

CONSIDERACIONES ACERCA DEL PRINCIPIO DE INERCIA
COMO FUNDAMENTO PARA EL ANÁLISIS DEL
MOVIMIENTO Y SUS APLICACIONES DIDÁCTICAS EN LA
ENSEÑANZA MEDIA

CONSIDERACIONES ACERCA DEL PRINCIPIO DE INERCIA
COMO FUNDAMENTO PARA EL ANÁLISIS DEL
MOVIMIENTO Y SUS APLICACIONES DIDÁCTICAS EN LA
ENSEÑANZA MEDIA

MARIA DEL CARMEN ECHAVARRIA ZAPATA

RUBEN ERNESTO MUÑOZ MIRA

VICTOR HUGO OSPINA MUÑETON

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

FACULTAD DE EDUCACIÓN

DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN AVANZADA

ESPECIALIZACIÓN EN CIENCIAS EXPERIMENTALES

MEDELLÍN

2003

CONSIDERACIONES ACERCA DEL PRINCIPIO DE INERCIA
COMO FUNDAMENTO PARA EL ANÁLISIS DEL
MOVIMIENTO Y SUS APLICACIONES DIDACTICAS EN LA
ENSEÑANZA MEDIA

MARIA DEL CARMEN ECHAVARRIA ZAPATA

RUBEN ERNESTO MUÑOZ MIRA

VICTOR HUGO OSPINA MUÑETON

Monografía como requisito parcial para optar el título de Especialista en
Educación en Ciencias Experimentales

Asesor:

Ángel Enrique Romero

Universidad de Antioquia

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

FACULTAD DE EDUCACIÓN

DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN AVANZADA

ESPECIALIZACIÓN EN CIENCIAS EXPERIMENTALES CON ÉNFASIS
EN DIDACTICA DE LA FÍSICA

MEDELLÍN



**UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN AVANZADA**

ACTA DE APROBACIÓN DE MONOGRAFÍA

La monografía “CONSIDERACIONES ACERCA DEL PRINCIPIO DE INERCIA COMO FUNDAMENTO PARA EL ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO Y SUS APLICACIONES DIDÁCTICAS EN LA ENSEÑANZA MEDIA”, fue presentada por los estudiantes de la Especialización en Educación en Ciencias Experimentales: **María del Carmen Echavarría Zapata, Rubén Ernesto Muñoz Mira y Victor Hugo Ospina Muñetón..**

El director y los jurados informan que evaluada la monografía obtuvo la calificación de A: Aceptada. (Acuerdo Superior 122 de 1997, Artículo 44 parágrafo 1).

Medellín, febrero 13 de 2003

ANGEL ENRIQUE ROMERO CHACÓN
Director

FANNY ANGULO DELGADO
Jurado

RODRIGO COVALEDA
Jurado

Agradecimientos

Presentamos nuestros más sinceros agradecimientos al asesor Ángel Enrique Romero, profesor de la Facultad de Educación por sus grandes aportes, apoyo y colaboración para que fuera posible la realización de la presente investigación.

Así mismo damos nuestro reconocimiento y agradecimientos a los profesores Luz Dary Rodríguez, Martha Luz Ramírez y Rodrigo Covaleta, de la Universidad de Antioquia por sus orientaciones y dedicación a nuestro estudio.

A la Universidad de Antioquia que con sus aportes y conocimientos nos dieron la oportunidad de llevar a cabo esta especialización.

TABLA DE CONTENIDO

	Pg
INTRODUCCIÓN	
OBJETIVOS	
1. CAPITULO 1: ANÁLISIS CRÍTICO SOBRE LA VISIÓN DEL PRINCIPIO DE INERCIA QUE ENFOCAN LOS TEXTOS DEL GRADO 10[≡] DE LA EDUCACIÓN MEDIA.	1
1.1 Una concepción animista de la materia.	2
1.2 La masa como medida de la Inercia .	4
1.3 No equivalencia entre reposo y movimiento uniforme	11
2. CAPITULO 2: EL PRINCIPIO DE INERCIA DESDE UNA VISIÓN DE LOS MARCOS INERCIALES DE REFERENCIA	16
2.1 La Relatividad del Movimiento	18
2.2 Sistemas Inerciales	23
2.3 La Invarianza	33
3. CAPITULO 3: ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS	39
TALLER 1	42
TALLER 2	46
TALLER 3	49
TALLER 4	52
TALLER 5	55

CONCLUSIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

INTRODUCCIÓN

La física se enmarca dentro de un sistema teórico que se sostiene a partir de conceptos y principios fundamentales. Estos son elementos esenciales que se disponen para que en su conjunto le den una explicación a los eventos que tienen que ver con el movimiento dentro de la temática de la Mecánica Clásica. El primero de estos principios corresponde al de la Inercia.

Sin embargo, la comprensión de los fenómenos se dificulta porque la conceptualización no es suficientemente clara, según el abordaje sobre la inercia que enfocan los textos escolares, los cuales se usan como material de estudio de primera mano entre estudiantes y docentes.

A raíz de lo anterior, en la presente monografía se pretende hacer un análisis cuidadoso al significado que comúnmente se le ha dado al primer principio de la Mecánica, así como plantear una propuesta lógica y coherente que permita identificar tal principio, lo cual se desarrolla en un estudio secuencial de tres capítulos.

En el primer capítulo se realiza un análisis crítico a partir del uso que los autores de los textos escolares, para el grado 10[≡], le dan a la terminología referida a la inercia, lo cual conduce a generar

interpretaciones erróneas sobre el movimiento como el hecho de asignar a seres inanimados palabras aplicables a seres animados; el concebir la masa como una medida de la inercia y el no ver al reposo como equivalente con el movimiento rectilíneo uniforme.

En el segundo capítulo se presenta una propuesta para llevar a cabo el estudio del movimiento de los cuerpos, la cual parte del concepto de la relatividad galileana del movimiento, concepto que conlleva a determinar los sistemas desde los cuales referir el movimiento, sistemas que se denotan con características especiales las cuales permiten que desde tales marcos de referencia se describan y diferencien el movimiento uniforme y el movimiento uniforme acelerado, configurándose en este último una invarianza fundamental a partir de la cual definir el concepto de fuerza. De ésta manera se alcanza a establecer el segundo principio de la mecánica.

En el tercer capítulo se proponen un conjunto de estrategias didácticas ajustadas a un seguimiento secuencial en las cuales se acogen los resultados obtenidos a través del análisis del primer capítulo, así como los enfoques de la propuesta para interpretar el principio de inercia que se desarrolla en el segundo capítulo, con la intención de seleccionar los sistemas de referencia inerciales y poder constatar cómo las leyes de la mecánica son las mismas al observar el mismo fenómeno de movimiento.

La intención general de éste último capítulo es lograr que se comprenda, en cierto modo, el Principio de Inercia.

Finalmente, se hace un cierre de la monografía con la presentación de algunas conclusiones respecto a las conceptualizaciones más notables que se analizan en las temáticas.

Con el planteamiento se busca disminuir la problemática con relación a las preconcepciones y concepciones inconsistentes que se adquieren a nivel de la enseñanza Media sobre la inercia. Situaciones que carecen de coherencia lógica y solidez, debido a la falta de un análisis más adecuado tanto por parte de los maestros como por parte de las teorías propuestas por los autores de los textos mencionados.

La comprensión de los principios elementales que orientan los análisis sobre el movimiento es de vital importancia para quienes se hallan en contacto con la ciencia física. En especial, el Principio de la Inercia, desde el cual se orienta la aplicación de los otros principios afines.

En la actualidad, la exigencia del manejo de los principios y las leyes físicas cada vez es mayor, porque día a día la ciencia avanza en sus construcciones teóricas y en abundantes aplicaciones dentro del quehacer humano.

OBJETIVOS

Objetivo General

Hacer un aporte teórico y didáctico desde la física, como un recurso para la enseñanza de la misma a nivel del grado décimo, que permita una mejor comprensión en el proceso del aprendizaje sobre el Principio de Inercia.

Objetivos Específicos

- Analizar las implicaciones que acarrea el uso inadecuado de la semántica en el enfoque del principio de inercia, desde los textos escolares del grado 10[≡].
- Hacer algunas consideraciones sobre el Principio de Inercia cimentadas en la teoría sobre el movimiento relativo y en los sistemas de referencia inerciales.
- Diseñar algunas actividades didácticas sobre el tema de la Inercia para los estudiantes del grado 10[≡] a manera de aplicación sobre los planteamientos de las unidades 1 y 2.

CAPITULO 1

ANÁLISIS CRÍTICO SOBRE LA VISIÓN DEL PRINCIPIO DE INERCIA QUE ENFOCAN LOS TEXTOS DEL GRADO 10^o DE LA EDUCACIÓN MEDIA.

En el presente capítulo se hará un examen crítico sobre la interpretación de la Inercia como se concibe en los textos escolares, si se entiende que la propiedad de ser inerte consiste en que los cuerpos por sí mismos no hacen nada para cambiar el estado en que se encuentren, ya sea de quietud o de movimiento y, que éste concepto no se enfoca con suficiente claridad desde tales textos.

Precisamente, los textos de estudio serán el punto de partida para el siguiente análisis, ya que son un recurso didáctico de primera mano que utiliza el maestro de física para tratar no sólo la Inercia, sino otros principios que fundamentan la teoría sobre el movimiento en la Mecánica Clásica.

Como centro para el examen se partirá de la relación existente entre la propiedad de ser inerte y el movimiento de los cuerpos, situación que se desarrollará desde tres problemas a saber:

- La concepción animista de la materia.

- La masa como medida de la Inercia.
- La no equivalencia entre reposo y movimiento uniforme.

1.1 Una concepción animista de la materia

En la física se entiende que los cuerpos inertes no poseen las facultades que tienen algunos seres vivos de reaccionar y mostrar una capacidad propia para realizar sus actos. Sin embargo, en los autores de los textos escolares para la enseñanza de la física en la educación media, subyace una concepción animista de la materia como se advierte en el siguiente texto:

"Todo cuerpo *tiende a mantener* su estado de movimiento rectilíneo uniforme con velocidad constante, o permanecerá en reposo si el cuerpo se encuentra inicialmente en ese estado".¹

Con el término "tiende a mantener" se entiende que todo objeto tiene una propensión o una predisposición a permanecer en quietud o en movimiento con velocidad constante. No obstante, "tender a mantener" en su connotación general significa tener la intención o disposición para realizar alguna acción por cuenta propia.

¹ Villegas R., M. y Ramírez S., R. (1998). Galaxia. Física 10. Ed. Voluntad S. A. Bogotá. pp 205. El destacado es nuestro.

El uso de este término se fundamenta en una concepción animista de la materia que conduce a pensar que los cuerpos se comportan con una facultad que los hace ver como si fueran conscientes. Una interpretación similar puede realizarse para los términos "persistir" o "insistir", usados para enunciar el principio de Inercia, como lo indica el texto de Hewitt, P.G.:

"Todo objeto *persiste* en un estado de reposo o de movimiento en línea recta con rapidez constante..."²

De este modo, se infiere que el cuerpo, al parecer, insiste en no alterar su estado porque se le atribuye una facultad propia para decidir su situación de permanecer en el estado en que se encuentra.

Como resultado de lo anterior, se termina asignando a los cuerpos inertes propiedades o cualidades características de los seres animados incurriendo en una seria contradicción, puesto que se promulga una perspectiva en la cual se piensa que los objetos materiales son como los organismos que sienten y obran por un impulso propio mediante el cual se pueden mover a donde ellos lo decidan.

² Hewitt, P. G. (1999) Física Conceptual. Addison Wesley Longman. Tercera edición. México. pp 46. El destacado es nuestro.

De forma similar, se tiene la afirmación de Quiroga, en la cual se asegura que el objeto se quedará en reposo ó en movimiento uniforme rectilíneo porque tiende a conservarlo (Quiroga, 1992).

Se trata de un paradigma que los autores de textos escolares de educación media han difundido de generación en generación a través de la cual se tendría que concluir que los cuerpos no son inertes puesto que "tender a oponerse" es contrario a lo que se representa con la palabra inerte, dejando de reconocer el carácter inanimado de la materia, puesto que esta por sí misma no puede cambiar su estado de movimiento. De este modo, resulta una contradicción ya que los cuerpos inertes por sí mismos carecen de impulso propio para oponerse al movimiento (Zalamea y París, 1992).

1.2 La masa como medida de Inercia.

Se entiende que la masa es una propiedad física que se asigna a los cuerpos materiales, susceptible de ser medida.

La masa de un cuerpo como tal, es una propiedad en la cual se puede establecer una relación de orden, ya que si se toma una masa determinada m como base de comparación, existirán masas menores u otras mayores que ellas. Si se toma una masa m_1 menor que m se puede afirmar que $m_1 < m$. Si se toma una masa m_2 mayor que m , entonces $m < m_2$. Por lo cual se cumple la relación $m_1 < m < m_2$. Se trata de una relación de orden que permite asignar un conjunto numérico a las diferentes cantidades de la masa tomando una porción de ella como

unidad; por ejemplo una unidad de masa es menor que dos unidades de masa y esta a su vez es menor que tres unidades de masa, etc., aclarando que al permitir la comparación entre porciones la masa se hace cuantificable.

Por consiguiente la masa se hace medible y comparable con una escala numérica ordinal, como lo es el conjunto de los números reales. De esta manera es factible asignar números a las cantidades de masa. Mas no se trata sólo de hacer dicha asignación, sino de tener en cuenta que las propiedades del conjunto numérico en cuestión también se deben verificar para la masa.

La masa cumple la condición de continuidad, puesto que sus partículas se agrupan para configurar un determinado cuerpo. Además, el conjunto de los números reales también cumple con la propiedad de continuidad.

De este modo la masa es medible si cumple las tres reglas de las cuales depende el uso del número (Campbell, 1985):

"Para que una propiedad sea medible debe ser tal que: primero, dos objetos que respecto de esa propiedad sean lo mismo que un tercer objeto, sean lo mismo el uno que el otro; segundo, por la adición sucesiva de objetos podamos construir una serie normal, un miembro de

la cual sea lo mismo, respecto de la propiedad, que cualquier otro objeto que deseemos medir; tercero, iguales añadidos a iguales produzcan sumas iguales".

El mismo autor aclara la aplicación de dichas reglas con relación a la masa. Respecto a la primera regla, si un cuerpo A con una determinada masa equilibra a un cuerpo B en una balanza, y B equilibra a un cuerpo C, entonces A puede equilibrar al cuerpo C. Además, con respecto a la segunda regla, si una masa A se halla en uno de los platillos de una balanza, en el otro platillo se puede agregar otras pequeñas unidades de masa o colecciones que equilibraran a la masa A. Adicionalmente, si el cuerpo A se equilibra con el cuerpo B y un cuerpo C se equilibra con otro D, al colocar juntos a A y C sobre uno de los platillos, resulta que los cuerpos B y D equilibrarán a los dos primeros.

Así, la masa resulta asociada con una escala de medida que cumple con las propiedades, precisamente, de los números reales como son: clausurativa, conmutativa, asociativa y la continuidad. Esto permite indicar ciertos hechos físicos a partir de la medición de las propiedades, y tener en cuenta que la medición depende de leyes determinadas, entre ellas, la apreciación de que a mayor medida de la masa, ésta experimentará un mayor peso, para un cuerpo determinado. (Campbell, 1985)

Otra propiedad que se atribuye a la masa es el ser inerte, es decir, la idea de que los cuerpos no pueden cambiar por su propia cuenta el estado de movimiento en que se encuentran, si no hay algo que lo haga cambiar de dicha condición.

¿Es la Inercia una propiedad susceptible de medición?. Para que se responda afirmativamente la pregunta, de acuerdo con el autor mencionado anteriormente, la Inercia como una propiedad de los objetos debe cumplir los requerimientos que se han especificado para la masa.

Uno de ellos es el concepto de orden que debe cumplir una propiedad para que sea medible.

Tómese un pedazo de madera A de una masa determinada y otro pedazo B de menor tamaño del mismo material. ¿Cómo es la inercia del objeto A?. en este caso no es posible afirmar que la inercia del objeto A sea mayor que la del objeto B. Ninguno de los objetos cambia su estado si no hay una causa que actúe sobre cada uno de ellos. El uno resulta igualmente inerte con relación al otro mientras no existan interacciones que influyan sobre ellos. Vemos que aunque la masa se asocia a una escala de medición y tenga cierta medida el objeto no cambia su condición de inercia de manera proporcional a la cantidad de masa ni

tampoco se puede asegurar que un objeto tenga mayor o menor inercia que otro.

Referente a la segunda propiedad, según Campbell:

"Por la adición sucesiva de objetos podemos construir una serie normal, un miembro de la cual sea lo mismo respecto de la propiedad que cualquier objeto que deseemos medir".

Tomemos dos cuerpos A y B que se hallan equilibrados con respecto a su cantidad de masa sobre los platillos de una balanza. Considérese B como una colección de objetos.

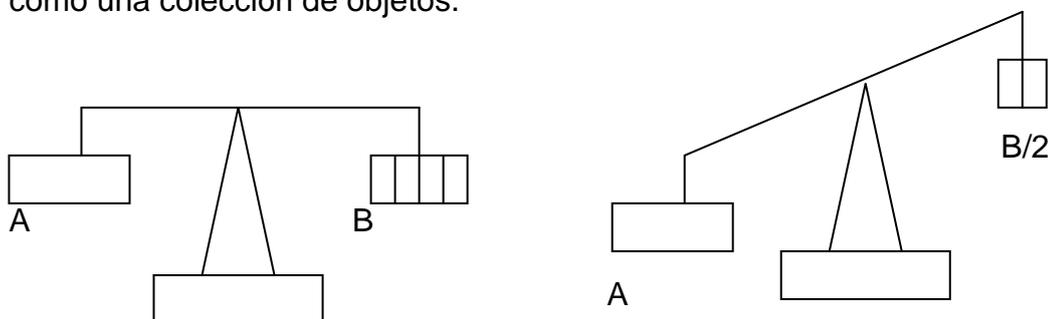


Figura 1.1. Muestra el cuerpo A equilibrado con una colección de objetos a la izquierda, mientras que a la derecha el cuerpo A tiene el doble de masa que la colección B.

Si se elimina la mitad de la colección B la balanza se inclinará hacia la izquierda, cuando pase un breve intervalo de tiempo la balanza no se moverá. No es posible pensar que la inercia del cuerpo A sea mayor que la del cuerpo B porque ninguno de ellos hace algo para que se presente

algún cambio de estado. Ambos se hallan en reposo. En este momento no se puede asegurar que A tenga 100 unidades de Inercia con respecto a las 50 unidades de B, si se considera k como un factor de proporcionalidad entre masa e Inercia.

Como se ha analizado, por la condición de orden y por la segunda propiedad de Campbell, para que sea medible una propiedad, no es factible o viable pensar en una proporcionalidad entre masa e Inercia.

La Inercia no es posible de medirse mediante cantidades que se puedan representar por valores numéricos, ya que en física no se puede determinar una relación de orden para dicha propiedad ni tampoco es posible determinar para ésta una escala de valores y decir: una unidad de Inercia, dos unidades de inercia, tres unidades de Inercia, etc. Desde esta perspectiva, para la Inercia no se hace admisible establecer algún patrón de medición.

Al no cumplirse las dos propiedades analizadas para la inercia no tiene caso analizar las otras condiciones para saber si la inercia es medible o no. Así concluimos que la Inercia no es una propiedad cuantificable, aseveración que confirman Zalamea G., y París E., cuando concluyen en un análisis similar que:

"la masa de los cuerpos no es algo que se opone al movimiento, y a mayor masa no hay mayor oposición, y por lo tanto, *carece de sentido eso de que a mayor masa mayor inercia. La masa no puede ser la medida [...] de la inercia, la cual, además, no es una cantidad física*"³

Sin embargo, los textos escolares aseguran que:

"La *cantidad* de inercia de un objeto depende de su masa [...]. Cuanta *mayor masa* tiene un objeto, *mayor es su Inercia* y más fuerza se necesita para cambiar su estado de movimiento. La masa es la medida de la *Inercia de un objeto*"⁴.

La cita anterior concuerda con otra idea por medio de la cual se afirma que la Inercia es una propiedad medible, (Villamizar, 2001):

"Esta resistencia de los objetos a cambiar de estado se denomina Inercia [...]. *Esta cualidad*, al igual que muchas otras debe medirse [...]. *La medida* de esta cualidad *se denomina la masa del cuerpo*"⁵.

³ Zalamea G., E. Y París E., R. (1992) ¿Es la Masa la medida de la Inercia? Enseñanza de las Ciencias. Vol 10 (2), pp 214. El destacado es nuestro.

⁴ Hewitt, P. G. (1999) Física Conceptual. Tercera edición. México, pp 48. En ésta cita los destacados son nuestros.

⁵ Villamizar, A. (2001). Consultor estudiantil. Matemática. Física. Informática. Ed. Prolibros S. A.. tomo I, Colombia, pp 89. Los destacados de esta cita son nuestros.

Consecuentemente la masa se toma como una medida de la Inercia, de esta forma se establece una relación de proporcionalidad entre la masa y la Inercia, asunto que presenta una nueva contradicción en el problema en estudio, cuya dificultad radica en que dos propiedades asignadas a los cuerpos, como son la masa y la Inercia no pueden ser dependientes, puesto que la masa se puede medir usando magnitudes físicas mientras que la Inercia, como ya se indicó, no se mide por cantidades de algún parámetro en especial, como si sucede con otras propiedades. Desde esta perspectiva las dos propiedades son independientes puesto que la Inercia no es una función matemática que se exprese con dependencia de la masa. (Inercia \neq f (masa)).

Así se induce a pensar que la propiedad de ser inerte, que se considera no cuantificable, depende de otra propiedad como lo es la masa y, si esta masa es mayor serán necesarias unas causas externas mayores con las cuales se llegará a poner en movimiento los cuerpos.

1.3 No equivalencia entre reposo y movimiento uniforme.

En el principio de Inercia se asume el reposo y el movimiento uniforme como estados equivalentes puesto que ambos son posibles cuando hay ausencia de causas interactuantes.

No obstante, al observar en los textos escolares se advierte otra inconsistencia puesto que estos presentan el reposo de los cuerpos como estados diferentes al movimiento rectilíneo uniforme, porque a juicio de los autores todo cuerpo debe cumplir con la condición de estar sometido por alguna causa para moverse, como se indica en la siguiente cita:

"La dinámica se puede definir entonces, como el área de la física que estudia las relaciones entre el movimiento de los cuerpos y las causas que los producen.

Todos los movimientos [...] son el resultado de interacciones entre los cuerpos, interacciones que [...] deben permitir ser expresadas cuantitativamente"⁶.

La afirmación va acompañada con una experiencia que pretende ilustrar el Principio de Inercia, en la cual se pide que se llene una caja con piedras, tiza o arena y que se arrastre sobre una mesa sin ruedas y con ruedas. De esta citación se desprenden dos preguntas:

"¿Qué se observa? ¿Qué ocurre cuando cesa la *fuerza* que *causó* el movimiento?"⁷

⁶ Quiroga Ch, J. (1992) Física 10. Educación Media Vocacional. Bedout editores, S. A. Segunda Edición. Medellín. pp 58 - 59. El destacado del texto es nuestro.

El texto coincide con un enunciado similar de Villegas, R. M. y Ramírez, S. R., al referir que la dinámica es una rama de la mecánica que estudia el movimiento de los cuerpos analizando la causa que los produce (Villegas y Ramírez 1998).

A través de estas citas se da a entender que todo movimiento, incluyendo el uniforme, no existe sin que haya una causa o alguna interacción que lo produzca; hecho que induce a pensar al estado de reposo como diferente del estado de movimiento uniforme, ya que para éste no existen causas actuantes. De esta manera se termina favoreciendo una concepción errónea, por medio de la cual todo movimiento proviene o se debe a alguna causa, como resultado de una interacción.

Esta forma de asumir el reposo y el movimiento resulta inconveniente porque niega de entrada que el movimiento uniforme es equivalente al reposo, puesto que en ambos casos la fuerza es nula, lo cual hace que se conserven estos estados.

En síntesis, los textos escolares como medio de comunicación entre profesores y estudiantes son un recurso didáctico de gran ayuda para que el escolar empiece a familiarizarse con los conceptos y la terminología

⁷ Ibid. pp 75

más usual en el área de la física, por ello el lenguaje del texto y sus reglas en el aprendizaje de las ciencias juega un papel determinante.

Cuando éstos textos presentan inconsistencias en el uso de los términos se incurre en problemas semánticos que asimilan los mismos educadores, al igual que los estudiantes, quienes tergiversan la comprensión de los conceptos (Williams, 1998), como sucede con los textos para el grado 10^o cuando se atribuye terminología para seres animados a la materia inerte. Al usar tales términos para generalizar una idea, se generan errores de comprensión como sucede cuando se afirma que para todo movimiento existen causas que los produzcan.

Los textos nuevos que se van editando contienen, generalmente, mayores problemas de semántica que los otros que se van desplazando e introducen mayores ambigüedades en los escritos, pues la terminología va cambiando de una publicación a otra (Williams, 1998). Este hecho muy posiblemente pudo posibilitar que los autores de los textos actuales interpreten la idea de que la masa es una medida de la Inercia.

Por otra parte, en investigaciones sobre la comprensión que tienen los estudiantes sobre el Principio de Inercia se ha logrado detectar que ellos, a pesar de que los maestros les presentan el movimiento a través de un deslizador, no son capaces de partir de situaciones específicas para

hacer predicciones respecto al principio, ya que se dedican a repetirlo como esta enunciado en el texto y a relacionarlo con sus preconcepciones, sin dar muestras de haber entendido el tema como supuestamente el profesor lo ha inducido. (Arons, 1997).

Al parecer, si no hay suficiente claridad tanto por parte del profesor como por parte de los textos, los escolares no alcanzan a interpretar con acierto de qué se trata el Principio de Inercia, ni a captar la gran utilidad que contiene cuando se quiere estudiar los principios que fundamentan la teoría sobre el movimiento.

CAPITULO 2

EL PRINCIPIO DE INERCIA DESDE UNA VISIÓN DE LOS MARCOS INERCIALES DE REFERENCIA.

El Principio de Inercia constituye un punto de apoyo indispensable para orientar una adecuada interpretación del movimiento de los cuerpos, por lo cual debe aparecer como un enunciado suficientemente coherente y satisfactorio acorde con la estructura lógica dentro de la teoría de la Mecánica Clásica de la Física.

No obstante, como se analizó en el capítulo anterior, en la mayor parte de los textos de estudio para la física a nivel medio, los autores algunas veces utilizan términos para referirse a los fenómenos, que semánticamente no son los adecuados y generan interpretaciones erróneas de los conceptos. Esto sucede, por ejemplo, cuando los términos con los que se hace referencia a los objetos que se estudian en el movimiento, conducen a considerarlos con las facultades de seres animados y con la posibilidad de decidir la permanencia en el estado de movimiento en que se encuentran. Se trata de un enfoque que se corresponde con una concepción animista de la materia y que contradice su condición de ser inerte. Así, opera una inconsistencia que conlleva a

mirar el Principio de Inercia como un enunciado incoherente e insatisfactorio dentro del contexto lógico de la Mecánica.

Algo similar sucede cuando se acepta la masa como medida de la Inercia, porque se está asumiendo que la Inercia es una propiedad que depende proporcionalmente de una propiedad medible, cuantificable, como lo es la cantidad de sustancia de un cuerpo.

En el capítulo anterior se aclaró que la Inercia y la masa son propiedades de la materia que no guardan relación alguna de proporcionalidad; por lo tanto, ésta es otra inconsistencia que altera la interpretación del Principio de Inercia dentro de la teoría lógica sobre los principios del movimiento.

Una tercera inconsistencia que se desprende del análisis de los textos escolares consiste en no considerar la equivalencia entre el reposo y el movimiento uniforme. Se tiende a pensar que todo tipo de movimiento requiere de la presencia de causas que lo produzcan, sin especificar con claridad que dentro de la perspectiva de la Mecánica Clásica el movimiento uniforme no requiere de agentes externos para mantenerse.

La consideración de la equivalencia entre el reposo y el movimiento uniforme está estrechamente relacionada con la relatividad del movimiento y la selección apropiada de un sistema de referencia desde el

cual sea posible observar el movimiento y sus cambios. Un análisis mas profundo de éstos últimos aspectos conducirá a comprender adecuadamente el Principio de Inercia.

2.1 La Relatividad del Movimiento

Cuando se estudia el movimiento de los cuerpos, surge la inquietud sobre el concepto de movimiento absoluto, pero, ¿puede determinarse si un cuerpo está "absolutamente en reposo" o "absolutamente en movimiento"? La inquietud es posible de ilustrarse con el siguiente ejemplo:

Se tienen dos trenes eléctricos A y B cada uno sobre su propio carril, los cuales son rectos y paralelos entre sí, separados a una cierta distancia de dos metros. Un observador (número uno en el esquema) se halla dentro de uno de los vagones del tren A, el cual se desplaza suavemente con una velocidad constante respecto a un segundo observador ubicado sobre el terraplén, el observador del tren A no experimenta sacudidas. Este observador, quien mira a otro tren B que se halla sin movimiento respecto al observador del terraplén, tendrá la inclinación a pensar que dicho tren B se mueve. Sin embargo, el segundo observador que mira desde el terraplén verá que el tren A se mueve y que el tren B se halla en reposo.

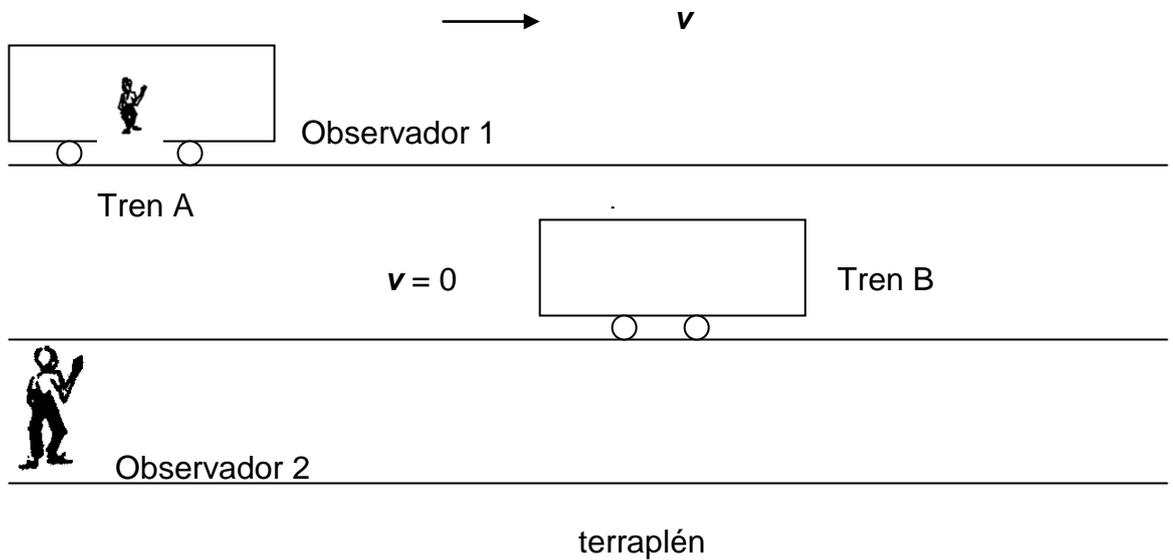


Figura 2.1 La gráfica representa a los trenes A y B cuyo movimiento es apreciado por dos observadores, el observador uno en el tren A y el observador dos sobre el terraplén.

Este ejemplo ilustra que el movimiento no es absoluto, sino que depende de un punto de observación que se asuma para verlo y analizarlo, o sea que, no existe una sola trayectoria propiamente dicha, sino sólo trayectorias con relación a un cuerpo de referencia determinado (Einstein y otros, 1915). En la actualidad no es difícil pensar que el movimiento de un planeta o de cualquier otro objeto es relativo a algo.

En un segundo caso considérese un barco que se desplaza con velocidad constante sobre las aguas tranquilas de un lago, el cual se observa desde la orilla del lago. En éstas condiciones todo lo que suceda dentro del barco se verá igual que si el barco estuviera atracado sobre la tierra firme.

Supongamos que se cuelga una piedra desde el techo, por encima de una de las puertas del interior del barco. Un observador ubicado en un punto A sobre el piso del mismo vería el hilo del cual cuelga la piedra muy recto en sentido vertical y soportando el peso del objeto. Esta roca se verá en reposo vista desde ese punto interior del navío. Si se quemara el hilo, el observador en A vería caer la piedra siguiendo una trayectoria rectilínea, justamente sobre el punto del piso que corresponde a la prolongación de la vertical del hilo tensionado.

Pero si la caída del cuerpo se observara desde el punto B sobre la orilla, la trayectoria que se percibiría no sería la misma. Tendrá la forma de una semiparábola. De este modo la trayectoria del movimiento de los cuerpos inertes no siempre es la misma. Esto se corrobora aún más si la caída de la roca se mirara desde un punto "c" por encima del barco porque el movimiento se verá como una línea horizontal. Y si se seleccionan otros puntos de observación, existirán tantas trayectorias como puntos de observación se elijan.

Según los casos vistos no parece tan complicado considerar la idea de que un sistema de observación que se escoja sobre la tierra firme sea equivalente con el sistema ubicado sobre el barco. Equivalencia que será analizada mas adelante.

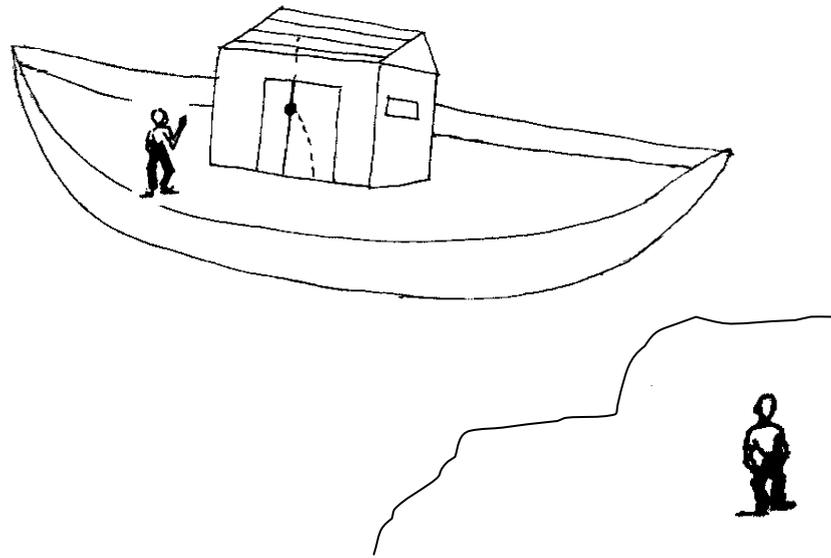


Figura 2.2 Visualización de tres trayectorias a, b, c para la piedra que cae previamente colgada desde el techo de un navío para mostrar que el movimiento de un cuerpo es relativo a un punto de referencia.

O sea, que es posible pensar en dos o más sistemas de referencia desde los cuales observar el movimiento de un cuerpo sin que se detecten variaciones, es decir, que si el cuerpo tiene movimiento uniforme desde uno de estos sistemas de referencia, desde el otro u otros sistemas, también se observa el mismo movimiento; similarmente, si el cuerpo presenta un movimiento uniformemente acelerado relativo a uno de los sistemas, se debe considerar los sistemas de referencia desde los cuales la aceleración sea invariante. Esta situación será analizada en el tema sobre sistemas inerciales.

Con lo expuesto hasta el momento se ha sustentado que el movimiento es relativo, entonces el concepto del movimiento absoluto carece de significado físico porque:

"Nadie tiene competencia para emitir juicios acerca del espacio o del movimiento absoluto, pues son puras cosas del pensamiento, puras construcciones mentales que no se pueden producir en la experiencia. Todos nuestros principios de mecánica son [. . .] conocimiento experimental referente a las posiciones y movimientos relativos de los cuerpos"⁸.

Con base en el anterior concepto sobre el movimiento relativo, los estados de reposo y movimiento uniforme resultan equivalentes ya que no es posible diferenciar el uno del otro:

"Ambos son ontológicamente equivalentes y no hay manera de distinguir si realmente un cuerpo está en movimiento rectilíneo uniforme ó en reposo pues no hay procedimiento experimental que permita medir el movimiento absoluto, sólo es detectable el movimiento relativo."⁹

⁸ Newton, Sir I. (1686). Principios Matemáticos de la Filosofía Natural. pp 28.

⁹ Sepúlveda S., Alonso (1995). Historia de la Física desde los griegos hasta nuestros días. pp 101.

Es un enunciado que contiene incorporado el concepto de sistemas de referencia íntimamente ligado al concepto de *reposo*, lo cual constituye un objeto de análisis en la temática sobre Sistemas Inerciales.

O sea que si se observa desde un sistema S_0 un punto p_1 que se ve con movimiento uniforme, y si un sistema de referencia S_2 viaja con la misma velocidad que p_1 en referencia a S_0 , al mirar p_1 desde S_1 el observador dirá que p_1 se halla en reposo. Por esta razón se hace indistinguible alguna diferencia entre reposo y movimiento uniforme.

2.2 Sistemas Inerciales

Cuando se mencionaba el movimiento dentro del barco fue necesario suponer que se desplazaba con movimiento uniforme, en línea recta sin modificar su trayectoria. Esta restricción era necesaria por que no hay otra forma de ver la roca que cuelga del hilo en estado de reposo con respecto al observador A sobre el barco; si el movimiento del barco es variable, no sería posible lograr que la trayectoria rectilínea de la caída de la roca se pueda ver similar a como sucede cuando el fenómeno ocurre sobre la tierra firme.

A raíz de las anteriores observaciones se precisa caracterizar el concepto de sistemas equivalentes: En primer lugar, no deben existir fuerzas

interactuantes sobre el sistema de referencia, en este caso el barco, o si existen deben ser nulas, de esta manera los dos puntos de observación, el del barco y el de la orilla tampoco deben experimentar alguna rotación porque se considerará que el movimiento observado es rectilíneo uniforme; si el barco presenta alguna rotación el hilo que tensiona la cuerda dejará su forma rectilínea por lo cual el fenómeno de la uniformidad del movimiento se distorsiona.

El reposo y el movimiento uniforme son estados que para considerarse equivalentes deben ser observados desde un sistema de referencia, que viaja con velocidad constante respecto a otro sistema. Supóngase que dicho sistema es S_0 y que desde él se observa un cuerpo p_1 en reposo, o sea que no cambia su posición relativa a S_0 durante el transcurso del tiempo, se puede asegurar que para este cuerpo los cambios de la velocidad son nulos. Si desde el mismo sistema se mira otro cuerpo p_2 que se desplaza a iguales intervalos de espacio en iguales intervalos de tiempo, también se puede afirmar que para este cuerpo los cambios de su velocidad en relación al tiempo son nulos con respecto a S_0 . O sea que los puntos p_1 y p_2 no experimentan interacción alguna con otros cuerpos, y al no cambiar su velocidad se caracterizan por ser cuerpos inertes que no cambian su estado por sí mismos.

Como se está considerando movimientos en línea recta, en el principio de Inercia hay que tener en cuenta el carácter euclidiano del espacio físico. Se trata de un espacio que se caracteriza por ser infinito y que es homogéneo en el sentido de ser igual en todas sus partes, o sea, que el movimiento de un cuerpo se puede analizar por igual en cualquiera de sus puntos y los resultados con relación a los principios físicos sobre el movimiento han de ser los mismos. Además es un espacio isótropo, puesto que no posee o escoge direcciones preferidas.

Así, la línea recta se asume como una trayectoria realizable para el movimiento inercial, ya que esta línea constituye el camino más corto que sigue un cuerpo cuando las causas o fuerzas se anulan para conservar su movimiento, o bien no existen interacciones (hay ausencia de ellas), sin admitir situaciones de rotación.

La equivalencia del reposo y el movimiento para cuerpos con una masa constante, vista de esta manera, no permite diferencias respecto a las direcciones que un cuerpo ha de seguir en el espacio, pues sea en la dirección que prosiga, estos estados no dejan de ser equivalentes, por lo cual no es admisible, espacialmente la anisotropía (Sepúlveda, 1995).

Con el análisis anterior queda definido el concepto de estados equivalentes.

El movimiento del barco visto desde un sistema de referencia que cumpla las condiciones de sistemas equivalentes se verá igual desde otro sistema de referencia ubicado sobre tierra firme, visto por el observador B.

Si el lago se agita los pasajeros de la nave se darán cuenta del baidoteo sin necesidad de asomarse por la ventanilla de su camarote, inclusive, la mejor manera de verificarlo es intentando colocar un juego de billar dentro del barco. No será posible jugar billar, pues una bola en reposo sobre la mesa de repente empieza a moverse sola, como accionada por una fuerza misteriosa, que actúa por momentos en una dirección y por momentos en otra. Es un hecho que se explica porque se está aplicando una fuerza sobre el sistema de referencia del interior del navío desde el cual se observa la bola de billar y por eso se altera su estado relativo de reposo.

Los principios de la Mecánica, desde ésta perspectiva, pierden su validez y en particular el Principio de Inercia no se cumple porque la bola de billar deja su estado de reposo a pesar de que la fuerza no se aplica directamente sobre ella sino sobre el sistema de referencia desde el cual se observa. La trayectoria de un cuerpo que se deje abandonado a sí mismo en ese sistema deja de ser rectilínea y el movimiento tampoco puede ser uniforme.

No es rigurosamente cierto que un sistema ubicado sobre la tierra cumpla con las condiciones necesarias para estudiar la trayectoria de los cuerpos puesto que el planeta tierra no viaja alrededor del Sol con movimiento uniforme.

¿Cómo vería un observador ubicado por encima de la superficie terrestre la trayectoria de una bola de billar, trayectoria que mirada respecto de la orilla de la mesa es una línea recta? No se vería precisamente recta ni con movimiento uniforme a pesar de que, mirándola de cerca parece con tal movimiento.

En síntesis, para describir el movimiento es necesario utilizar un referente respecto al cual efectuar su análisis y cuantificación puesto que los Principios de la Mecánica, sólo se pueden explicar consistentemente con la ayuda de un sistema de referencia (Einstein, 1919).

Un sistema de referencia en física se toma como cualquier conjunto de ejes arbitrariamente definidos (rectilíneos, curvilíneos, ortogonales u oblicuos) centrado en un cuerpo material ó en un punto del espacio, por ejemplo, el centro de la tierra, la esquina de una calle, etc. El sistema debe ser localizable de algún modo, ya que respecto a él cobran sentido físico y matemático nuestras asignaciones de coordenadas espaciales; mientras que un sistema de coordenadas corresponde a variables

matemáticas para representar puntos del espacio. A un sistema de referencia se le puede asignar uno o más sistemas de coordenadas (Alemañ, 1997). Adicionalmente para que exista una descripción adecuada del movimiento se toma el cuerpo referenciado al sistema de coordenadas unido a un cuerpo material previamente seleccionado desde el cual describir el fenómeno. (Einstein, 1915).

Sin embargo, se suele llamar "sistemas de coordenadas" a un sistema de referencia al cual se le ha asignado un sistema de coordenadas (Alemañ, 1997).

¿Cómo saber cuál es tal sistema? Hay que seleccionar un sistema desde el cual sea posible identificar el movimiento uniforme y el movimiento variado, desde el cual los principios de la naturaleza no cambien, en especial el Principio de Inercia debe tener validez sólida y consistente, el cual enunciamos así:

"Todo cuerpo permanece en estado de reposo o movimiento uniforme rectilíneo, a menos que sobre él se aplique alguna causa que lo haga cambiar de estado"

El sistema a elegir tiene que ver con los requisitos que se especificaron para los estados equivalentes y para el ejemplo del barco, el cual se

debe mover sin ninguna acción externa neta porque al estar libre de tales acciones, entre ellas las fuerzas gravitatorias permite que se conserve el mismo tipo de movimiento, ya sea uniforme o ya sea acelerado como se explicó anteriormente.

Un sistema desde el cual se observe la caída de un móvil y que se desplace paralelamente a dicho móvil, como se halla bajo acción gravitatoria, no cumple la condición de estar libre de interacciones para considerarse como un sistema de referencia apropiado. Un sistema con una velocidad variable, no permitiría identificar el movimiento uniforme, porque el cuerpo se vería como experimentando cambios de velocidad sin que hubiera causas sobre él interactuando, como el caso de la bola de billar cuando se le aplica una fuerza al navío donde estaba ubicado su sistema de referencia, como consecuencia no sería posible analizar el Principio de Inercia. Tampoco se ajusta a los requerimientos los sistemas sometidos a rotación puesto que desde ellos también se distorsiona el movimiento.

Para asegurar que sobre el sistema a elegir no existan causas que lo perturben, hay que tener en cuenta un sistema, lo suficientemente alejado de los otros cuerpos, para que se encuentre en estado libre, sin la acción de fuerzas interactuantes, así quedará abandonado a sí mismo; o

también ser un sistema sobre el cual las fuerzas interactuantes sean nulas.

A un sistema de referencia desde el cual se pueda visualizar el movimiento uniforme y el movimiento uniformemente variado de manera relativa y caracterizado como se acaba de indicar, se le llama *Sistema Inercial*, el cual ha de cumplir los requisitos especificados para los estados equivalentes. Es un sistema que sirve para cuantificar la aceleración de aquellos eventos donde intervienen fuerzas, las cuales se conservan para todos los sistemas inerciales.

Un sistema de referencia inercial debe ser tal que al observar la caída de un cuerpo desde él, o cualquier otro movimiento uniformemente acelerado, los cambios de la velocidad con respecto al tiempo deben ser los mismos, así se ha de conservar una condición de invarianza desde uno u otros sistemas similares, porque desde ellos la aceleración ha de ser la misma.

Entonces, no todo sistema de referencia es apropiado con respecto al Principio de Inercia, hay que escoger sólo ciertos sistemas "privilegiados" para hacer precisos los enunciados sobre el movimiento inercial. Estos los conforman los sistemas de referencia Inerciales (Einstein, 1919; Sepúlveda, 1995).

Hay que aclarar que, según los anteriores análisis, todo sistema inercial es equivalente con los demás y no tiene sentido asegurar que algo se halla "realmente en movimiento uniforme" (Pineda, 1997) puesto que desde un sistema de referencia dado un cuerpo puede verse en movimiento uniforme, pero también puede verse en reposo si el sistema inercial viaja a la par con él.

Además, las ecuaciones que expresan la naturaleza de los movimientos serán covariantes respecto a la transformación de las coordenadas de espacio y tiempo de un sistema inercial a otro, o sea, que dichas ecuaciones no cambian de forma pues en ellas, la aceleración resulta siendo la misma pese al cambio del sistema referencial escogido, puesto que es inercial; situación que se analizará a continuación.

Para ilustrar lo anterior, se tienen dos cuerpos minúsculos ó puntos p_1 y p_2 , en reposo y desde allí se analizará el movimiento del punto p en caída libre. Si a los puntos p_1 y p_2 se le asigna sistemas de coordenadas S_1 y S_2 , respectivamente; Si S_2 recorre espacios iguales en lapsos de tiempos iguales con respecto a S_1 tendrá movimiento uniforme rectilíneo. Pero si hay disminución del tiempo para recorrer los mismos espacios se obtendrá variación en la velocidad y la partícula p_1 manifiesta una aceleración por lo cual se sale de la condición de ser inercial respecto a p_2 .

Si se quiere mirar el movimiento del punto p_2 relativo a p_1 se dirá que quien se mueve es p_2 en sentido contrario a como se veía antes p_1 . Pero ¿cuál partícula se mueve, p_1 ó p_2 ?

La respuesta depende del punto desde donde se mire. Esto es lo que se conoce como principio de relatividad de movimientos de Galileo (Pineda, 1997).

Las coordenadas de un punto p ubicado desde los dos puntos anteriores p_1 y p_2 a quienes se les asigna ejes perpendiculares del espacio paralelos entre sí, serán:

Con respecto a S_2 :

$$x' = x - vt, \quad y' = y, \quad z' = z$$

con respecto a S_1 :

$$x' = x + vt', \quad y = y', \quad z = z'$$

v es la velocidad de traslación de p_2 con respecto a p_1 y es constante, luego, el tiempo de ambos sistemas será el mismo: $t = t'$.

De esta manera se expresan las ecuaciones de transformación de Galileo.

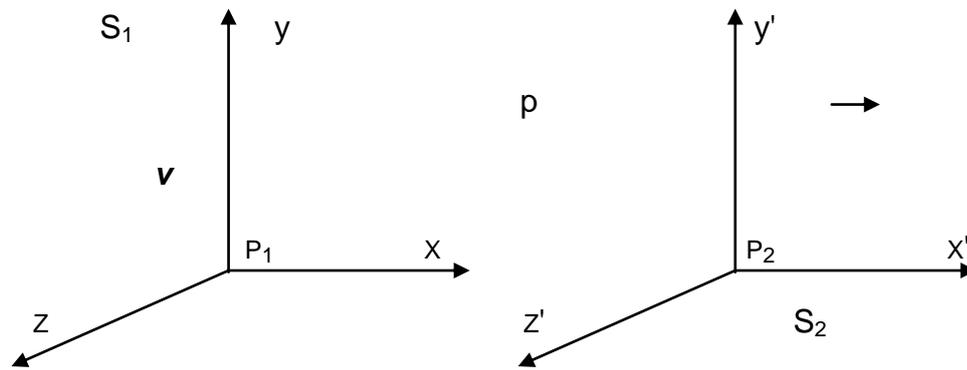


Figura 2.3 Representación de dos sistemas inerciales S_1 y S_2 desde los cuales se observa el movimiento en caída libre del punto p .

Si en ambos sistemas S_1 y S_2 se cumplen las mismas leyes, no hay manera de diferenciar si es S_1 el que es trasladado respecto a S_2 y viceversa. Los observadores desde S_2 pueden suponerse en reposo con el mismo derecho que los de S_1 .

Estos sistemas resultan privilegiados respecto de otros sistemas que se muevan en rotación o acelerados, por que en éstos últimos las leyes mecánicas resultan más complicadas. (Pineda, 1997).

2.3 La Invarianza.

Para el caso que nos ocupa analizaremos los conceptos de velocidad y aceleración de los móviles, los cuales se indican mediante vectores. Aclarando que el concepto de invarianza no sólo es aplicable a cantidades vectoriales.

Tanto la velocidad como la aceleración de los móviles se indican mediante vectores, lo mismo que el desplazamiento. Si éste se toma como la variación de un punto a otro y se denomina como $\Delta \mathbf{x}$, la razón para la velocidad será $\Delta \mathbf{x} / \Delta t$ y la razón para la aceleración es el cambio de la velocidad con respecto al tiempo denotada por $\Delta \mathbf{v} / \Delta t$.

Es posible analizar los cambios de la velocidad del punto p con respecto al tiempo según la figura 2.3, (concepto de aceleración) el cual se mueve con una velocidad \mathbf{v} mirados desde los sistemas inerciales S_1 y S_2 .

Si se asume que desde S_2 el punto p tiene una velocidad \mathbf{v}_1 en el tiempo t_1 y una velocidad \mathbf{v}_2 en un tiempo t_2 y, desde S_1 tiene velocidades \mathbf{v}_3 en t_1 y \mathbf{v}_4 en t_2 , la aceleración media desde S_1 será:

$$\mathbf{a}_1 = \frac{\mathbf{v}_4 - \mathbf{v}_3}{t_2 - t_1} = \frac{(\mathbf{v}_2 + \mathbf{v}) - (\mathbf{v}_1 + \mathbf{v})}{t_2 - t_1} = \mathbf{a}_2$$

Donde el tiempo resultante corresponde a valores escalares de los números reales pero sin llevar sentido o dirección. Luego:

$$\mathbf{a}_1 = \mathbf{a}_2 = \mathbf{a} = \frac{\mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_1}{t_2 - t_1} + \frac{\mathbf{v} - \mathbf{v}}{t_2 - t_1}$$

De modo que:

$$\mathbf{a} = \frac{\mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}$$

En consecuencia, la aceleración de un punto p cualquiera cuyo movimiento se observe desde los dos sistemas inerciales es un valor independiente del movimiento relativo entre sistemas de referencia. Así mismo el valor de la aceleración para un punto determinado es el mismo para todos los sistemas inerciales, o sea que la variación de la velocidad con respecto al tiempo no cambia. Como la masa del cuerpo permanece sin variación, las fuerzas también resultan con el mismo valor en todos estos sistemas, lo que implica que:

$$\mathbf{F}_1 = m \cdot \mathbf{a} = \mathbf{F}_2$$

La ecuación anterior indica que la fuerza es covariante en forma y en magnitud desde los sistemas inerciales de referencia y que solo depende de la aceleración (Sepúlveda, 1995); por lo cual la *aceleración es la invariante fundamental* que permite ver la fuerza resultante cuando un objeto p ha experimentado un cambio en su movimiento, como se acaba de demostrar.

Entonces para el anterior análisis los sistemas inerciales han de moverse en línea recta y sin experimentar rotación alguna.

Si se dispone de un conjunto de sistemas respecto a los cuales se observa un cuerpo p que cae libremente (figura 2.4), por ejemplo:

S₁: Sistema respecto al cual p se mueve uniformemente en sentido horizontal.

S₂: Sistema respecto al cual p se mueve verticalmente hacia arriba y con desplazamiento uniforme.

S₃: Sistema acelerado desde el cual p se ve disminuyendo su velocidad horizontalmente.

S₄: Sistema desde el cual p se mueve aumentando su velocidad en sentido oblicuo como se ilustra a continuación:

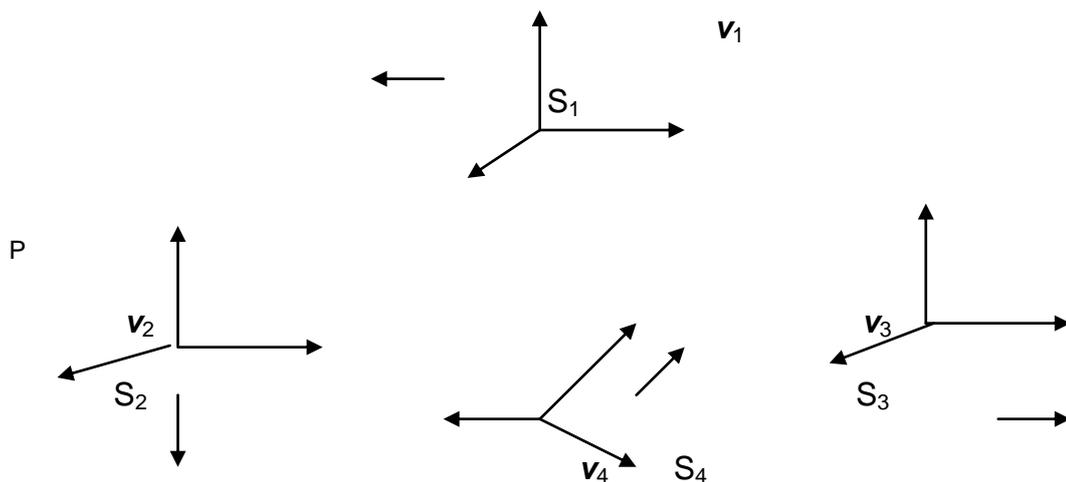


Figura 2.4 Se ilustra el punto p y los sistemas referenciales indicados. La velocidad de cada sistema se representa con un vector.

La velocidad es cambiante cuando el punto p se visualiza desde los sistemas S_3 y S_4 , porque desde ellos la velocidad sería un valor no constante debido a su condición de ser acelerados. El punto p se observará cambiando caprichosamente de una velocidad a otra, sin saberse la causa. Pero si se mira desde los sistemas S_1 y S_2 , la velocidad será siempre la misma. No podría hablarse de cambios de velocidad, o sea que la relación $\Delta v / \Delta t$ siempre será cero si p se encuentra libre de acciones externas. Mientras que para S_3 y S_4 ésta relación será distinta de cero y deben existir causas para los cambios de movimiento de p, lo cual no tendría razón de ser.

Desde los sistemas inerciales S_1 y S_2 , o desde cualquier otro sistema inercial el movimiento de p siempre será uniforme, sin variaciones de la velocidad (Pineda, 1997).

Por las razones expuestas es factible afirmar que:

Hay una relación denotada por los cambios de velocidad llamada aceleración, la cual permanece Invariante desde los sistemas inerciales y que tienen un valor nulo (de cero), para el movimiento uniforme relativo (el cual incluye al reposo).

Puesto que desde un sistema inercial, o desde todos, se cumplirá el no cambio en la relación $\Delta \mathbf{v} / \Delta t$ cuando un objeto se mueve en el transcurso del tiempo, se trata de causas que permanecen invariantes pero si estas causas desaparecen el resultado es el movimiento uniforme cuya relación de invarianza es cero. Son los movimientos en los cuales las causas permanecen neutralizadas ($\Delta \mathbf{v} / \Delta t = 0$) y si desaparece la neutralidad el resultado es un cambio de estado o cambio de movimiento.

CAPITULO 3

ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS

El presente capítulo tiene como intención mostrar algunas actividades didácticas sobre el tema de la inercia, dirigidas a los estudiantes del grado 10[≡] de la educación media, según el enfoque del capítulo 1 y la interpretación del principio de inercia que se desarrolló en el capítulo 2.

En el seguimiento de las actividades, se procura que los estudiantes vayan elaborando los conceptos necesarios para lograr estructurar en su pensamiento, aquellas bases que le permitan comprender el movimiento de los cuerpos a nivel de la física.

El papel del profesor será el de orientar puntualizando sobre aquellas ideas inconsistentes, aclarando conceptos básicos sobre la inercia y el movimiento, formulando interrogantes, proponiendo algunas lecturas de texto para su análisis y, llevando a cabo con los alumnos algunas prácticas relativas a los planteamientos teóricos, tratados acorde a la capacidad cognitiva de ellos, para evitar el aprendizaje mecánico y con predominancia memorística.

En el taller 1 se busca que el estudiante se dé cuenta en cuáles situaciones un cuerpo cambia su velocidad y especifique las razones de dicho cambio, para que diferencie que los cambios se presentan cuando actúan fuerzas y que cuando éstas no intervienen, el móvil conserva su estado de movimiento. Desde esta diferenciación se obtendrá la idea de que los cuerpos inertes por sí mismos no cambian su estado.

En el taller 2 el alumno debe percatarse que si un cuerpo lleva una determinada velocidad, el análisis del movimiento y la trayectoria para éste depende del punto o sistema de referencia desde el cual se haga la observación, además de entender que el reposo y el movimiento uniforme son referentes igualmente válidos para estudiar el movimiento de los cuerpos y que, por consiguiente la idea de reposo o movimiento uniforme es algo relativo.

El taller 3 se propone para que el estudiante se haga consciente que cuando un móvil viaja con cierta velocidad, como en el caso de una caída causada por la gravedad, la trayectoria depende del sistema de referencia que se escoja para la observación, pero debe caracterizar el sistema más adecuado desde el cual analizar el movimiento para, finalmente llegar a concluir que un sistema de referencia que se halle con movimiento acelerado no es el más adecuado para dar cuenta del movimiento de los cuerpos.

El taller 4 se propone con el fin de que el estudiante analice que el reposo y el movimiento uniforme son estados relativos. Por esto, pensará que un observador de un objeto A verá en reposo un objeto B, si ambos se mueven con la misma velocidad. Pero que si un observador sobre un punto de la tierra mira ambos móviles viajando simultáneamente, verá una situación distinta. Además estará en disposición de analizar otras situaciones similares para relacionarlas con el movimiento relativo. Luego podrá concluir que todos los movimientos serán relativos a algo, o según el punto de referencia que se asuma, en este caso, reposo o movimiento uniforme.

En el taller 5 hay dos situaciones concretas de movimiento, el uniforme y el acelerado. Los estudiantes alcanzarán a diferenciar y a caracterizar los sistemas referenciales que cumplen con los requisitos para observar desde ellos el movimiento de un cuerpo sin que se altere dicho estado. O sea, que si el objeto tiene movimiento uniforme, tal movimiento no cambiará; pero si se trata de un movimiento acelerado, esta invarianza será la misma para sistemas de referencia especiales.

TALLER 1

MOVIMIENTO SIN INFLUENCIAS EXTERNAS.

PROPOSITO: Lograr que el estudiante comprenda y asimile la idea de un movimiento continuo, sin que experimente cambios de velocidad.

Inducción

A nuestro alrededor los objetos se hallan en movimiento. Desde la antigüedad el hombre se ha preocupado por dar explicaciones al movimiento basado en principios de la física que él mismo ha construido. Ha aprendido que existen medios para poner en movimiento a los cuerpos. Una vez adquirido el movimiento, es interesante conocer las características que lo definen.

Un cuerpo al caer se mueve de cierta manera, el movimiento de un proyectil al ser disparado tiene unas características particulares; también un cuerpo sobre una superficie horizontal se puede mover con influencias externas o sin ellas.

Analice las siguientes situaciones respecto a los cambios o no del movimiento:

Piense en un móvil cualquiera como un avión, un barco, un carro, etc., y dé respuesta a las siguientes inquietudes:

- a.** Proponga un escenario imaginario en el cual el móvil no experimente variaciones en su velocidad. Especifique bien las características.
- b.** ¿Bajo qué circunstancias cambiaría la velocidad del móvil?. Explique bien sus razones.
- c.** Considere un móvil que se desplaza sin influencias externas, si se perciben cambios de velocidad, ¿cuál será la causa de dichos cambios?

Nota: Al final de esta actividad el profesor hará una exposición referente al tema de la siguiente lectura para confrontar los conceptos básicos vistos.

Lea cuidadosamente el siguiente texto:

Sobre la Inercia de los cuerpos y sobre las fuerzas

"Así como se dice que un cuerpo, mientras está en reposo, permanece en el mismo estado, se dice también de un cuerpo en movimiento que mientras se mueve con la misma velocidad y según la misma dirección, permanece en el mismo estado. Permanecer en el mismo estado significa [...] conservar el mismo movimiento. [...] Todo cuerpo, en virtud de su naturaleza, se mantiene en el mismo estado, hasta que una causa

extraña lo perturba, es decir, o pone al cuerpo en movimiento cuando estaba en reposo, o cambia su movimiento. No es necesario imaginarse que la conservación del estado, en un cuerpo, implica la permanencia en el mismo lugar; esto sucede cuando un cuerpo esta en reposo; pero cuando se mueve con la misma velocidad y según la misma dirección, también se dice que permanece en el mismo estado, aunque cambia de lugar y en todo momento [...] **el término inercia [...] se ha conservado [...] para indicar en general la propiedad de todos los cuerpos a conservarse en el mismo estado, bien de reposo, bien de movimiento [...] y al no poder ser desviado nada mas que por causas externas, [...] de ahí proviene el que se de a esta causa externa el nombre de fuerza [...] que significa aquello capaz de cambiar el estado de los cuerpos. [...] He aquí, pues, a lo que se reduce nuestro conocimiento de los cuerpos en general. Primeramente sabemos que todos los cuerpos tienen una extensión de tres dimensiones; en segundo lugar, que son impenetrables. Y de ahí deriva la propiedad [...] de inercia, por la que los cuerpos se conservan en su estado; [...] esta conservación del mismo estado perdura hasta que sobreviene una fuerza exterior y causa algún cambio.**"¹⁰

Con base en la lectura anterior conteste las preguntas d, e, f y g:

- d.** Mediante una discusión por grupos, defina que se entiende por inercia e inerte.
- e.** Considerando la idea de ser inerte, ¿los cuerpos mencionados en el presente taller, ¿cambiarían su movimiento por sí mismos? ¿Porqué?.

¹⁰ Euler, L. (1990). Cartas a una princesa Alemana. Edición preparada por Mingués, C. Universidad de Zaragoza. 1 edición. Zaragoza. pp 229 - 230
El resaltado es nuestro.

- f.** Con relación a la movilidad de los cuerpos, trate de establecer una regla referente a la respuesta de la pregunta e.
- g.** ¿De qué manera un segundo móvil se verá en reposo, si se mirara desde el primer cuerpo?

TALLER 2

MOVIMIENTOS RELATIVOS

PROPOSITO: Identificar el movimiento de un objeto según el punto desde donde se haga la observación.

Inducción

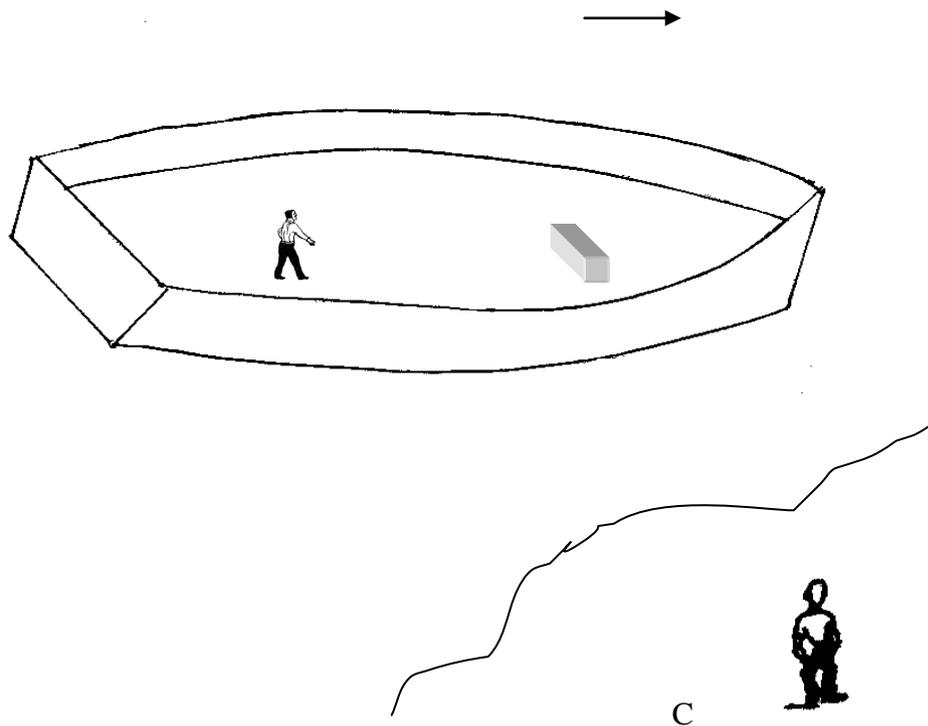
Si usted se encuentra sentado en una banca de un parque, en un autobús, en un avión, etc., seguramente puede indicar en qué lugar se encuentran los objetos. No porque tenga en su mente un mapa del sitio sino porque hay algo en especial como una iglesia, un negocio, etc., algo así como un referente para ubicar los objetos y las personas. ¿Qué lugar de un parque escogería como referente para ubicar desde allí 3 objetos? ¿Cómo definiría desde allí la posición de un avión o de un autobús? Aclare si es importante tener un punto de observación para identificar el movimiento o no de los objetos.

Seguro usted se ha dado cuenta que los cuerpos cambian de posición o permanecen en ella, responda con suficiente claridad las siguientes inquietudes:

1. Proponga dos situaciones en las cuales sea posible observar un objeto y describir su movimiento.
2. Considere que usted viaja en un barco sobre aguas tranquilas (con movimiento uniforme), el cual se desliza suavemente, en dirección este y usted camina sobre la cubierta.

Analice y conteste:

- a. ¿Puede usted percatarse del movimiento del barco? ¿Porque?.



b. Usted se halla sentado en el punto A sobre el barco y fija su mirada en un objeto ubicado en el punto B del barco, ¿puede asegurar que el punto B se mueve? ¿Porqué?.

c. Una persona que se halla sobre la orilla en el punto C donde puede ver el objeto ubicado en el punto B del barco, ¿puede asegurar que el objeto del punto B se mueve? ¿Porqué?.

TALLER 3

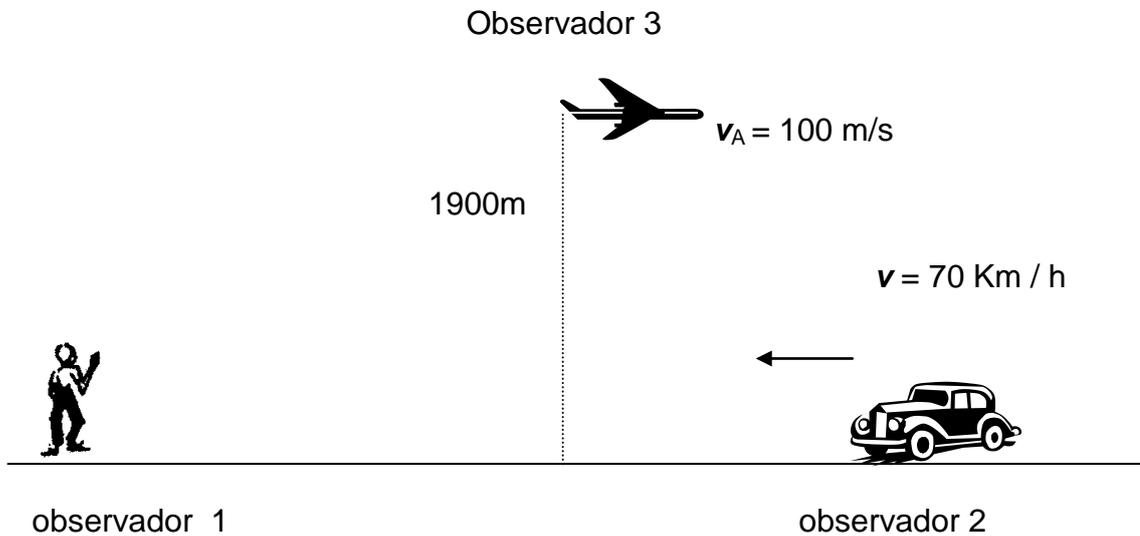
TRAYECTORIA DE LOS CUERPOS A PARTIR DEL PUNTO DE OBSERVACIÓN.

PROPÓSITO: Diferenciar las formas de las trayectorias que describe un objeto según el punto de observación, teniendo en cuenta la velocidad y el tiempo.

Inducción:

Cuando se observa la caída de un cuerpo surge la inquietud respecto a si la trayectoria que describe es la misma desde todos los puntos de observación, o por el contrario, la trayectoria cambia según el lugar de donde se mire el móvil.

Piense que si se lanza una roca desde cierta altura, ¿cómo es la trayectoria del móvil para un observador que mira desde el piso?. Piense como sería la trayectoria del móvil si se observa desde un punto que se haya ubicado por encima del lugar del lanzamiento.



Un avión viaja horizontalmente hacia el este con una velocidad respecto al suelo de 100 m/s , según se indica en la figura y a una altura de 1900 metros. Un objeto que se deja caer desde el avión el cual es visto por 3 observadores así: una persona que está en el punto 1 sobre el piso, un segundo observador que va en el vehículo que se mueve en sentido contrario al que tiene el avión, con una velocidad de 70 Km/h , y una tercera persona quien mira desde el avión. Responda por equipos lo siguiente:

- a. Explique cómo vería cada observador la trayectoria del objeto desde el momento en que se deja caer hasta llegar al suelo. Dibuje la trayectoria según cada observador.

- b.** ¿Con qué velocidad vería caer el objeto cada uno de los observadores?
- c.** ¿Cuánto se demora el móvil para caer, visto desde cada punto de observación? Analice si hay o no variación en el tiempo de caída para cada observador. Calcular este tiempo.
- d.** Si el vehículo donde se halla el observador 2 presenta variación continua en su velocidad, ¿sería posible ver desde éste la misma trayectoria que usted representó en el literal "a"? ¿Porqué?
- e.** Con su equipo de trabajo, diseñe una experiencia similar a lo que se ha propuesto en el presente taller, utilice tres carros de juguete y la intervención de dos observadores de un fenómeno del movimiento simultáneo.

Elabore conclusiones respecto a los puntos de observación sobre la temática tratada en el taller.

TALLER 4

MOVIMIENTO RELATIVO Y MOVIMIENTO UNIFORME.

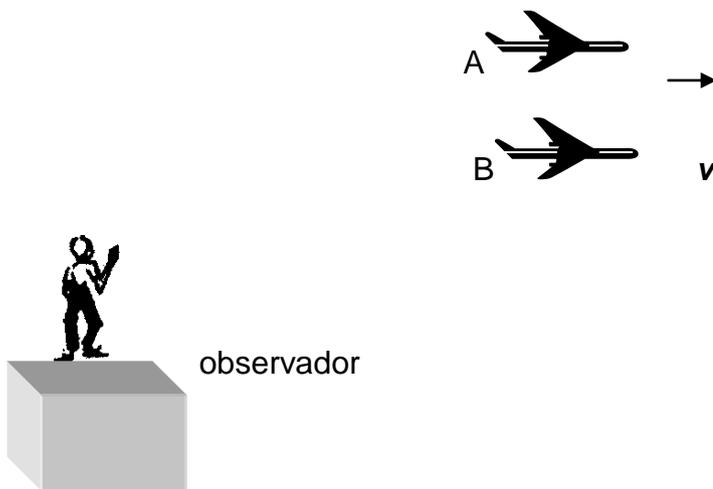
PROPÓSITO: Relacionar el movimiento uniforme y los movimientos relativos.

Inducción

El movimiento sin cambios es factible de expresarse con un valor de velocidad constante. Sin embargo, un movimiento por sí sólo no tiene sentido si no hay un referente desde el cual se describa y se evalúe, circunstancia que exige un parámetro de comparación desde el cual establecer si los movimientos se conservan o experimentan cambios; para lo cual se puede estudiar el siguiente caso.

Considere que un avión A viaja a 2000 metros de altura sobre la tierra a una velocidad de 450 Km / h con respecto al suelo y en dirección este. Paralelamente al avión A, va otro avión B con igual velocidad. Analice y conteste:

- a.** ¿ Un pasajero del avión A puede sentir o percibir su movimiento?
¿Porqué?



- b.** Si un pasajero en el avión A mira al avión B, ¿lo ve o no en movimiento? ¿Porqué?
- c.** Un observador se halla sobre la parte más alta del edificio Coltejer, ¿qué puede decir de los aviones A y B, respecto al movimiento? ¿Qué diferencia encuentra entre A y B?
- d.** Según los análisis de los talleres 3 y 4 ¿puede diferenciar reposo de movimiento uniforme? Explique a partir de discusión grupal.

Lea cuidadosamente el siguiente texto

"Si observamos un lápiz sobre una mesa podemos pensar que ese lápiz está en reposo; pero si estuviéramos observando el mismo lápiz desde el sol diríamos que el lápiz se está moviendo con igual rapidez. Dependiendo del observador, el lápiz está en reposo o en movimiento al

mismo tiempo, hechos como estos se nos presentan cotidianamente. Por ejemplo, en un avión, una madre dice a su hijo Camilo: "Quédate quieto en el puesto"; el niño, mientras tanto, piensa que aunque está sentado y "quieto" se está moviendo con el avión. Es más, Camilo o su madre pueden decir que la azafata se acercó o alejó de ellos, y que un señor se puso de pie y fue a la parte trasera del avión; y al hacer cualesquiera de estas afirmaciones, ellos se están considerando fijos, estáticos, y están describiendo los movimientos que observan sin que les importe el movimiento del avión. ¿Cómo describiría estos movimientos dentro del avión un observador fijo en tierra que pudiera ver su interior?

[...] Estar en reposo o estar en movimiento son conceptos **relativos**, es decir que depende con respecto a que decimos lo uno o lo otro. El mismo lápiz está en reposo respecto a la mesa o a la tierra, pero está en movimiento respecto al sol. El niño que viaja en avión esta en reposo respecto a su madre o al asiento, pero está en movimiento respecto a la tierra o respecto a las nubes. [...], cuando decimos que la tierra se desplaza respecto al sol, consideramos a este fijo en el espacio. Definir, pues, movimiento o reposo carece de sentido."¹¹

- e. Según la lectura anterior ¿qué se quiere decir con la expresión: "Los movimientos son relativos"? Proponga otros dos casos de movimiento relativo.
- f. Muestre en un diseño experimental el movimiento relativo utilizando carros, aviones de juguete u otros objetos. Elabore conclusiones.

¹¹ Zalamea G., E., Rodríguez M., J. A. y París E., R. (1997) Física 10. Educar Editores S. A. Santa Fe de Bogotá, D.C. Colombia. pp 36.

TALLER 5

SISTEMAS DE REFERENCIA ESPECIALES.

PROPÓSITO: Identificar los sistemas de referencia más adecuados desde los cuales es posible analizar el movimiento de los cuerpos.

Inducción

El movimiento de un objeto se considera uniforme desde un referente apropiado desde el cual hacer su descripción. Sin embargo, hay otros movimientos que se consideran no uniformes desde los sistemas de observación; un caso muy común es el de la caída de un cuerpo. Analice y conteste la siguiente situación:

Un globo viaja en la dirección este del viento, con una aceleración de 4 m/s^2 con respecto al piso, a una cierta altura, y es observado desde los siguientes escenarios:

- a.** Una lancha que se desplaza suavemente con la misma velocidad que lleva el río.
- b.** El punto más alto del edificio Coltejer.

- c.** Desde el techo del metro que viaja aumentando su velocidad, cuyo cambio se advierte por la brusquedad o sacudida que experimenta el observador.
- d.** Una moto que viaja rápidamente pero que luego empieza a disminuir su velocidad.
- e.** Un globo ocupado por tres personas, que va cayendo atraído por la tierra.

Analice y conteste:

- a.** ¿Desde cuáles escenarios se puede percibir el movimiento acelerado del globo?
- b.** Caracterice los anteriores escenarios (sistemas de referencia) para que el cambio de la velocidad del globo sea el mismo.
- c.** Especifique las características de los sistemas de referencia desde los cuales el cambio de la velocidad no se conserva.
- d.** ¿Qué importancia tiene la invarianza (no cambio del valor de la aceleración) para caracterizar los anteriores sistemas de referencia?

CONCLUSIONES

- La mayoría de los textos escolares del grado 10[≡] para la Educación Media presentan algunas inconsistencias originadas por el uso que a nivel semántico se hace de los términos referentes a la materia inerte respecto al movimiento, lo cual induce a generar ciertas contradicciones que producen dificultades para interpretar el Principio de Inercia de una manera racional, acorde con las ideas fundamentales de la mecánica y de sus principios.

Tales inconsistencias se refieren a la atribución de terminología para seres animados a la materia inerte; como también se utiliza para generalizar una idea generando errores de comprensión de los contenidos, al afirmar que para todo movimiento existen causas que los produzcan. Además, se afirma que la masa es una medida de la Inercia.

- A partir de la propuesta que se enfoca para interpretar el principio de la Inercia, se plantea la eliminación de las inconsistencias en la terminología que usa la mayoría de los autores de los textos escolares para el grado 10[≡] de la educación media, así como la necesidad de

emplear las palabras que corresponden, en la física, a los seres inertes.

- Además en el enfoque no se tiene en cuenta la concepción de la masa como medida de la inercia ya que la masa es una propiedad de la materia susceptible de medirse, mientras que la inercia se refiere a un cuerpo inerte que no hace nada por sí mismo para cambiar su estado. Igualmente se aclara que los autores de los textos no consideran la equivalencia entre el reposo y el movimiento uniforme.

- Es necesario partir desde el concepto de la relatividad del movimiento de Galileo, y así determinar un referente para estudiar la trayectoria de los cuerpos, ya sea que permanezcan o que cambien su estado de movimiento.

- Desde ésta perspectiva surge la necesidad de seleccionar un sistema de referencia desde el cual los tres principios de la mecánica newtoniana, aplicables a la naturaleza, sean invariantes y, por lo regular se parte de un sistema rígidamente unido al cuerpo material escogido desde el cual mirar el movimiento.

- Dichos sistemas se han de considerar privilegiados porque a partir de ellos es posible precisar los enunciados sobre el movimiento inercial. Son los llamados sistemas inerciales, pues desde ellos el reposo y el

movimiento uniforme asumen el carácter de relativos, sin que sea posible diferenciar el uno del otro, por lo cual se erigen como estados equivalentes, puesto que se conservan en ausencia de causas que los produzcan. Así, la visión de reposo o movimiento absoluto carece de sentido al poderse escoger arbitrariamente cualesquiera de ellos como sistema de referencia para que las leyes del movimiento puedan ser válidas.

- Todos los sistemas inerciales resultan equivalentes por las razones anteriores y las ecuaciones que expresan la naturaleza de los movimientos serán invariantes, cuando se hacen transformaciones de las coordenadas de espacio y tiempo, al pasar de un sistema inercial a otro.
- Al medir desde los sistemas inerciales los valores de la aceleración para un cuerpo en movimiento, serán invariantes. De esta manera, la fuerza resultante que emerge cuando un móvil interactúa con otro u otros cuerpos es la misma desde tales sistemas. Estas fuerzas son en sí las causas para los cambios de movimiento y no para el movimiento uniforme como lo dan a entender los autores de los textos escolares.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alemañ B. R. A. (1997). Errores comunes sobre Relatividad entre profesores de Enseñanza Media. Enseñanza de las Ciencias, Vol 15 (3), pp 301 - 307.

- Arons, A. B. (1997). Understanding the law of Inertia. En: Teaching Introductory Physics. John Wiley & Sons, Inc. University of Washington. New York. pp 69 - 74.

- Campbell, N. R. (1985). Medición (4). En: Newman, James R. (1985) Sigma. El mundo de las Matemáticas. (5) 10^{ta} edición. Ed Grijalbo. Barcelona, pp 187 - 200. Título Original: The World of Mathematics. Traducido de la primera edición de Simon and Schuster, Inc., New York, 1956.

- Einstein, A. (1919) ¿Qué es la teoría de la Relatividad? De: Einsten, A. Sobre la Teoría de la Relatividad y otras Aportaciones científicas. Traducción hecha del original en inglés por José María Alvarez F. y Ana Goldar (1984) Editorial Charpe. Madrid, pp 35 - 40.

- Einstein, A. (1915). Sobre la Teoría Especial General de la Relatividad. En: Einstein, A. y Otros. (1915). La Teoría de la Relatividad: Sus Orígenes e impacto sobre el pensamiento Moderno.

Ed. Altaya. Madrid. pp 72 y 74. Tomado de "Relativity Theory: Its Origins and Impact on modern thought". Traducidos por Miguel Paredes L. e impreso por Alianza Ed., S. A. (1993) Madrid.

- Hewitt, G. P. (1999). Física Conceptual. Addison Wesley Longman. Tercera edición. México pp 46 - 48.
- Newton, Sir I. (1686) Principios Matemáticos de la Filosofía Natural. En: Einstein, A. y Otros (1915). La Teoría de la Relatividad: Sus Orígenes e impacto sobre el Pensamiento Moderno. Ed. Altaya. Madrid. pp 21 - 28. Traducido por Miguel Paredes L. e impreso por Alianza Ed., S. A. (1993).
- Pineda, G. (1997). Teoría Especial de la Relatividad. En: De la Torre, L., Pineda G., y Otros. (1997). Enseñanza de la Física. Sociedad Colombiana de Física. Universidad de Antioquia. Primera edición. Medellín. pp 11 - 17.
- Quiroga Ch, J. (1992). Física 10. Educación Media Vocacional. Bedout Editores, S. A. Segunda Edición. Medellín, pp 58 - 59, 75.

- Sepúlveda S., A. (1995). Historia de la Física desde los griegos hasta nuestros días. Fondo Editorial Cooperativo. Primera edición. Universidad de Antioquia, Medellín, pp 99 - 102 y 109 - 113.

- Villamizar, A. (2001). Consultor Estudiantil. Matemática, Física, Informática. Ed. Prolibros S. A. Tomo 1, Colombia, pp 89.

- Villegas R., M. y Ramírez S., R. (1998) Galaxia. Física 10. ed. Voluntad S. A. Bogotá, pp 205.

- Williams, H. T. (1998). Semantics in Teaching introductory Physics. Washington and Lee University. Lexington. Virginia 24450, pp 670 - 677.

- Zalamea G., E. y París E., R. (1992) ¿Es la Masa la medida de la Inercia? Enseñanza de las Ciencias. Vol 10 (2), pp 212 - 215.