3

ANEXO 8. CUESTIONARIO FINAL

- 1.- ¿Por qué cuando se conduce un automóvil por el pavimento y deseas frenar súbitamente se aconseja aplicar gradualmente los frenos?
- 2.- Por qué la distancia de frenado de un camión es mucho menor que la de un tren que va a la misma velocidad
- 3.- Un objeto pesado descansa en la plataforma de un camión. Cuando éste acelera, el objeto permanece en su lugar sobre la plataforma, por lo tanto, también se mueve junto con el camión. ¿Cuál es la fuerza que hace que el objeto acelere?
- 4.- ¿Cuál es el error en la afirmación “como el automóvil está en reposo, no existen fuerzas que actúen sobre éste”
- 5.- Si una persona empuja una caja pesada, que está en reposo, esta requiere una fuerza “F” para iniciar su movimiento, sin embargo un vez que esta se desliza, requiere una fuerza *más pequeña* para mantener su movimiento, ¿Por qué esto es así?
- 6.- Cuando se camina sobre una pista de patinaje sobre hielo, donde la fricción es muy baja, ¿se deben dar pasos cortos o pasos largos? ¿Por qué? Si no hubiera fricción en la pista, ¿sería posible salirse de la pista congelada?
- 7.- Considera el sistema masa-resorte y describe ¿Cómo es la magnitud del trabajo de la fuerza de fricción a medida que la masa se mueve alrededor de su posición de equilibrio? ¿A qué se debe dicho comportamiento?

Considera dos sistemas diferentes y contesta las preguntas 8-

11:

Sistema 1. Un péndulo que tiene una amplitud inicial de oscilación oscila bajo la acción resistiva del aire.

Sistema 2. Una pista para patinar en forma de U, sobre la cual se mueve un patinador a partir de una altura inicial h_0 , considere que existe fuerza de fricción entre la superficie y la patineta.



- 8.- ¿Cómo se comporta la magnitud de la velocidad, la energía potencial y la energía cinética cada vez que el cuerpo alcanza el punto más alto en su movimiento, ya sea el patinador o la masa del péndulo?
- 9.- ¿Cómo se comporta la velocidad, la energía potencial y la energía cinética cada vez que el cuerpo pasa por el punto más bajo de su movimiento, patinador o masa del péndulo?
- 10.- ¿De qué signo es el trabajo debido a la fuerza de fricción sobre éstos sistemas? ¿Por qué? ¿Qué significado tienen dicho signo?
- 11.- ¿Son los anteriores sistemas diferentes de acuerdo al análisis por energía que se ha realizado?
- 12.- ¿Consideras que la fuerza de fricción que actúa sobre una caja que se desplaza horizontalmente sobre una superficie rugosa es distinta a la fuerza de fricción que actúa sobre el patinador o la masa del péndulo? Justifica tu respuesta.

APÉNDICE II. Tablas de resultados

La siguiente tabla es un ejemplo del tratamiento que se realizó a la producción de los estudiantes con base en los objetos primarios Físico-Matemáticos concepto, argumento, lenguaje y propiedades. El tratamiento de todos los reactivos no se presenta por cuestiones de espacio pero se siguió el mismo tratamiento para cada uno de los reactivos del cuestionario final tanto para los alumnos del grupo experimental como para los alumnos del grupo control.

A continuación se describen los elementos que conforman la tabla siguiente.

En la primera fila se presenta el nombre del grupo, en este caso se trata del grupo experimental y en la segunda fila aparece el número del reactivo y el enunciado correspondiente.

En la columna 1 aparecen los Objetos Físico-Matemáticos Primarios lenguaje, conceptos, propiedades y argumentos utilizados en las respuestas de los alumnos para cada uno de los reactivos. En la columna 2 aparece la categoría 1, en la columna 3 está la categoría 2, en la columna 4 se presenta la categoría 3 y así sucesivamente dependiendo del número de categorías en cada reactivo, así mismo, las categorías se describen al final de cada tabla.

Las categorías se especifican de acuerdo a las respuestas dadas por los alumnos, se puede observar que dentro de cada categoría se indica el número de alumnos que están dentro de dicha categoría, esto quiere decir que son alumnos que tienen respuestas similares.

Por ejemplo, la **Categoría 1 está centrada en la transformación de energía y la velocidad**, esta refiere a los alumnos que consideraron la transformación de energía del sistema debido al movimiento oscilatorio y el trabajo ejercido por la fuerza de fricción, dentro de esta categoría hay 5 alumnos, de los cuales se tomaron, a manera de ejemplo, dos esquemas realizados por ellos para ilustrarlos en la fila 3 de **Lenguaje**. De la misma manera se escribieron todos los conceptos utilizados por los 5 alumnos en la fila 4 perteneciente a los **Conceptos**. En la fila 5, donde se encuentran las **Propiedades** se escriben las propiedades utilizadas por los mismos 5 alumnos y finalmente los **Argumentos**, que se encuentran en la fila 6, empleados para responder el reactivo. Cabe mencionar que no se utilizaron los **Procedimientos** dentro de los Objetos Físico-Matemáticos puesto que no se está resolviendo un problema.

Al final de la tabla también se presentan dos de las respuestas de los alumnos del grupo analizado.

Al finalizar el análisis de las respuestas de los alumnos del grupo experimental en un reactivo, se sigue el mismo tratamiento para los alumnos del grupo control para el mismo reactivo.

Así es el tratamiento del análisis de las respuestas de los alumnos en cada uno de los reactivos.

En el siguiente enlace se puede consultar la producción completa de las tablas de los 12 reactivos.
<https://goo.gl/HRviig>

GRUPO EXPERIMENTAL					
Reactivo 8. ¿Cómo se comporta la magnitud de la velocidad, la energía potencial y la energía cinética cada vez que el cuerpo alcanza el punto más alto en su movimiento, ya sea el patinador o la masa del péndulo?					
OFMP	CATEGORÍA 1	CATEGORÍA 2	CATEGORÍA 3	CATEGORÍA 4	CATEGORÍA 5
	4 alumnos	9 alumnos	2 alumnos	1 alumnos	2 alumnos
Lenguaje					-
Conceptos	Velocidad máxima, energía potencial, disminución, alcanzar, altura, oscilación, energía perdida, transformación de energía, calor, detener, energía térmica, energía del sistema, fricción, velocidad, gradualmente, energía cinética, punto, objetos, reposo, sin movimiento, decrecer, nula.	Magnitudes, máximo, velocidad, reposo, energía potencial, altura, sistema, resistencia, oposición, fuerza, oscilación.	energía cinética, potencial, decrecer, velocidad, disminuir, oscilación, máximo, mínimo	Punto de partida, resistencia, oponer, fuerza, velocidad, reposo, energía potencial, punto máximo.	
Propiedades	Transformación de energía.	Energía potencial (mgh), Energía cinética ($\frac{1}{2}mv^2$), velocidad (v)	Energía potencial (mgh), Energía cinética ($\frac{1}{2}mv^2$), velocidad (v)	Resistencia opuesta al movimiento.	-
Argumentos	La velocidad máxima cada vez es menor, la energía potencial	Existe energía potencial gravitacional	Energía potencial es máxima y decrece en cada	Son iguales ya que se toma como el punto de	-

	disminuye hasta alcanzar una altura menor en cada oscilación y la energía perdida se transforma en calor hasta el punto en que se detiene y la energía térmica es la energía del sistema.	porque tiene altura, no existe energía cinética porque en el punto más alto la velocidad es cero, existe fuerza de fricción.	pasada, Energía cinética nula, velocidad es cero	partida. Ambos tienen una resistencia que se opone a su fuerza y velocidad.	
--	---	--	--	---	--

Tabla 15. Análisis de las respuestas del reactivo 8 del grupo experimental.

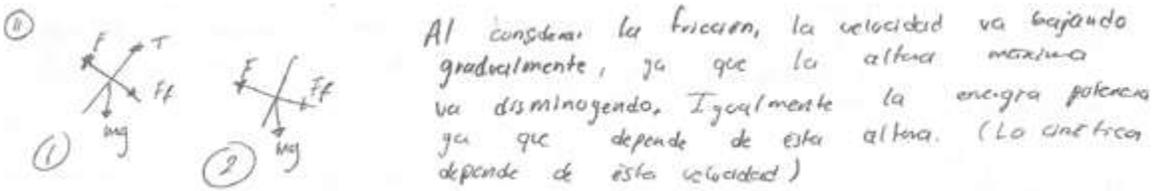


Figura 28. Respuesta y diagrama del alumno del grupo experimental

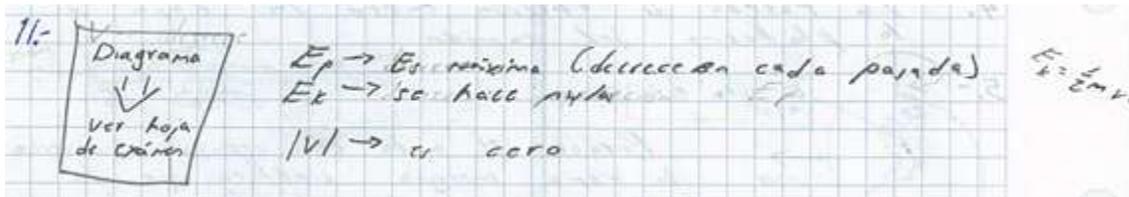


Figura 29. Respuesta y diagrama del alumno del grupo experimental

En la tabla del reactivo 8 se puede observar cinco categorías

- **Categoría 1 Centrada en la transformación de energía y la velocidad.** Se refiere a los alumnos que consideraron la transformación de energía del sistema debido al movimiento oscilatorio y el trabajo ejercido por la fuerza de fricción.
- **Categoría 2 Centrado en la altura, energía potencial, cinética, la velocidad y existencia de fricción.** Se refiere a los alumnos que consideraron únicamente la energía potencial, cinética y la velocidad que depende de la altura.
- **Categoría 3 Centrados en energía potencial, cinética y la velocidad relacionadas con las oscilaciones.** Los alumnos consideran que no tiene la misma energía potencial debido a las oscilaciones del sistema.
- **categoría 4 Consideraron el sistema igual debido a la existencia de la resistencia del aire.** Aquí los alumnos se centraron en la comparación de los sistemas considerándolos iguales y relacionando el cambio de las energías y la velocidad con una resistencia que se opone al movimiento.
- **Categoría 5 Sin contestar.** Aquí se encuentran los alumnos que no contestaron el reactivo.