



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Construcción de una guía didáctica sobre fuerza centrífuga para estudiantes de ciclo V grado 10

Víctor Manuel Acosta Gómez

Universidad Nacional de Colombia
Facultad, Ciencias
Bogotá, Colombia
2014

Construcción de una guía didáctica sobre fuerza centrífuga para estudiantes de ciclo V de grado 10

Víctor Manuel Acosta Gómez

Tesis o trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al
título de:

Magister en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales

Director

Dr. rer. nat. JOHN WILLIAM SANDINO DEL BUSTO.

Línea de Investigación:

Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales

Universidad Nacional de Colombia
Facultad, Ciencias
Bogotá, Colombia
2014

“Cada cosa que obtenemos en la vida no llega como un regalo... llega como una recompensa al esfuerzo para alcanzarla”

Dedico este trabajo a mi padre que a pesar de su enfermedad, siempre estuvo junto a mí.

A mi familia.

A mis profesores de la maestría.

Agradecimientos

A DIOS que me iluminó para alcanzar este logro.

A mi director de trabajo final de la Maestría, John William Sandino Del Busto, por sus valiosas orientaciones y su paciencia para explicarme cada tema que fue necesario aclarar. Su papel de docente va más allá de las aulas, transmite a sus estudiantes una gran entrega y pasión por la física.

RESUMEN

El presente trabajo propone el diseño de una guía didáctica y aplicación de la misma, para la enseñanza de los conceptos fundamentales de Fuerza, Sistema de Referencia y principalmente el de fuerza centrífuga. Se tiene el propósito de mejorar la interpretación, comprensión y nivel de desempeño en la comprensión de fuerzas inerciales (Centrífuga), en los estudiantes de grado décimo y de ser posible cualquier otro nivel de educación superior. El diseño de la guía se realizó teniendo en cuenta una aproximación al conocimiento histórico- epistemológico y disciplinar de los conceptos de fuerza, Sistema de Referencia, fuerza centrípeta y fuerza centrífuga; los resultados de los temas mencionados de la aplicación de un pre-test sobre conocimientos previos, a estudiantes de grado décimo de la IED Carlos Arango Vélez JM; y el análisis del documento "Force Concept Inventory". El diseño de la guía se soporta en el estudio de los procesos de aprendizaje del "Obstáculo Epistemológico" y del "Aprendizaje Significativo".

La guía desarrollada se estructuró, fundamentada en lineamientos que buscan reconocer, interpretar y orientar los conocimientos previos de los alumnos con el firme propósito de reducir los obstáculos epistemológicos, buscando una correcta articulación de los conocimientos previos con los nuevos conocimientos.

PALABRAS CLAVE: Fuerza, Sistema de referencia, Centrípeta, Centrífuga, Guía, Obstáculo Epistemológico, Conocimientos previos, Aprendizaje Significativo.

ABSTRACT

The present work proposes the design of an educational guide and application of the same, for the teaching of the fundamental concepts of Force, system of reference and mainly of centrifugal force. It is intended to improve interpretation, understanding and level of performance in the comprehension of the inertial forces (centrifuge), in tenth grade students and if possible any other level of higher education. The design of the guide was performed taking into account an approximation to the historical knowledge, epistemology and discipline of the concepts of force, reference system, centripetal force and centrifugal force; the results of the topics mentioned in the application of a pre-test on previous knowledge, to tenth grade students of the IED Carlos Arango Velez JM, and the analysis of the "Force Concept Inventory". The design of the guide is supported by the study of the learning processes of the "epistemological obstacle" and "significant learning".

The guide developed was structured, based on guidelines that seek to recognize, interpret and guide the prior knowledge of the students with the firm intention to reduce the obstacles epistemological seeking a proper articulation of previous knowledge with the new knowledge.

KEYWORDS: Force, system reference, Centripetal, centrifuge, guide, epistemological obstacle, previous knowledge, meaningful learning.

CONTENIDO

RESUMEN	5
ABSTRACT	6
CONTENIDO	7
LISTA DE FIGURAS	9
1. INTRODUCCIÓN	12
2. PROBLEMA	15
3. OBJETIVO GENERAL	16
4. JUSTIFICACIÓN	17
4.1 LA ENSEÑANZA DE LA FUERZA CENTRÍFUGA EN LOS LIBROS DE TEXTO DE SECUNDARIA.	19
5. CONSTRUCCIÓN HISTORICA DE LOS CONCEPTOS DE FUERZA, FUERZA CENTRÍPETA Y FUERZA CENTRÍFUGA.	28
5.1 ASPECTO HISTÓRICO Y EPISTEMOLÓGICO DEL CONCEPTO FUERZA	28
5.2 CONSTRUCCIÓN HISTORICA Y EPISTEMOLÓGICA DEL CONCEPTO FUERZA CENTRÍPETA Y FUERZA CENTRÍFUGA	44
5.3 EL PROBLEMA DE LAS FUERZAS CENTRÍFUGAS Y LA TEORÍA GENERAL DE LA RELATIVIDAD ESTUDIO HISTÓRICO	55
6. REVISIÓN DISCIPLINAR DE LOS CONCEPTOS	57
6.1 CONCEPTO DE SISTEMA DE REFERENCIA Y MOVIMIENTO	57
6.2 SISTEMAS DE REFERENCIA INERCIALES	60
6.3 SISTEMAS DE REFERENCIA NO INERCIALES O SISTEMAS ACELERADOS	64
6.4 CONCEPTO DE FUERZA	66

6.5	“FUERZAS DE INERCIA”, UNA ESTRATEGIA PARA TRATAR PROBLEMAS EN SISTEMAS DE REFERENCIA NO INERCIALES.	73
6.6	ALGUNAS PRECISIONES SOBRE FUERZA CENTRÍPETA Y FUERZA CENTRÍFUGA	74
6.7	FUERZA CENTRÍFUGA	78
6.8	LA FUERZA CENTRÍFUGA Y LOS SISTEMAS DE ROTACIÓN	82
7.	<u>PROPUESTA DIDÁCTICA</u>	86
7.1	ESTÁNDARES DEL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL (M.E.N)	86
7.2	MARCO CONCEPTUAL DE LA PROPUESTA	88
7.3	INVESTIGACIONES ACERCA DE LA ENSEÑANZA DEL CONCEPTO DE FUERZA Y DEL CONCEPTO FUERZA CENTRÍFUGA.	98
7.4	ANÁLISIS DEL FORCE CONCEPT INVENTORY:	107
7.5	UN MODELO DE LA GUÍA DE FUNDAMENTACIÓN	109
7.6	OBJETIVO GENERAL: EN LA IMPLEMENTACIÓN DE LA GUÍA DE FUNDAMENTACIÓN	112
8.	<u>METODOLOGÍA PEDAGÓGICA</u>	121
8.1	REFERENTE PEDAGÓGICO DE LA METODOLOGÍA	121
8.2	CARACTERIZACIÓN DE LA INSTITUCIÓN Y PERFIL DEL ESTUDIANTE	123
8.3	METODOLOGÍA	127
8.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	129
9.	<u>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.</u>	136
10.	<u>ANEXOS -1 TEST DE FUNDAMENTACIÓN</u>	137
11.	<u>ANEXO-2 “FORCE CONCEPT INVENTORY”</u>	148
12.	<u>BIBLIOGRAFIA</u>	157

LISTA DE FIGURAS

FIGURA: 1 ALGUNOS EJEMPLOS DE MOVIMIENTO OBSERVADOS POR ARISTÓTELES. EN LA GRÁFICA SE OBSERVA CUATRO EJEMPLOS DONDE ACTÚA UNA FUERZA QUE PRODUCE EL MOVIMIENTO, Y UNA FUERZA QUE SE OPONE AL MOVIMIENTO, EN CADA CASO. LOS CUATRO SON EJEMPLOS DE MOVIMIENTO VIOLENTO. . AUNQUE PARA ARISTÓTELES EL MOVIMIENTO DE CAÍDA LIBRE ERA NATURAL. IMAGEN TOMADA DEL DOCUMENTO THE STORY OF FORCE, STINNER, A. (1994).....	31
FIGURA: 2 ALGUNAS CONCEPCIONES DEL IMPETU EN LA EDAD MEDIA. PARA PHILOPONUS, EL MOVIMIENTO EN EL VACÍO NO EXISTE PORQUE NO HAY FUERZA QUE SE OPGA AL MOVIMIENTO, PARA BURIDAN, LA FUERZA QUE PRODUCE EL MOVIMIENTO ES PROPORCIONAL A LA MATERIA Y VELOCIDAD DEL CUERPO. PARA ORESME, NO ERA POSIBLE DETECTAR EL MOVIMIENTO RECTILÍNEO UNIFORME. IMAGEN TOMADA DEL DOCUMENTO THE STORY OF FORCE, STINNER, A. (1994).....	33
FIGURA: 3 TRES OBSERVACIONES Y TRES SIGNIFICADOS DE NEWTON SOBRE FUERZA. EN LA PRIMERA IDEA NEWTON, OBSERVA LA CAÍDA LIBRE E INDICA QUE LA FUERZA DEBE ENTENDERSE COMO; EL PRINCIPIO CAUSAL DEL MOVIMIENTO. LA SEGUNDA IDEA SE RELACIONA CON EL MOVIMIENTO DEL PÉNDULO Y FINALMENTE SU TERCERA IDEA SE BASÓ EN LA COLISIÓN DE PÉNDULOS DE MADERA. FIGURA TOMADA DEL DOCUMENTO THE STORY OF FORCE DE IOPSCIENCE.....	38
FIGURA: 4 MACH, MUESTRA LA IDEA DE NEWTON Y LA PROPIA SOBRE LA FORMA DE ENTENDER EL CONCEPTO DE MASA. . PARA NEWTON LA MASA TENÍA UNA PROPIEDAD INTRÍNSECA LLAMADA INERCIA, MIENTRAS QUE PARA MACH LA MASA NO POSEE INERCIA, PARA ÉL LA INERCIA ES LA CARACTERÍSTICA DEL EFECTO DE TODA LA MASA EN EL UNIVERSO, ENTENDIDO COMO UN SISTEMA CERRADO. IMAGEN TOMADA DEL DOCUMENTO THE STORY OF FORCE, STINNER, A. (1994).....	40
FIGURA: 5 EL PRINCIPIO DE EQUIVALENCIA, PARA DOS OBSERVADORES EN DOS ASCENSORES. AQUÍ SE MUESTRA A UN OBSERVADOR DENTRO DE UN ASCENSOR QUE ESTÁ ACELERADO CON UN VALOR IGUAL AL DE LA GRAVEDAD, Y OTRO OBSERVADOR EN UN ASCENSOR DENTRO DEL CAMPO DE GRAVEDAD DE LA TIERRA, SE PUEDE ARGUMENTAR QUE AMBOS OBSERVADORES EXPERIMENTAN CARACTERÍSTICAS IDÉNTICAS DE MOVIMIENTO, SIN QUE SE PUEDA DIFERENCIAR FÍSICAMENTE UN CASO DE OTRO. IMAGEN TOMADA DEL DOCUMENTO THE STORY OF FORCE, STINNER, A. (1994)	42
FIGURA: 6 SE HACE GIRAR UNA PIEDRA EN UNA ONDA, OBLIGANDOLA A DESCRIBIR UN CIRCULO. . IMAGEN TOMADA DE HISTORIA DE LAS CIENCIAS Y LA ENSEÑANZA. CASADILLA R.....	46
FIGURA: 7 EL SOL COLOCADO EN UNO DE LOS FOCOS DE LA ELIPSE, EJERCE UNA FUERZA ATRACTIVA SOBRE EL PLANETA. . IMAGEN TOMADA DE HISTORIA DE LAS CIENCIAS Y LA ENSEÑANZA. CASADILLA R.....	47
FIGURA: 8 NEWTON, ESTABLECE QUE EL ÁREA BARRIDA POR EL SEGMENTO QUE UNE UN PLANETA AL SOL, ES DIRECTAMENTE PROPORCIONAL AL TIEMPO INVERTIDO EN EL RECORRIDO DESDE P HASTA Q. EL PLANETA SE UBICA EN P, Y EL SOL ESTÁ EN S. IMAGEN TOMADA DE HISTORIA DE LAS CIENCIAS Y LA ENSEÑANZA. CASADILLA R.	48
FIGURA: 9 MUESTRA TRES INTENTOS REALIZADOS POR NEWTON POR CUANTIFICAR EL MOVIMIENTO CIRCULAR IMAGEN TOMADA DEL DOCUMENTO THE STORY OF FORCE, STINNER, A. (1994).....	50
FIGURA: 10 NEWTON FINALMENTE LOGRÓ OBTENER LA FORMULA DE LA FUERZA "CENTRÍFUGA" DE UNA MANERA MÁS ECONÓMICA Y ELEGANTE. AQUÍ EL UTILIZÓ LOS RESULTADOS DE LA CINEMÁTICA DE GALILEO DE LA CAÍDA LIBRE Y LOS APLICÓ A LA DINÁMICA DE UN OBJETO EN REVOLUCIÓN. IMAGEN TOMADA DEL DOCUMENTO THE STORY OF FORCE DE IOPSCIENCE	51

FIGURA: 11 LA RELACIÓN ENTRE LA SEGUNDA Y LA TERCERA LEYES DE NEWTON, SE PUEDEN VER AQUÍ, EN DONDE LOS ESTUDIANTES CONSIDERAN EL EFECTO QUE DOS GRANDES MASAS; TIENEN LA UNA SOBRE LA OTRA EN EL ESPACIO PROFUNDO. . IMAGEN TOMADA DEL DOCUMENTO THE STORY OF FORCÉ DE IOPSCIENCE.....	51
FIGURA: 12 EXPERIMENTO DEL BALDE DE NEWTON. IMAGEN TOMADA DE: NEWTON: EL ESPACIO Y EL TIEMPO ABSOLUTOS, GRANÉS. J (2005).....	52
FIGURA: 13 SEGÚN NEWTON EL EXPERIMENTO MENTAL CON EL CUBO, MUESTRA QUE LA ROTACIÓN RELATIVA DEL AGUA RESPECTO A LA CUBETA NO ES RESPONSABILIDAD DE LAS FUERZAS CENTRÍFUGAS. EN LA ETAPA 2, ASÍ COMO LA ETAPA 4 EL CUBO Y EL AGUA, ESTÁN EN UN MOVIMIENTO RELATIVO ENTRE SÍ. SIN EMBARGO, EN EL PRIMER CASO, EL AGUA PRESENTA UNA SUPERFICIE PLANA Y EN EL ÚLTIMO CASO UNA SUPERFICIE CÓNCAVA. PARA EXPLICAR ESTO, NEWTON SE SINTIÓ OBLIGADO A PLANTEAR LA NOCIÓN DE MOVIMIENTO ABSOLUTO. IMAGEN TOMADA DEL DOCUMENTO THE STORY OF FORCE DE IOPSCIENCE.....	53
FIGURA: 14 EXPERIMENTO DE LOS GLOBOS. IMAGEN TOMADA DE: NEWTON: EL ESPACIO Y EL TIEMPO ABSOLUTOS, GRANÉS. J (2005.....	53
FIGURA: 15 NEWTON PROPUSO UN SEGUNDO EXPERIMENTO MENTAL, PARA HACERSE CON EL ARGUMENTO DE MOVIMIENTO ABSOLUTO. . SOSTUVO QUE LA TENSIÓN EN EL CABLE, DEBIDO A LA FUERZA CENTRÍFUGA, SERÍA REGISTRADA INCLUSO EN EL VACÍO DONDE NO EXISTAN OTRAS MASAS. . IMAGEN TOMADA DEL DOCUMENTO THE STORY OF FORCE DE IOPSCIENCE	54
FIGURA: 16 SISTEMA DE REFERENCIA TRIDIMENSIONAL IMAGEN TOMADA DE GOOGLE IMÁGENES.....	57
FIGURA: 17 SISTEMA DE REFERENCIA TRIDIMENSIONAL, CON VECTORES UNITARIOS. IMAGEN TOMADA DE GOOGLE IMÁGENES.....	58
FIGURA: 18 POSICIÓN DE UN OBJETO RESPECTO A DOS SISTEMAS DE REFERENCIA. IMAGEN TOMADA DE GOOGLE IMÁGENES.....	60
FIGURA: 19 ACELERACIÓN DE UN CUERPO SOBRE LA SUPERFICIE TERRESTRE. IMAGEN TOMADA DE GOOGLE IMÁGENES.....	65
FIGURA: 20 DINAMÓMETRO ARRASTRA HACIA LA DERECHA EL CUERPO. IMAGEN REALIZADA POR EL AUTOR.....	66
FIGURA: 21 DIFERENTES FUERZAS APLICADAS A UN MISMO CUERPO. IMAGEN REALIZADA POR EL AUTOR..	67
FIGURA: 22 LA FUERZA $F^{\vec{}}$ ACTÚA SOBRE LAS MASAS m_1 Y m_2 . IMAGEN REALIZADA POR EL AUTOR.	68
FIGURA: 23 INTERACCIÓN ENTRE LA MANO Y EL BLOQUE. IMAGEN TOMADA DE SEARS (2009)	70
FIGURA: 24 FUERZA NORMAL, UN CUERPO DESCANSA SOBRE UNA SUPERFICIE. IMAGEN TOMADA DE SEARS (2009)	71
FIGURA: 25 FUERZA DE FRICCIÓN SOBRE UN OBJETO, ES PARALELA A LAS SUPERFICIES EN CONTACTO. IMAGEN TOMADA DE SEARS (2009)	71
FIGURA: 26 FUERZA DE TENSIÓN, FUERZA EJERCIDA SOBRE UN OBJETO POR UNA CUERDA. IMAGEN TOMADA DE SEARS (2009)	71
FIGURA: 27 PESO: FUERZA QUE REALIZA LA TIERRA SOBRE EL OBJETO. IMAGEN TOMADA DE SEARS (2009 ...	72
FIGURA: 28 FUERZAS QUE ACTUAN EN UN SISTEMA LIGADO A UN VEHÍCULO. IMAGEN TOMADA DE GOOGLE IMÁGENES.....	73
FIGURA: 29 FUERZA CENTRÍPETA ACTUANDO SOBRE UN CUERPO QUE GIRA. IMAGEN TOMADA DE GOOGLE IMÁGENES.	75
FIGURA: 30 FUERZA CENTRIPETA ACTUANDO SOBRE UN CUERPO QUE GIRA. IMAGEN TOMADA DE GOOGLE IMÁGENES	75
FIGURA: 31 PLATAFORMA QUE GIRA CON DETERMINADA VELOCIDAD ANGULAR. IMAGEN TOMADA DE FÍSICA DE SANTILLANA (1995).....	78
FIGURA: 32 PARA EL OBSERVADOR O, ACTUA LA FUERZA CENTRIPETA. IMAGEN TOMADA DE LA FÍSICA DE SANTILLANA (1995).	79

FIGURA: 33 PARA EL OBSERVADOR O' , ACTUA LA FUERZA CENTRIFUGA. IMAGEN TOMADA DE GOOGLE IMÁGENES.	80
FIGURA: 34 SISTEMA DE REFERENCIA EN ROTACIÓN. IMAGEN TOMADA DE GOOGLE IMÁGENES.....	82
FIGURA: 35 ESTÁNDAR DE CIENCIAS EJE DE FÍSICA. IMAGEN TOMADA DE LA CARTILLA DE ESTÁNDARES.	87
FIGURA: 36 INTERPRETACIÓN DEL CONCEPTO FUERZA, POR PARTE DE ALGUNOS ALUMNOS. IMAGEN TOMADA DE: APRENDER Y ENSEÑAR CIENCIA, DE J. POZO.....	102
FIGURA: 37 EJEMPLOS DE COMO PIENSAN ALGUNOS ALUMNOS LA INTERACCIÓN ENTRE LOS CUERPOS. IMAGEN TOMADA DE: APRENDER Y ENSEÑAR CIENCIA, DE J. POZO.....	103
FIGURA: 38 FUERZAS Y MOVIMIENTO EN TRAYECTORIAS CURVAS. IMAGEN TOMADA DE LA TESIS DOCTORAL: RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS. M. VARELA. (2002)	104
FIGURA: 39 FUERZAS SOBRE UN PÉNDULO EN MOVIMIENTO. IMAGEN TOMADA DE LA TESIS DOCTORAL: RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS. M. VARELA. (2002)	105
FIGURA: 40 FUERZAS SOBRE UN CUERPO GIRANDO EN UN PLANO VERTICAL. IMAGEN TOMADA DE LA TESIS DOCTORAL: RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS. M. VARELA. (2002)	105

1. INTRODUCCIÓN

Pocas áreas de la física han suscitado mayor cantidad de investigaciones en el ámbito de la enseñanza que la relativa a las relaciones entre la fuerza y el movimiento o al estudio del concepto mismo de fuerza (Nieto, 2005) . La mayoría de las investigaciones han puesto de relieve las dificultades que los estudiantes encuentran para la comprensión de conceptos tales como fuerza, masa, inercia, interacción, fuerza centrífuga, etc.

Muchas de estas dificultades de comprensión de los estudiantes han generado nuevas metodologías que propician la sustitución de las “concepciones alternativas” de los estudiantes por aquellas que son pretendidas en la enseñanza. Aunque los cambios en los métodos de enseñanza han involucrado algunos cambios en los contenidos expuestos, estos contenidos han seguido en gran parte los patrones existentes. Hestenes (1999) enfatizó que parte de estas dificultades de comprensión de la mecánica clásica se deben a que los libros de texto no explican algunas de las hipótesis básicas de la teoría Newtoniana, tales como las concepciones absolutas de espacio y de tiempo, no incorporan en la presentación la noción de campo gravitatorio, no hacen una definición clara entre las nociones intuitivas y las formulaciones científicas, no preparan el camino para la comprensión de la mecánica relativista y hasta cuántica, y en general, no toman en cuenta las profundas modificaciones que la física ha experimentado en los últimos siglos.

Lo que habitualmente se presenta como mecánica clásica en los textos, queda en deuda con temas tan fundamentales y serios como el estudio de los sistemas de referencia (inercial y acelerado) o un estudio claro, y suficiente de la fuerza centrífuga y centrípeta. Sin embargo han pasado más de trescientos años de la propuesta de la mecánica clásica y muchos de sus supuestos han sido seriamente revisados o totalmente abandonados.

A pesar de la célebre frase de Newton: “Hypotheses non fingo” (No hago hipótesis), lo cierto es que toda su obra contiene múltiples hipótesis de naturaleza epistemológica: concepción absoluta del espacio y del tiempo, fuerzas de acción a distancia, fuerzas de inercia, transmisión instantánea de las fuerzas, masa como cantidad de materia, etc., que son insostenibles en una teoría física actual y posiblemente inapropiadas para su enseñanza.

Chevallard (2002) acuñó el término de “transposición didáctica” para destacar el hecho de que un contenido científico no puede ser simplemente transferido a los estudiantes sin pasar por un proceso de transformación y adaptación a las condiciones particulares de enseñanza. La necesidad de responder adecuadamente a los requerimientos pedagógicos, sociales y políticos obliga a una verdadera reconstrucción del contenido que transforme el “saber científico” en “saber para enseñar”, pero para que tenga lugar esta transformación resulta pertinente proceder a un análisis disciplinar que permita emerger los puntos nodales y las estructuras

conceptuales y metodológicas de cada argumento. Se requiere, en síntesis, elaborar una nueva estructura de conocimiento consecuente con la evolución histórica de la ciencia que presente a los estudiantes una visión coherente y actualizada del contenido a enseñar.

En el caso particular de la física, cada contenido tiene unas características epistemológicas propias que dependen de su evolución histórica y del papel que ocupa en el ámbito de la física. Partiendo del supuesto de que la selección y elaboración del contenido es un aspecto fundamental que condiciona el aprendizaje, resulta de gran valor retomar una revisión crítica de la estructura conceptual y epistemológica de algunos conceptos tan fundamentales de la mecánica clásica como: espacio, tiempo, sistema de referencia, inercia, fuerza, fuerza centrípeta y fuerza centrífuga.

Es necesario tener en cuenta como se dijo anteriormente que, un conocimiento científico no puede ser simplemente transferido a los estudiantes, ya que se requiere de un proceso que tenga en cuenta los conocimientos previos que posee el alumno, sus nociones intuitivas; antes de entregar las formulaciones científicas en las aulas. Es en este momento que surge el problema del aprendizaje significativo en los estudiantes, se enseñan conceptos como el de fuerza o fuerza centrífuga como un dato que se limita simplemente a repetir y memorizar. Por lo tanto es necesario tener en cuenta los conocimientos previos de los estudiantes, para que no se conviertan en un obstáculo epistemológico (Bachelard, 2004), que el aprendizaje de los nuevos conocimientos, sea de comprensión, de dar significado, ¿para que le sirve y qué sentido tiene ese nuevo concepto?. El aprendizaje significativo se hace presente en el estudiante cuando, se logra articular de forma armónica y estructural, los nuevos conocimientos con los conocimientos previos.

Según, Ausubel (1978) un alumno construye su propia comprensión de la explicación de un concepto, porque todo intento de dar significado se apoya no sólo en los materiales de aprendizaje sino en los conocimientos previos para dar sentido a esos materiales conceptuales.

Si el alumno no articula su conocimiento previo con su nuevo conocimiento, de forma correcta, se origina en él un “obstáculo epistemológico”, que sin duda no permite un aprendizaje significativo. De hecho, la resistencia de los conocimientos previos a modificarse como consecuencia de un nuevo conocimiento, y la tendencia a asimilar los aprendizajes escolares a las propias intuiciones, es hoy en día objeto de estudio, en busca de un “aprendizaje significativo”.

Dentro del contexto del aprendizaje de la física en los grados de educación media colombiana, se encuentra que está afectado por la falta de explicaciones en los textos que utilizan como guía los docentes; específicamente sobre las hipótesis básicas de la teoría newtoniana y las fuerzas inerciales. Lo anterior contribuye al cultivo de los conocimientos previos mal fundamentados, constituyendo un verdadero obstáculo epistemológico y un escaso aprendizaje significativo en

los estudiantes; se observa sin duda que los resultados académicos de los estudiantes de grado décimo de la IED Carlos Arango Vélez JM, encajan perfectamente dentro de este contexto. Es decir que los estudiantes presentan problemas en la interpretación del concepto fuerza, de sus características, desconocen los fundamentos sobre el manejo operacional de las fuerzas, no se tiene claro que es un sistema de referencia, o de que se trata la fuerza centrífuga, las ideas o los conocimientos que expresan las explicaciones de los estudiantes son incoherentes, con argumentos erróneos, etc.

Por todos los argumentos expuestos, se presenta la realización de este trabajo, cuyo objetivo es el de diseñar y aplicar una guía didáctica de fundamentación, que sirva como instrumento de apoyo y orientación, en la revisión inicial de un concepto tan neurálgico en la estructura de la mecánica: el concepto “fuerza”, aclarar y definir un concepto tan esencial para la física como el sistema de referencia (muy poco enseñado en los currículos de la educación media), conocer y comprender el origen y comportamiento de un concepto no menos importante y necesario que los dos anteriores, el concepto de “fuerza centrífuga”. Con relación a la fuerza centrífuga, es necesario aclarar que es un concepto mal enseñado, posiblemente porque en algunos textos hay errores conceptuales, o porque en los docentes también existen estas inconsistencias cognitivas y conceptuales, y en algunos casos lo más grave para los alumnos, sencillamente no se enseña en las aulas.

Es de señalar que a la “fuerza centrífuga”; por una parte se le da un trato injusto pues en algunas ocasiones se enseña mal, en otras se explica de manera superficial, o simplemente no se enseña; desconociendo que la fuerza centrífuga es un concepto tan integral e importante, ya que incluye la comprensión y el manejo de conceptos tales como: espacio, tiempo, velocidad, aceleración, fuerza, sistemas de referencia, movimiento circular, movimiento circular uniforme, inercia, fuerza centrípeta, etc. Con un sin número de aplicaciones en la vida diaria o científica.

En síntesis dar un manejo correcto a la fuerza centrífuga, implica poseer una buena fundamentación conceptual y operativa de una gran parte de la mecánica clásica y del mundo físico.

En conclusión este trabajo propone la aplicación de la guía didáctica como instrumento de apoyo y ayuda en la fundamentación sobre el concepto “fuerza centrífuga”, paralelo al desarrollo temático de la mecánica rotacional que se realiza en las aulas de la institución.

La estructura de la guía soporta su diseño en dos procesos de aprendizaje: **reducir** el obstáculo epistemológico causado por los conocimientos previos mal fundamentados, y **tratar** de realizar aprendizajes significativos, como es lógico a partir de los conocimientos previos.

2. PROBLEMA

Los estudiantes de educación media, específicamente de grado decimo del colegio IDE Carlos Arango Vélez JM, al iniciar el estudio sobre el origen y aplicación del concepto fuerza, presentan dificultad para reconocer las fuerzas que actúan sobre un cuerpo y su interpretación vectorial en los diagramas de cuerpo libre, y de la comprensión de las fuerzas en sistemas dinámicos en rotación como por ejemplo la fuerza centrífuga, exponen de manera reiterativa una serie de ideas, explicaciones y argumentos basados en sus pre-concepciones y/o pre-teorías que dejan entender claramente, que estas explicaciones y argumentos no poseen un sustento a la luz de las leyes físicas que sea verdadero, o una argumentación coherente y valida; es decir tienen una fundamentación deficiente. De igual manera los pre-conceptos o conocimientos previos en los cuales soportan sus explicaciones no son claros, no son bien fundamentados; por lo tanto el estudiante, no conoce, no define y no entiende correctamente el comportamiento y la utilización específica de una fuerza inercial o “seudofuerza” como lo es la fuerza centrífuga. También en el estudio de los sistemas de rotación, al analizar el origen y comportamiento de las fuerzas, ocurre que los estudiantes no tienen claro en qué condiciones, para que situación(es) y en que momento se debe hacer uso de los conceptos de fuerza centrífuga, fuerza centrípeta y sistema de referencia.

Las limitaciones que presentan los alumnos debido a los pre-conceptos existentes en ellos, para construir un nuevo concepto científico, son sin duda un “obstáculo epistemológico” que se debe tratar de reducir, en la búsqueda de un aprendizaje significativo. Se buscará hacer este cambio mediante la utilización de una guía didáctica de fundamentación en el proceso de enseñanza- aprendizaje con el firme objetivo de lograr un cambio conceptual en el estudiante.

Se entiende por obstáculo epistemológico (BACHELARD 2004) la limitación o impedimento que afecta la capacidad del estudiante para construir un conocimiento real o empírico. El estudiante entonces se confunde por el efecto que ejercen sobre él factores como los conocimientos previos, lo que hace que los conocimientos nuevos no se adquieran de una manera correcta, afectando su aprendizaje.

“Obstáculo Epistemológico” Un conocimiento anterior se convierte en un obstáculo para el aprendizaje de un nuevo concepto.

GASTÓN BACHELARD. (2004)

3. OBJETIVO GENERAL

Construir un guía didáctica sobre la fuerza y fuerza centrífuga, a través del análisis de los resultados obtenidos en los test de: “ conceptos básicos” y el “Force Concept Inventory” sobre los pre-conceptos o conocimientos previos fundamentales de estos temas , que poseen los alumnos de ciclo V grado 10 de la IED CARLOS ARANGO VELEZ , que permita adquirir una correcta fundamentación física sobre estos conceptos, y comprender para que le sirve lo aprendido, tomando en cuenta para la construcción de la guía el proceso de aprendizaje significativo e impedimentos en el proceso de aprendizaje como el obstáculo epistemológico.

4. JUSTIFICACIÓN

Dentro del marco del estudio de la mecánica clásica, que se ofrece a los estudiantes del ciclo v de grado 10, de la educación media; específicamente en el tópico de la dinámica rotacional, se observa que en el proceso de enseñanza - aprendizaje de los temas y conceptos: fuerza, sistema de referencia (SR) y fuerza centrífuga (FC), existen verdaderas dificultades que no permiten alcanzar el dominio conceptual, ni la fundamentación necesaria para el manejo de estos conceptos, tan básicos para la física.

La enseñanza de estos conceptos se ve afectada, esencialmente por:

- Las ideas previas que poseen los estudiantes.

Es necesario tener en cuenta los conocimientos previos que poseen los estudiantes, sus nociones intuitivas; antes de suministrar y compartir con ellos, un nuevo concepto de ciencia. Las ideas previas de los estudiantes presentan generalmente una gran confusión e imprecisión. Se utilizan algunas magnitudes físicas, para expresar el sentido de otras, (Ej. Se expresa el concepto de fuerza, utilizando el concepto de velocidad y viceversa) .En otros casos la única o primera idea que se tiene como fuente de información, es la que se adquiere de manera informal en las relaciones personales, o a través de los medios de comunicación, como sucede con el concepto de fuerza centrífuga. En conclusión se debe tener en cuenta las ideas previas de los alumnos, para que no se conviertan en un verdadero “obstáculo epistemológico”.

- El olvido absoluto o la explicación errónea en la enseñanza de algunos de estos temas, por parte de los docentes.

Se debe mirar con mucho cuidado que algunos docentes, no abordan el estudio de temas tan fundamentales como: SR y FC, ya sea porque de forma explícita no aparecen registrados en los estándares del ministerio de educación nacional, o porque de manera intencional y personal, no se les brinda la importancia necesaria que verdaderamente merecen; para la construcción y formación estructural de pensamiento científico en un estudiante.

Pero por otra parte, y sin ser menos importante; influye significativamente en la formación científica del pensamiento estudiantil, la deficiente formación y fundamentación conceptual del docente que dirige el proceso de enseñanza -

aprendizaje de sus estudiantes; si se entrega de manera errónea, parcial o limitada los conceptos que se enseñan.

➤ Problemas en los textos de física grado décimo.

Algunos textos de física para grado décimo, no presentan los temas de sistemas de referencia y/o fuerza centrífuga, otros textos introducen el concepto de fuerza centrípeta de manera parcial o limitada.

Por último en otros textos se explica el concepto de fuerza centrífuga de forma errónea. Con base a lo expresado anteriormente sobre los textos de física de grado 10 de educación media, a continuación se realiza una observación sobre la forma como se exponen las temáticas de la fuerza centrífuga, en estos textos.

Por las razones y problemáticas expuestas anteriormente, se presenta la realización de este trabajo; cuyo objetivo es el de diseñar y aplicar una guía de fundamentación, que pueda servir como instrumento de apoyo y ayuda didáctica en el desarrollo de estos temas, pero que también sirva para explicar como una estrategia de razonamiento conceptual y operacional. En ese mismo orden de ideas el desarrollo de la guía debe contribuir en la construcción de una correcta elaboración de las concepciones epistemológicas de los conceptos en consideración.

Es por lo tanto importante comprender que la construcción y desarrollo de esta guía, está encaminada a posibilitar, la construcción y el correcto entendimiento de estos conceptos, busca reducir el obstáculo epistemológico de los conocimientos previos y contribuir en llegar a elaborar un aprendizaje significativo de los conceptos de fuerza, sistema de referencia y fuerza centrífuga.

4.1 LA ENSEÑANZA DE LA FUERZA CENTRÍFUGA EN LOS LIBROS DE TEXTO DE SECUNDARIA.

Sin duda alguna los textos escolares constituyen una ayuda didáctica, de enorme valor dentro del proceso de enseñanza - aprendizaje y sirven como punto de apoyo para el desarrollo de las actividades académicas.

Son los textos quienes aportan una enorme ayuda al maestro, en aspectos tales como: Lecturas de contexto introductorias a un concepto, fenómeno o proceso, ejemplos de temáticas, ejercicios de apoyo y desafío, actividades complementarias a los temas estudiados, etc. Por esta razón es de gran importancia, que se revise algunos textos utilizados por los docentes en su actividad académica, para identificar como se presenta específicamente el concepto de " Fuerza Centrífuga". Los textos observados son los siguientes:

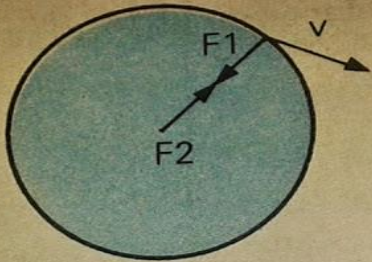
LIBRO	COMENTARIO	TABLA N°1 IMAGEN DE TEXTO
<p>FÍSICA PARA QUINTO AÑO DE EDUCACIÓN MEDIA.</p> <p>Primera Edición.</p> <p>OVIDIO OCHOA. R.</p> <p>Editorial Bedout.</p> <p>Año 1982</p>	<p>En este texto se define la fuerza centrífuga, como la fuerza de reacción a la fuerza centrípeta ejercida sobre un cuerpo. Lo anterior no es verdadero; puesto que la fuerza centrífuga no se debe a la interacción entre cuerpos.</p> <p>La fuerza centrípeta si tiene una fuerza de reacción pero no se llama centrífuga.</p>	<p>14-4a Fuerza Centrífuga</p> <p>La Ley de Newton de la acción y la reacción nos dice que para cada fuerza sobre un cuerpo, existe una fuerza igual y opuesta actuando sobre algún otro cuerpo. Por consiguiente, si una fuerza centrípeta es ejercida sobre un cuerpo para mantenerlo en una trayectoria circular, debe existir algún otro cuerpo que experimente una fuerza igual y opuesta. Esta segunda fuerza (actuando sobre un segundo cuerpo y no sobre el cuerpo que se mueve sobre la circunferencia) es denominada fuerza centrífuga.</p>  <p>Fig. 14-c</p> <p>La fuerza centrípeta (F_1) actúa sobre el cuerpo y tira de él hacia el centro de la circunferencia. La fuerza centrífuga (F_2) igual pero opuesta actúa sobre la mano de la persona que mantiene la cuerda en el centro de la circunferencia y tira de ella hacia afuera.</p>

TABLA N° 2 IMAGEN DE TEXTO

FÍSICA
DÉCIMO
GRADO DE
EDUCACIÓN
MEDIA
VOCACIONA

HERIBERTO
CASTAÑEDA

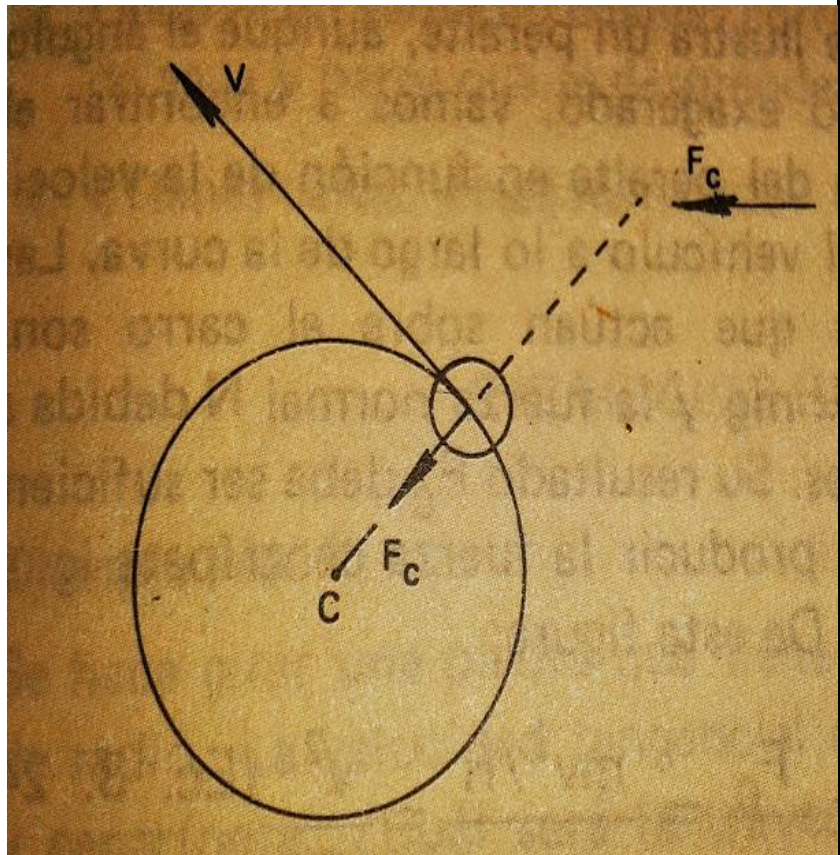
Susaeta
Ediciones.

Año 1983.

En este libro se presenta un error muy común que es asegurar que la esfera ejerce una fuerza hacia afuera sobre la cuerda. Si eso fuera así, si la cuerda que sostiene la esfera se rompe, la esfera saldría disparada radialmente hacia afuera, y eso no sucede, porque al romperse la cuerda, la esfera se mueve en una trayectoria recta, tangente al círculo, debido a que no hay fuerzas sobre la esfera.

Fuerza centrípeta y Reacción centrífuga

Debido a la inercia que tiene, la esfera ejerce al girar una fuerza hacia afuera sobre la cuerda. Esta fuerza puede percibirse al estar sosteniendo la cuerda y se llama **fuerza centrífuga**. (Recuérdese que un **fugitivo** se aleja, ayudando así a recordar que la fuerza **centrífuga** es una fuerza que se aleja del centro). La fuerza centrípeta y centrífuga son fuerzas de la tercera ley de Newton, por lo que siempre son **iguales** en magnitud y dirección y de sentidos **opuestos**. Por consiguiente, la magnitud de la fuerza centrífuga puede calcularse con las mismas ecuaciones anteriores. Las fuerzas centrípeta y centrífuga no son fuerzas equilibradas porque se aplican a diferentes cuerpos. En el caso de la esfera giratoria, la fuerza centrífuga actúa en la cuerda y la centrípeta en la esfera.



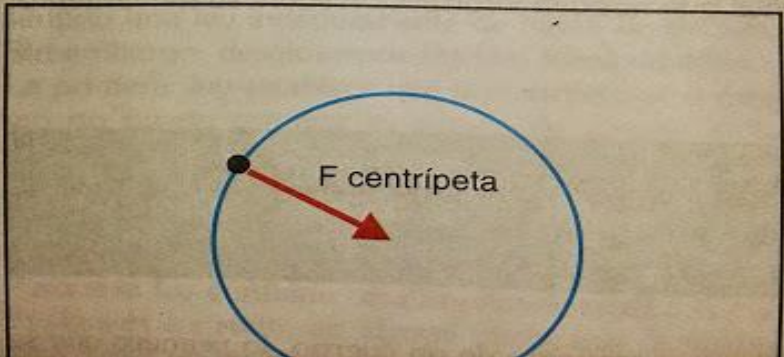
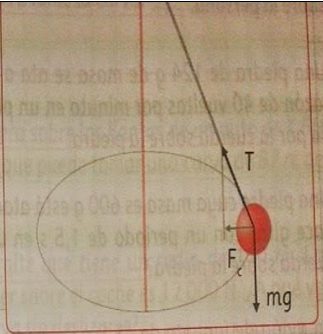
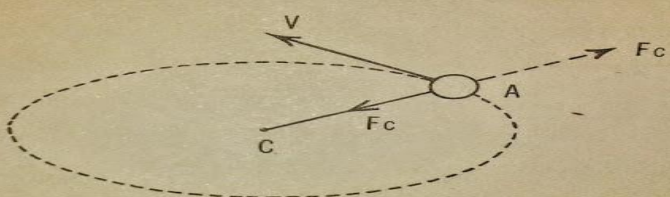
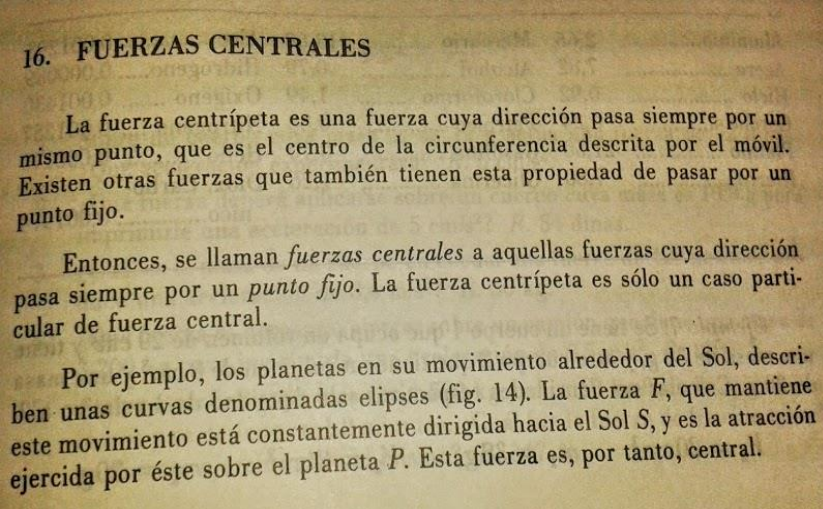
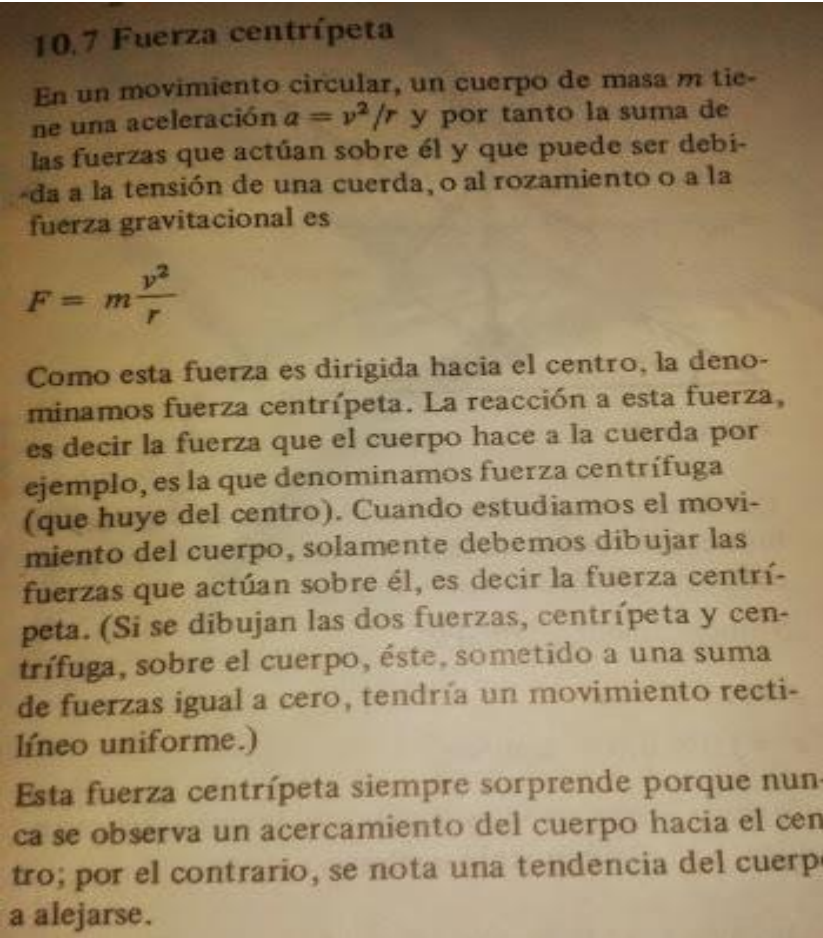
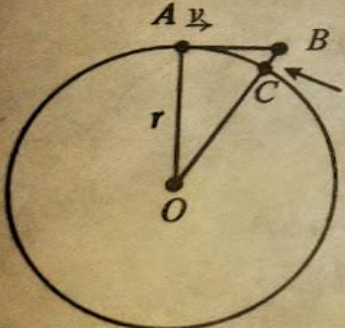
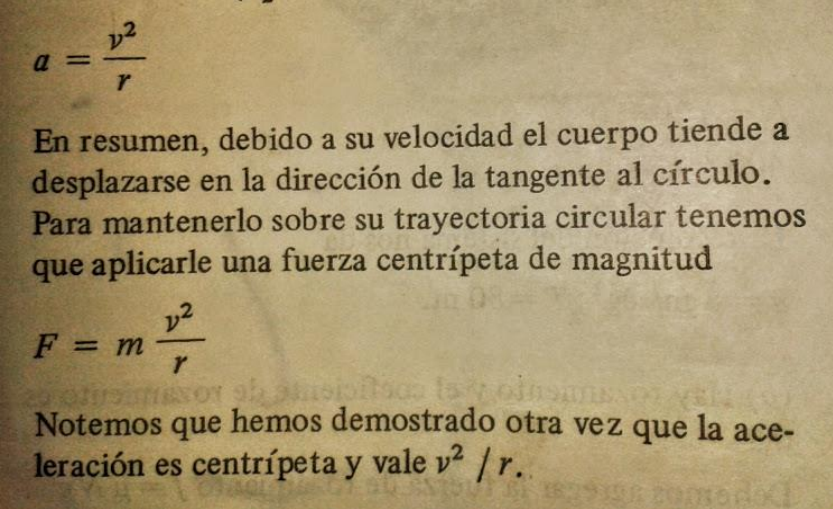
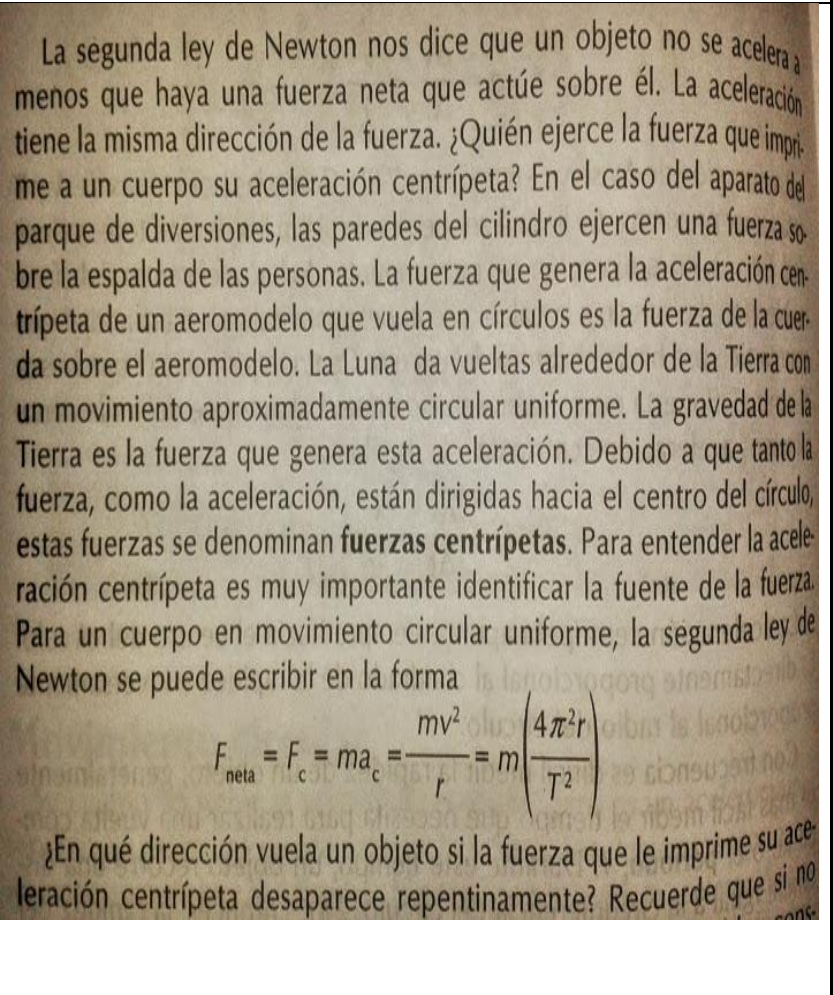
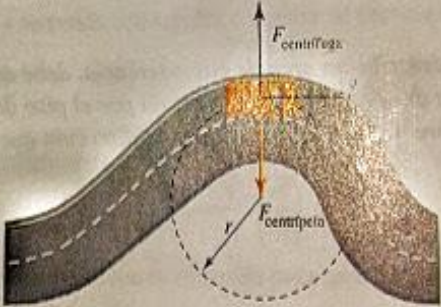
LIBRO	COMENTARIO	TABLA N° 3 TEXTO DE IMAGEN
<p>FÍSICA 10</p> <p>EDUARDO ZALAMEDA</p> <p>Editorial Educar Editores.</p> <p>Año 2009</p>	<p>En este texto no se aborda el tema de la fuerza centrífuga, simplemente se define la magnitud de la fuerza centrípeta y el sentido y dirección que debe tomar la fuerza centrípeta.</p>	<p>En la unidad anterior se estudió la cinemática del movimiento circular uniforme y se estableció que en este movimiento la aceleración es de valor constante y dirigida hacia el centro de la circunferencia que describe.</p> <p>Por tanto, la fuerza neta que actúa sobre un cuerpo que describe un movimiento circular uniforme debe ser de valor constante y dirigida hacia el centro de la circunferencia descrita.</p> <p>Esta fuerza se llama <i>centrípeta</i> y de acuerdo con la segunda ley de Newton es igual a:</p> $F_c = ma_c = mv^2/R \quad (6-7)$ <p>La Luna en su movimiento de traslación alrededor de la Tierra describe prácticamente un movimiento</p> 
LIBRO	COMENTARIO	IMAGEN DE TEXTO
<p>OLIMPIADAS FÍSICA 10.</p> <p>Año 2010</p> <p>Editorial Voluntad</p>	<p>En este texto se atribuye la fuerza centrífuga a la acción de un cuerpo sobre otro, lo cual constituye un error, ya que la fuerza centrífuga no se debe a la interacción entre los cuerpos.</p>	<p>La fuerza de reacción a la fuerza centrípeta se llama fuerza centrífuga, y es ejercida por el cuerpo que gira con M.C.U. sobre el agente que produce dicho movimiento.</p> <p>En el péndulo cónico de la figura, las fuerzas que actúan sobre la partícula son el peso y la tensión, y la suma de estas dos fuerzas es la centrípeta, que no es una nueva fuerza sino la suma de las dos actuantes.</p>

TABLA N° 4 IMAGEN DE TEXTO		
<p>OLIMPIADAS FÍSICA 10.</p> <p>Año 2010</p> <p>Editorial Voluntad</p>		<p>M.C.U. sobre el agente que produce dicho movimiento.</p> <p>En el péndulo cónico de la figura, las fuerzas que actúan sobre la partícula son el peso y la tensión, y la suma de estas dos fuerzas es la centrípeta, que no es una nueva fuerza sino la suma de las dos actuantes.</p>  <p>La fuerza centrípeta y la fuerza centrífuga obran sobre diferentes cuerpos. De manera que en muchos casos la fuerza centrífuga no es tenida en cuenta porque no altera el estado de movimiento del cuerpo que la ejerce.</p>
LIBRO	COMENTARIO	IMAGEN DE TEXTO
<p>INTRODUCCIÓN A LA FÍSICA.</p> <p>MARCELO ALONSO.</p> <p>Editorial Cultural</p> <p>Año 1983.</p>	<p>En este texto se define de forma correcta, que la fuerza que actúa sobre una piedra que gira atada por una cuerda, es la fuerza centrípeta, debida a la tensión de la cuerda sobre esta, y que la cuerda se estira hasta que la fuerza elástica es igual a la fuerza centrípeta en magnitud. Debemos observar que la cuerda se estira no porque la piedra tienda a escaparse radialmente, sino tangencialmente.</p>	<p>15. EJEMPLOS DE FUERZA CENTRÍPETA</p> <p>Pueden citarse numerosas experiencias relacionadas con la fuerza centrípeta. Por ejemplo, cuando viajamos en un vehículo y éste describe una trayectoria curva nos sentimos impulsados hacia un costado del vehículo debido a nuestra tendencia a seguir con movimiento rectilíneo uniforme tangencialmente a la curva descrita por el vehículo. Para seguir a éste en su movimiento debemos sujetarnos de algún objeto interior para producir la fuerza centrípeta necesaria.</p> <p>Supongamos una piedra <i>A</i> (fig. 12) amarrada al extremo de un hilo elástico <i>CA</i> que se mantiene sujeto por el extremo <i>C</i>. Si se le imprime un movimiento circular observaremos que el hilo se estira hasta que su fuerza elástica es exactamente igual a la fuerza centrípeta requerida para mantener el movimiento circular. Si se aumenta la velocidad angular el hilo se estira aun más hasta que su fuerza elástica corresponda a la fuerza centrípeta requerida por la nueva velocidad. Debemos observar que el hilo se estira no porque la piedra tienda a escaparse radialmente sino porque tiende a escaparse a lo largo de la tangente.</p> <p>De lo dicho se desprende que la piedra, como consecuencia de su tendencia a seguir <i>tangencialmente</i> ejerce sobre el hilo una fuerza $-F_c$ en dirección <i>radial</i> hacia afuera, que llamaremos <i>fuerza centrífuga</i>; de acuerdo con el principio de la acción y la reacción la fuerza centrífuga es la reacción que corres-</p>  <p>Fig. 12.</p>

LIBRO	COMENTARIO	TABLA N° 5 IMAGEN DE TEXTO
<p>INTRODUCCIÓN A LA FÍSICA.</p> <p>MARCELO ALONSO.</p> <p>Editorial Cultural</p> <p>Año 1983.</p>	<p>En este caso el texto nos aclara que la fuerza centrípeta es un caso particular de las fuerzas centrales. Que una fuerza central es aquella cuya dirección siempre pasa por un punto fijo.</p>	 <p>16. FUERZAS CENTRALES</p> <p>La fuerza centrípeta es una fuerza cuya dirección pasa siempre por un mismo punto, que es el centro de la circunferencia descrita por el móvil. Existen otras fuerzas que también tienen esta propiedad de pasar por un punto fijo.</p> <p>Entonces, se llaman <i>fuerzas centrales</i> a aquellas fuerzas cuya dirección pasa siempre por un <i>punto fijo</i>. La fuerza centrípeta es sólo un caso particular de fuerza central.</p> <p>Por ejemplo, los planetas en su movimiento alrededor del Sol, describen unas curvas denominadas elipses (fig. 14). La fuerza F, que mantiene este movimiento está constantemente dirigida hacia el Sol S, y es la atracción ejercida por éste sobre el planeta P. Esta fuerza es, por tanto, central.</p>
LIBRO	COMENTARIO	IMAGEN DE TEXTO
<p>FÍSICA. GRADO 10.</p> <p>Decima Edición.</p> <p>VALERO MICHEL.</p> <p>Editorial Norma.</p> <p>Año: 2004</p>	<p>En este caso se define la fuerza centrípeta, como la que apunta hacia el centro de la curva, y nuevamente se define la fuerza centrífuga como la fuerza que el cuerpo le hace a la cuerda; sin embargo en este libro se aclara que cuando se dibujan las fuerzas sobre el cuerpo que gira, solamente se debe dibujar la fuerza centrípeta. Ya que si se dibujan las dos fuerzas sobre el</p>	 <p>10.7 Fuerza centrípeta</p> <p>En un movimiento circular, un cuerpo de masa m tiene una aceleración $a = v^2/r$ y por tanto la suma de las fuerzas que actúan sobre él y que puede ser debida a la tensión de una cuerda, o al rozamiento o a la fuerza gravitacional es</p> $F = m \frac{v^2}{r}$ <p>Como esta fuerza es dirigida hacia el centro, la denominamos fuerza centrípeta. La reacción a esta fuerza, es decir la fuerza que el cuerpo hace a la cuerda por ejemplo, es la que denominamos fuerza centrífuga (que huye del centro). Cuando estudiamos el movimiento del cuerpo, solamente debemos dibujar las fuerzas que actúan sobre él, es decir la fuerza centrípeta. (Si se dibujan las dos fuerzas, centrípeta y centrífuga, sobre el cuerpo, éste, sometido a una suma de fuerzas igual a cero, tendría un movimiento rectilíneo uniforme.)</p> <p>Esta fuerza centrípeta siempre sorprende porque nunca se observa un acercamiento del cuerpo hacia el centro; por el contrario, se nota una tendencia del cuerpo a alejarse.</p>

LIBRO	COMENTARIO	TABLA N° 6 IMAGEN DE TEXTO
<p>FÍSICA. GRADO 10.</p> <p>Decima Edición.</p> <p>VALERO MICHEL.</p> <p>Editorial Norma.</p> <p>Año: 2004</p>	<p>Cuerpo que gira, éste, estaría sometido a dos fuerzas de igual magnitud y sentido contrario, y por lo tanto tendría un movimiento rectilíneo uniforme.</p>	<p>Analizaremos este hecho.</p> <p><i>Primer ejemplo</i></p> <p>Sea un cuerpo de masa m unido a una cuerda que gira con rapidez constante v. En un momento dado, el cuerpo está en A y su velocidad es \vec{v} (figura 10.10).</p> 
<p>FÍSICA. GRADO 10.</p> <p>Decima Edición.</p> <p>VALERO MICHEL.</p> <p>Editorial Norma.</p> <p>Año: 2004</p>	<p>Este texto también aclara que la fuerza centrípeta sorprende porque nunca se observa un acercamiento del cuerpo hacia el centro; por el contrario, se observa una tendencia del cuerpo a alejarse.</p>	<p>Si no estuviera sometido a ninguna fuerza el cuerpo continuaría en línea recta con la velocidad v según la primera ley de Newton. Un momento más tarde (t pequeño) el cuerpo estaría en B de modo que</p> $AB = vt$ <p>en vez de estar en C sobre el círculo. Para traerlo de B a C se necesitaría una fuerza centrípeta F, proporcionada por la cuerda, y que podemos suponer constante y que según $F = ma$ nos dará una aceleración constante a. El movimiento de B hacia C será por lo tanto uniformemente acelerado y tendremos:</p> $s = BC = \frac{1}{2} at^2$ <p>Pero en el triángulo ABO, por Pitágoras, tenemos:</p> $BO^2 = AB^2 + AO^2$ $(r + s)^2 = (vt)^2 + r^2$ $r^2 + 2rs + s^2 = v^2 t^2 + r^2$ <p>Como s es muy pequeño, podemos despreciar s^2 y tenemos</p> $2rs = v^2 t^2$ <p>y como $s = \frac{1}{2} at^2$ se deduce $2r \left(\frac{1}{2} at^2 \right) = v^2 t^2$</p>

LIBRO	COMENTARIO	TABLA N° 7 IMAGEN DE TEXTO
<p>FÍSICA. GRADO 10.</p> <p>Decima Edición.</p> <p>VALERO MICHEL.</p> <p>Editorial Norma.</p> <p>Año: 2004</p>		 <p>$a = \frac{v^2}{r}$</p> <p>En resumen, debido a su velocidad el cuerpo tiende a desplazarse en la dirección de la tangente al círculo. Para mantenerlo sobre su trayectoria circular tenemos que aplicarle una fuerza centrípeta de magnitud</p> <p>$F = m \frac{v^2}{r}$</p> <p>Notemos que hemos demostrado otra vez que la aceleración es centrípeta y vale v^2 / r.</p>
LIBRO	COMENTARIO	IMAGEN DE TEXTO
<p>FISICA GRADO 1</p> <p>Segunda Edición</p> <p>Paul Zitzewitz</p> <p>Editorial Mc Graw Hill.</p> <p>Año 1999</p>	<p>En este texto no se hace ningún tipo de referencia a la fuerza centrífuga. Se hace mención de la fuerza centrípeta, a partir de la segunda Ley de Newton, destacando que un cuerpo se acelera debido a que haya una fuerza neta externa actuando sobre él. Que la aceleración tiene la misma dirección de la fuerza.</p>	 <p>La segunda ley de Newton nos dice que un objeto no se acelera a menos que haya una fuerza neta que actúe sobre él. La aceleración tiene la misma dirección de la fuerza. ¿Quién ejerce la fuerza que imprime a un cuerpo su aceleración centrípeta? En el caso del aparato del parque de diversiones, las paredes del cilindro ejercen una fuerza sobre la espalda de las personas. La fuerza que genera la aceleración centrípeta de un aeromodelo que vuela en círculos es la fuerza de la cuerda sobre el aeromodelo. La Luna da vueltas alrededor de la Tierra con un movimiento aproximadamente circular uniforme. La gravedad de la Tierra es la fuerza que genera esta aceleración. Debido a que tanto la fuerza, como la aceleración, están dirigidas hacia el centro del círculo, estas fuerzas se denominan fuerzas centrípetas. Para entender la aceleración centrípeta es muy importante identificar la fuente de la fuerza. Para un cuerpo en movimiento circular uniforme, la segunda ley de Newton se puede escribir en la forma</p> $F_{\text{neta}} = F_c = ma_c = \frac{mv^2}{r} = m \left(\frac{4\pi^2 r}{T^2} \right)$ <p>¿En qué dirección vuela un objeto si la fuerza que le imprime su aceleración centrípeta desaparece repentinamente? Recuerde que si no</p>

LIBRO	COMENTARIO	TABLA N° 8 IMAGEN DE TEXTO
<p>Nueva Física 10</p> <p>Tercera Edición</p> <p>Bautista Mauricio</p> <p>Editorial Santillana</p> <p>Año 2008</p>	<p>En este texto se define de forma correcta la fuerza centrífuga como una apreciación de la inercia dentro de un sistema que gira o rota. Se dice que la fuerza centrífuga es de igual magnitud y dirección a la fuerza centrípeta, pero de sentido opuesto. Aunque tienen igual magnitud y dirección, una fuerza no es reacción de la otra, ya que la fuerza centrífuga sólo existe en sistemas de referencia no inercial.</p>	<p>1.5 Fuerza centrífuga</p> <p>En algunos contextos se afirma que sobre un cuerpo que describe un movimiento circular actúa una fuerza centrífuga. Para determinar los casos en los cuales es adecuado utilizar el término, consideremos la siguiente situación: cuando viajamos en un vehículo y este toma una curva hacia la derecha, podemos sentir que estamos siendo empujados hacia la izquierda. Lo contrario ocurre si el vehículo gira hacia la izquierda, ya que nos inclinamos hacia la derecha. Este efecto es denominado fuerza centrífuga, designada así porque tiende a empujar los cuerpos hacia fuera de la curva tomada.</p> <p>Pero, en realidad no se trata de una fuerza, sino de una de las apreciaciones de la ley de la inercia, ya que al girar el vehículo, sobre él actúa la fuerza centrípeta, pero nosotros que nos encontramos en el interior del vehículo no estamos bajo los efectos de ella, y en coherencia con la ley de la inercia, continuamos moviéndonos en línea recta, sin tomar la curva, siendo esto realmente lo que percibimos como fuerza centrífuga. De esta manera, podemos considerar que la fuerza centrífuga es de igual intensidad y dirección que la fuerza centrípeta, pero de sentido opuesto, como se representa en la siguiente figura.</p>  <p>Aunque la fuerza centrífuga es de igual intensidad y dirección que la fuerza centrípeta, una no es reacción de la otra, ya que la fuerza centrífuga sólo existe en sistemas de referencia no inerciales y es considerada como una fuerza ficticia, es decir, que aparenta ser real, pero no existe al ser analizada en un sistema de referencia inercial.</p>

En textos como el de Física Décimo Grado de Educación Media Vocacional (Castañeda, 1983), se afirma que la fuerza centrífuga es la que hace un cuerpo, hacia afuera sobre una cuerda, cuando gira atado a esta, lo cual es un error; porque si la cuerda que sostiene el cuerpo se rompe, el cuerpo saldría disparado radialmente hacia afuera, y esto no sucede, lo que se observa es que sale disparado tangencialmente al punto de la trayectoria donde la cuerda se rompe.

En los textos: Física para Quinto Año de Educación Media (Ovidio, 1982), Olimpiadas Física 10 y Introducción a la Física (Alonso, 1983), se define la fuerza centrífuga, como la fuerza de reacción a la fuerza centrípeta ejercida sobre un cuerpo. Lo anterior no es verdadero; puesto

que la fuerza centrífuga no se debe a la interacción entre cuerpos de un sistema. En el libro de Física Grado 10 (Valero, 2004), aunque se asume igualmente que la fuerza centrífuga es la reacción a la fuerza centrípeta, se aclara que cuando se dibujan las fuerzas sobre el cuerpo que gira, solamente se debe dibujar la fuerza centrípeta, ya que si se dibujan las dos fuerzas sobre el cuerpo que gira, éste estaría sometido a dos fuerzas de igual magnitud y en sentido contrario, y por tanto tendría un movimiento rectilíneo uniforme.

En conclusión se encuentra que algunos textos definen de forma errónea, que las fuerzas centrípeta y centrífuga son una pareja de acción y reacción. Aunque la fuerza centrífuga es de igual intensidad que la fuerza centrípeta, una no es reacción de la otra, ya que la fuerza centrífuga sólo existe en sistemas de referencia no inerciales y es considerada como una fuerza ficticia, es decir, que aparenta ser real, pero no existe al ser analizada en un sistema de referencia inercial, porque no se sabe que cuerpo es el que la produce.

Con base en lo anteriormente expuesto, es posible darse cuenta que en su mayoría los autores de estos textos de educación media, no explican, los *Sistemas de referencia* necesarios para definir la clase de fuerza que produce el movimiento de un cuerpo que describe una trayectoria curva (circular); lo cual resulta ser absolutamente indispensable para poder entender con plena certeza, en que momento y bajo qué condiciones se debe hablar de una fuerza centrípeta y/o una fuerza centrífuga, actuando sobre un cuerpo que gira.

Por otra parte, algunos autores no se atreven a definir o abordar la explicación de lo que es una fuerza centrífuga y bajo qué condiciones se utiliza su aplicación, sino que simplemente explican el origen y comportamiento de la fuerza centrípeta, sin llegar a tomar nuevamente en cuenta, desde que *Sistema de referencia* se define esta fuerza.

5. CONSTRUCCIÓN HISTORICA DE LOS CONCEPTOS DE FUERZA, FUERZA CENTRÍPETA Y FUERZA CENTRÍFUGA.

5.1 ASPECTO HISTÓRICO Y EPISTEMOLÓGICO DEL CONCEPTO FUERZA

No es posible realizar un estudio de los conceptos de fuerza centrípeta y fuerza centrífuga, sin que anteriormente no se tenga claro el concepto de fuerza, su proceso de construcción a lo largo de la historia de la ciencia y las grandes dificultades enfrentadas por los científicos del momento para establecer los fundamentos teórico-epistemológicos en la construcción del mismo.

Es necesario indicar que de acuerdo a investigaciones realizadas (McCloskey 1983, Nersessian 1989) , se han encontrado paralelos entre las pre-concepciones intuitivas de los estudiantes en ciencias físicas y las concepciones históricas científicas; que señalan que se pueden tener procesos de aprendizaje verdaderamente significativos, cuando se destaca el proceso histórico que se ha tenido en la formación epistemológica de un concepto. Por ejemplo Stinner (1994) en su documento historia de la fuerza desde Aristóteles hasta Einstein sostiene que una exposición basada en el desarrollo histórico conceptual de la mecánica newtoniana, es superior a la exposición centrada en el texto convencional, porque la exposición histórica contextualiza muestra la lucha intelectual envuelta en el pensamiento científico, lo que le permite al estudiante elaborar un mejor conocimiento y relacionarlo con sus experiencias.

Un objetivo fundamental para el docente de física, debe ser; el no descuidar en la formación de sus estudiantes, el desarrollo histórico y la construcción epistemológica de un concepto tan importante como el de **fuerza**; sugiriendo analogías apropiadas en el análisis de casos, que permitan entender la evolución histórica del concepto y el avance estructural y epistemológico del mismo. Para ello es necesario poseer un conocimiento de la historia y de la evolución de este concepto, teniendo en cuenta algunos de los principales representantes científicos que a lo largo del proceso histórico, de alguna forma han aportado en la construcción y desarrollo del concepto fuerza; que está tan ligado al concepto de movimiento; es por eso que se hace necesario conocer el aporte de algunos de ellos, por ejemplo partiendo desde Aristóteles hasta llegar a Einstein.

ARISTÓTELES: Para este filósofo, la base del conocimiento está en el mundo físico que nos rodea, y en la experiencia que se tenga sobre él.

Aristóteles decía que para conocer el mundo se necesita mucho más que ideas y números, “pues no hay nada en el entendimiento que antes no haya pasado por los sentidos”

Para Aristóteles, el universo es eterno, no creado y no se permite pensar en un creador absoluto del universo. La causa última llamada “final” es la que es principio de todo el

movimiento en el universo, es el motor y causa de todo movimiento, y que no es un dios absoluto.

La explicación del movimiento en la filosofía Aristotélica, no son parte de las leyes universales que dan cuenta de la realidad en todo el universo, sino que las leyes que rigen el movimiento son distintas dependiendo del lugar del universo que se esté considerando. En la concepción Aristotélica del cosmos, la tierra está inmóvil en el centro del universo y los cuerpos celestes giran alrededor de ella en orbitas circulares perfectas. El universo como tal es eterno y está dividido en una región superior y una inferior cuyo límite es la órbita lunar. La región supralunar es donde todo es constante, incorruptible y todo está compuesto de una sustancia divina el "éter". La región sublunar o región terrestre, se caracteriza por tener cambios de todo tipo y está compuesta por cuatro elementos primarios: tierra, agua, fuego y aire.

Aristóteles señala que si se entiende el comportamiento de los cuatro elementos básicos y el éter como elementos constitutivos de los cuerpos celestes se puede entender su concepción física del movimiento. En la región sublunar la física del movimiento se puede entender como: el movimiento allí es en línea recta, es decir, hacia el centro del universo o alejándose de éste, donde cada uno de los cuatro elementos tiene su propio movimiento natural (el fuego y el aire al ser elementos ligeros, tienen la tendencia a alejarse del centro, la tierra y el agua por ser elementos pesados, tienden hacia el centro). Los movimientos descritos anteriormente son de manera natural, pero el filósofo también indica que pueden ser movimientos violentos o forzados que por una causa exterior van en contra de su tendencia natural. Aristóteles explicaba que no hay movimientos espontáneos, sino que todo movimiento debe tener una causa, esto es, todo lo que se mueve debe ser movido por algo, todo móvil requiere de un motor, y en el caso del movimiento forzado tal motor es una fuerza externa que obliga a que el objeto rompa con su tendencia natural. El objeto se moverá mientras este en contacto con ese motor y se detendrá cuando pierda contacto con esta fuerza y retorne a su estado natural dentro del universo. Aristóteles explicaba que cuando un hombre lanza una piedra al aire, la piedra no se detiene al separarse de la mano del hombre, porque la mano ha activado o movido el aire y éste a su vez hace de motor y mantiene a la roca en movimiento.

Para Aristóteles, no existe el vacío donde puedan moverse los cuerpos y aparte de la fuerza impulsora, debe existir un medio en donde ocurre el movimiento del cuerpo, pero también debe existir una fuerza de resistencia que se opone al movimiento según sea el caso. A partir de la física aristotélica se puede concluir que la rapidez de un movimiento está determinada por la relación entre la fuerza impulsora y la fuerza de resistencia.

En la visión del mundo físico aristotélico se presentan algunas situaciones especiales como: Si consideramos dos cuerpos en caída libre, el tiempo que demorarán en recorrer la misma distancia será inversamente proporcional a su peso, es decir, mientras más pesado el cuerpo,

más rápido descenderá. Además, si dos cuerpos del mismo peso se mueven por medios con diferente densidad, el tiempo para recorrer cierta distancia será proporcional a la densidad del medio. Por último, si una fuerza dada mueve un objeto por cierta distancia en un cierto tiempo, la misma fuerza moverá a un cuerpo con la mitad del peso, el doble de la distancia en ese mismo tiempo.

En la región supralunar, Aristóteles decía: el movimiento de los cuerpos celestes presenta un comportamiento diferente del descrito en la tierra, los cuerpos de éste sector, están compuestos de éter, una sustancia de características divinas cuyo movimiento natural es circular y constante, y refleja su perfección. (Recordemos que para Aristóteles el círculo era la figura geométrica más bella y perfecta)

Según este filósofo, todo movimiento debe tener una causa o un motor que lo produzca. Si se piensa de esta forma; por lo tanto todo lo que se mueve, se mueve a la vez y que, de nuevo, todo lo que se mueve debe ser movido por algo y así sucesivamente, produciría un movimiento infinito y perpetuo, y recordemos que lo infinito para Aristóteles era impensable. En ese orden de ideas, debe existir un motor que mueva pero él mismo sea inmóvil y por lo tanto no necesite un motor adicional para explicar su movimiento. A tal motor o causa última la llamó "motor inmóvil".

Una mirada más cerrada a la física de Aristóteles revela que él fue un gran observador de la naturaleza, no solo como naturalista si no como físico. Demos un vistazo a su entendimiento sobre el concepto de fuerza, movimiento y su relación entre sí. La ciencia de los griegos en general, es esencialmente de un alto grado de pensamiento basado en la observación sin ayuda, que parece especialmente muy adecuado para el debate previo a la resolución de problemas.

Aristóteles observó el movimiento local, ya sea como movimiento natural o como movimiento violento. El movimiento natural fue visto por él como un movimiento celestial (El cual es uniformemente circular y perpetuo) o como un movimiento terrestre (El cual es rectilíneo, arriba y abajo y finito). Todos los otros movimientos fueron clasificados como violentos. (Figura N°1)

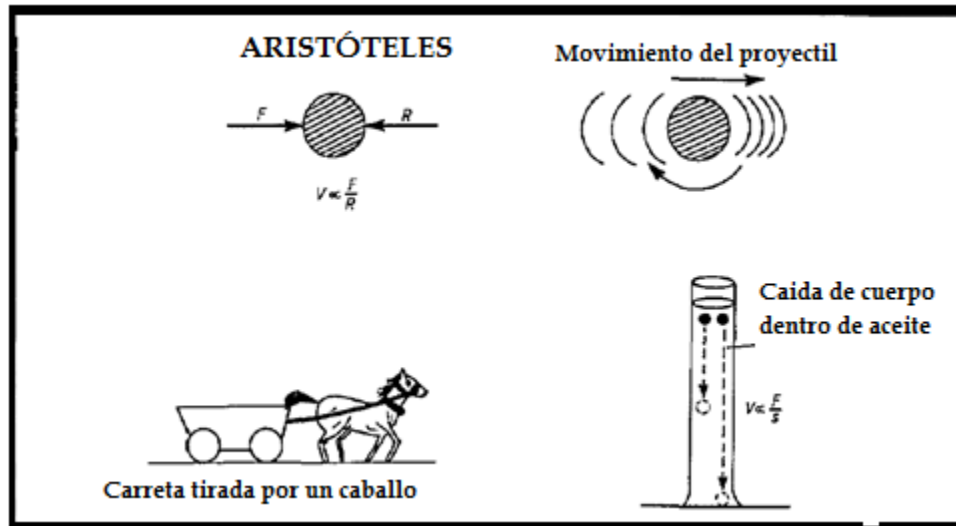


FIGURA: 1ALGUNOS EJEMPLOS DE MOVIMIENTO OBSERVADOS POR ARISTÓTELES. En la gráfica se observa cuatro ejemplos donde actúa una fuerza que produce el movimiento, y una fuerza que se opone al movimiento, en cada caso. Los cuatro son ejemplos de movimiento violento. . Aunque para Aristóteles el movimiento de caída libre era natural. Imagen tomada del documento The story of force, Stinner, A. (1994)

Aristóteles, observó la naturaleza y reportó lo que vio. Él observa que los objetos alcanzan el reposo cuando la fuerza ya no actúa sobre ellos.

Así un carruaje se detendrá cuando los caballos que tiran de él se detienen.

Por otra parte, si los objetos caen, ellos se mueven a través de un medio, tal como el aire o el agua, ya que para Aristóteles el movimiento en el vacío fue considerado como imposible. En resumen Aristóteles vio un mundo en el cual siempre había una resistencia ofrecida al movimiento, esta era la realidad del movimiento para él.

Podemos observar el papel de la fuerza para un objeto moviéndose, a través de un medio en el transcurrir del tiempo de la siguiente manera: La velocidad que experimenta el objeto es directamente proporcional a la fuerza e inversamente proporcional a la resistencia del medio, donde: \vec{v} es la velocidad del movimiento, \vec{F} es la fuerza que genera el movimiento y la fuerza de resistencia es \vec{R} . El signo \propto indica que si la magnitud física velocidad \vec{v} aumenta, la magnitud física fuerza \vec{F} ; también lo hace en la misma proporción. De igual manera indica que si la velocidad \vec{v} aumenta, la magnitud física fuerza resistente \vec{R} , disminuye en la misma proporción. Y se expresa: $\vec{v} \propto \vec{F} / \vec{R}$

Aristóteles argumentó que en la caída libre una fuerza dada (peso) produce una cierta velocidad constante. Esto implica que otro cuerpo del mismo tamaño pero dos veces el peso, produciría dos veces la velocidad. Todos los movimientos que se observan a nuestro alrededor, pueden ser entonces entendidos como un equilibrio entre las fuerzas que mantienen el movimiento y las que se oponen a él o lo resisten.

Stephen Toulmin (1961) dice que la física de Aristóteles permite entender la ley de Stokes como una versión contemporánea rústica de Aristóteles. Son relaciones cualitativas que conectan en crudo medidas de distancia y tiempo.

La Ley de Stokes relaciona la velocidad de un cuerpo moviéndose a través de un medio con viscosidad dada. Conforme a esta ley la rapidez del cuerpo será directamente proporcional a la fuerza que lo mueve e inversamente proporcional a la viscosidad del líquido. : $\vec{v} \propto \vec{F}/\vec{R}$. La ley de Stokes explica que los objetos esféricos, moviéndose dentro de un fluido viscoso experimentan una fuerza de fricción que se opone a su movimiento. Un cuerpo esférico que desciende libremente, a través de un fluido viscoso, cumple la ley de Stokes; ya que se ve sometido a dos fuerzas de sentido contrario, la gravitatoria y la de arrastre. En el momento que ambas se igualan su aceleración es nula y la esfera desciende con una velocidad constante.

La ley de Stokes es el principio utilizado en los viscosímetros de bola en caída libre, en los cuales el fluido está estacionario en un tubo vertical de vidrio y una esfera, de tamaño y densidad conocida desciende a través del líquido. Si la bola ha sido seleccionada correctamente alcanzará la velocidad terminal, la cual puede ser medida por el tiempo que gasta entre dos marcas del tubo. Conociendo las densidades de la esfera, el líquido y la velocidad de caída se puede calcular la viscosidad del fluido a partir de la fórmula de la ley de Stokes. Para mejorar la precisión del experimento se utilizan varias bolas. Esta ley puede ser fácilmente comprobada, usando un cilindro largo que contiene diferentes líquidos, tales como agua y aceite, y luego se mide el tiempo de descenso de las esferas para diferentes densidades del líquido y radios de la esfera.

El movimiento realizado por un proyectil, es un movimiento presentado por Aristóteles como realmente difícil.

El movimiento natural como el de la caída libre no requiere ninguna explicación.

El movimiento forzado como el movimiento de un carruaje que es tirado por un caballo puede ser explicado. ¿Pero que fuerza mantiene el proyectil en movimiento después de perder contacto con el proyectil?. Pensó que el medio de alguna manera proporcionaba la fuerza necesaria para empujar el proyectil.

El paradójico “estado” de las cosas está conectado con Aristóteles creyendo que el medio no solamente sostiene el movimiento sino que también lo resiste.

El movimiento en el vacío, para Aristóteles era imposible porque no hay ningún medio que haga la fuerza para sostener el movimiento, y la ausencia de la resistencia al objeto, tarde o temprano haría que se moviera con velocidad infinita, lo que es claramente inaceptable.

LA EDAD MEDIA

Las ideas de fuerza y movimiento primero fueron desafiadas por Jhon Philoponus (cinco siglos AD), él rechazó la ley aristotélica: $\vec{v} = \vec{F}/\vec{R}$ y la sustituyó por $\vec{v} = \vec{F} - \vec{R}$ (Figura N° 2). Claramente esto quiso decir que el movimiento en el vacío, donde la resistencia es cero es imposible. Por otra parte argumentaba que no era del aire quien proporcionaba el poder negativo de propulsión al proyectil, porque la fuerza impresa eventualmente se extingue.

Para Jhon Buridán (en francés Jean Buridán 1300 - 1358), desarrollo la teoría del ímpetu mucho más que Aristóteles (Buridán sostenía que el ímpetu inicial era suficiente y que una vez suministrado, continuaba indefinidamente). Para Buridán, Aristóteles piensa que la fuerza impresa en un proyectil está permanentemente perdiendo actividad por la resistencia y por otras fuerzas. Él definió su fuerza impresa como proporcional a la cantidad de materia y la velocidad.

Jhon aclara: Sin embargo debemos ser cuidadosos, y no igualar ímpetu con nuestro concepto de cantidad de movimiento. No es claro si él entendió el ímpetu como un efecto del movimiento (como podríamos considerar el impulso) o como una causa del movimiento, lo cual lo haría similar a la fuerza.

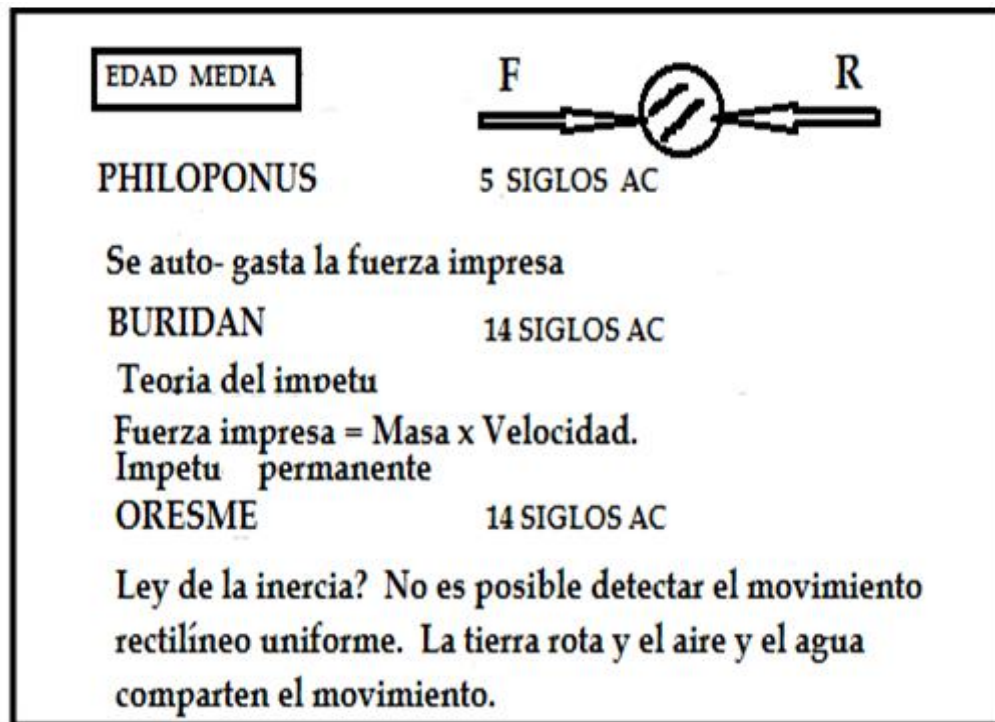


FIGURA: 2 ALGUNAS CONCEPCIONES DEL IMPETU EN LA EDAD MEDIA. Para PHILOPONUS, el movimiento en el vacío no existe porque no hay fuerza que se oponga al movimiento, Para BURIDAN, la fuerza que produce el movimiento es proporcional a la materia y velocidad del cuerpo. Para ORESME, no era posible detectar el movimiento rectilíneo uniforme. Imagen tomada del documento The story of force, Stinner, A. (1994)

Buridán sin embargo no hizo una definición de inercia o del principio de conservación de la cantidad de movimiento. Sin embargo una versión pre-Galileana de inercia fue archivada por Oresme, quien fue uno de sus estudiantes. Esencialmente él argumentó que no es posible detectar un movimiento rectilíneo uniforme. Él también piensa que la tierra rota y está de acuerdo que el aire y el agua compartían este movimiento de rotación. El principio de la conservación de movimiento lineal no fue claramente definido, hasta Descartes.

GALILEO GALILEI: Aunque muchos en esta época no lo consideren así, Galileo como ningún otro, con sus elegantes e ingeniosos experimentos y sus novedosas, especiales y dedicadas observaciones en diferentes campos de la física, (Mecánica, óptica, acústica, etc.) se le identifica como uno de los precursores del nacimiento de la ciencia moderna. El más grande de su época con su talento, ingenio y creatividad. Con frecuencia la obra de Galileo se ha considerado como la expresión de un rompimiento entre el mundo Aristotélico y el mundo moderno.

El estudio de los debates sobre el movimiento durante la edad media, el estudio sobre sus aportes e investigaciones, sobre sus principales influencias intelectuales, cuestionamientos y preguntas sobre el papel de los experimentos galileanos, su relación con la iglesia y la religión, son elementos de investigación histórica que hacen de Galileo una figura compleja y fascinante.

Con respecto a sus observaciones quienes lo estudian, señalan que los experimentos con péndulos y planos inclinados, a pesar de las dificultades técnicas, fueron el método empírico que permitiría a Galileo formular sus leyes del movimiento o al menos tener elementos decisivos para definir y evaluar sobre sus prácticas. Esta concepción de Galileo está en la obra de Ernst Mach (1902)

Si se piensa, alrededor de los predecesores de Galileo en el análisis matemático del movimiento, se puede decir que en el texto: "Aristotelismo, teología y física" en las concepciones medievales del movimiento, los siglos XII a XIV fueron testigos de una tradición enmarcada en la filosofía aristotélica y dogmas cristianos, bajo los cuales ocurrieron cambios significativos en el estudio del movimiento. Estudiosos del Merton College de Oxford y de la Universidad de París, habían empezado a transformar la noción de movimiento Aristotélico nuevos conceptos como "resistencia interna e "ímpetu" introducidos por ellos podrían entenderse como antecesores de la idea moderna de inercia. Un aporte significativo que se puede mencionar es la "Ley de Merton" o "Teorema de la velocidad media".

Las similitudes con la cinemática moderna son grandes, las relaciones establecidas entre conceptos como velocidad y aceleración, tiempos y desplazamientos nos son muy familiares a los estudiados en la física hoy en día. Igualmente interesante resulta la demostración del teorema que hizo Oresme, debido al uso de herramientas cercanas a la representación en un

sistema de coordenadas cartesiano y a la similitud conceptual con demostraciones basadas en el cálculo integral.

Para quienes sostienen que Galileo fue un continuador de las tradiciones medievales, las ilustraciones parecen indicar que éste adoptó el teorema de la velocidad media y reprodujo su demostración, aparte de una simple rotación de la figura medieval.

Para Drake en la explicación por parte de Galileo sobre este teorema, introduce el concepto de velocidad media. La siguiente es una definición dada por Galileo en su obra: "Dos nuevas Ciencias", el tiempo en el cual es recorrido un cierto espacio por un objeto móvil en movimiento uniformemente acelerado partiendo del reposo, es igual al tiempo en el cual sería recorrido el mismo espacio por el mismo objeto en movimiento uniforme con un grado de velocidad igual a la mitad de la velocidad máxima y última del movimiento uniformemente acelerado previo.

Galileo y el problema del movimiento. Inicialmente se puede decir que la tarea de encontrar relaciones directas entre los conceptos de Galileo y la manera en que éstos se usan en física en la actualidad no está libre de problemas. La vigencia de algunas ideas aristotélicas durante los siglos XVI y XVII es evidente incluso en textos tempranos de Galileo y, por ejemplo, en un pasaje de su libro "Sobre el movimiento" afirma: "Todos los días observamos con nuestros sentidos que el lugar de los objetos pesados está cerca del centro del universo y el lugar de los livianos lejos de éste. De manera que no tenemos razón para dudar que estos lugares han sido determinados para dichos objetos por naturaleza"

En general el periodo que pasó de joven en Pisa se caracterizó por frecuentes coincidencias con algunos aspectos básicos del aristotelismo, como la noción de la finitud de universo, la idea de un centro definido para éste y la existencia de movimientos naturales rectilíneos ascendentes o descendentes para los objetos sublunares.

En otros aspectos, Galileo difería del sistema aristotélico y, por ejemplo para él no existía la cualidad de liviano sino diferentes grados de lo pesado. De esta manera, el fuego no se movería hacia arriba por tener las características de ser liviano, sino porque el aire a través del cual se mueve es más pesado, en este caso el peso parece tener más un sentido de densidad. Galileo propone que la velocidad a la cual se mueve un cuerpo a través de un medio es proporcional a la diferencia entre la densidad del cuerpo y la del medio. Esta conclusión implicaría por una parte que cuerpos de densidad diferente caerían a velocidades distintas, pero cuerpos de la misma densidad caerían a la misma velocidad, sin importar el peso. Por otra parte, tendría como consecuencia que en ausencia de resistencia, cada cuerpo tendría una velocidad característica de caída o ascenso definida por su densidad. Esto lleva a algunos autores a dudar de la importancia de los relatos sobre los objetos lanzados desde la torre de Pisa que presuntamente habrían caído al tiempo, contradiciendo a la filosofía de Aristóteles; la

afirmación acerca de una misma velocidad de caída para cualquier objeto en el vacío llegaría muchos años después de su estancia en Pisa y aparecería por primera en su obra “Dos nuevas ciencias”.

Para explicar la aceleración observable de un objeto en caída libre, Galileo adoptó una cantidad conocida como ímpetu que, como se sabe, ya aparecían en las explicaciones medievales para ciertas formas de movimiento que encontraban dificultades dentro del marco teórico de la filosofía aristotélica. El ímpetu se entendía como una fuerza impartida por el motor (una mano o un arco, por ejemplo) al proyectil (una piedra, una flecha, etc.) y explicaba por qué era posible que el objeto lanzado se moviera incluso después de perder contacto con aquello que lo hubiera puesto en movimiento. Más específicamente, incluyó dentro de su explicación la idea de un ímpetu impreso en el momento de ser puesto en movimiento el objeto, pero con la propiedad de consumirse por cuenta propia. Si se une esta propuesta con la que se refiere a la existencia de una velocidad natural de caída, se obtiene que Galileo en su obra temprana sostuviera que la aceleración era una imposición violenta y pasajera, tras la corrupción del ímpetu, el objeto debía continuar su caída con una velocidad constante definida por su composición. Si la observación de casos reales parecía indicar que los objetos cambian constantemente su velocidad al caer, Galileo diría que la razón era que las distancias involucradas al lanzar un objeto eran siempre demasiado cortas para que se extinguiera completamente el ímpetu. Pero sostenía que debido a que los objetos menos pesados pueden recibir una menor cantidad de ímpetu, era más factible ver en éstos la proximidad de la velocidad natural de caída. Aunque sea por razones muy distintas, incluso en la actualidad parecería posible aceptar esta propuesta, comparando por ejemplo la caída de una piedra y la de una hoja.

Es especialmente importante resaltar que una diferencia grande con el concepto moderno de inercia consiste en que el ímpetu, como fuerza impresa, representaba una fuerza externa sin la cual no parecía posible un movimiento continuo. Además puede reconocerse que en este período Galileo no consideraba aún que la caída libre, se trataba de un movimiento sometido a una aceleración uniforme.

Las conclusiones fundamentales para este tiempo, más conocidas en el tema del movimiento las desarrollo Galileo durante sus años en Padua y que las plasmó en su libro “Dos nuevas Ciencias”, son: La primera dice que la distancia que recorre un cuerpo en caída libre es proporcional al cuadrado del tiempo de caída y, la segunda, que todos los cuerpos caen a la misma velocidad en el vacío, sin importar en absoluto su composición ni sus propiedades físicas. Asimismo, definiría el movimiento uniformemente acelerado como un movimiento que partiendo del reposo adquiere incrementos de velocidad iguales en tiempos iguales. Un cambio importante surgió en este periodo y derivado aparentemente de experimentos con

péndulos y en planos inclinados, consistió en el hecho de relacionar la caída libre con un proceso sometido a una aceleración uniforme.

NEWTON Y LA IDEA DE FUERZA CENTRAL

La lucha de Newton por establecer la idea de fuerza como un concepto unificador, no es algo que se cuente en los textos de física. El relato típico de la dinámica de Newton, sortea el reto del problema de dar una discusión histórica sobre cómo fueron formuladas sus leyes del movimiento (Especialmente su segunda ley).

Esto se alcanza mediante la presentación de ellas como si fueran evidentes y llegaran como un soplo a la mente de un gran hombre, poco después de que la manzana cayó en su cabeza.

Las primeras luchas de Newton para liberarse de la idea de ímpetu (La idea del movimiento sin ayuda, es soportada por una fuerza motriz interna) se discute en detalle por Steinberg y Al (1990) en su escrito: *Genius is not immune to persistent misconceptions: conceptual difficulties impeding Isaac Newton and contemporary physics students*. Ellos argumentan que el joven Newton, al igual que los estudiantes de hoy, cree (Hestenes D. Wells D, 1992) en la noción de ímpetu. Además los estudiantes de hoy, al igual que el joven Newton creyeron en lo que Steinberg llamó "transferencia" la idea de que un cuerpo puede dar algo de su fuerza a otro durante el impacto.

Sin embargo, eventualmente Newton transforma la noción del ímpetu dentro del concepto de masa inercial. Su nueva concepción de "fuerza impresa" como acción solamente señala la completa separación de fuerza y movimiento. Newton ahora tiene el concepto de masa inercial y por eso le es posible pensar en el movimiento sin fuerza.

Habiendo llegado a una definición clara de fuerza Newton primero colocó su atención al problema de la caída libre. Él busca transformar las ecuaciones cinemáticas de Galileo en dinámicas.

Fue aquí, según Westfall, que utiliza por primera vez una versión de su segunda ley, definida como: la aceleración de un cuerpo dado es proporcional a la fuerza impresa en él, Westfall (1971 pág. 357). La caída libre proporciona un sentido en el cual la noción de fuerza debía entenderse como el principio causal del movimiento. La idea de fuerza sin embargo ha tenido que ser reconsiderada con la forma en que fue utilizada en otros dos sentidos: "La fuerza como una medida del movimiento y la fuerza como una medida del cambio de movimiento".

Newton tenía disponibles tres distintos conjuntos de observaciones que podrían estar conectados a tres distintos significados de la idea de fuerza ((Figura N° 3)

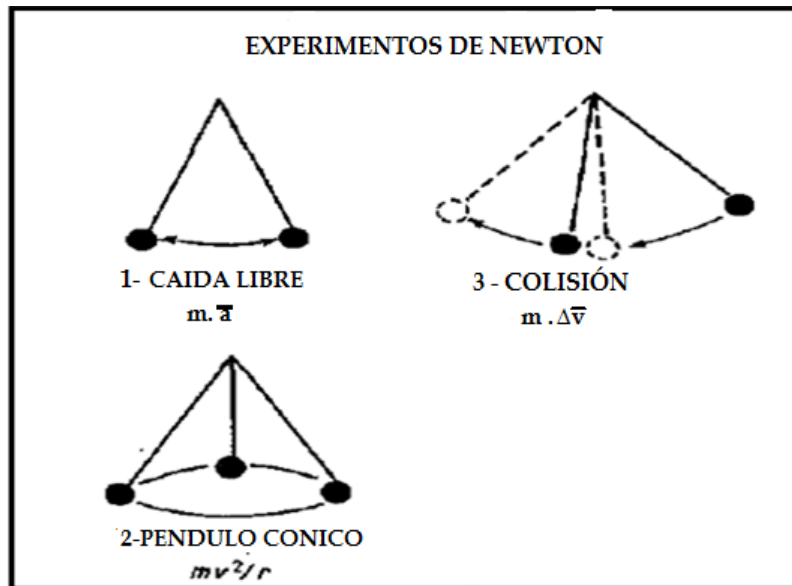


FIGURA: 3 TRES OBSERVACIONES Y TRES SIGNIFICADOS DE NEWTON SOBRE FUERZA. En la primera idea Newton, observa la caída libre e indica que la fuerza debe entenderse como; el principio causal del movimiento. La segunda idea se relaciona con el movimiento del péndulo y finalmente su tercera idea se basó en la colisión de péndulos de madera. Figura tomada del documento The story of force de IOPSCIENCE

Un primer conjunto fue relacionado a la caída libre, como lo demuestra con experimentos con el péndulo. Otro conjunto de observaciones estuvo relacionado con el movimiento del péndulo cónico. Finalmente un tercer conjunto de observaciones estuvo basado en la colisión con bolas de madera usadas como péndulos. La fuerza ha sido definida para cada uno de estos casos. En el primer caso se trata con una caída libre restringida, en el segundo caso con la fuerza asociada con el cambio de dirección de la masa (Lo que todavía comúnmente, pero de forma equivocada, se refiere como " fuerza centrífuga"), y en el tercero se encuentra la idea de cómo relacionar la fuerza de impacto.

Newton por lo tanto ha encontrado una dinámica consistente para describir esta clase de observaciones.

En primer lugar el movimiento acelerado en línea recta; en segundo lugar la aceleración relacionada con un cuerpo moviéndose con una rapidez constante, pero cambiando de dirección; finalmente, el movimiento involucrado durante una colisión. El primero fue asociado con la cantidad $m\vec{a}$, el segundo con la cantidad $m\frac{\vec{v}^2}{r}$ y el tercero con la cantidad $m \cdot \Delta \vec{v}$.

LA IDEA DE FUERZA DE NEWTON Y LOS FÍSICOS CONTINENTALES

(Los físicos continentales, se entienden como aquellos físicos seguidores de Leibniz que no eran británicos, y que lo apoyaron en su controversia contra Newton por algunos temas de la dinámica y del cálculo de fluxiones.)

Es de destacar que los físicos continentales, sobre todo Leibniz y Huygens durante el transcurso de la vida de Newton, y más tarde Lagrange, no siguen a Newton en el intento de establecer una dinámica coherente basada en un concepto unificador de la fuerza. En lugar de eso, ellos enfatizan en el papel que juega las leyes de conservación de las colisiones. Leibniz reemplaza el “momentun” de Newton por el de “Energía Cinética” y la “Fuerza” de Newton por el “Trabajo de la Fuerza”. Más tarde el “Trabajo de la Fuerza” fue reemplazado por una cantidad todavía más básica, llamada la “Función de Trabajo”. Leibniz se convirtió en el creador de la “Mecánica Analítica” que basó todo el estudio del equilibrio y movimiento en las cantidades escalares de Energía Cinética y Energía potencial. El mismo Newton, sin embargo, se encontraba fuera de la controversia continental sobre si $m\vec{v}$ o $m\vec{v}^2$ fue la mejor medida de la cantidad de movimiento.

Se podría argumentar que es cierto, que pudo haber sido fortuito que Newton siguiera una línea particular de razonamiento. Su concepción se presta fácilmente a consideraciones de la gravitación como una situación de aceleración natural. De hecho, la identificación fundamental de su física es la idea de forzado y acelerado, donde acelerado es entendido como una masa que cambia su velocidad de alguna manera. La asimilación continental de forzado dentro del movimiento significa que no se podría dar una clara cuenta de la gravedad.

MACH Y EL MOVIMIENTO ABSOLUTO

Ernest Mach criticó el argumento de Newton para el movimiento absoluto. Inicia argumentando que la experiencia mecánica nunca puede enseñarnos nada sobre el espacio absoluto. Podemos solamente medir movimientos relativos y por tanto solamente ellos son físicamente reales. El concluye por lo tanto que la idea de Newton de espacio absoluto debe ser ilusoria. De hecho, todo argumento de Newton parece depender de si admitimos o no que las estrellas (Hoy diríamos todo el universo) están rotando alrededor de la tierra, (tierra sin aplanamiento y sin que ocurra en el ecuador ninguna disminución de la gravedad). Born (1965, pág. 84).

Mach argumentaba que la masa no está dotada con la propiedad intrínseca llamada inercia. Más bien él pensó que la inercia es la característica del efecto de toda la masa en el universo, entendido como un sistema cerrado.

Específicamente, Mach muestra que primero podría igualmente derivar las ecuaciones de Newton desde el punto de vista relativista galileano. Sachs (1974, pág. 101- 103). Este argumento se da en forma simplificada en la figura N° 4.

Mach también especuló sobre lo local y lo global de las interacciones materiales que podrían ser responsables de los efectos inerciales.

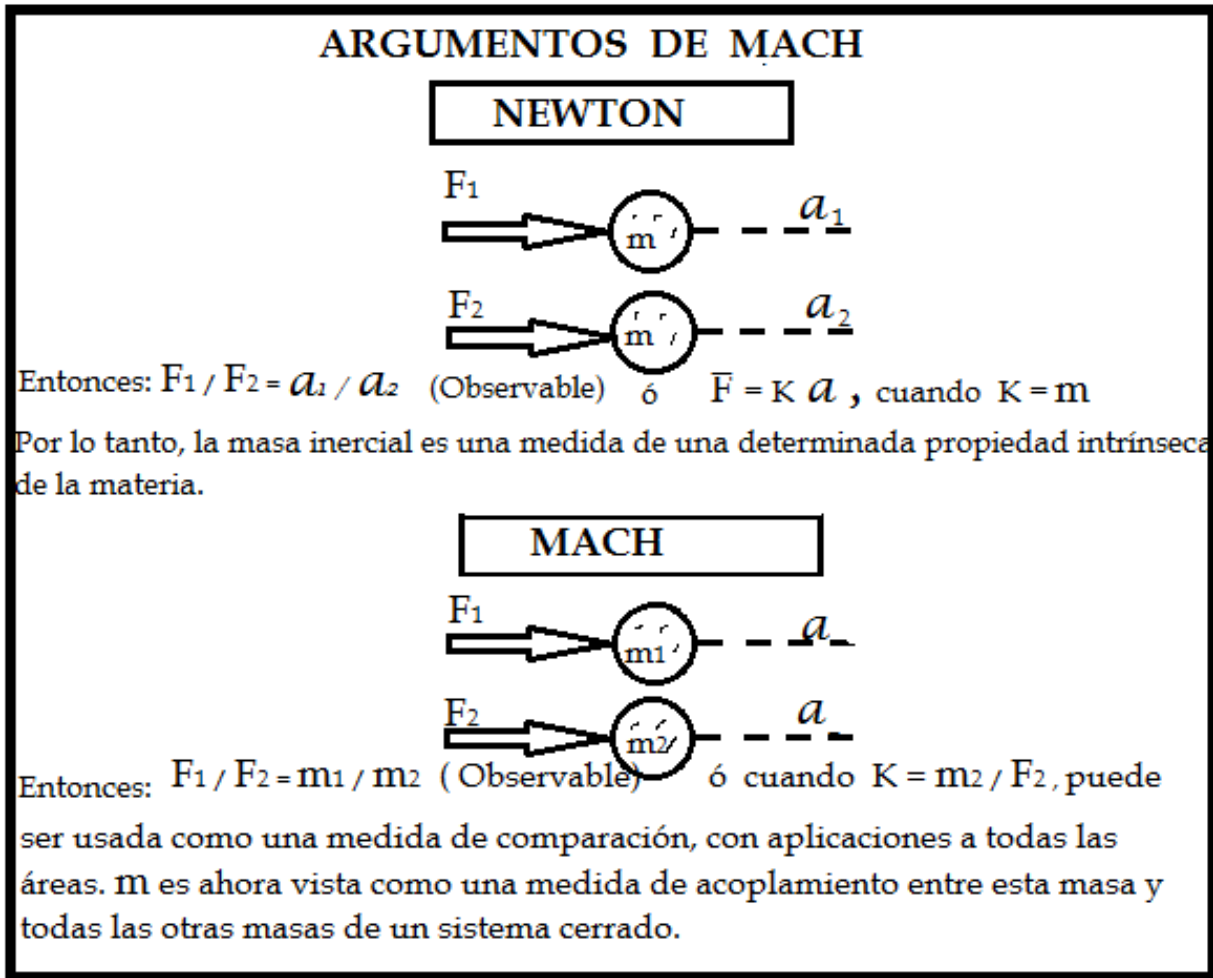


FIGURA: 4 MACH, MUESTRA LA IDEA DE NEWTON Y LA PROPIA SOBRE LA FORMA DE ENTENDER EL CONCEPTO DE MASA. . Para Newton la masa tenía una propiedad intrínseca llamada inercia, mientras que para Mach la masa no posee inercia, para él la inercia es la característica del efecto de toda la masa en el universo, entendido como un sistema cerrado. Imagen tomada del documento The story of force, Stinner, A. (1994)

EINSTEIN DESTIERRA LA IDEA DE FUERZA

Einstein baso su teoría general de la relatividad (TGR) en dos postulados:

- 1- El principio de la relatividad (Las leyes de la naturaleza deben ser dadas en términos de variables de campo continuo).
- 2- El principio de Mach (La descripción fundamental de cualquier sistema físico real debe ser cerrado) Sachs (1974, pág. 108).

Einstein comenzó sus estudios de seguimiento de su teoría especial de la relatividad (TER) con la pregunta: ¿Por qué el principio de la relatividad se aplicará únicamente a marcos de referencia que se mueven con velocidad constante y con velocidad relativa respecto a otros?, si hay una ley de la naturaleza que implica que un sistema A debe estar acelerado con relación a un sistema B, porque por alguna causa física se crea este efecto, entonces sería una expresión de la ley, idéntica, llegando a la conclusión de que B esta acelerado con relación al sistema A, nuevamente predicho por una correspondiente relación causa- efecto, pero desde el nuevo marco de referencia B*, en lugar que desde A* (Sachs 1974, pág. 108)

El movimiento no uniforme (movimiento con velocidad variable) es, por supuesto, la única clase de movimiento que actualmente puede ser experimentado por la materia, cuando la materia interactúa con otras materias. Esto es así porque la materia interactúa debido a una fuerza (por definición) causando una transferencia mutua de energía y de momentum. Pero la fuerza es la causa del movimiento no uniforme. Por lo tanto, Einstein razonó, la TER debe ser un caso límite de la teoría de la relatividad Sachs (1974, pág. 108).

Una formulación completamente nueva de la ley de la inercia, llegó a Einstein en un pensamiento celebre que experimento, "El pensamiento más feliz de mi vida", como él recordó más tarde (Holton 1979). Aquí hay una versión modificada de su experimento mental.

Se puede imaginar un observador en un ascensor gigante en lo profundo del espacio que está atado a un cable que hala el ascensor con una fuerza que lo acelera a 1 gravedad (alrededor = 10m/s^2) (Figura N° 5). Similarmente se puede imaginar un ascensor idéntico que se cierne sobre la superficie de la tierra. Se puede ahora argumentar que el observador en el ascensor acelerado y el observador en el ascensor-tierra, no se encontraría, por parte de los físicos un experimento para diferenciar entre los dos casos. Incluso un rayo láser se doblaría la misma cantidad en cada caso (si esto pudiera ser medido)

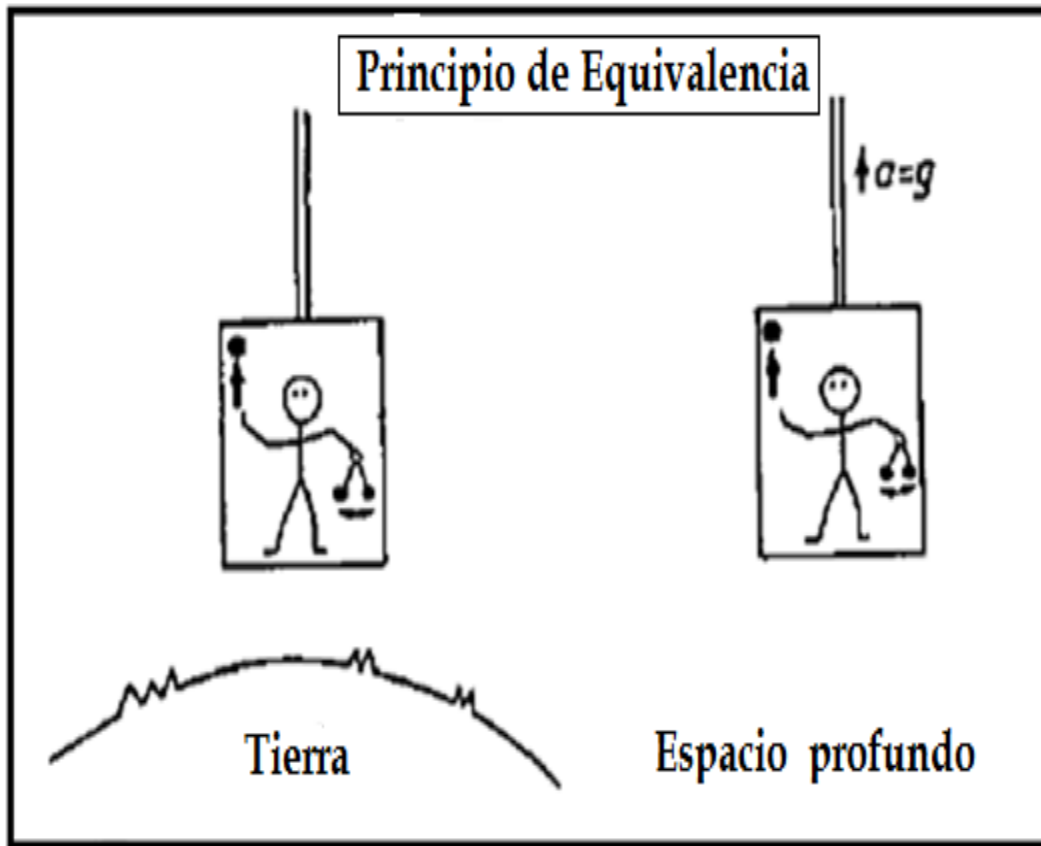


FIGURA: 5 EL PRINCIPIO DE EQUIVALENCIA, PARA DOS OBSERVADORES EN DOS ASCENSORES. Aquí se muestra a un observador dentro de un ascensor que está acelerado con un valor igual al de la gravedad, y otro observador en un ascensor dentro del campo de gravedad de la tierra, se puede argumentar que ambos observadores experimentan características idénticas de movimiento, sin que se pueda diferenciar físicamente un caso de otro. Imagen tomada del documento *The story of force*, Stinner, A. (1994)

Einstein por lo tanto concluye que los efectos de la gravitación y aquellos debidos a la aceleración no pueden ser distinguidos. La mecánica newtoniana distingue entre el movimiento inercial de un cuerpo (sujeto a ninguna fuerza) y el movimiento de un cuerpo sujeto a la acción de la gravedad. El primero es rectilíneo y uniforme en un sistema inercial; el último ocurre en trayectorias curvilíneas y es no uniforme (Born 1965, pág. 315). El principio de equivalencia, (el principio de equivalencia; en su forma inicial, también llamado principio de equivalencia débil, fue enunciado por Galileo Galilei en su libro "Diálogos sobre las dos nuevas ciencias, en el cual Galileo narra que después de realizar varios experimentos con diferentes tipos de materiales, llega a la conclusión de que en un medio sin resistencia todos los cuerpos caen con la misma aceleración. Posteriormente Einstein realiza, una nueva formulación al incorporar la Relatividad Especial al principio de equivalencia de Galileo, que expresado de manera simple, indica: "Las propiedades de un sistema de referencia no inercial son, las mismas que un sistema inercial cuando existe un cierto campo gravitatorio) sin embargo, no permite esta distinción. El mandato de Einstein ahora era declarar la ley del movimiento inercial en el sentido generalizado. La solución de este problema hace desaparecer ambos, la idea de espacio absoluto y de fuerza, y nos da la teoría de la gravitación.

En la teoría de Newton el símbolo de fuerza $\vec{F} = m\vec{a}$, se refiere a la causa de la aceleración del cuerpo. Fuerza, entonces, es un agente externo que actúa sobre la materia con una masa inercial m , haciendo que se acelere a un valor de \vec{a} , en la TGR, sin embargo, no hay fuerzas externas. En efecto Einstein fue capaz de derivar las ecuaciones de Newton $\vec{F} = m\vec{a}$ desde consideraciones puramente geométricas.

El vio la posibilidad de que todas las fuerzas “externas” puedan ser solo aparentes que el “efecto” de otra materia puede ser representado por una generalización de la geometría del espacio-tiempo que describe los movimientos.

5.2 CONSTRUCCIÓN HISTORICA Y EPISTEMOLÓGICA DEL CONCEPTO FUERZA CENTRÍPETA Y FUERZA CENTRÍFUGA

Se debe tener en claro que los conceptos de fuerza centrífuga y fuerza centrípeta no se definieron y mucho menos se construyeron como dos fenómenos o conceptos aislados e independientes el uno del otro sino que por el contrario su proceso de construcción epistemológica a través de la historia, los muestra con una profunda relación para explicar el movimiento de rotación de un cuerpo desde distintos marcos de referencia.

Contrariamente a la importancia pedagógica que se le confiere, el concepto de “fuerza (y aceleración) centrípeta” ha jugado históricamente un papel crucial en el establecimiento de lo que se ha venido a llamar Mecánica Clásica. Newton se apoyó en él para diseñar una estrategia encaminada a descubrir la ley de variación, con la distancia al sol, de la fuerza (central) que retenía a los planetas en sus órbitas. Pero antes la humanidad hubo de vencer grandes dificultades intelectuales.

Ello da una idea de su dificultad intrínseca. Siguiendo un paralelismo entre el proceso de aprendizaje y el proceso histórico de construcción de las Teorías científicas (Piaget 1970) las etapas recorridas hasta la adquisición de una formulación fértil del concepto de fuerza, suministran un esquema de los posibles obstáculos o errores conceptuales que hay que superar, (usando la terminología de Bachelard (1948)) para que se produzca una verdadera asimilación del concepto fuerza.

DEL MOVIMIENTO CIRCULAR DE LAS ESTRELLAS A LA LEY DE LA INERCIA.

Para los filósofos griegos, el movimiento circular era el más natural y perfecto de los posibles. En una primera interpretación de los movimientos celestes, las estrellas estaban contenidas en una esfera móvil en cuyo centro se encontraba la Tierra, esférica a su vez. Puesto que en este modelo (Kuhn 1978), la esfera de las estrellas daba una vuelta en torno a un eje polar cada 23 h 56 m, cada estrella, en este mismo tiempo, debía describir una circunferencia. El sentido de giro de la supuesta esfera debía ser dextrógiro (el de las agujas del reloj) contemplada la esfera desde el polo norte de la misma. Tal idea es compatible con la observación de que la mayoría de las estrellas, incluso el sol, la luna y los planetas salen por el Este describiendo un arco de circunferencia por encima del horizonte hacia el Oeste. Sin embargo el sol, la luna y los planetas no aparecen sobre las mismas constelaciones estelares durante todo el año sino que varían su posición respecto de las constelaciones siguiendo ciclos regulares. Razón por la cual no podían estar contenidos en la misma esfera que las estrellas. Cada uno giraba a su vez, con velocidades diferentes. Durante la civilización griega se postularon distintos modelos astronómicos de entre los cuales destacan los debidos a Aristarco, Aristóteles y Ptolomeo. Aristóteles (s. IV a. de C.), según Farrington (1969), postuló 55 esferas, para explicar los movimientos de la luna, el sol y los planetas. Aristarco de Samos (s. 111 a. de C.) postuló un

Sistema precursor del de Copérnico, heliocéntrico y con la Tierra en rotación sobre su eje además del de traslación circular alrededor del Sol. Por último, Claudio Ptolomeo confeccionó un modelo geocéntrico con los planetas moviéndose en epiciclos (Holton-Brush 1976).

Lo que interesa destacar aquí, es que ningún filósofo griego puso jamás en duda que los movimientos astronómicos fuesen o circulares, o combinaciones de movimientos circulares. Dejando a un lado los movimientos epicíclicos de la astronomía ptolemaica, (Copérnico 1543) restauró las esferas que contenían a los planetas esta vez con centro en el Sol. Otra innovación copernicana importante consiste en establecer una jerarquía de velocidades de las esferas en orden decreciente a medida que aumentaban de diámetro. Así pues, la que contenía las estrellas permanecía en reposo contrariamente a la opinión de Aristóteles que consideraba en ella el principio del movimiento. Para Copérnico el «centro» del movimiento radicaba en el Sol. Esta idea fue desarrollada propiamente por Kepler, quien supuso que el Sol enviaba al espacio una especie de principios motrices, que al ser absorbidos por los planetas los impulsaba de manera que su velocidad era proporcional a la cantidad absorbida. No cuesta comprobar que la cantidad de principios motrices que se pueden encontrar en una región del espacio debe ser proporcional al inverso del cuadrado de la distancia. Este resultado da una idea de la fuerza y persistencia histórica de las conjeturas de Kepler, más allá de su veracidad y vigencia. Según Koyré (1950), además, Kepler suponía, erróneamente, que los planetas se movían con una velocidad inversamente proporcional a la distancia al Sol. Así que supuso al Sol un mecanismo de ahorro, que hacía que éste sólo radiara movimiento en el plano de la eclíptica, donde se encontraban los planetas, y no al espacio vacío donde se desperdiciaría inútilmente.

Kepler concebía a los cuerpos, incluidos los planetas, como dotados de la propiedad de resistir a moverse. A esta propiedad la llamó inercia (Koyré, A. 1950), y el Sol debía impulsarlos continuamente para que pudieran vencer dicha resistencia.

Un cambio radical del planteamiento lo introdujo Galileo Galilei (1638). Después de estudiar el movimiento de los cuerpos en planos de diversa inclinación llega a la siguiente conclusión (Discorsi, esolío del problema IX, proposición XXIII): «Además, se puede suponer con razón que, sea el que fuere el grado de velocidad que se dé a un móvil, queda por naturaleza indeleblemente impreso en él con tal de que no intervengan causas externas que lo aceleren o retarden; tal estado constante solo ocurre en el plano horizontal». Sin embargo Galileo no aclara lo que ocurre en aquellas situaciones en que el plano del horizonte se separa significativamente de la superficie esférica de la tierra, a la que es tangente.

DE LA FUERZA CENTRÍFUGA A LA FUERZA CENTRÍPETA

Para que un cuerpo abandone el estado de movimiento rectilíneo y uniforme necesita de una fuerza procedente del exterior. ¿Pero qué ocurre cuando un cuerpo gira en una órbita circular? Descartes opinaba que aparecía en él una tendencia a alejarse del centro, que debía compensarse para que el cuerpo girase equilibradamente en un círculo. Si, por ejemplo, se hace girar una piedra en una honda obligándola a describir un círculo FAB (Figura N° 6) de centro en E, su natural tendencia, una vez adquirida cierta velocidad en A, sería seguir en movimiento rectilíneo hasta C, siguiendo la tangente en el punto A. Puesto que la honda la obliga a girar hacia B, la piedra responde con una «tendencia» a apartarse de E según la dirección radial EBC. El interés de los científicos en clarificar el movimiento curvilíneo se debía, naturalmente, a la necesidad de comprender el movimiento planetario a partir de sus causas, según proponía Kepler. El punto de vista de Descartes y de Huygens era que la fuerza “centrífuga” (término acuñado por Huygens en su tratado “Horologium Oscillatorium”, publicado en 1673), originada por el movimiento curvilíneo de los planetas los alejaría a menos que el Sol los retuviera por alguna otra fuerza. Huygens (1673) calculó además que la fuerza centrífuga circular era proporcional al cuadro de la velocidad e inversamente proporcional al radio del círculo.

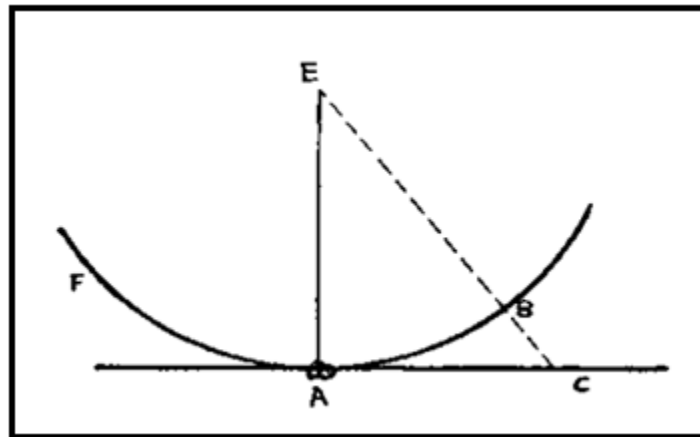


FIGURA: 6 SE HACE GIRAR UNA PIEDRA EN UNA ONDA, OBLIGANDOLA A DESCRIBIR UN CIRCULO. . Imagen tomada de Historia de las ciencias y la enseñanza. Casadella R

De hecho, un planeta sujeto a un equilibrio tal de fuerzas, una centrífuga y otra hacia el centro, a la luz de la teoría Newtoniana, debería seguir una trayectoria rectilínea, si era correcta la ley de inercia de Descartes. (Usualmente se considera que Descartes, fue el primero en enunciar correctamente en su obra “El mundo” (1630) la ley de la inercia ([16], p. 68) Descartes señala que una de las principales reglas con las que actúa la naturaleza es, “que cada parte de la materia, en particular, continua siempre estando en un mismo estado, mientras que el encuentro con las otras no le obligue a cambiarlo. Es decir, que si esa parte está quieta en algún lugar jamás partirá de allí a menos que las otras la expulsen; y una vez que haya comenzado a moverse continuará siempre, con igual fuerza, hasta que las otras la detengan o la retarden.”

Descartes en su principio de inercia indica que el movimiento es un estado, por naturaleza rectilíneo y uniforme; es decir, es un estado que se conserva o se mantiene por sí mismo, sin requerir de ninguna causa. Pero además, este estado es una cantidad, ya que en el mundo existe una determinada cantidad de movimiento, y cada parte de la materia en movimiento posee una cantidad del mismo, perfectamente determinada. Y cuando alguna de estas partes de la materia, pierde cierta cantidad de su movimiento mediante algún choque o interacción con otra, esta última adquirirá con exactitud la misma cantidad de movimiento que perdió la primera.)

Según afirma Cohen, (Cohen I.B., 1981) el primero que dio un paso adelante en el análisis del movimiento de los planetas fue Hooke, que generalizó el método de análisis utilizado por Galileo (Galileo 1638) en el caso de los proyectiles que, según demostró, describen trayectorias parabólicas. La esencia del método consiste en considerar que el movimiento observado en cada punto es la resultante según la ley del paralelogramo, de la composición de dos movimientos; uno a lo largo de la tangente a la trayectoria verificando la ley de inercia, y otro que tira de los planetas hacia el Sol apartándolos continuamente de la tangente. Hooke reveló este método de análisis a Newton entre 1679y 1680 (Cohen 1981), (Newton llamó a esta fuerza “**Centrípeta**” en honor a Huygens) al tiempo que le pedía que estudiara las propiedades de la curva descrita por un cuerpo sometido a un poder atractivo central que lo desviara de su movimiento inercial a lo largo de la tangente, cuando la intensidad de la fuerza variaba en proporción inversa al cuadrado de las distancias. Hooke tuvo que recurrir a Newton porque carecía de la capacidad y los conocimientos matemáticos que caracterizaron a Newton.

Para ilustrar las dificultades supóngase una órbita elíptica. Por hipótesis, el Sol colocado en un foco de la elipse ejercería, sobre el planeta, una fuerza atractiva inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a que encuentra el planeta del Sol. (Figura N° 7). Hooke suponía que en un punto cualquiera de la órbita, P por ejemplo, el planeta tiene una cierta velocidad que lo llevaría a R después de un cierto tiempo t. Sin embargo, transcurrido este tiempo el planeta se encuentra en Q.

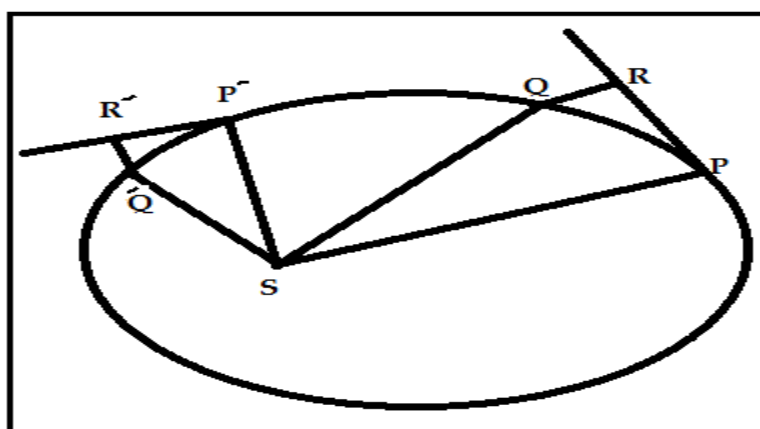


FIGURA: 7 EL SOL COLOCADO EN UNO DE LOS FOCOS DE LA ELIPSE, EJERCE UNA FUERZA ATRACTIVA SOBRE EL PLANETA.
 . Imagen tomada de Historia de las ciencias y la enseñanza. Casadella R.

Es como si se hubiera desplazado de R a Q mediante un movimiento acelerado que se inició en P sin velocidad en la dirección RQ. Sin embargo la fuerza que partiera del planeta hacia S es distinta en Q que en P, tanto en intensidad como en dirección, ya que P y Q se encuentran a diferentes distancias de S y además las rectas SQ y SP no son paralelas. Por si fuera poco, el segmento RQ tiene una dirección intermedia entre SP y SQ; esto es, no coincide con ninguna.

El problema es de una dificultad formidable cuando no se dispone del complejo aparato matemático para su adecuado tratamiento. No es de extrañar que Hooke se sintiera impotente para resolverlo dado que no disponía de las herramientas necesarias para su tratamiento. Newton aunque hacía años que estaba en posesión de su cálculo de fluxiones, no lo utilizó para el tratamiento de este problema y dando una vez más muestra de su alta genialidad creó un nuevo método de análisis matemáticos que él consideró idóneo para el tratamiento de los problemas de la dinámica, y que utilizó casi de forma exclusiva en los principios (Whiteside, 1970).

LA FUERZA CENTRÍPETA Y LA LEY DE LAS ÁREAS

Newton, en los *Principia*, utilizó el lenguaje de las proporciones. Esto le permite, una vez formulada su segunda ley, utilizar el concepto de fuerza y aceleración indistintamente, aunque acostumbra a utilizar el primero. Ambos son proporcionales y la constante de proporcionalidad es la masa o cantidad de materia, según la llamaba el propio Newton.

¿Cómo procedió Newton para hallar la aceleración centrípeta de los planetas? Lo primero redujo un problema en el que intervenía una magnitud física, tal como el tiempo, a un problema de geometría pura, mediante la llamada «ley de las áreas». Esta ley, establece que el área “barrida” por el segmento que une un planeta al Sol es directamente proporcional al tiempo invertido en el recorrido. Supongamos (Figura N° 8) que en un determinado tiempo “t” recorre un arco de elipse PQ. El triángulo curvilíneo SPQ delimita un área que es proporcional a “t”. En el lenguaje de las proporciones, utilizar el tiempo es equivalente a utilizar el área “barrida” en el transcurso de este mismo tiempo.

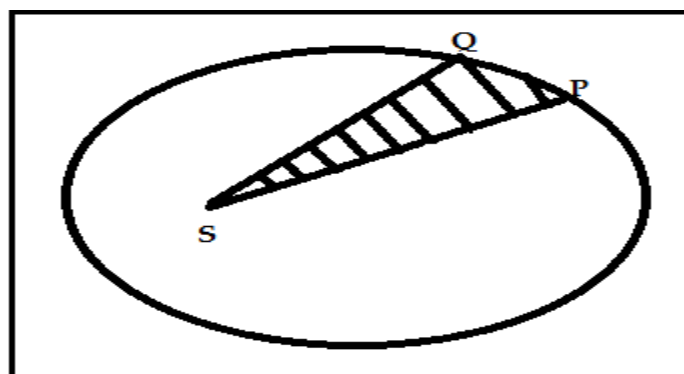


FIGURA: 8 NEWTON, ESTABLECE QUE EL ÁREA BARRIDA POR EL SEGMENTO QUE UNE UN PLANETA AL SOL, ES DIRECTAMENTE PROPORCIONAL AL TIEMPO INVERTIDO EN EL RECORRIDO DESDE P HASTA Q. El planeta se ubica en P, y el sol está en S. Imagen tomada de Historia de las ciencias y la enseñanza. Casadella R.

Después de que Kepler enunciara esa ley de las áreas para los planetas, quedó casi en el olvido. No era fácil usarla, y no se apreciaba adecuadamente su valor antes de que Newton descubriera y revelara su poder. Era la piedra de toque que reducía los problemas dinámicos a problemas de geometría, puesto que la ley de las áreas es equivalente a la existencia misma de una fuerza centrípeta dirigida hacia un punto del espacio, respecto cual se verifica la ley, incluso determinable si no fuera conocido. Cualquier fuerza centrípeta implicaba inexorablemente la ley de las áreas y viceversa tal como Newton demostró.

Newton deja claro que tenía muy preciso el sentido vectorial de la fuerza centrípeta al enunciar el teorema del recíproco, "si un cuerpo describe una órbita cualquiera que verifica la ley de las áreas respecto de un cierto punto S en el plano de la misma, su movimiento es debido a una fuerza centrípeta dirigida hacia el punto", (Principios matemáticos de filosofía natural, proposición II, teorema II, Escohodato 1982). Es importante señalar aquí que el carácter vectorial de las fuerzas y velocidades está claramente establecido y es esencial en toda la demostración.

Gracias a Kepler se sabía que los planetas describían órbitas elípticas en uno de cuyos focos estaba el sol. A su vez los radio vectores que unían al sol y a un planeta particular describían áreas proporcionales a los tiempos. Por consiguiente debía existir una fuerza dirigida permanentemente hacia el sol, que los sostuviera en sus órbitas. Es frecuente en la actualidad enunciar la ley de las áreas de Kepler a partir de la llamada velocidad aerolar, se puede definir como el cociente entre el área barrida y el tiempo empleado en barrerla. En presencia de una fuerza centrípeta el área barrida con relación a ese centro es proporcional al tiempo. Esto es equivalente a afirmar que la velocidad aerolar es constante (precisamente la de proporcionalidad). En tal caso, esto conlleva una ley de variación de la velocidad a lo largo de la trayectoria.

La velocidad de un cuerpo sometido a una fuerza centrípeta y que describe una trayectoria curva alrededor de ese centro, es inversamente proporcional a la distancia existente entre el centro, hacia el que se dirigen las fuerzas, y la tangente a la trayectoria que pasa por el cuerpo en un momento dado.

¿CENTRÍFUGA O CENTRÍPETA?

Newton parecía haber tenido grandes dificultades en deshacerse de la idea de fuerza centrífuga, (que huye del centro), vigente en la descripción de un cuerpo en movimiento circular. Se mencionan cuatro intentos que se hicieron para entender este movimiento por parte de Newton.

En su primer intento de cuantificar el movimiento circular Newton razonó que la revolución a través de medio círculo es equivalente a un rebote perfectamente elástico, lo cual requiere de una gran fuerza, primero suficiente para detener el movimiento adelante del cuerpo y luego generar un movimiento igual en la dirección opuesta. Esta analogía, sin embargo, no se sostiene y lleva a Newton a unos resultados inconmensurables dimensionalmente para cuantificar el movimiento circular.

En su segundo intento para cuantificar la fuerza en el movimiento circular Newton imaginó un lugar para ser circunscrito alrededor de un círculo y una bola que siguiera un camino interior. Tomando la componente del movimiento perpendicular en uno de los lados, él

estableció una expresión que compara la fuerza de un impacto, en la que es invertida la componente de la fuerza del movimiento de la bola (Figura N° 9).

Posteriormente Newton se dio cuenta de que si el número de lados de los polígonos inscritos y circunscritos se incrementa, la relación de la fuerza para una circunferencia continúa es igual a la relación de la longitud del camino a el radio.
 Este enfoque produce el resultado correcto de:

$$\vec{\alpha} = \frac{\vec{v}^2}{r} \tag{1.1}$$

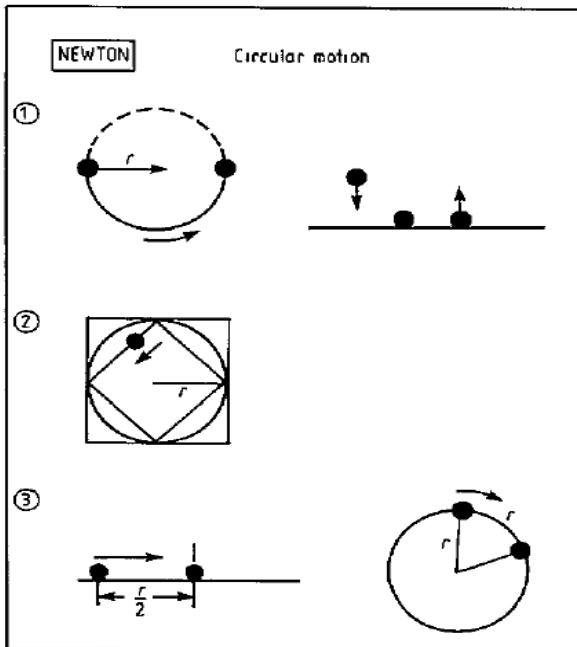


FIGURA: 9 MUESTRA TRES INTENTOS REALIZADOS POR NEWTON POR CUANTIFICAR EL MOVIMIENTO CIRCULAR Imagen tomada del documento The story of force, Stinner, A. (1994)

En el tercer intento el argumenta que la fuerza centrífuga de un cuerpo girando es tal que una fuerza, igual aplicada a un cuerpo de igual masa, durante el tiempo que el cuerpo gira a través de un radián, generaría una velocidad lineal igual en otro cuerpo para moverlo desde el reposo a través de la mitad de la longitud de un radián (Figura N° 9). Este enfoque también produce el resultado correcto de:

$$\vec{\alpha} = \frac{\vec{v}^2}{r}$$

Aunque los dos últimos intentos dieron la magnitud correcta de la fuerza “ellos no sugerían la dirección correcta”. Sin embargo, hasta que él fue capaz de pensar en la fuerza como “centro de búsqueda” en lugar de “centro de huida” su dinámica no podía aplicarse para el movimiento de los planetas.

Finalmente, se las arregló para obtener la fórmula para la fuerza “Centrífuga” de una manera más económica y elegante (Figura N°10). Aquí él utilizó los resultados de la cinemática de Galileo de caída libre y los aplicó a la dinámica de un objeto giratorio. La siguiente figura, nos permite observar que un cuerpo que gira, está en una continua caída hacia el centro de la curva, debido a una fuerza que lo obliga a describir la trayectoria circular.

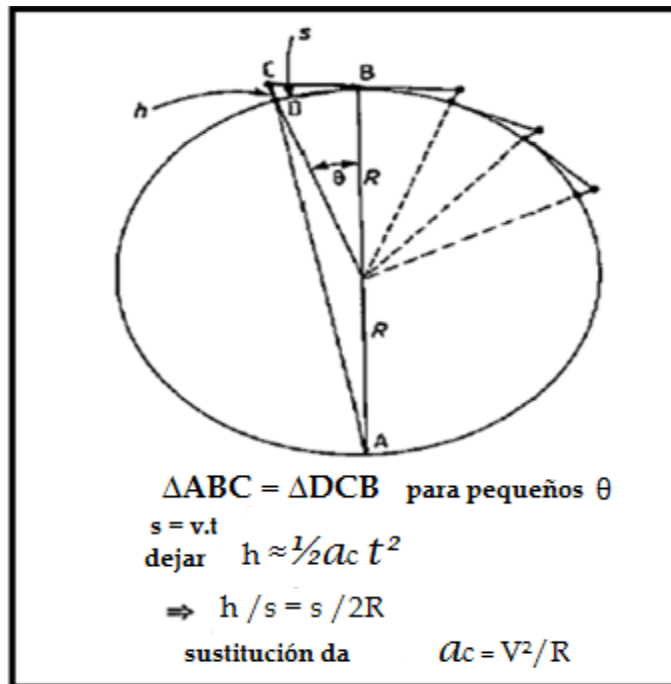


FIGURA: 10 NEWTON FINALMENTE LOGRÓ OBTENER LA FORMULA DE LA FUERZA "CENTRÍFUGA" DE UNA MANERA MÁS ECONÓMICA Y ELEGANTE. Aquí el utilizó los resultados de la cinemática de Galileo de la caída libre y los aplicó a la dinámica de un objeto en revolución. Imagen tomada del documento The story of force de IOPSCIENCE

UNA BREVE NOTA SOBRE LA TERCERA LEY DE NEWTON

La relación entre la segunda y la tercera ley puede ser bien ilustrada, imaginando dos grandes masas en estrecha proximidad en el espacio profundo.

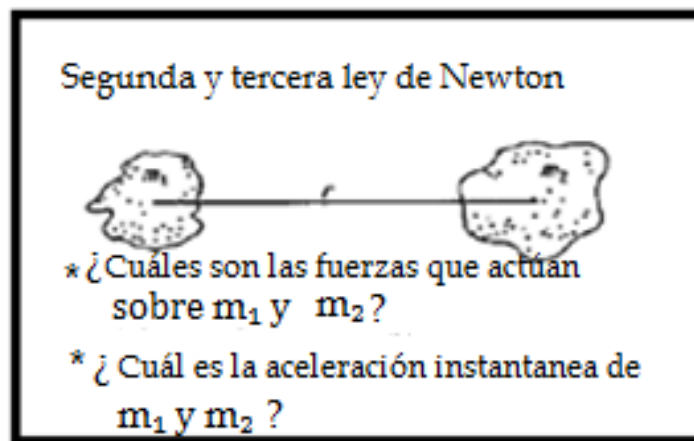


FIGURA: 11 LA RELACIÓN ENTRE LA SEGUNDA Y LA TERCERA LEYES DE NEWTON, SE PUEDEN VER AQUÍ, EN DONDE LOS ESTUDIANTES CONSIDERAN EL EFECTO QUE DOS GRANDES MASAS; TIENEN LA UNA SOBRE LA OTRA EN EL ESPACIO PROFUNDO. . Imagen tomada del documento The story of forcé de IOPSCIENCE

Suponiendo que la atracción gravitacional debido a la masa de cada cuerpo, es la única fuerza externa, entonces podemos calcular la aceleración (instantánea) sobre las masas. Este es un buen ejemplo para mostrar de la relación entre la segunda y la tercera ley (Figura N°11).Entender bien esta relación permite tener una mejor idea de la fuerza centrípeta y de la fuerza centrífuga. Si se entiende que la segunda ley de Newton define: siempre que una fuerza **neta**, externa; actúa sobre un cuerpo, dicho cuerpo se acelera, y que la tercera ley de Newton se define como: si un cuerpo ejerce una fuerza sobre un segundo cuerpo, éste ejercerá

una fuerza de igual magnitud y de sentido opuesto sobre el primero, entonces se puede analizar a la luz de estas leyes, que para un cuerpo que realiza un movimiento circular uniforme, como por ejemplo, una piedra que se hace girar, atada a una cuerda; la fuerza que obliga a la piedra, a describir una trayectoria circular, es una fuerza centrípeta que podemos llamar según la tercera ley, fuerza de acción (la realiza la mano a través de la cuerda sobre la piedra), la piedra actúa, mediante la cuerda, aplicando una fuerza de igual magnitud a la que recibe, pero de sentido contrario (hacia afuera de la curva), sobre la mano, que se debe llamar de reacción, según la tercera ley de Newton. Como la masa del cuerpo que gira, y la masa del cuerpo que lo hace girar, son diferentes, aunque los dos cuerpos reciben la misma magnitud de fuerza (acción y reacción), los efectos de aceleración sobre cada uno de ellos es diferente.

Al continuar el análisis del movimiento de la piedra que gira, pero desde la segunda ley, se puede afirmar que la fuerza neta que actúa sobre el plano de giro de la piedra, es la fuerza que realiza la mano sobre la piedra (acción) llamada fuerza centrípeta, que produce una aceleración de la piedra, debido al cambio de dirección, en la velocidad lineal de la piedra. En este momento, y teniendo en cuenta las leyes de Newton, es razonable preguntar: ¿existe una fuerza que hala a la piedra que gira hacia afuera?, y si existe tal fuerza, según las leyes de Newton, ¿qué cuerpo es el responsable de esta fuerza?

LA FUERZA Y LA IDEA DEL MOVIMIENTO ABSOLUTO

Las leyes newtonianas del movimiento únicamente son válidas en sistemas no acelerados o marcos de referencia inerciales.

Newton pasó un gran esfuerzo tratando de explicar este estado privilegiado de los sistemas de referencia inercial y postula la existencia del espacio y el tiempo absolutos. Pensó que las fuerzas inerciales proporcionan una clara indicación del movimiento absoluto.

Para ilustrar como es el movimiento absoluto, el determina y presenta dos experimentos mentales: Su famoso experimento del cubo y el experimento que involucra la rotación de los globos en un inmenso vacío. (Figura N° 13 y 15)

Experimento del balde: *Al colocar a girar un balde lleno de agua atado con una soga del techo, se tendrá la siguiente situación: se verá que, según Newton, el agua tendería a alejarse de su eje, pero la rotación del agua no es con relación a las paredes del balde, sino con relación al espacio absoluto, pues las fuerzas centrífugas sólo las podemos asumir cuando tomamos únicamente como referencia al espacio absoluto y al agua, lo demás no puede explicar este fenómeno, o más bien, cualquier referencia a otros cuerpos es irrelevante. (figura 12)*

Experimento del balde

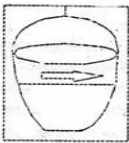


Fase 1	Fase 2	Fase 3
		
Balde en rotación	Balde en rotación	Balde inmóvil
Líquido inmóvil	Líquido en rotación	Líquido en rotación
Existe un movimiento relativo entre balde y agua	No hay movimiento relativo entre balde y agua	Existe un movimiento relativo entre balde y agua
Superficie: plana	Superficie: curva	Superficie: curva

FIGURA: 12 EXPERIMENTO DEL BALDE DE NEWTON. Imagen tomada de: Newton: El espacio y el tiempo absolutos, Granés. J (2005)

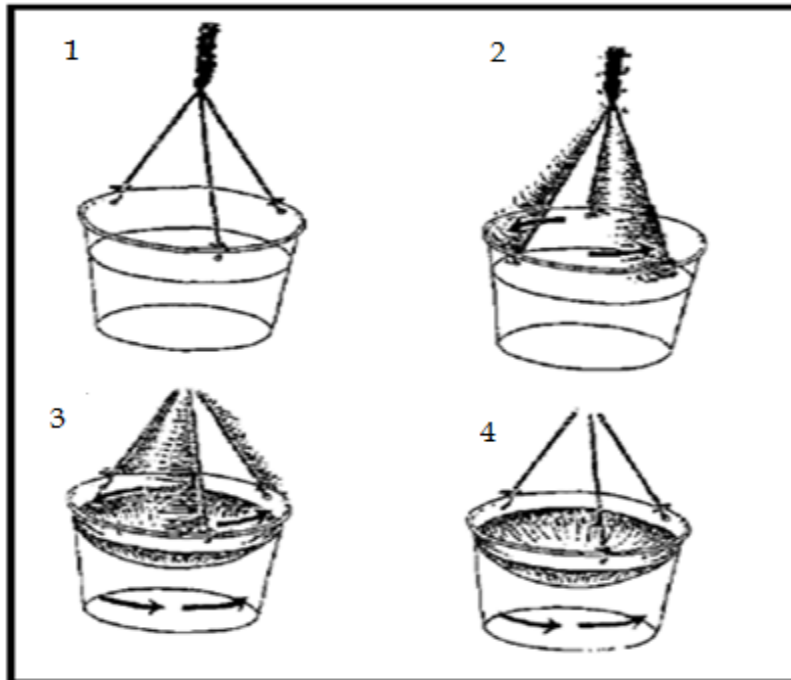


FIGURA: 13 SEGÚN NEWTON EL EXPERIMENTO MENTAL CON EL CUBO, MUESTRA QUE LA ROTACIÓN RELATIVA DEL AGUA RESPECTO A LA CUBETA NO ES RESPONSABILIDAD DE LAS FUERZAS CENTRÍFUGAS. En la etapa 2, así como la etapa 4 el cubo y el agua, están en un movimiento relativo entre sí. Sin embargo, en el primer caso, el agua presenta una superficie plana y en el último caso una superficie cóncava. Para explicar esto, Newton se sintió obligado a plantear la noción de movimiento absoluto. Imagen tomada del documento The story of force de IOPSCIENCE

Estos experimentos mentales muestran que la rotación relativa del agua con respecto al cubo, no es responsabilidad de las fuerzas centrífugas. Por otra parte, Newton argumentó que la tensión de la cuerda (Figura N° 15) debido a las fuerzas centrífugas, serian registradas incluso en el vacío. Donde no existan otras masas.

Experimento de los globos

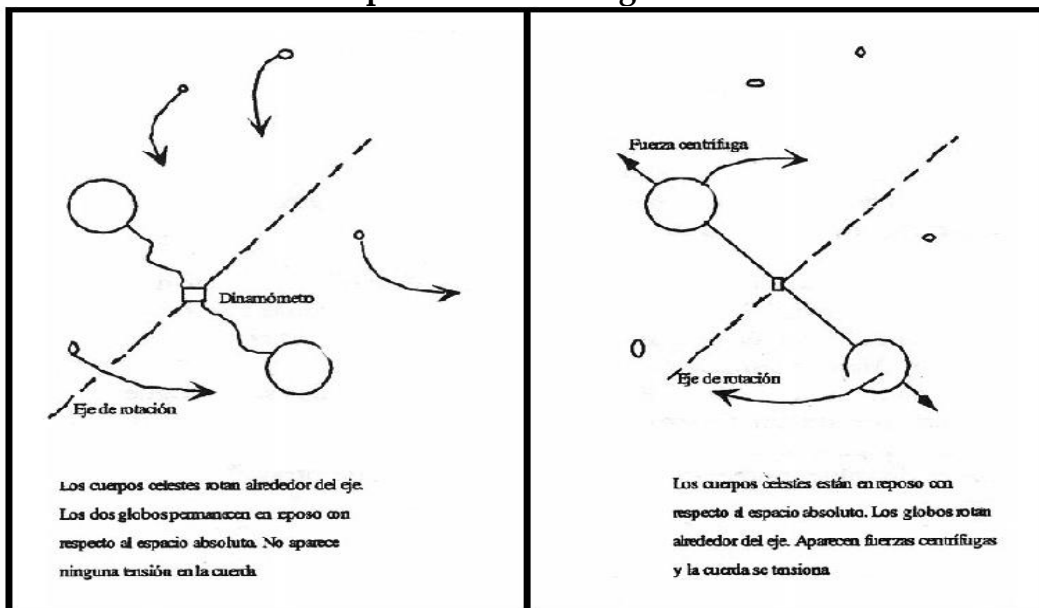


FIGURA: 14 EXPERIMENTO DE LOS GLOBOS. Imagen tomada de: Newton: El espacio y el tiempo absolutos, Granés. J (2005

Experimento de los globos: Se supone que se tiene, por un lado, en espacio libre dos globos que están unidos por un hilo y están en estado de reposo. Se le adiciona a la situación que las estrellas giran a igual velocidad alrededor de su eje. Por otro lado, también se tienen dos globos unidos por un hilo, pero en este caso las estrellas son las que están en reposo y los globos se mueven en sentido contrario. El punto relevante aquí es que, en este último caso, cosa que no ocurre en el primero, se puede detectar tensión en la cuerda que une los globos, por lo tanto se puede tener en cuenta que los movimientos y las fuerzas centrífugas son propios de los globos y no de los demás cuerpos. (figura 14)

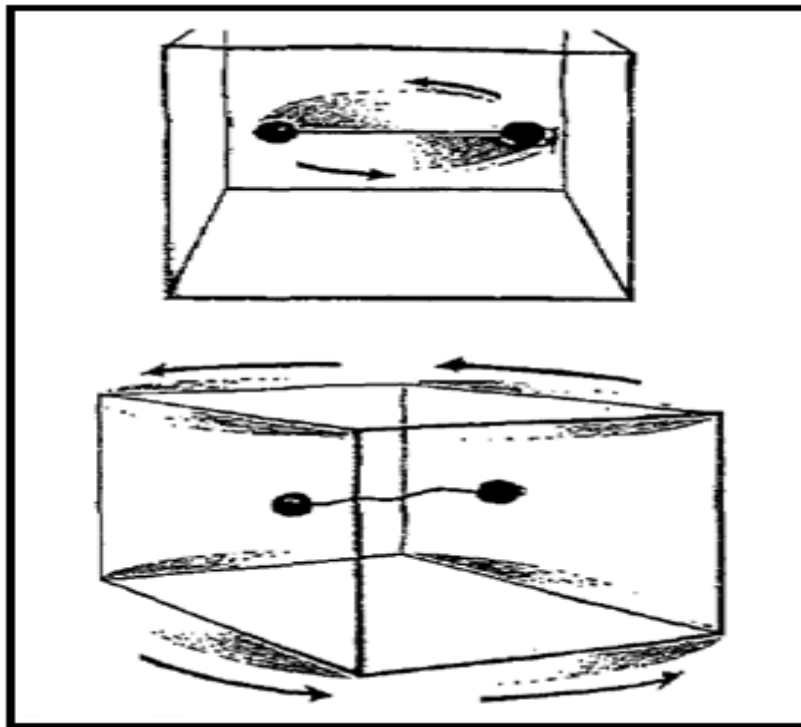


FIGURA: 15 NEWTON PROPUSO UN SEGUNDO EXPERIMENTO MENTAL, PARA HACERSE CON EL ARGUMENTO DE MOVIMIENTO ABSOLUTO. . Sostuvo que la tensión en el cable, debido a la fuerza centrífuga, sería registrada incluso en el vacío donde no existan otras masas. . Imagen tomada del documento The story of force de IOPSCIENCE

¿Tal vez la causa es la tierra misma o el sistema solar? .Pero los experimentos del péndulo de Foucault muestran que la causa se encuentra fuera de la tierra. Por otra parte las orbitas de los planetas se sostienen en virtud de las fuerzas centrífugas. Parece entonces que el fenómeno de las fuerzas centrífugas es universal y no puede ser debido a la interacción. Born (1965, p 84)

Una síntesis histórica del comportamiento de las fuerzas centrífugas, que resulta ser muy interesante, por el análisis de los sistemas y de los movimientos absoluto y relativo de los cuerpos, dentro de estos sistemas; es expuesta por el profesor Vélez (2005).

5.3 EL PROBLEMA DE LAS FUERZAS CENTRÍFUGAS Y LA TEORÍA GENERAL DE LA RELATIVIDAD

ESTUDIO HISTÓRICO

Desde el punto de vista de las apariencias, es lo mismo afirmar que la Tierra gira respecto a las estrellas que las estrellas giran respecto a la Tierra. Pero del punto de vista de la realidad de un observador situado en tierra, uno de los dos se debe mover realmente, la Tierra o la esfera celeste. Galileo está convencido de que el movimiento de las estrellas es aparente y el de la Tierra, real., a pesar de que no logra comprobarlo mecánicamente. Newton acepta que con frecuencia es muy difícil distinguir entre el movimiento aparente y el real. Sin embargo, hay casos en los que es posible diferenciar un tipo de movimiento del otro. El balde del famoso experimento de Newton, que gira suspendido de una cuerda, es real en contraposición al movimiento aparente de las paredes del laboratorio donde se lleva a cabo el experimento. La realidad del movimiento de rotación lo demuestra la aparición de fuerzas centrífugas. ¿Se podría acaso hacer subir el agua por las paredes del balde haciendo girar las paredes del laboratorio mientras el balde permanece en reposo? De ninguna manera. A nadie se le ocurre pensar que el pasajero de un tren se vaya hacia atrás, estando en reposo, cuando el tren vecino arranca.

Desde el punto de vista de las apariencias, todo movimiento es relativo. El balde se mueve relativamente a las paredes del laboratorio, las paredes se mueven relativamente al balde, pero en el movimiento relativo del balde aparecen fuerzas centrífugas, mientras que en el movimiento relativo de las paredes del laboratorio, no.

Por consiguiente, el movimiento del balde es, además de relativo, absoluto. Pero, ¿qué puede ser un movimiento absoluto? Newton no lo duda un instante, un movimiento absoluto es aquel que se lleva a cabo respecto al espacio absoluto. Todos los movimientos son relativos, pero algunos de esos movimientos son además movimientos absolutos. Los movimientos relativos y absolutos, son reales, los movimientos meramente relativos, son aparentes. Esta distinción magistral se encuentra en el Escolio general de los Principios Matemáticos de la Filosofía Natural.

Leibniz no entiende qué pueda ser un movimiento respecto a un espacio absoluto que, como tal, solo existe en la imaginación. Huygens está convencido que el movimiento absoluto no existe, que todo movimiento es puramente relativo, y que, por consiguiente, hay que resolver el problema de las fuerzas centrífugas sin recurrir al espacio absoluto. Después de muchos años de meditación llega a una respuesta que no lo satisface completamente. La aparición de fuerzas centrífugas no se debe al movimiento del cuerpo respecto a otros cuerpos exteriores, sino al movimiento relativo de una parte del cuerpo respecto a otra parte del mismo cuerpo, diametralmente opuesta. A esta relatividad interior, por contraposición a la relatividad

exterior, atribuye la aparición de fuerzas centrífugas, sin necesidad de recurrir al espacio absoluto. Pero la solución de Huygens tiene una dificultad aparentemente insoluble. ¿Cómo se puede hablar de movimientos sin cambio de distancia? ¿No es precisamente la ausencia de cambio de distancia la definición del reposo relativo? Huygens, a pesar de su genio, no pudo responder. Kant acepta la solución de Huygens e intenta solucionar el problema del cambio de distancia recurriendo al concepto de desplazamiento infinitesimal. En el movimiento de rotación, aunque no se percibe un cambio de distancia entre las partes diametralmente opuestas, hay, de hecho, desplazamientos infinitesimales consecutivos hacia fuera y hacia adentro respecto al eje de giro. A pesar de la aparente genialidad de la solución kantiana, no se puede negar que es demasiada artificial y discutible desde el punto de vista del concepto de límite.

E. Mach, en su célebre tratado de Mecánica (1893), niega categóricamente la posibilidad de un movimiento absoluto, todo movimiento es necesariamente relativo. Las fuerzas centrífugas se deben en consecuencia al movimiento de rotación del cuerpo, no respecto a un eventual observador, sino respecto a la materia presente y, en último término, a toda la materia del universo. Si se mantiene en reposo el balde y se hace girar el resto de la materia alrededor del balde, el agua subiría por las paredes, indicando la aparición de fuerzas centrífugas.

Einstein está de acuerdo con la explicación de Mach. El movimiento absoluto es una quimera. Más aún, en el caso imaginario de dos globos fluidos que girasen el uno respecto al otro alrededor del eje que los une, alejados de otros cuerpos, éstos no podrían diferenciarse en cuanto al efecto de la rotación, pues ésta es relativa, y si en uno de ellos se detecta aplanamiento de los polos a causa de fuerzas centrífugas, en el otro también. Y si eventualmente no sucede así, encontrándose que en uno de los globos se manifiestan fuerzas centrífugas, y en el otro, no, entonces, confiesa Einstein, la Física en su estado actual no podría explicar esta diferencia de comportamiento, si se prescinde del influjo de la materia de otros cuerpos. A no ser, añadiríamos nosotros, que se quiera acudir nuevamente a la hipótesis newtoniana del movimiento absoluto, a pesar de las dificultades teóricas y empíricas que presenta.

Aunque la teoría de la relatividad general estaba en capacidad de proporcionar una solución definitiva al problema de las fuerzas centrífugas, solo a un físico, contemporáneo de Einstein, al profesor Hans Thirring (1918) se le ocurrió dirigir sus esfuerzos en esta dirección, logrando después de un arduo trabajo demostrar que de acuerdo con los principios de la Relatividad General, la rotación de una esfera hueca debería generar en su interior fuerzas centrífugas y de coriolis. De esta manera se confirma teóricamente la hipótesis de Mach y se responde a la inquietud planteada siglos atrás por Huygens: si el movimiento es exclusivamente relativo, entonces debe dar lo mismo, desde el punto de vista de la aparición de fuerzas, que el balde gire o que las paredes del laboratorio giren. Sin embargo, hay que aclarar que la comprobación experimental de esta conclusión teórica es prácticamente imposible, pues las masas involucradas son inmensas, de acuerdo con los cálculos.

Termina así, con la Teoría general de la Relatividad, el difícil problema de las fuerzas centrífugas.

6. REVISIÓN DISCIPLINAR DE LOS CONCEPTOS

6.1 CONCEPTO DE SISTEMA DE REFERENCIA Y MOVIMIENTO

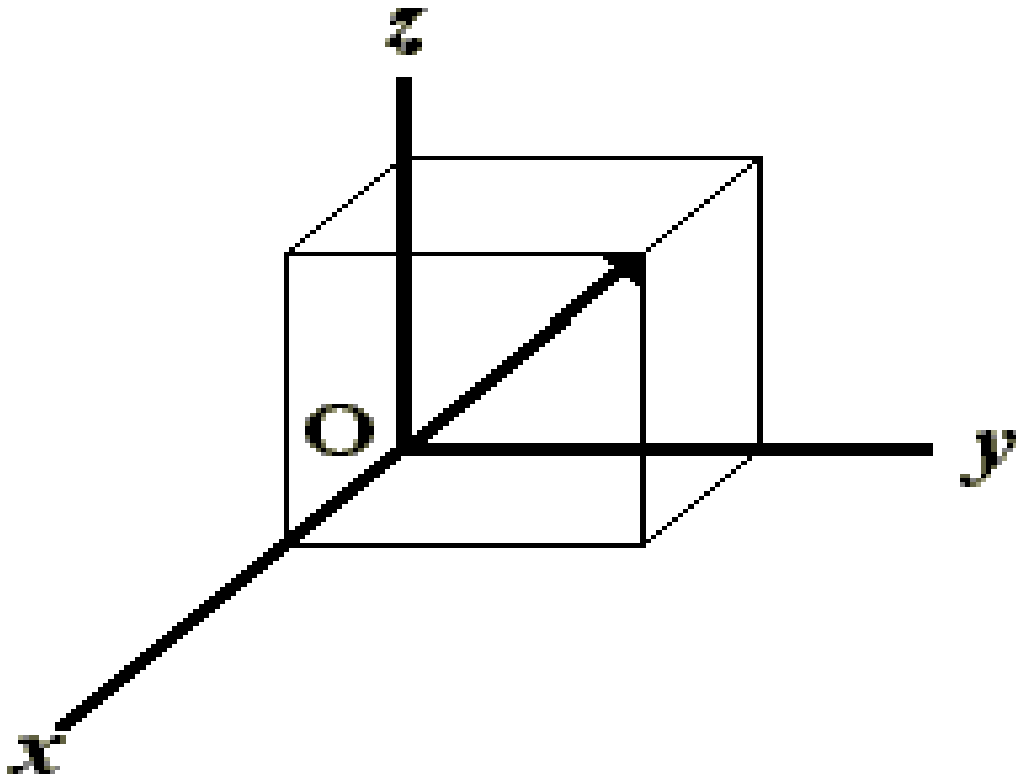


FIGURA: 16 SISTEMA DE REFERENCIA TRIDIMENSIONAL Imagen tomada de Google imágenes.

SISTEMAS DE REFERENCIA

En mecánica se entiende por movimiento el cambio con el tiempo de la posición espacial de un cuerpo. La posición del cuerpo en cuestión es una posición relativa, definida con relación a otros cuerpos. El concepto de posición absoluta, que sería la posición de un cuerpo en un "espacio absoluto", sin ninguna referencia a los otros cuerpos, carece de sentido. Un conjunto de cuerpos que permanecen en reposo relativo y que se utilizan como referencia para estudiar el movimiento de otros cuerpos es llamado *sistema de referencia* (Figura N° 16). Así, al estudiar los movimientos que ocurren en la superficie de la Tierra, se acepta el entorno local "una colección de objetos ligados a la Tierra en reposo relativo" como el *sistema de referencia* para observar y medir los cambios de posición de los otros cuerpos.

Carece de sentido afirmar que dos eventos diferentes y no simultáneos (ocurren en tiempos diferentes, para el reloj de un mismo observador), se producen en un único y mismo punto del espacio si no se precisa el sistema de referencia utilizado.

Sea, por ejemplo, un hombre que viaja en el interior de un vehículo en movimiento; en un instante dado, el hombre saca un libro de su maletín, y al cabo de un rato lo coloca de nuevo en el mismo lugar. Puede decirse que las dos acciones han ocurrido en el mismo lugar si se ha escogido el vehículo como sistema de referencia. Pero si se ha escogido la superficie de la tierra como sistema de referencia, los dos eventos en cuestión ocurren en lugares diferentes.

Un sistema de referencia se supone, siempre dotado de un conjunto de *varillas rígidas* para medir longitudes, y de un conjunto de *relojes* para medir intervalos de tiempo.

Por reloj, se entiende todo cuerpo o sistema de cuerpos que sea la base de un proceso periódico utilizado para medir el tiempo. Como ejemplos de procesos periódicos se pueden citar las oscilaciones de amplitud constante de un péndulo, la rotación de la tierra alrededor de su eje con relación al sol o a una estrella, las oscilaciones de un átomo que pertenece a una red cristalina y aislada.

Es claro que la escogencia de un sistema particular de referencia, al estudiar el movimiento de un objeto es asunto de gusto o de conveniencia, pero es a menudo ventajoso utilizar un sistema de referencia en el cual la descripción del movimiento sea la más simple.

SISTEMAS DE COORDENADAS

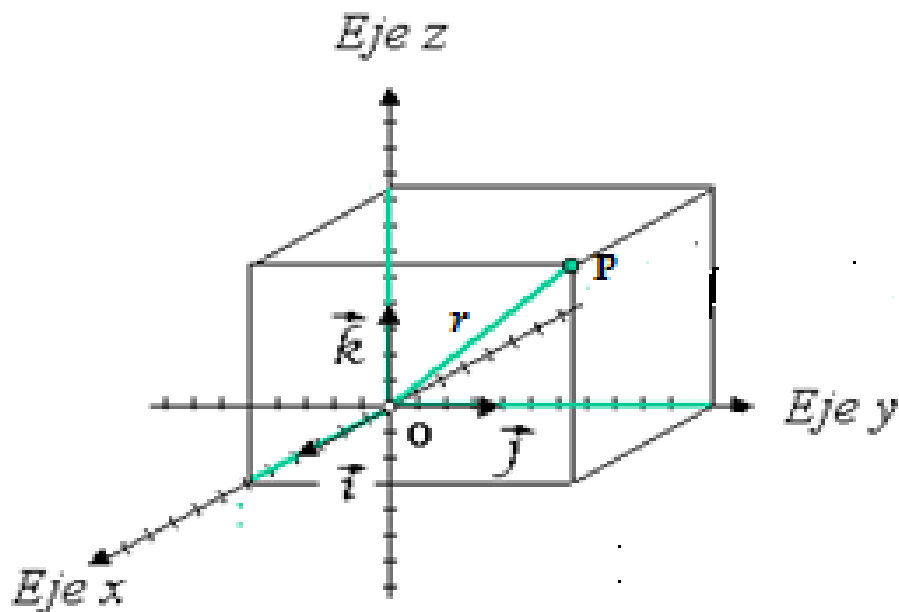


FIGURA: 17 SISTEMA DE REFERENCIA TRIDIMENSIONAL, CON VECTORES UNITARIOS. Imagen tomada de Google Imágenes.

Ahora bien, para realizar mediciones de posición y desplazamiento en un sistema de referencia, es preciso definir un *sistema de coordenadas* de algún tipo y un *origen de coordenadas*. Como el espacio de la experiencia cotidiana tiene tres dimensiones, se debe en general especificar tres cantidades separadas para establecer la posición de un punto con respecto al origen escogido. La elección del sistema de coordenadas y de su origen depende del problema que se vaya a resolver (Figura N°17).

Si ligamos al sistema de referencia un conjunto de tres ejes perpendiculares entre sí, la posición de una partícula puede ser definida por tres números que son las coordenadas x , y , z del punto ocupado por ella. Estas coordenadas pueden combinarse para definir el vector de posición r "un segmento de recta trazado desde el origen de coordenadas hasta el punto considerado.

Las coordenadas x , y , z son las proyecciones del vector de posición sobre los tres ejes coordenados. Así se escribirá:

$$r = xi + yj + zk$$

Donde i , j , k son los vectores unitarios orientados a lo largo de los ejes x , y , z . Este sistema de coordenadas ortogonales es denominado sistema de coordenadas cartesianas.

Siempre un sistema de referencia será descrito por su origen de coordenadas y por ejes cartesianos asociados a él.

LOS SISTEMAS DE REFERENCIA Y LAS LEYES FÍSICAS

El contenido de las leyes de Newton, está enmarcado dentro de la lógica que dictan las experiencias cotidianas. Por ejemplo, nunca se esperaría que un objeto en reposo se moviera sin que nada actuara sobre él. Si esto ocurriera, se busca inmediatamente la causa que lo produjo, es decir: el origen de la fuerza causante de tal evento. De no encontrarla, se tiende a describirlo como un evento sobrenatural: magia, brujería, fantasmas, etc. Por otro lado, son muchas las ocasiones en las que se experimenta efectos que se confunden con fuerzas, por ejemplo: si se está dentro de un auto que arranca bruscamente, se siente que algo nos empuja contra el asiento, pero si el auto se detiene repentinamente, sentimos, en este caso, que somos arrojados hacia delante; si ahora, el auto está tomando una curva, sentimos que "algo" nos "hace ir" contra la puerta, pero en ninguno de los casos se reconoce el objeto que hace fuerza sobre nosotros. Son muchos los ejemplos que parecieran poner en contradicción el sentido común y las formulaciones anteriores. Es en este aspecto, donde los sistemas de referencias juegan un papel esencial dentro de la descripción de la mecánica.

Del significado de cada una de las cantidades presente en la segunda ley de Newton se puede inferir:

1. Dado que la masa es una propiedad de cada cuerpo y que la fuerza representa la intensidad de la interacción entre dos objetos, los valores de estas cantidades deben ser de carácter absoluto, es decir: tendrán el mismo valor para cualquier observador.

2. La aceleración, que representa el cambio de velocidad, no es una cantidad invariante, ya que su valor depende del observador.

De estos dos razonamientos se ve que en la formulación de la segunda Ley de Newton, se comparan cantidades de carácter absoluto con cantidades relativas. Este hecho, sugiere que la aplicación de esta ley, no es de tipo global, si no que estará restringida a ciertas condiciones de observación.

6.2 SISTEMAS DE REFERENCIA INERCIALES

Supongamos que un objeto que se mueve, bajo la acción de una fuerza, es estudiado por dos observadores diferentes "ob1" y "ob2". En la figura N° 18 se esboza esta situación, donde la posición del objeto, en un instante cualquiera, está referida a ambos sistemas mediante los vectores \vec{r}_0 , para el observador ob1 y \vec{r}'_0 para ob2. El vector \vec{r}_{0R} , representa la posición relativa del sistema ob2 respecto al observador ob1 (Figura N°18).

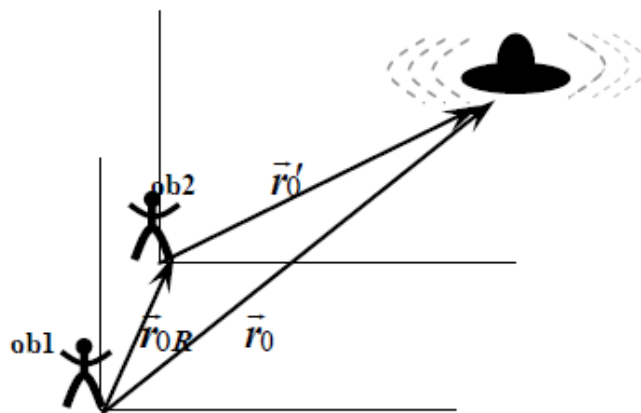


FIGURA: 18 POSICIÓN DE UN OBJETO RESPECTO A DOS SISTEMAS DE REFERENCIA. Imagen tomada de Google imágenes

Usando la adición de vectores (regla del paralelogramo), vemos que

$$\vec{r}_0 = \vec{r}_{0R} + \vec{r}'_0 \tag{2.4}$$

Supongamos, ahora, que al transcurrir un tiempo Δt , tanto el objeto como el observador ob2, se desplazan en alguna dirección. De esta forma las nuevas posiciones son

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \Delta\vec{r}; \quad \vec{r}' = \vec{r}'_0 + \Delta\vec{r}'; \quad \vec{r}_R = \vec{r}_{0R} + \Delta\vec{r}_R \tag{2.5, 2.6, 2.7}$$

Estos vectores guardan la misma relación que las posiciones iniciales, con lo cual se obtiene

$$\Delta \vec{r} = \Delta \vec{r}_R + \Delta \vec{r}' \quad (2.8)$$

Si ahora dividimos ambos miembros de esta ecuación entre el intervalo de tiempo Δt , obtenemos la relación para las velocidades vistas por ambos observadores: si $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \vec{v}$

$$\vec{v} = \vec{v}_R + \vec{v}' \quad (2.9)$$

Donde \vec{v} y \vec{v}' representan las velocidades del objeto vista por el observador ob1 y ob2, respectivamente, \vec{v}_R y es la velocidad del observador ob2 respecto a ob1.

Con un procedimiento similar al anterior se establece la relación entre las aceleraciones

$$\vec{a} = \vec{a}_R + \vec{a}' \quad (2.10)$$

Vemos que las cantidades cinemáticas, tienen diferentes valores para los distintos observadores. En particular la aceleración medida por ambos es diferente, de esta forma, si cada uno aplica la segunda ley de newton, encontrarán valores distintos para la fuerza aplicada al objeto: para **ob1**

$$\vec{F} = m \vec{a} = m(\vec{a}_R + \vec{a}') \quad (2.11)$$

Mientras que para **ob2**

$$\vec{F} = m \vec{a}' \quad (2.12)$$

Sin embargo, sabemos que la fuerza refleja la intensidad de la interacción y por lo tanto está obligada a ser independiente de la observación: debe tener un valor único. Por otro lado, la masa que describe, una propiedad intrínseca del cuerpo, tampoco dependerá de la observación. Entonces:

¿Cuál de los observadores está haciendo la medida correcta?

Esta pregunta sugiere que algunos observadores se encuentran en una posición privilegiada y son sus registros y medidas las correctas para la aplicación de las leyes de movimiento. De esta forma vemos que la respuesta a esta pregunta requiere de un conocimiento más profundo de los sistemas de referencias.

Un sistema de referencia es un cuerpo (o sistema de cuerpos), respecto al cual un observador determina la posición y describe el movimiento de los objetos. Es claro, que cada observador puede elegir el sistema de su preferencia, y la subsiguiente descripción podrá ser diferente para cada uno.

La posición de un objeto puede ser descrita, desde distintos sistemas de referencias, en formas diferentes. Sin embargo, podemos afirmar que la ubicación, como tal, es única, ya que el objeto no puede estar en más de un sitio a la vez.

La aseveración anterior pareciera sugerir la existencia de un sistema de referencia muy particular, auto-referido, respecto al cual debería describirse la posición, y por lo tanto todo el movimiento, en forma absoluta. La consecución de un sistema con estas características podría darnos la respuesta a la pregunta anterior, ya que sólo las cantidades referidas a dicho sistema tendrían validez universal y cualquier descripción desde otro sistema debería ser transformada a éste.

¿Existe un sistema con estas características?

El propio espacio pareciera reunir estas características, sin embargo, bajo la concepción newtoniana surgen algunos rasgos que hacen que éste no pueda ser de carácter "auto-referido". El hecho de considerarlo *uniforme, isótropo, estático e infinito*, no se permite distinguir un punto de otro. De esta forma se hace imposible evidenciar el movimiento haciendo sólo referencia al espacio. Al parecer no existe ningún otro sistema que reúna estas características. Así, únicamente se puede apreciar el movimiento de un cuerpo relacionando su posición, en cada instante de tiempo, con otro cuerpo que **se considera** fijo. De esta forma, se afirma que "*el movimiento es relativo*" lo cual queda sujeto a la imposibilidad de poder hacer distinciones de cada uno de los puntos del espacio referido a sí mismo.

¿En qué tipo de sistemas tendrán entonces validez universal las leyes de Newton?

De acuerdo al principio "Cambio en el estado de movimiento entonces interacción", la validez de las leyes de Newton debe estar restringida a aquellos sistemas donde se pueda afirmar que toda aceleración es manifestación cinemática de algún tipo de interacción. Nótese, entonces, que la aceleración relativa entre ellos debe ser cero, de esta forma la aceleración de los objetos, medida desde cualquiera de estos sistemas, debe ser la misma, es decir: debe tener un carácter absoluto. Este conjunto de marcos referenciales se conocen con el nombre de *sistemas de referencia inerciales (SI)*.

Muchas veces los SI son definidos como un conjunto de sistemas cuya aceleración relativa es cero, sin embargo, esto no es suficiente. Supongamos que se determina un conjunto "A" de sistemas moviéndose con velocidad constante entre ellos. Se supone además, que existe una segunda familia "B", y al igual que los anteriores no experimentan aceleración relativa entre ellos, pero que su movimiento, respecto a cualquier miembro del conjunto "A" es acelerado. Es claro, que la aceleración de una partícula es la misma medida desde cualquier sistema perteneciente al grupo "A", de la misma forma, entre los sistemas del grupo "B", no existirá diferencia en cuanto a la aceleración de la partícula. Sin embargo, un observador desde "A" medirá una aceleración diferente a la que mide un observador en "B". Surge de nuevo la pregunta: ¿Cuál de estos conjuntos corresponde a un sistema inercial?, o dicho de otra forma: ¿Cuál de las aceleraciones medida es la que está en correspondencia con la interacción?

Nuevamente es bastante difícil responder a esta interrogante. Para afirmar que uno u otro es verdaderamente inercial se tendría que estar seguro de que en esa familia se encuentra el

sistema inercial primigenio, es decir el sistema de referencia inercial embrionario, capaz de engendrar toda la familia SI, desde donde se pueda hacer una descripción absoluta.....

¿Cómo identificarlo?

Como se ve, no es el hecho de que la aceleración relativa entre dos sistemas sea cero lo que los hace inercial, esto es consecuencia de un rasgo mucho más importante:

Un sistema será inercial sí y solo sí los cambios en el estado de movimiento de un cuerpo, registrados desde dicho sistema, se corresponden con interacciones (fuerzas) sobre el objeto.

De acuerdo a lo antes expuesto, podemos afirmar que ***la familia de sistemas inerciales es única*** y es en cada uno de sus integrantes que son válidas las leyes de Newton. ***Sin embargo, resulta extremadamente difícil identificar uno de sus miembros.***

Una reflexión debida a ALBERT EINSTEIN, en la Conferencia del Nobel, (Congreso Solvay Bruselas) 1911, pone de manifiesto la casi imposible tarea de encontrar un sistema verdaderamente inercial...

“¿Cuál es la justificación de nuestra preferencia por los sistemas inerciales frente a todos los demás sistemas de referencia?, preferencia que parece estar sólidamente establecida sobre experiencias basadas en el principio de inercia. La vulnerabilidad del principio de inercia está en el hecho de que requiere un razonamiento que es un círculo vicioso: Una masa se mueve sin aceleraciones si está lo suficientemente alejada de otros cuerpos; pero sólo sabemos que está suficientemente alejada de otros cuerpos cuando se mueve sin aceleración”.

Ahora se puede dar respuesta a la pregunta anterior diciendo que “el observador que hace las medidas correctas es aquel cuyo sistema de referencia es inercial”. Sin embargo, esto no resuelve en nada nuestro problema, pues la identificación de un sistema verdaderamente inercial es una tarea tan difícil como la de aislar un cuerpo del resto del universo.

Generalmente, en nuestra vida diaria, y despreciando algunos efectos, usamos la superficie de la tierra como un sistema inercial. Sin embargo, esto es sólo una aproximación, ya que dicha superficie acelera con relación al centro, y a su vez, este último, mantiene una aceleración con respecto al sol, el cual, se sabe, se mueve con relación a las estrellas lejanas, las que se consideran fijas, y éstas, giran en torno al centro de la galaxia, estando, esta última, en movimiento con respecto a otras galaxias. Como se ve es bastante difícil la elección de un sistema inercial “puro”.

En síntesis se puede decir que un ***Sistema Inercial***, es aquel que se encuentra ya sea en reposo, o bien, moviéndose con velocidad constante respecto a otro sistema llamado estrellas fijas; es el conjunto de marcos de referencia definidos por la primera ley de Newton, esto es, el conjunto de marcos en los cuales un cuerpo no será acelerado $\vec{a}=0$, si no hay en su vecindad cuerpos identificables que produzcan fuerzas $\vec{F} = 0$. Queda siempre a elección el marco de referencia, de manera que si se prefiere escoger solamente marcos inerciales, no se restringe de ninguna manera la posibilidad de aplicar la mecánica clásica a los fenómenos naturales.

6.3 SISTEMAS DE REFERENCIA NO INERCIALES O SISTEMAS ACELERADOS

En algunos casos, sin embargo, se puede, si se encuentra conveniente, aplicar la mecánica clásica desde el punto de vista de un observador en un *Marco de Referencia No Inercial*.

Un marco de este tipo puede ser, por ejemplo, uno que estuviera girando (y, por consiguiente, acelerando) con respecto a un sistema "fijo" de las estrellas fijas.

Se define por lo tanto como *Sistema de Referencia No Inercial*, aquel que no se mantiene con velocidad constante (La velocidad, puede cambiar en su magnitud, es decir en su rapidez o puede cambiar en su dirección, es decir describir una trayectoria curva), respecto a un sistema fijo.

Podemos aplicar la mecánica clásica en marcos de referencia no inerciales si introducimos fuerzas llamadas *Seudofuerzas* o fuerzas inerciales.

Se llaman así porque, a diferencia de las fuerzas que se han tratado hasta aquí, no se puede asociarlas con ningún cuerpo en particular en el medio ambiente de la partícula sobre la cual obran; no se puede clasificar dentro de ninguna de las categorías establecidas por los físicos hasta el momento. Finalmente, si se observa la partícula o cuerpo desde un marco o sistema de referencia inercial, desaparecen las *seudofuerzas*.

Estas fuerzas son, por lo tanto, simplemente una técnica (Halliday, 1975), que nos permite aplicar la mecánica clásica de la manera normal a ciertos fenómenos, si se empeña en considerar a esos fenómenos desde un marco de referencia que se acelera, es decir desde un marco de *referencia no inercial*

¿POR QUÉ SE ADOPTAN SISTEMAS DE REFERENCIA LIGADOS AL SUELO TERRESTRE COMO SI FUERAN SISTEMAS DE REFERENCIA INERCIALES?

Se ha visto que es necesario adoptar sistema de referencia inercial para poder aplicar las leyes de la mecánica de Newton. Sin embargo, cuando se estudian movimientos de objetos en la proximidades de la superficie terrestre (por ejemplo, movimientos de proyectiles, balones en eventos deportivos, vehículos,..) es costumbre adoptar sistemas de referencia ligados a un cierto lugar fijo del suelo, que tiene aceleración centrípeta (la Tierra gira respecto de un eje propio a razón de una vuelta cada 24 horas)

Dicha aceleración tiene un valor muy pequeño (aproximadamente $0,034\text{m/s}^2$) y cuando estudiamos problemas sobre movimientos de objetos en las proximidades de la superficie terrestre, para un radio terrestre de aproximadamente $R = 6370\text{km}$ (lanzamientos, movimientos de vehículos,..), la consideramos despreciable. Por esta razón, se adopta en muchos casos un sistema de referencia ligado a la superficie terrestre para aplicar las leyes de

Newton. Pero lo cierto es que no es un verdadero sistema de referencia inercial y los resultados experimentales sobre movimientos reales difieren de las predicciones teóricas. Por ejemplo, los proyectiles realmente impactan en un lugar ligeramente desviado del que predicen las leyes de Newton. Cuando se buscan resultados más precisos que se realizan, por ejemplo, en ingenierías, se tiene en cuenta la aceleración de la Tierra.

Cálculo de la aceleración centrípeta en un punto de la superficie terrestre.

Para calcular la aceleración centrípeta de un punto de la superficie terrestre, vamos a suponer que en ese lugar se ha colocado un objeto fijo, como, por ejemplo, un semáforo. Al equilibrarse el peso y la normal la fuerza resultante que se ejerce sobre dicho semáforo es la fuerza que ejerce el suelo sobre el objeto llevándole encima. Esta fuerza consigue que el semáforo realice un movimiento circular y uniforme como el del suelo sobre el que se apoya (Figura N°25).

Es decir: $F = m \frac{v^2}{R}$; $V = \frac{2\pi R}{T}$ por tanto, la aceleración es: $a = \frac{(2\pi R)^2}{(T)^2} / R$; $a = 0,034 \text{ m/s}^2$

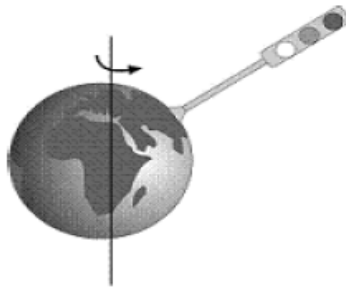


FIGURA: 19 ACELERACIÓN DE UN CUERPO SOBRE LA SUPERFICIE TERRESTRE. Imagen tomada de Google imágenes.

6.4 CONCEPTO DE FUERZA

El concepto de fuerza es un concepto intuitivo. Para empujar una mesa, cargar un peso o tirar de un vehículo hay que hacer fuerza. Se relaciona intuitivamente con el esfuerzo físico que hay que hacer para mover o cargar determinado objeto. Por tanto, es posible definir la fuerza a partir de este concepto intuitivo, como una *medida de la interacción entre diferentes cuerpos*. Sin embargo, para la física no es suficiente este concepto intuitivo. Las magnitudes físicas tienen que poder compararse entre sí numéricamente y para describir una fuerza sin ambigüedades es necesario dar su valor numérico. Significa que hay que comparar las fuerzas contra alguna fuerza patrón, o indirectamente contra algún otro patrón mediante fórmulas. A continuación se define el concepto de fuerza haciendo uso del criterio operacional.

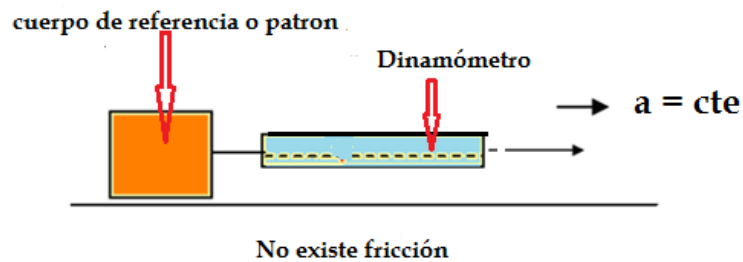


FIGURA: 20 DINAMÓMETRO ARRASTRA HACIA LA DERECHA EL CUERPO. Imagen realizada por el autor.

Considere la experiencia siguiente (Figura N° 20), donde un cuerpo es arrastrado hacia la derecha utilizando un dinamómetro. El dinamómetro es un instrumento que consiste esencialmente de un resorte y una escala graduada. Al aplicar una interacción en sus extremos, el resorte se estira y es posible leer diferentes valores en la escala. Los resultados que se obtienen al llevar a cabo diferentes experimentos son los siguientes:

- Diferentes aceleraciones conducen a diferentes extensiones del resorte, proporcionales para un mismo cuerpo. (Al duplicar la aceleración, se duplicaba la extensión del resorte, etc.)
- Si se cambia el cuerpo, cambian los valores de la escala y las aceleraciones, pero siguen siendo proporcionales. Además, los experimentos son reproducibles (para un cuerpo dado, igual aceleración, igual posición de la escala).

Por tanto, es posible escoger un cuerpo patrón y asignar valores a las fuerzas ejercidas por el resorte en función de las aceleraciones que se obtienen.

De estas observaciones, se puede concluir que la aceleración de un objeto es directamente proporcional a la fuerza neta (expresada mediante la deformación del resorte) que actúa sobre él

$$\vec{F} = k \vec{a} \quad (2.1)$$

Donde k es una constante arbitraria de proporcionalidad.

Se puede entonces calibrar diferentes dinamómetros, y estudiar el efecto de diferentes fuerzas aplicadas al mismo cuerpo (Figura N° 21). Se comprueba entonces experimentalmente que *las fuerzas se comportan como vectores*:

$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$$

Si las fuerzas están equilibradas: $\vec{a} = 0$



FIGURA: 21 DIFERENTES FUERZAS APLICADAS A UN MISMO CUERPO. Imagen realizada por el autor

Y el efecto de las fuerzas se traduce solamente en la deformación de los resortes.

FUERZA: medida de la interacción entre diferentes cuerpos, capaz de originar aceleraciones y/o deformaciones en los mismos

MASA INERCIAL E INERCIA

La misma fuerza, actuando sobre cuerpos diferentes, origina diferentes aceleraciones.

Se puede hacer una medición cuantitativa de la masa si se comparan las aceleraciones que una fuerza dada producirá sobre cuerpos diferentes. Si se supone que una fuerza que actúa sobre un cuerpo de masa m_1 produce una aceleración a_1 , y la misma *fuerza* al actuar sobre un cuerpo de masa m_2 produce una aceleración a_2 . La razón entre las dos masas se define como la razón *inversa* de las magnitudes de las aceleraciones producidas por la misma fuerza:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{|\vec{a}_2|}{|\vec{a}_1|}$$

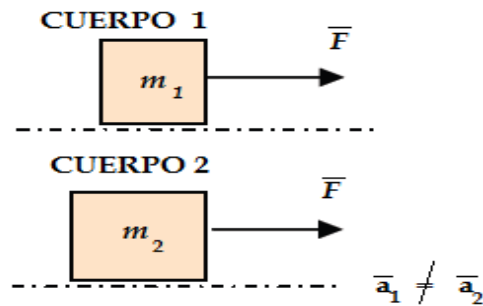


FIGURA: 22 LA FUERZA \vec{F} ACTÚA SOBRE LAS MASAS m_1 Y m_2 . Imagen realizada por el autor.

Si una de estas masas, se define como una masa conocida, es posible obtener la masa de un objeto desconocido a partir de mediciones de aceleración (Figura N° 22). La masa es una propiedad inherente a un cuerpo y es independiente del medio que la rodea y del método empleado para medirla. Es un hecho experimental que la masa es una cantidad escalar.

*“Masa es un término que se emplea para cuantificar la **inercia**”*

Si se intenta cambiar el estado de movimiento de cualquier cuerpo, el cuerpo se resistirá a este cambio. La resistencia de un cuerpo a un cambio de estado de movimiento se llama **inercia**.

En conclusión, se observa que la aceleración de un objeto es directamente proporcional a la fuerza neta (expresada mediante la deformación del resorte) que actúa sobre él, y se expresa mediante la relación:

$$\vec{F} = k \vec{a} \quad (2.2)$$

Donde la constante de proporcionalidad k , resulta ser inversa a la aceleración y directa a la fuerza, y es precisamente la misma relación que se mantiene entre la masa del cuerpo y la aceleración de este; por lo tanto el factor de proporcionalidad k no es otra cosa que la masa del objeto, y se denomina masa inercial; es prácticamente constante si la velocidad del cuerpo es muy inferior a la velocidad de la luz.

Esta relación entre magnitudes responde a la pregunta, ¿Qué le sucede a un objeto que tiene una fuerza resultante distinta de cero actuando sobre él? Esta relación establece el comportamiento dinámico de los cuerpos dentro de la mecánica clásica.

Se define como: *“La aceleración de un objeto es directamente proporcional a la fuerza resultante que actúa sobre él e inversamente proporcional a su masa.”*

$$\vec{F} = m \vec{a} \quad (2.3)$$

Los conceptos de masa inercial y masa gravitacional, se aplican a propiedades de la materia completamente distintas: la **masa gravitacional** de un cuerpo resulta de la atracción del cuerpo por otro (la tierra por ejemplo, atrae a otros cuerpos) y su medición no necesita movimiento, mientras que la **masa inercial** de un cuerpo resulta de la aceleración producida por una fuerza aplicada al cuerpo, y su medición necesita de estar el cuerpo en movimiento.

NATURALEZA DE LAS FUERZAS

Todas las interacciones que conocemos se traducen solamente por tres tipos de fuerza; ellas son: VALERO (1976)

1. Fuerza Gravitacional

Es una fuerza de atracción entre dos cuerpos debido a que ambos poseen una cualidad que se llama masa. Esta fuerza es muy débil y para sentir su efecto, al menos uno de los cuerpos debe ser de dimensiones planetarias.

2. Fuerza Electromagnética

Se descompone en:

- Una *fuerza eléctrica*, que es la fuerza de atracción o de repulsión entre dos cuerpos debido a que ambos poseen una cualidad que se llama *carga eléctrica*
- Una *fuerza magnética*, que es una fuerza adicional a la anterior cuando las *cargas están en movimiento*.

3. Fuerzas Nucleares

Son fuerzas que aparecen cuando las distancias de los cuerpos son muy cortas a nivel subatómico y que desaparecen cuando esta distancia aumenta. Estas fuerzas explican por qué las partículas dentro del núcleo del átomo se mantienen unidas. Es interesante notar que estas diferentes fuerzas, cualquiera que sea su naturaleza se producen sin que haya contacto entre los cuerpos; por esta razón se les denomina *fuerzas a distancia*.

En términos de la interacción, se debe clasificar las fuerzas como:

- De repulsión: cuando el efecto de la interacción es la tendencia a separar los objetos.
- De atracción: si este resultado corresponde a la propensión de mantener los cuerpos ligados.

Esta clasificación se visualiza fácilmente en la acción a distancia, pero cuando se analiza el contacto directo entre dos cuerpos puede resultar incómoda, ya que en este caso se puede observar fuerzas que son tangentes a las superficies de los objetos y parecieran no estar dentro de la categorización anterior. Como ejemplo se tiene la llamada fuerza de rozamiento o fricción, la cual se genera entre dos superficies en contacto y es tangente a ellas. Esta contradicción puede ser superada rápidamente al analizar dichas fuerzas en su origen microscópico, describiéndolas como el resultado de la combinación de muchas interacciones, que a este nivel, obedecen la clasificación anterior.

Una de las manifestaciones más sorprendentes de la naturaleza, es el hecho de que un cuerpo puede estar interactuando simultáneamente, y de manera independiente, con muchos otros y siempre puede “aceptar” una interacción más. En pocas palabras se dice que las interacciones, sobre un objeto, no se saturan. En términos de fuerzas se puede decir que un cuerpo, está sometido simultáneamente a la acción, de repulsión o atracción, de los objetos en su entorno. Pudiendo asociarle a cada fuerza la dirección en la cual se produce la repulsión o la atracción, según sea el caso. Esta peculiaridad le da a la fuerza un carácter vectorial, ya que además del valor, se le puede asignar una orientación en el espacio. Por otra parte, se puede ver que el efecto neto, de la acción combinada de muchas fuerzas actuando sobre un objeto es el de la superposición de todas ellas.

En general, se entiende la “fuerza como una representación matemática” (vectorial) de las interacciones, siendo, estas últimas, las responsables de los cambios en el estado de movimiento.

UN CAMBIO EN EL ESTADO DE MOVIMIENTO ES PRODUCIDO POR UNA INTERACCIÓN

Se ve, entonces, que un cuerpo cambiará su estado de movimiento, si y sólo si otro cuerpo actúa con una fuerza neta sobre él, diferente de cero. Esto significa que las fuerzas, como tales, no tienen existencia propia. No se puede advertir la presencia de una fuerza sin que esté asociada a un par de cuerpos: el que recibe la acción y el que la aplica.

Nótese que la representación de las diferentes interacciones a través de las fuerzas permite “sumar” sus efectos independientemente de la naturaleza de la interacción.

EN RESUMEN ALGUNAS PROPIEDADES DE LA FUERZA SON:

- Una fuerza se puede manifestar mediante un empujón o un tirón.
- Una fuerza es una interacción entre dos cuerpos o entre un cuerpo y los demás cuerpos que lo rodean.
- Una fuerza es una cantidad vectorial con magnitud y dirección.

Aun cuando todas de las fuerzas que se experimentan en la vida diaria pueden ser descritas en término de interacciones más fundamentales, básicamente: electromagnéticas y de gravedad, conviene hacer una descripción de algunas de ellas que permita entender, desde su carácter microscópico, su comportamiento macroscópico.

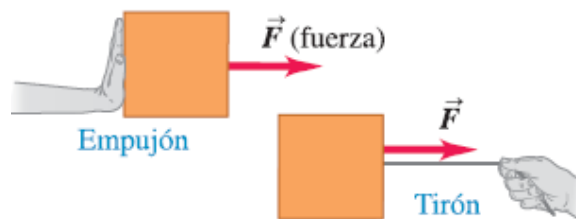


FIGURA: 23 INTERACCIÓN ENTRE LA MANO Y EL BLOQUE. Imagen tomada de Sears (2009)

Cuando una fuerza implica contacto directo entre dos cuerpos, como un empujón o un tirón que se ejerce con la mano sobre un objeto, la llamamos *fuerza de contacto* (Figura N°23).

Se debe entender como fuerza de contacto a la fuerza que un cuerpo hace sobre otro, debido sólo al contacto real entre los dos cuerpos. Se entiende contacto en el sentido macroscópico.

Los tres tipos más comunes de fuerza de contacto son: Sears (2009)

1. **La Fuerza Normal:** es la ejercida sobre un cuerpo por cualquier superficie con la que esté en contacto. El adjetivo normal significa que la fuerza siempre actúa perpendicular a la superficie de contacto (Figura N°24).

Fuerza normal \vec{n} : cuando un objeto descansa o se empuja sobre una superficie, ésta ejerce un empujón sobre el objeto que es perpendicular a la superficie.

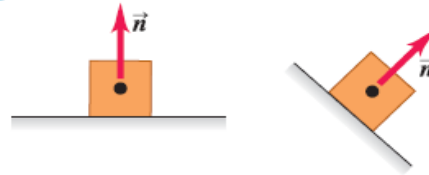


FIGURA: 24 FUERZA NORMAL, UN CUERPO DESCANSA SOBRE UNA SUPERFICIE. Imagen tomada de Sears (2009)

2. **La Fuerza de Rozamiento o Fricción:** es la ejercida sobre un cuerpo por una superficie que actúa paralela a la superficie del cuerpo, en la dirección opuesta al deslizamiento del cuerpo (Figura N° 25).

Fuerza de fricción \vec{f} : además de la fuerza normal, una superficie puede ejercer una fuerza de fricción sobre un objeto que es paralela a la superficie.

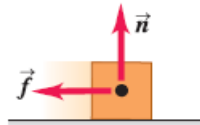


FIGURA: 25 FUERZA DE FRICCIÓN SOBRE UN OBJETO, ES PARALELA A LAS SUPERFICIES EN CONTACTO. Imagen tomada de Sears (2009)

3. **La Fuerza de Tensión** es la que se realiza sobre un cuerpo por medio de una cuerda o cadena, por ejemplo mediante un tirón de una cuerda que está atada a un cuerpo (Figura N° 26).

Fuerza de tensión \vec{T} : una fuerza de tirón ejercida sobre un objeto por una cuerda, un cordón, etc.

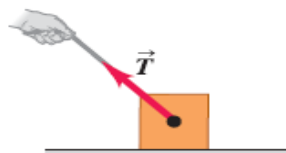


FIGURA: 26 FUERZA DE TENSIÓN, FUERZA EJERCIDA SOBRE UN OBJETO POR UNA CUERDA. Imagen tomada de Sears (2009)

Además de las fuerzas de contacto, también hay *fuerzas de largo alcance* que actúan aunque los cuerpos están separados. La fuerza entre dos imanes es un claro ejemplo de este tipo de fuerzas, así como la fuerza de gravedad (Figura N° 27); la tierra atrae hacia sí cualquier cuerpo que se deje caer, incluso cuando no haya contacto directo entre el cuerpo y la tierra. La fuerza de atracción gravitacional que la tierra ejerce sobre un cuerpo se llama peso del cuerpo.

Peso \vec{w} : el tirón de la gravedad sobre un objeto es una fuerza de largo alcance (una fuerza que actúa en una distancia).



FIGURA: 27 PESO: FUERZA QUE REALIZA LA TIERRA SOBRE EL OBJETO. Imagen tomada de Sears (2009)

Por lo tanto, para describir una fuerza vectorial F , se debe indicar su dirección de acción y su magnitud, la cantidad que describe “cuánto” o “qué tan tanto” la fuerza empuja o tira. La unidad en el SI de magnitud de fuerza es el “Newton” que se abrevia como N.

6.5 “FUERZAS DE INERCIA”, UNA ESTRATEGIA PARA TRATAR PROBLEMAS EN SISTEMAS DE REFERENCIA NO INERCIALES.

Como se dijo anteriormente ningún lugar en la superficie de la Tierra puede ser origen de un sistema de referencia inercial. Tampoco lo puede ser el centro de la Tierra, porque la Tierra en su conjunto se desplaza describiendo una elipse alrededor del Sol. En realidad, todos los objetos del Universo, como estrellas, planetas, cometas, etc., interactúan gravitatoriamente con el resto, de modo que se ejercen fuerzas sobre ellos. Por lo tanto, *ningún objeto del Universo puede ser origen de un verdadero sistema de referencia inercial.*

FUERZAS INERCIALES

Son las llamadas fuerzas ficticias, fuerzas falsas, o *seudofuerzas* que se establecen en los sistemas no inerciales o sistemas acelerados, para explicar los fenómenos que ocurren dentro de ellos a la luz de las leyes de Newton. Una forma de tratar el carácter no inercial es a través del uso de las llamadas fuerzas ficticias. Estas son fuerzas inerciales, o *seudofuerzas*, que no representan interacción entre cuerpos y se introducen de forma auxiliar, tal que permitan una manipulación algebraica de los términos relacionados a la no “inercialidad” de los sistemas.

Como se habrá podido experimentar, alguna vez, la sensación que se siente al estar dentro de un vehículo que arranca o frena es un ejemplo de este tipo de situación (Figura N° 28). En el primero de los casos, se siente que se es sujetado contra el asiento, mientras que en el segundo caso, lo que se siente es que “algo” jala del asiento. En el sistema de referencia ligado al vehículo, se puede interpretar esto como fuerzas que empujan hacia afuera del asiento, sin embargo, no se puede identificar el cuerpo que actúa sobre nosotros con dichas fuerzas.

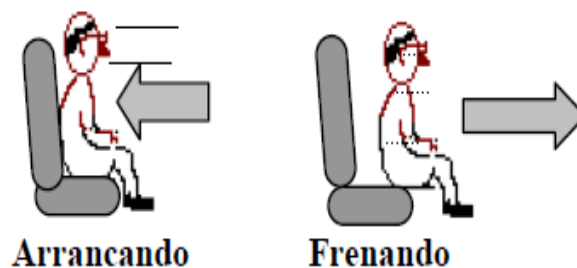


FIGURA: 28 FUERZAS QUE ACTUAN EN UN SISTEMA LIGADO A UN VEHÍCULO. Imagen tomada de Google imágenes.

Desde un sistema ligado a tierra, ambas situaciones pueden explicarse como una manifestación del principio de inercia, esto es: la tendencia a mantener el estado de movimiento si no existen fuerzas aplicadas. Si se describe al objeto con velocidad constante, desde el sistema ligado a Tierra, el cual se supone como un sistema inercial, se encuentra, de acuerdo a la ecuación:

$$m\vec{a}_R = m\vec{a}' \quad (2.13)$$

Siendo \vec{a}_R la aceleración del vehículo respecto a tierra y \vec{a}' la aceleración del cuerpo visto desde el vehículo. Desde el sistema en movimiento (el vehículo), se describe el cuerpo sometido a una fuerza de valor $\vec{F}' = m\vec{a}_R$ en la dirección del movimiento, cuando el auto frena y en sentido opuesto si el auto arranca.

6.6 ALGUNAS PRECISIONES SOBRE FUERZA CENTRÍPETA Y FUERZA CENTRÍFUGA

En muchas ocasiones se tiende a emplear mal los conceptos de fuerza centrífuga y de fuerza centrípeta, puesto que se presenta alguna confusión en su definición y por su puesto en su aplicación. Por lo tanto se hace necesario aclarar algunas ideas al respecto:

- La fuerza centrípeta puede estar definida, a partir de un sistemas de referencia inercial o de un sistema acelerado.
- La fuerza centrífuga se define sólo a partir de sistemas de referencia acelerados (no inerciales.)
- La fuerza centrípeta se debe a la interacción entre cuerpos. (Se puede definir que cuerpo actúa sobre otro, a través de una fuerza.)
- La fuerza centrífuga no se atribuye a la interacción entre cuerpos (Por eso se dice que no es una fuerza "real") *sino a la inercia*: la tendencia del cuerpo en movimiento a desplazarse a lo largo de una trayectoria recta. (Paul Hewitt pág. 138 segunda edición)
- La fuerza centrífuga se puede indicar que tiene su origen en *un efecto de la rotación* y no de una interacción entre cuerpos. (Paul Hewitt pág. 139 segunda edición)
- La fuerza centrípeta y la fuerza centrífuga obran sobre diferentes cuerpos. (Dentro de un mismo sistema de referencia no inercial.)
- En un mismo sistema de referencia no inercial la fuerza centrípeta y centrífuga no son pareja acción y reacción.
- Tanto la fuerza centrífuga como la fuerza centrípeta, depende de la masa "m" del cuerpo que gira, de la rapidez tangencial $|\vec{v}'|$ y del radio de curvatura r.

DEFINICIÓN DE FUERZA CENTRÍPETA

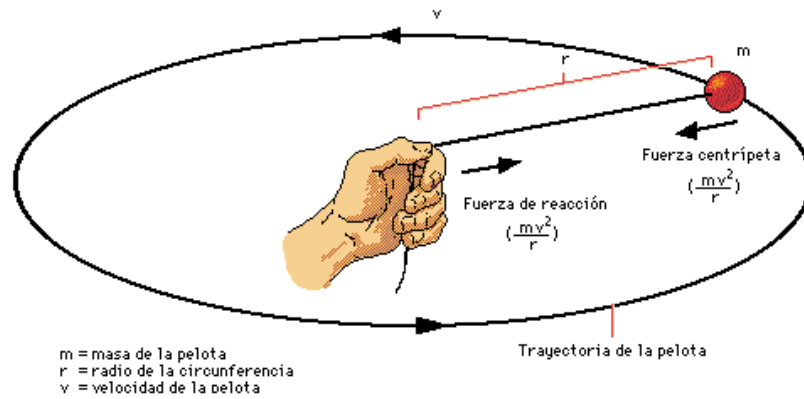


FIGURA: 29 FUERZA CENTRÍPETA ACTUANDO SOBRE UN CUERPO QUE GIRA. Imagen tomada de Google imágenes.

Si sobre un cuerpo en movimiento no actúa fuerza alguna o la fuerza neta es cero, el cuerpo describe un movimiento rectilíneo uniforme. Pero si el cuerpo describe una trayectoria curva, como por ejemplo, una circunferencia; resultado de un movimiento circular, su trayectoria obviamente no es rectilínea y, en consecuencia, su velocidad cambia de dirección constantemente, lo cual significa que debe actuar alguna fuerza sobre él. A la fuerza que ocasiona dicho cambio en la dirección se le conoce como *fuerza Centrípeta* (Figura N° 29).

La fuerza centrípeta es un vector cuya dirección, en cada punto, es la del radio de la circunferencia descrita por el móvil, y cuyo sentido apunta hacia el centro de la circunferencia.

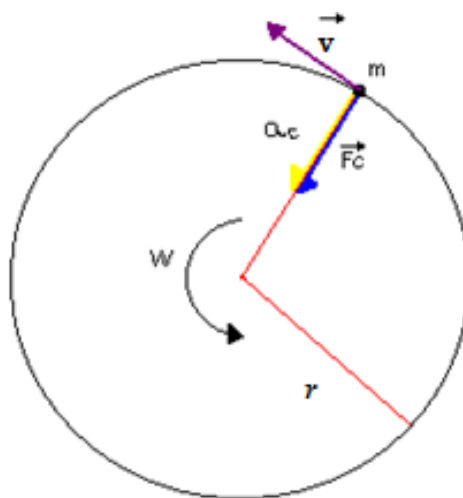


FIGURA: 30 FUERZA CENTRÍPETA ACTUANDO SOBRE UN CUERPO QUE GIRA. Imagen tomada de Google imágenes

Para hallar una expresión que permita calcular el valor de la fuerza centrípeta \vec{F}_c , se considera un cuerpo de masa “m” que gira con velocidad lineal \vec{v} describiendo una circunferencia de radio r (Figura N° 30).

Aplicando la ecuación fundamental de la dinámica, se tiene:

$$\vec{F} = m \vec{a} \quad (2.14)$$

Entonces:

$$\vec{F}_c = m \vec{a}_c = m \frac{\vec{v}^2}{r}$$

Es decir:

$$\vec{F}_c = m \frac{\vec{v}^2}{r} \quad (2.15)$$

Como la relación entre la velocidad lineal, \vec{v} y la velocidad angular $\vec{\omega}$, es $\vec{v} = \vec{\omega} r$, podemos obtener otra expresión para la fuerza centrípeta de la siguiente manera:

Es decir:

$$\vec{F}_c = m \vec{\omega} \times \vec{\omega} \times \vec{r} \quad (2.16)$$

En la ecuación de la fuerza centrípeta en función de la velocidad lineal, \vec{v} , se observa que dicha fuerza es inversamente proporcional al radio de giro, mientras, que en la ecuación en función de la velocidad angular, $\vec{\omega}$, se observa que es directamente proporcional al radio de giro.

CONCLUSIONES SOBRE LA FUERZA CENTRÍPETA

- Las fuerzas que producen un movimiento circular uniforme se llaman **Fuerzas Centrípetas** porque están dirigidas “hacia el centro” del movimiento.
- En síntesis se puede decir que los objetos o los cuerpos, se mantienen en una trayectoria circular debido a la acción de las **Fuerzas Centrípetas**.
- En un movimiento circular uniforme de un cuerpo; aunque el módulo de la velocidad permanezca constante, se produce siempre una aceleración, llamada centrípeta, sobre

este, por el cambio continuo en la dirección de la velocidad tangencial que posee el cuerpo.

- Si un cuerpo realiza un movimiento circular uniforme, es porque en cada punto de su trayectoria actúa una fuerza, cambiando su dirección, dirigiéndolo “hacia el centro” del movimiento circular uniforme, y produciendo una aceleración centrípeta sobre el cuerpo, que tiene la misma dirección de la Fuerza Centrípeta.
- Al designar a una fuerza como “Centrípeta”, simplemente significa que siempre apunta radialmente hacia adentro de la curva; pero el nombre no nos dice nada acerca de la naturaleza de la fuerza o del cuerpo que la está produciendo.
- La Fuerza Centrípeta, toma diferentes connotaciones dependiendo de la situación de estudio, por ejemplo: Una persona hace girar una piedra atada a una cuerda; aquí la tensión de la cuerda sobre la piedra, es la fuerza centrípeta. La luna que se mueve en torno de la tierra (En una órbita aproximadamente circular), la fuerza centrípeta es la atracción gravitacional de la tierra sobre la luna. Una moneda depositada sobre la superficie de un disco de acetato, gira con la misma velocidad angular del disco, la fuerza centrípeta es la fuerza de rozamiento, entre la superficie del disco y la superficie de la moneda. Para un electrón que circula en torno de un núcleo atómico, la fuerza es electrostática. Una fuerza centrípeta no es una nueva clase de fuerza sino simplemente una forma de describir cómo se comportan, al transcurrir el tiempo, ciertas fuerzas que son atribuibles a cuerpos específicos en el medio ambiente. Así, por ejemplo, una fuerza puede ser centrípeta, pero de naturaleza elástica, o de naturaleza gravitacional, centrípeta, pero de naturaleza electrostática, entre otras posibilidades.

EN SINTESIS LA FUERZA CENTRÍPETA

Se sabe que para modificar la velocidad de un móvil, es decir para imprimirle una aceleración, se requiere la acción de una fuerza. Si sólo se desea modificar la **magnitud** de la velocidad sin alterar su **dirección**, la fuerza debe actuar en la **misma dirección** de la velocidad, como por ejemplo, en un automóvil que se desea acelerar sin cambiar de dirección, Por el contrario, si lo que se quiere es modificar la **dirección** de la velocidad sin cambiar su **magnitud** la fuerza debe aplicarse **perpendicularmente** a la dirección de la velocidad, como en el caso de la **fuerza centrípeta**.

6.7 FUERZA CENTRÍFUGA

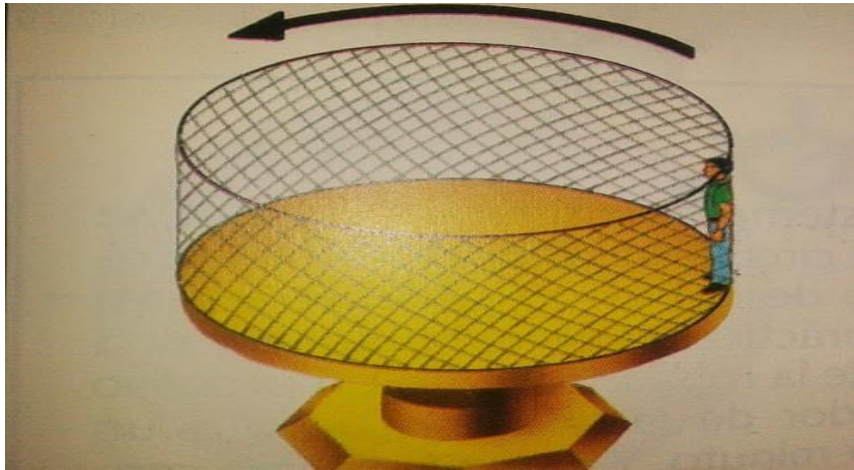


FIGURA: 31 PLATAFORMA QUE GIRA CON DETERMINADA VELOCIDAD ANGULAR. Imagen tomada de física de Santillana (1995)

Para realizar el estudio de la Fuerza Centrífuga, se puede iniciar con la siguiente situación:

Imaginar que se está contra la pared de una plataforma que gira con determinada velocidad lineal \vec{v} , y por supuesto con determinada velocidad angular $\vec{\omega}$. ¿Se siente fuerza o fuerzas actuando sobre uno?, ¿En qué sentido se siente la fuerza o fuerzas?. Si se siente que hay fuerza o fuerzas actuando, indicar, ¿cuál es el agente o cuerpo que realiza la fuerza o fuerzas sobre uno? (Figura N° 31)

La apreciación de la naturaleza depende del marco de referencia desde el que se vea.

Desde un marco de referencia inercial; es decir aquellos sistemas de referencia que son estacionarios o que se mueven con velocidades constantes respecto a un sistema de referencia fijo como lo es las "Estrellas Fijas", las fuerzas que se presentan actuando, se pueden identificar; quien las realiza y sobre quien se aplican. Estas fuerzas dentro de un sistema inercial, cumplen las leyes de Newton.

Pero desde un marco de referencia en rotación, también llamado sistema no inercial o sistema acelerado, la naturaleza tiene un aspecto diferente.

Para poder aplicar las leyes de Newton, que definen la mecánica clásica, en marcos de referencia no inercial se introducen fuerzas llamadas *seudofuerzas* o fuerzas inerciales. Se llaman así, porque, a diferencia de las fuerzas que existen en los *sistemas inerciales*, "donde se identifica: que cuerpos son los que realizan las fuerzas y que cuerpos, son los que las reciben", aquí, no se pueden asociar con ningún cuerpo en particular en el medio ambiente de la partícula sobre la cual obran, estas "fuerzas" que se perciben en los sistemas de *referencia no*

inerciales por sus efectos sobre los cuerpos y no por su origen; no se pueden clasificar dentro de las categorías establecidas para las fuerzas en los sistemas de referencia inerciales.

Finalmente, si se observa la partícula o cuerpo desde un marco inercial, desaparecen las *seudofuerzas*. Estas fuerzas son, por lo tanto, *simplemente una técnica* que nos permite aplicar la mecánica clásica de la manera normal a ciertos fenómenos, si se empeña en considerar a esos fenómenos desde un marco de referencia que se acelera. Halliday (1975)

Consideremos la situación vista por dos observadores:

El observador O' que está situado dentro de la plataforma que gira.

El observador O que está situado en tierra fuera de la plataforma.

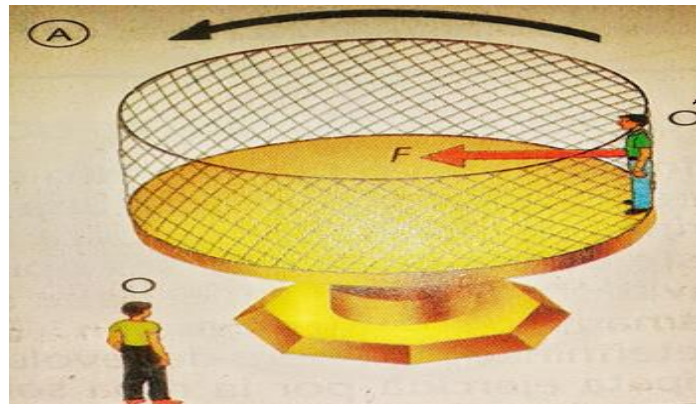


FIGURA: 32 PARA EL OBSERVADOR O , ACTUA LA FUERZA CENTRÍPETA. Imagen tomada de la física de Santillana (1995).

Para el observador O , que se encuentra fuera de la plataforma, las paredes de la plataforma ejercen fuerza sobre el observador O' , para que se mantenga en movimiento circular (Figura N° 32). Esta fuerza es igual a la *fuerza centrípeta* necesaria para que describa trayectorias circulares; por tanto, según el observador O :

$$\text{Fuerza Centrípeta} = \vec{F} = \vec{F}_c$$

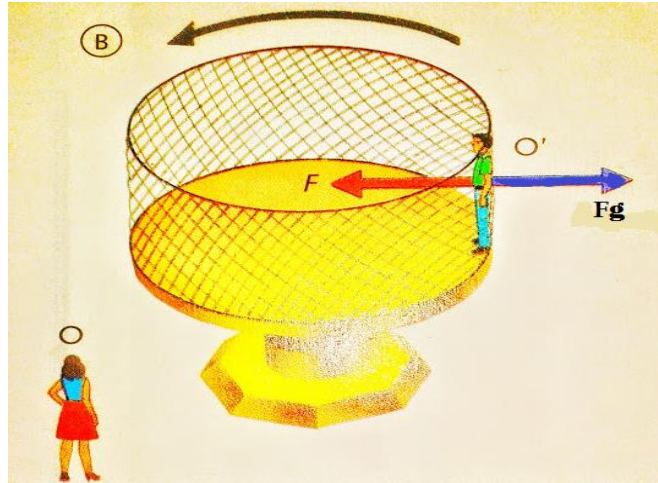


FIGURA: 33 PARA EL OBSERVADOR O', ACTUA LA FUERZA CENTRIFUGA. Imagen tomada de Google imágenes.

Para el observador O', que dentro de la plataforma experimenta el movimiento de la misma, la percepción es diferente. O' siente la fuerza \vec{F} , que le ejerce la pared de la plataforma hacia adentro y, a la vez, siente la tendencia a salir de la trayectoria circular. O' opina que sobre él actúan dos fuerzas: la fuerza $\vec{F} = \vec{F}_c$ y la fuerza que experimenta hacia afuera de la plataforma o **Fuerza Centrífuga** $= \vec{F}_g$ (Figura N° 33). Puesto que O' permanece quieto con respecto a la plataforma él opina que:

$$\text{Fuerza centrífuga} = \vec{F}_c = \vec{F}$$

¿Cuál de los dos observadores tiene la razón, el que opina que actúa una Fuerza Centrípeta o el que opina que actúa una fuerza centrífuga?

La diferencia se debe a la ubicación del observador. El observador O se encuentra en un sistema de *referencia inercial* y el observador O', en un sistema de referencia acelerado o *sistema no inercial*. Para que se cumplan las leyes de Newton en un sistema de referencia no inercial, el observador O' introduce la fuerza centrífuga; *él la siente, pero no podría explicar qué objeto o cuerpo se la ejerce*. A fuerzas como éstas se les denomina por esta razón, *Fuerzas Ficticias* o *Seudofuerzas*; parecen ser reales en sistemas de referencia no inerciales; sin embargo, no existen cuando el movimiento se observa desde un sistema de referencia inercial, como el del observador O.

La Fuerza Centrífuga que aparece en un marco de referencia en rotación es decir un sistema acelerado (sistema no inercial), no está provocada por un agente como la masa de un cuerpo, y no tiene contraparte en una interacción. Por tanto, no puede ser una “fuerza real”. Por eso los físicos la consideran una fuerza ficticia o *seudofuerza*, distinta de la fuerza de gravedad, de la fuerza electromagnética y las fuerzas nucleares. Sin embargo, la Fuerza Centrífuga es muy real para un observador en un sistema de referencia que está rotando es decir acelerado. Como la gravedad, que siempre está presente en la superficie de la tierra, la *Fuerza Centrífuga siempre está presente en un sistema de referencia no inercial*

ALGUNAS INTERPRETACIONES DE LA FUERZA CENTRÍFUGA.

- 1) La Fuerza Centrífuga *simplemente es una técnica* que permite aplicar las leyes de la mecánica clásica en un sistema no inercial. Halliday (1975)
- 2) La Fuerza Centrífuga *es un efecto de la variación de la dirección de la velocidad*, de un sistema de referencia.
- 3) La Fuerza Centrífuga *es un efecto de la inercia actuando sobre un cuerpo que tiene la tendencia a desplazarse a lo largo de una trayectoria recta, dentro de un sistema que rota.*

6.8 LA FUERZA CENTRÍFUGA Y LOS SISTEMAS DE ROTACIÓN

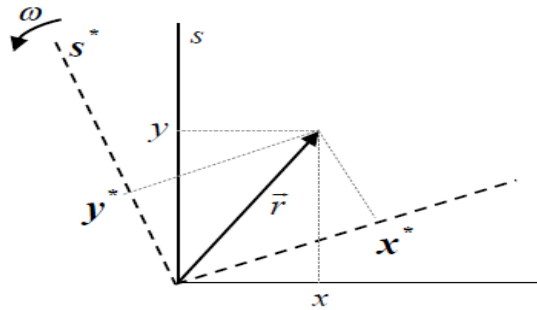


FIGURA: 34 SISTEMA DE REFERENCIA EN ROTACIÓN. Imagen tomada de Google imágenes.

Se observa ahora más detenidamente el papel de la Fuerza Centrífuga, desde el análisis de un sistema que está rotando. La figura N° 34 muestra la posición de la partícula, en movimiento, descrita a través del vector de posición \vec{r} , vista desde dos sistemas de coordenadas S (con coordenadas X, Y) y S^* (de coordenadas X^* , Y^*). El segundo de estos sistemas está rotando uniformemente, con velocidad $\vec{\omega}$ respecto al primero. Bajo esas circunstancias se logra demostrar, mediante un, largo y pesado, cálculo, que

$$\vec{a} = \vec{a}^* - 2\vec{v}^* \times \vec{\omega} - \vec{\omega} \times (\vec{r} \times \vec{\omega}) \quad (2.17)$$

Donde
$$\vec{a} = \hat{i} \frac{d^2x}{dt^2} + \hat{j} \frac{d^2y}{dt^2} \quad (2.18)$$

Es la aceleración de la partícula vista desde el sistema S

$$\vec{a}^* = \hat{i}^* \frac{d^2x^*}{dt^2} + \hat{j}^* \frac{d^2y^*}{dt^2} \quad \text{y} \quad (2.19) \quad \text{Y} \quad (2.20)$$

$\vec{v}^* = \hat{i}^* \frac{dx^*}{dt} + \hat{j}^* \frac{dy^*}{dt}$ representan la aceleración y la velocidad, de la partícula, medida desde S^* , respectivamente. Por su parte $\vec{\omega}$ es la velocidad angular del sistema S^* , en este caso, apuntando hacia afuera del plano.

Si la partícula está ligada al sistema S^* , entonces, desde S, se describe una trayectoria circular y la aceleración, en este sistema, está dada por:

$$\vec{a} = \vec{\omega} \times (\vec{r} \times \vec{\omega}) \quad (2.21)$$

Nótese que esta aceleración es radial y dirigida hacia el centro. Se le conoce como aceleración centrípeta. De esta forma, se ve que un cuerpo de masa m , que se mueve en una circunferencia, de radio R , está sometida a una fuerza centrípeta cuyo valor es:

$$\vec{F}_c = m \vec{\omega}^2 R \quad (2.22)$$

Supóngase ahora, que la partícula está fija en el sistema S . En este caso, desde el sistema S^* se describe la partícula moviéndose en una trayectoria circular, en sentido opuesto al movimiento del sistema.

De la ecuación:
$$\vec{a} = \vec{a}^* - 2\vec{v}^* \times \vec{\omega} - \vec{\omega} \times (\vec{r} \times \vec{\omega}) \quad (2.23)$$

° Para el interesado en esta demostración se recomienda: “Mechanics” de Keith Symon

Se encuentra:

$$\vec{F}^* = m\vec{a}^* = 2m\vec{v}^* \times \vec{\omega} + m\vec{\omega} \times (\vec{r} \times \vec{\omega}) \quad (2.24)$$

El segundo término de esta ecuación representa un efecto introducido por la rotación.

En este caso se interpreta como una fuerza que siempre apunta en dirección radial en sentido “saliente” a la circunferencia. De esta forma, desde el sistema en rotación se describe una fuerza que tiende a sacar el objeto de su trayectoria circular, por esta razón se le conoce con el nombre de *Fuerza Centrífuga*

$$\vec{F}_g = \vec{F}_{centrífuga} = m\vec{\omega} \times (\vec{r} \times \vec{\omega}) \quad (2.25)$$

Este es el efecto que se experimenta cuando, se monta en un vehículo, éste gira: se siente que “algo” empuja hacia el lado opuesto de la curva. Así, un cuerpo que se encuentra girando, con velocidad angular $\vec{\omega}$, en una circunferencia de radio R , debe experimentar una fuerza centrífuga de valor:

$$\vec{F}_g = \vec{F}_{centrífuga} = mR\vec{\omega}^2 \quad (2.26)$$

Nótese que este valor es exactamente el mismo para la fuerza centrípeta.

En general, la aplicación de las leyes de Newton en sistemas no inerciales obliga a incluir términos de las fuerzas, que está relacionados a la no inercialidad de los sistemas.

CAMPO INERCIAL

De lo anteriormente expuesto se puede llegar a definir, que la forma correcta de la segunda ley de Newton, en sistemas no inerciales debe ser:

$$\vec{F}_{int} + \vec{F}_{iner} = m \vec{a} \quad (2.27)$$

Donde el primer término representa las fuerzas reales, esto es, aquellas que están relacionadas a la interacción. Por su parte, el segundo término corresponde a las fuerzas ficticias, o fuerzas inerciales que están relacionados al efecto que introducen los sistemas no inerciales y no pueden ser pensadas como fuerzas de carácter real ya que no representan ningún tipo de interacción.

Suponga que, ligados al sistema no inercial, experimentamos con un cuerpo, de masa inercial m , registrando la fuerza que éste soporta al mantenerlo fijo en diferentes puntos. Se encuentra que a cada punto del espacio, visto desde este sistema, se le puede asociar el valor de la fuerza (ficticia) que en ese punto experimenta el cuerpo. Esto permite introducir la idea de un campo vectorial (asociado a este sistema) el cual se llama *campo Inercial* \vec{I}_n , definido como:

Usando las ecuaciones:
$$\vec{I}_n = \frac{\vec{F}_{iner}}{m} \quad (2.28)$$

$$\vec{F} = m \vec{a} = m(\vec{a}_R + \vec{a}') \quad (2.29)$$

y la ecuación (2.24)

Encontramos que dicho campo toma la forma:

$$\vec{I}_n(\vec{r}') = \vec{\omega} \times (\vec{r}' \times \vec{\omega}) + \vec{a}_R \quad (2.30)$$

La ecuación anterior representa al fuerza (por unidad de masa inercial) que experimentará un cuerpo al ser colocado en la posición \vec{r}' . Esta cantidad es independiente del objeto y es asociada al espacio vira desde este sistema. Entonces, desde un sistema no inercial, el espacio se presenta conteniendo un campo de fuerzas.

De la ecuación:

$$\vec{I}_n = \frac{\vec{F}_{iner}}{m} \quad (2.31)$$

Fácilmente vemos que la fuerza ficticia que soporta un cuerpo, "sumergido" en un campo Inercial \mathbf{I}_n es:

$$\vec{F}_{iner} = m \vec{I}_n \quad (2.32)$$

Es interesante ver la similitud de la fuerza de la expresión anterior, con la fuerza eléctrica que soporta un cuerpo con carga "q" en un campo eléctrico "E"

$$\vec{F} = q\vec{E} \quad (2.33)$$

O un cuerpo de masa (masa gravitatoria) m_g , en campo gravitacional \vec{g}

$$\vec{F} = m_g \vec{g} \quad (2.34)$$

Nótese que la correspondencia entre la masa inercial y la masa gravitacional sugiere una cierta equivalencia entre el campo inercial \vec{I}_n y el campo gravitacional \vec{g} .

7. PROPUESTA DIDÁCTICA

7.1 ESTÁNDARES DEL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL (M.E.N)

TABLA N° 9

Propios de las ciencias		Propios de las ciencias. Ciencia, Tecnología y sociedad	Desarrollo compromisos personales y sociales
ENTORNO FÍSICO	PROCESOS FÍSICOS		
<ul style="list-style-type: none"> • Establezco relaciones entre las diferentes fuerzas que actúan sobre los cuerpos en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme y establezco condiciones para conservar la energía mecánica. • Modelo matemáticamente el movimiento de objetos cotidianos a partir de las fuerzas que actúan sobre ellos. • Explico la transformación de energía mecánica en energía térmica. • Establezco relaciones entre estabilidad y centro de masa de un objeto. • Establezco relaciones entre la conservación del momento lineal y el impulso en sistemas de objetos. • Relaciono masa, distancia y fuerza de atracción gravitacional entre objetos. • Establezco relaciones entre el modelo del campo gravitacional y la ley de gravitación universal. • Establezco relaciones entre fuerzas macroscópicas y fuerzas electrostáticas. • Establezco relaciones entre campo gravitacional y electrostático y entre campo eléctrico y magnético. 		<p>Explico aplicaciones tecnológicas del modelo de mecánica de fluidos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analizo el potencial de los recursos naturales en la obtención de energía para diferentes usos. 	<p>Escucho activamente a mis compañeros y compañeras, reconozco otros puntos de vista, los comparo con los míos y puedo modificar lo que pienso ante argumentos más sólidos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reconozco y acepto el escepticismo de mis compañeros y compañeras ante la información que presento. • Reconozco los aportes de conocimientos diferentes al científico. • Reconozco que los modelos de la ciencia cambian con el tiempo y que varios pueden ser válidos simultáneamente. • Cumpló mi función cuando trabajo en grupo y Respeto las funciones de otras personas. • Me informo para participar en debates sobre temas de interés general en ciencias.

ESTÁNDARES DEL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL (M.E.N)

Los estándares en ciencias naturales del M.E.N plantean el estudio del concepto de fuerza, mediante la expresión “Relaciono el estado de reposo o movimiento de un objeto con las fuerzas aplicadas sobre éste”, para grados de cuarto a quinto.

Para los grados sexto a séptimo, se hace referencia al concepto de fuerza en las expresiones: “Verifico la acción de fuerzas electrostáticas y magnéticas y explico su relación con la carga eléctrica.”, “ Verifico relaciones entre distancia recorrida, velocidad y fuerza involucrada en diversos tipo de movimiento” y “Explico el modelo planetario desde las fuerzas gravitacionales”. Para los grados octavo y noveno, no se plantea ninguna temática donde haya relación con el concepto de fuerza. En los grados Décimo y Undécimo, el componente físico se titula: “*Explico las fuerzas entre objetos como interacciones debidas a la carga eléctrica y la masa*”, en este ciclo de aprendizaje se aborda el concepto de fuerza, y de las clases de fuerza entre las cuales debe estar comprendidas la fuerza centrípeta y la fuerza centrífuga, a través de las expresiones: “Establezco relaciones entre las diferentes fuerzas que actúan sobre los cuerpos en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme y establezco condiciones para conservar la energía mecánica”, “Relaciono masa, distancia y fuerza de atracción gravitacional entre objetos” y “Establezco relaciones entre fuerzas macroscópicas y fuerzas electrostáticas. En esta primera formulación de la competencia se debe tener en cuenta que aparece de forma implícita, el concepto de *Sistema de referencia* al estudiar la expresión: “la fuerza que actúa sobre un cuerpo que está en reposo o con movimiento rectilíneo uniforme”, ya que es necesario tener claro en reposo o en movimiento con respecto a qué o a quién.

En la segunda formulación de la competencia para estos grados, se debe tener en cuenta que se establece la expresión: “atracción gravitacional”; por lo tanto es necesario introducir el concepto de “campo” de gravedad, lo que sin duda alguna permite hablar de interacciones (fuerzas) sin que haya contacto entre los cuerpos que interactúan. De la misma manera esta expresión permite hablar de las fuerzas que actúan a nivel gravitacional y puede ser una ocasión propicia para introducir el concepto de fuerza centrípeta y/o fuerza centrífuga si se muestra la atracción gravitacional a nivel de los planetas por ejemplo.



FIGURA: 35 ESTÁNDAR DE CIENCIAS EJE DE FÍSICA. Imagen tomada de la cartilla de estándares.

7.2 MARCO CONCEPTUAL DE LA PROPUESTA

Se entiende que el aprendizaje significativo en los estudiantes de secundaria, y más aún la comprensión de conceptos fundamentales en las ciencias exactas por parte de estos estudiantes, es una tarea con un alto porcentaje de fracaso que no sorprende hoy en día a investigadores y profesores de ciencias.

Sin embargo, las razones de esta delicada situación de aprendizaje y comprensión en los estudiantes son, y siguen siendo objeto de estudio y debate por parte de muchos entendidos. Probablemente las causas sean múltiples y resulte complicado abordarlas todas a la vez. Sin señalar los porcentajes de cada una, es claro que parte de la responsabilidad del fracaso está en los alumnos, parte en los profesores y, seguramente, otra parte esté en el contexto escolar y en la propia sociedad.

Refiriéndose específicamente al fracaso por parte de los alumnos, se encuentra un conjunto de causas que tiene un común denominador: lo que los “alumnos saben” (Las ideas previas o conceptos previos), “saben hacer” (Estrategias de razonamiento), “creen” (Concepciones epistemológicas) y “creen que sabe” (Estrategias Metacognitivas).

Haciendo referencia a Pozo (1987, pág. 83) se puede afirmar que estos elementos conforman una especie de “conspiración cognitiva” contra el trabajo del profesor de ciencias y constituyen obstáculos formidables que dificultan enormemente el aprendizaje significativo de las ciencias por parte de los alumnos.

Si se es, aún más específico en la dificultad del aprendizaje de estos estudiantes, desde un primer momento, se tiene claro que es necesario abordar el manejo de los conceptos previos o conocimientos previos, como un primer obstáculo epistemológico Bachelard (1976, pág. 19), que limita o impide, afectando la capacidad del alumno para construir el conocimiento real o empírico en la ciencia.

Actualmente, estudiar un área como la física es poco atractivo para los estudiantes, porque si se le mira desde la lente de las dificultades, un primer y enorme obstáculo en el aprendizaje que los estudiantes encuentran, es la deficiente formación de la estructura en ciencias exactas (Principalmente en Matemáticas y ciencias básicas)

Con relación a los estudiantes del colegio **I.E.D Carlos Arango Vélez JM**, de los grados décimos, no es la excepción a la regla, son estudiantes que de acuerdo al pre-test aplicado, arroja estadísticas que revelan que no hay una comprensión de conceptos tan fundamentales en la física como: fuerza, fuerza centrípeta, fuerza centrífuga, sistema de referencia y sistema rotacional. Los alumnos no realizan explicaciones coherentes y lo que se observa en sus

respuestas es una deficiente fundamentación conceptual. Por todos los argumentos anteriormente expuestos se realiza una “**propuesta didáctica**” ante las dificultades encontradas en el proceso de enseñanza – aprendizaje de la física, específicamente al abordar los temas de la dinámica, sistemas de referencia y dinámica rotacional. Esta **propuesta didáctica** se centra en los desarrollos de una **guía** de fundamentación que ha sido estructurada básicamente sobre dos elementos de naturaleza pedagógica y un análisis estadístico proporcionado por el documento: “Forcé Concept Inventory” (FCI). (Ver Análisis del force concept inventory y anexo- 2)

1. La búsqueda de la reducción de uno de los obstáculos epistemológicos “Los Conocimientos Previos”, como fuente del error conceptual.
2. El aprendizaje significativo de los conceptos, a partir de los “conocimientos previos” o concepciones alternativas
3. El cuestionario sobre el concepto de fuerza (Forcé Concept Inventory). Documento que proporciona datos válidos, confiables y reproducibles de medición sobre la comprensión conceptual de los estudiantes, específicamente en las preguntas del concepto fuerza.

La **guía** se debe entender como instrumento de ayuda en la construcción y fundamentación dentro del proceso de formación de los conceptos científicos.

REFERENTES TEÓRICOS.

La propuesta didáctica se enfoca en la construcción de una guía de fundamentación, que a su vez se soporta en dos elementos de naturaleza pedagógica; que por lo tanto se hace necesario conocer algo de sus referentes teóricos.

OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS

Los niños y los jóvenes presentan limitaciones en el proceso de formación de los conceptos científicos.

Esto se puede explicar a la luz de las propuestas de **Gastón Bachelard** en relación con los obstáculos epistemológicos que se presentan en el proceso de aprendizaje de las ciencias a nivel de estudiantes de enseñanza media y media básica.

De acuerdo con Bachelard se dan cinco obstáculos principales:

- 1 .Los conocimientos previos
2. El obstáculo verbal

3 .El peligro de la explicación por la utilidad

4. El conocimiento general

5. El obstáculo animista

Es necesario que el o la docente los conozca para que establezca estrategias didácticas que permitan superarlos y así facilitar a los estudiantes el proceso de aprendizaje en el área de ciencias y el logro de los propósitos fundamentales de esta asignatura.

Las limitaciones que presentan los estudiantes en el proceso de construcción de los conceptos científicos se pueden explicar con base en las propuestas de Gastón Bachelard en relación con los obstáculos epistemológicos que la "Historia de las Ciencias" ha debido superar a lo largo de muchos años y que todavía hoy permanecen vigentes a nivel del proceso de enseñanza de las ciencias en los estudiantes de edad escolar y en adolescentes. Al respecto, Bachelard opina "La noción del obstáculo epistemológico puede ser estudiada en el desarrollo histórico del pensamiento científico y en la práctica de la educación" (Bachelard 1976, pág. 19).

Entiéndase por obstáculos epistemológicos las limitaciones o impedimentos que afectan la capacidad de los individuos para construir el conocimiento real o empírico. El individuo entonces se confunde por el efecto que ejercen sobre él algunos factores, lo que hace que los conocimientos científicos no se adquieran de una manera correcta, lo que obviamente afecta su aprendizaje. Esto lo confirma Bachelard al expresar "Frecuentemente me ha chocado el hecho de que los profesores de ciencias aún más que los otros si cabe, no comprendan que no se comprenda" (Bachelard 1976 pág. 20).

La Experiencia Básica o Conocimientos Previos.

En la construcción de conceptos científicos el primer obstáculo es la experiencia básica o los conocimientos previos, es decir que los individuos antes de iniciar cualquier estudio, tienen ya un conjunto de ideas muy propias acerca del cómo y el porqué de las cosas son como son.

Esta ideas previas pueden ejercer una potente influencia que puede limitar el proceso de aprendizaje. Para Bachelard (1976 pág. 27). "En la formación del espíritu científico el primer obstáculo es la experiencia básica". Esto carga de subjetividad las observaciones y se pueden tener concepciones erróneas, ya que las cosas se ven tal como nosotros queremos verlas y no Como realmente son. En relación con este aspecto, al analizar la situación de los y las estudiantes en el colegio, se observa que al tratar de comprender un concepto y explicarlo, elaboran construcciones personales con base en lo que han observado a su alrededor y en su interacción cotidiana con las personas que les rodean y con los medios de comunicación, como

la televisión, el internet, etc. Se forman así conocimientos que aunque no son correctos desde el punto de vista científico, le sirven al estudiante para comprender los conceptos estudiados. Estos conocimientos se evidencian a través del lenguaje cuando se le pide al alumno que exprese una definición sobre un determinado concepto. Ejemplo: Al preguntarle: ¿Qué es un cambio de estado? Responde: " Es cuando el hielo se derrite y se convierte en agua" Aquí el niño traslada su experiencia de lo que observó en un trozo de hielo, pero no hace explícito el concepto. Sólo describe lo que interiorizó al hacer sus observaciones Este conocimiento se toma frágil, porque el niño no generaliza, sino que particulariza el concepto a un solo hecho.

Son muchos los ejemplos en donde se nota la influencia de la experiencia previa que hace que las conceptualizaciones se den de manera errónea. Estos Conceptos previos, según Ausubel (1986:61) y Pozo (1989:28), son muy estables y resistentes al cambio, ya que por lo general son compartidos por muchas personas de diferentes edades, contextos culturales, formación y países. Además, muestran una serie de características relacionas con el origen que tengan, de acuerdo con esto, Pozo y otros (1989:34), los clasifican en tres grupos: concepciones espontáneas, concepciones inducidas y concepciones analógicas. A continuación se analizaran ejemplos de cada una de ellas.

- **Concepciones Espontáneas**

Se forman por las percepciones sensoriales que tienen los niños acerca del mundo que les rodea y de hechos de la vida cotidiana. Algunos ejemplos del trabajo realizado con escolares de siete años de edad, son los siguientes:

Al preguntar ¿Qué es el aire? Un niño de siete años responde: aire es el viento que sopla. Es frío y mueve las hojas de los árboles. Otro ejemplo es el siguiente:

Calor: Es algo caliente que produce el sol y que nos quema.

En estos casos es evidente la influencia de las percepciones sensoriales, las descripciones las realizan los niños con base en sensaciones y dejan de lado la definición científica y el lenguaje empleado por el maestro del colegio.

- **Concepciones Inducidas**

Son creencias inducidas debido a procesos de socialización. Estas concepciones se originan en el entorno familiar, social y por la influencia de los medios de comunicación. Al preguntar a un niño de nueve años ¿Qué es trabajo? Su respuesta fue: "Trabajo: es lo que hacen las personas para ganarse la vida" No hacen referencia al concepto físico de trabajo: "Fuerza que se necesita para mover un objeto a una distancia determinada". Es obvia la influencia de la concepción social de trabajo. De lo cotidiano, de lo que las personas comprenden como trabajo en su medio familiar. Utilizan el homónimo que hace referencia a lo más cercano, a lo que viven diariamente.

- **Concepciones Analógicas**
Se derivan de las comparaciones que se realizan con hechos de la vida cotidiana, así la comprensión del concepto se basa en la formación de analogías generadas por los propios alumnos en su entorno familiar o en la escuela. Ejemplos:
Al preguntar a un alumno de ocho años: ¿Qué es el movimiento? Responde: Es como un trompo que da vueltas. Aquí no lo define, sino que hace una comparación para definir el concepto. Se pregunta a otro niño de 9 años ¿Qué es fuerza?, Responde: Es como una energía que nosotros tenemos en nuestro cuerpo, y la obtenemos cuando comemos alimentos, y nos permite correr y jugar.

EL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO

EL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO CAMINO HACIA EL CAMBIO CONCEPTUAL.

Dentro de las nuevas propuestas para la enseñanza de las ciencias, se ha encontrado que siguen mayoritariamente organizadas con relación a “contenidos verbales”, que siguen siendo el eje central de la mayor parte de los currículos de ciencias.

Estos currículos orientados por los contenidos verbales, durante cierto tiempo han estado apuntando a promover el uso de procedimientos o procesos de la ciencia, Caamaño (1994). Sin embargo el uso de esos procedimientos sólo es eficaz si se dispone de conocimientos conceptuales adecuados.

Según las investigaciones en innovación didáctica, se debe reorientar el uso de estos procedimientos hacia la comprensión de los núcleos conceptuales básicos de la ciencia, ya que los alumnos no poseen este tipo de conocimientos conceptuales.

Los “Contenidos Verbales” en el Currículo

Los contenidos verbales han desempeñado casi siempre un papel central como eje estructurador, hay diversas formas de entender estos contenidos; para desarrollar el currículo de ciencias, tanto en su organización, como en las propias actividades de enseñanza - aprendizaje, en la evaluación que constituye el trabajo diario en las aulas, de hecho, partiendo de una distinción ya establecida en los currículos (Coll 1986), podemos diferenciar entre tres tipos de contenidos verbales: **Datos, Conceptos y los Principios.**

Un dato o un hecho es una información que afirma o declara algo sobre el mundo. Ej: El valor del campo de gravedad es de aproximadamente $9,8 \text{ m/s}^2$, o la temperatura de ebullición del agua a la presión de 1 atmósfera es de 100° centígrados.

Parte de esos datos necesarios para aprender ciencia deben enseñarse en las aulas, pero otros son de conocimiento público, producto de la integración con los objetos, por Ej: No hay que

enseñar a los niños que los objetos no soportados caen, es un hecho que conocen desde una edad sorprendentemente temprana, desde la cuna (Carey y Spelke 1994). En conclusión una cosa es conocer el dato, o el hecho, y otra muy diferente es darle significado o sentido a ese dato. Comprender un dato requiere utilizar conceptos, es decir relacionar esos datos dentro de una red de significados que explique por qué se producen y que consecuencias tienen (Los bebés saben que los objetos no soportados caen, pero otra cosa es que sepan interpretar ese hecho).

Conocer un dato permite en el mejor de los casos reproducirlo o predecirlo (Ej.: $g = 9,8 \text{ m/s}^2$, el objeto caerá o se detendrá), pero no darle sentido o interpretarlo (Ej: ¿por qué no influye la masa en la velocidad con la que caen los objetos?, ¿por qué se evapora el agua?).

Responder a estas preguntas requiere conocer otros hechos y sobre todo otros conceptos, por lo que interpretar o comprender un dato es más difícil que conocerlo.

Un dato se debe aprender exactamente, literalmente para reproducirlo (qué sentido tiene recordar la mitad de los dígitos de un teléfono, o no saber exactamente 1 metro a cuantos nanómetros es igual). En general el aprendizaje factual de contenidos, suele consistir en la adquisición de información verbal literal (nombres, vocabulario, etc. O una información numérica, Ej: aprender una tabla de multiplicar de memoria). Algunos datos o hechos, pueden tener un significado, o pueden ser comprendidos (Ej: ¿por qué existe el día y la noche?, si es capaz de establecer ciertas relaciones entre los movimientos de rotación y translación de la tierra, este dato mucha gente lo puede conocer sin necesidad de aprender ciencia.)

La ciencia proporciona algunos datos nuevos, a veces muchos, pero sobre todo debe proporcionar “Marcos Conceptuales” para interpretar no sólo esos datos nuevos, sino también la información factual que los alumnos tienen sin necesidad de estudiar ciencias. Por tanto debe ser claro que una cosa es que los alumnos aprendan la ciencia como un conjunto de datos y otra como un sistema de conceptos, implica formas distintas de orientar la enseñanza de la ciencia (es posible que ambas formas sean complementarias). Sin embargo la enseñanza de los contenidos verbales, tiende a orientarse hoy en día más hacia la comprensión que hacia la acumulación de datos. Pero dentro de ese aprendizaje de conceptos, puede establecerse a su vez una distinción entre los “principios o conceptos estructurantes” de una disciplina, y los conceptos específicos.

Los principios se consideran generales y de un alto nivel de abstracción; no siempre lo suficientemente explícitos. Por ejemplo conceptos tales como el de la conservación y el equilibrio en el área de las ciencias exactas, son conceptos específicos, considerados “principios” que atraviesan los contenidos de muchas materias, y cuya inclusión plena debe ser uno de los objetivos esenciales de su inclusión en la educación.

Difícilmente un alumno puede comprender nociones específicas, si no se domina esos “principios”; por lo tanto una de las metas debe ser la asimilación o construcción por los

alumnos, de los “principios o conceptos estructurantes”, a los que debe acceder a través de los contenidos conceptuales específicos de las materias; y que por lo tanto constituyen el listado habitual de los contenidos conceptuales (Ej: energía, fuerza, etc.).

Los datos o hechos, los conceptos específicos y los principios, implican un conocimiento creciente y gradual de la generalidad, de tal modo que los contenidos más específicos deberían ser el medio para acceder a los contenidos más generales, que constituirían propiamente las capacidades a desarrollar (Pozo,1999). En otras palabras los diferentes contenidos verbales desempeñarían una función distinta en el currículo, y de algún modo se requieren mutuamente. La meta final debería ser, lograr una comprensión de los contenidos más abstractos y generales (en este caso los principios), pero ello sólo es posible a través de los contenidos más específicos, los conceptos y los datos.

¿Tienen que aprender datos los alumnos?

Ante la creciente búsqueda de significado de todos los conocimientos, parece que los datos o hechos son relegados a un segundo plano. Si se tiene una educación científica dentro del contexto de una sociedad en la que sobra la información, y faltan “Marcos Conceptuales” para interpretar esa información, de modo que la transmisión de datos no debe constituir un fin principal de la educación científica, que debe estar dirigida más bien a dar sentido al mundo que nos rodea, a comprender las leyes y principios que lo rigen.

Gran parte de nuestro aprendizaje radica en la retención de datos y hechos que guardamos en nuestra memoria, y dado que muchos de estos datos, luego no se usan para interpretar situaciones o predecir, tendemos a olvidarlos (Pozo, 1996).

Es normal que si los alumnos tienen dificultades para comprender los conceptos básicos de la ciencia, aún más dificultad tienen para recordar los datos que no comprenden. Aunque transmitir datos no es un fin esencial de la educación, no significa que no sea necesario enseñar datos. De hecho no puede enseñarse ciencia sin datos. Los datos deben ser un medio para acceder a otras formas del conocimiento verbal, más próximas a la comprensión. Son necesarios para facilitar el aprendizaje significativo, es decir cuando los datos son funcionales. En síntesis un dato debe estar condicionado a la comprensión y su uso funcional del conocimiento. Como señala Claxton (1991) enseñar los conocimientos científicos como datos, o hechos sin significado para el alumno, por ejemplo axiomas o principios no entendidos ni discutidos, convierte el aprendizaje en una cuestión de fe.

Cuando se comprende, se encuentra sentido a las cosas, los datos dejan de ser arbitrarios y por lo tanto son más fáciles de recordar, en todos los dominios del aprendizaje.

En síntesis la mejor forma de aprender los hechos de la ciencia es comprenderlos. El problema es que comprender algo es bastante más difícil que repetirlo y, por consiguiente, la enseñanza de conceptos es más compleja que la enseñanza de datos.

LA COMPRENSIÓN DE CONCEPTOS:

Aprendizaje Significativo y Conocimientos Previos.

Aprender un dato consiste en **copiar** de forma exacta o literal ese dato, se aprende mediante el proceso de **repetición**, se adquiere de una vez, se guarda en la memoria y se olvida rápidamente.

Un alumno o una persona adquiere un concepto cuando es capaz de dotar de significado a un material o una información que se le presenta, es decir cuando “comprende” ese material; donde comprender es equivalente a explicar correctamente el material con sus propias palabras. El alumno en el aula tiene sus propios modelos o representaciones de la realidad y se puede decir, que ha entendido por Ej: al definir el concepto “Fuerza” cuando se logra que lo conecte con esas representaciones previas, que lo “traduzca” a sus propias palabras y a su propia realidad.

Un problema muy habitual en las aulas, es que los profesores “Explican o enseñan conceptos” (Ej: Energía, fuerza, fuerza centrífuga, sistema, etc.) que los alumnos en realidad aprenden como una lista de datos, que se limitan a memorizar o reproducir en el mejor de los casos. Esto se debe a que la comprensión es más exigente para el alumno, que la mera repetición.

Comprender requiere poner en marcha procesos cognitivos más complejos que repetir.

Aprender un concepto, consiste en encontrar la **relación** de los nuevos conceptos con los conocimientos anteriores o previos, dando un significado o sentido a esta nueva estructura conceptual. Se aprende un concepto por el proceso de **comprensión**, se adquiere gradualmente, también se guarda en la memoria y se olvida los conceptos, más lentamente en caso de no utilizarse.

Mientras que el aprendizaje de un hecho sólo admite diferencias “cuantitativas” (“si lo sabe o no lo sabe”), el aprendizaje de conceptos se caracteriza por matices “cualitativos” (no se trata tanto, de si lo comprende o no lo comprende; sino de “como” lo comprende).

Este será un rasgo muy importante en el aprendizaje de conceptos que deba tenerse en cuenta en la evaluación. Si es necesario plantear actividades diferenciadas para enseñar hechos y conceptos (García Madruga, 1990). El aprendizaje de hechos o de datos es un proceso que no admite grados intermedios; si no se producen las condiciones adecuadas (de motivación, práctica y cantidad restringida de material) no se aprende. En cambio, el proceso de comprensión es gradual; es prácticamente imposible lograr una comprensión óptima (similar a la que tendría un experto) la primera vez que nos enfrentamos a un problema. Este carácter gradual de la comprensión tiene consecuencias importantes para la selección y secuenciación de los contenidos conceptuales del currículo. **Esto hace que el aprendizaje de conceptos sea más eficaz y duradero que el aprendizaje de datos, pero también más exigente. Sus**

resultados son mejores, pero las condiciones para que se ponga en marcha son también más difíciles.

Mientras que la limitación más importante para el aprendizaje repetitivo de datos sería la cantidad de material presentado, las restricciones para la comprensión dependen más de la organización interna de ese material. Sólo podrán comprenderse aquellos materiales que estén internamente organizados de forma que cada elemento de información tenga una conexión lógica o conceptual con otros elementos, como por ejemplo fuerza con fuerza centrípeta y fuerza centrífuga. Además de requerir que el material de aprendizaje tenga una estructura conceptual explícita, conviene que la terminología y el vocabulario empleado no sea excesivamente novedoso ni difícil para el alumno. Para que el alumno comprenda un material, conviene que tenga una **actitud** favorable a la comprensión, será más probable de aprender para el alumno si la motivación es intrínseca o “deseo de aprender”, que si es extrínseca o “búsqueda de recompensas”. En general, la comprensión requiere una práctica más continuada y en definitiva más recursos cognitivos, más esfuerzo que repasar simplemente (Tapia 1995, Novak 1984). **El alumno que intenta comprender, construye su propia comprensión de la explicación de un concepto, porque todo intento de dar significado se apoya no sólo en los materiales de aprendizaje sino en los conocimientos previos activados para dar sentido a esos materiales conceptuales. Esta es otra condición para que se produzca un aprendizaje significativo según Ausubel.** Para que haya aprendizaje significativo es necesario que el alumno pueda relacionar el material de aprendizaje con la estructura de conocimientos que ya dispone. De esta forma la comprensión de una explicación de un texto o de un concepto, no depende sólo de quien realiza la explicación, sino también del alumno, de sus conocimientos conceptuales previos. Cada lector construye su propio libro, cada alumno construye su propia física. **Por tanto siempre que un alumno intenta comprender algo, necesita activar una idea o conocimiento previo que le sirva para organizar esa situación y darle sentido.** Sin embargo, la activación de conocimientos previos, aun siendo necesaria para la comprensión, no asegura un aprendizaje adecuado de los nuevos conceptos presentados.

“El objetivo del aprendizaje significativo es que en la interacción entre los materiales de aprendizaje (el texto, la explicación, la experiencia, etc.) y los conocimientos previos activados para darle sentido, se modifiquen esos conocimientos previos, surja un nuevo conocimiento”; sin embargo, con mayor frecuencia de lo que la explicación ausubeliana del aprendizaje significativo haría suponer, cuando los alumnos intentan comprender una nueva situación a partir de sus conocimientos previos, es esa nueva información la que cambia, la que es interpretada en términos de los conocimientos previos sin que éstos apenas se modifiquen.

Este es uno de los problemas fundamentales para el aprendizaje de la ciencia. Los alumnos, como cualquier otro aprendiz, interpretan cualquier situación o concepto que se les presenta desde sus conocimientos previos, su física, química o biología personal o intuitiva. Y como consecuencia de ello, la enseñanza de las ciencia apenas cambia esos conocimientos previos en

términos de los cuales interpretan los conceptos científicos que se les enseñan, ya que en lugar de reinterpretar sus conocimientos previos en función de los conceptos científicos, se suele hacer lo contrario, asimilar la ciencia a sus conocimientos cotidianos. Así, cuando estudian la noción Newtoniana de fuerza la asimilan a su idea intuitiva de fuerza, que viene a ser el agente causal de todo movimiento, y en vez de modificar ésta, dan un sentido distinto a todos los conceptos de la mecánica clásica (fuerza, movimiento, inercia, etc.), lo que hace imposible una comprensión adecuada de los mismos.

Los principios ontológicos, epistemológicos y conceptuales desde los que los alumnos elaboran su física intuitiva – todo movimiento implica una causa, las relaciones causales son lineales y unidireccionales – son radicalmente distintos de los que subyacen a la física que se les enseña – el movimiento no necesita ser explicado, sino el cambio en la cantidad de movimiento, el movimiento es producto de una interacción dentro de un sistema de fuerzas -, con lo que la comprensión resulta muy difícil.

De hecho, la resistencia de los conocimientos previos a modificarse como consecuencia de un nuevo conocimiento, y la tendencia a asimilar los aprendizajes escolares a las propias intuiciones, es hoy en día objeto de estudio e investigación.

El aprendizaje significativo ha dado paso al estudio del cambio conceptual, entendido como el cambio de esos conocimientos previos de los alumnos.

7.3 INVESTIGACIONES ACERCA DE LA ENSEÑANZA DEL CONCEPTO DE FUERZA Y DEL CONCEPTO FUERZA CENTRÍFUGA.

Desde hace ya bastante tiempo se viene realizando, estudios sobre los esquemas alternativos que poseen los estudiantes desde la enseñanza primaria hasta la universidad, el campo de la mecánica y más concretamente de la dinámica ha sido, quizás por su importancia en los currículos escolares, el que ha concentrado mayor número de aportaciones. En este terreno se puede considerar como pionera a la profesora: Laurence Viennot que, con su tesis doctoral "Le Raisonnement Spontané en Dynamique Élémentaire" (1976), abrió un camino que ha sido hasta el momento ampliamente recorrido.

La doctora Viennot en su libro "La enseñanza de la física", realiza un aporte sobre el obstáculo para la comprensión de la fuerza centrífuga y fuerza centrípeta. (Viennot, 1976)

Otro estudio global sobre las concepciones espontáneas de los alumnos, dentro del campo de la mecánica es la aportada por Juan Ignacio Pozo desde la perspectiva de la psicología cognitiva. En su libro "Aprendizaje de la Ciencia y Pensamiento Causal" (1987), hace un análisis detallado de cuáles son las ideas alternativas más comunes dentro de este campo y cuál es su consistencia interna.

En cuanto a la similitud entre los esquemas conceptuales alternativos de los estudiantes en el campo de la mecánica, y las llamadas ideas pre-newtonianas (ampliamente defendida por algunos autores), J. I. Pozo admitiendo que existe realmente un cierto paralelismo, pone el énfasis en contestar a una pregunta: ¿Cuál es el origen de las teorías pre-newtonianas?, ¿Acaso las intuiciones primarias sobre el movimiento son hoy las mismas que muchos siglos atrás? La respuesta, en opinión del autor es clara:

"La aparición de una misma teoría en contextos culturales tan distintos tiene su origen forzosamente en la propia percepción del movimiento común a todos los seres humanos. Esta percepción tiene unas restricciones que producen determinadas constancias en la realidad." (Pozo 1987).

A continuación se describe lo que el autor Pozo en su texto: "Aprender y Enseñar Ciencia" señala sobre la dificultad al aprender el concepto fuerza y el concepto fuerza centrífuga.

La palabra "Fuerza" se utiliza en el vocabulario del común, con la cual existe la comunicación de ideas. Para la mayoría esta palabra "Fuerza" tiene un significado concreto, aunque no siempre explícito.

Ahora bien, las interpretaciones que se hacen y que los estudiantes hacen sobre el movimiento de los cuerpos y las fuerzas que actúan sobre ellos y el significado que habitualmente tienen todos esos términos, no siempre (por no decir la mayoría de las veces) están de acuerdo con los significados e interpretaciones que hace la ciencia. Más bien se puede decir que, desde un punto de vista científico, las personas, en general, y los alumnos que estudian las ciencias de la naturaleza, en particular, tienen numerosas ideas sobre el movimiento y las fuerzas que no concuerdan o que no coinciden con las que se transmiten en la escuela, el colegio, y estas hacen que aparezcan dificultades de aprendizaje no siempre fáciles de superar.

La mayoría de estas ideas surgen del contacto cotidiano con el mundo que nos rodea. Son verdaderas ideas espontáneas que tienen su origen en la observación que hacemos de nuestro entorno desde los primeros días de nuestras vidas, y tienen un alto valor predictivo que nos ayuda a movernos con una cierta seguridad en ese mundo. Así, por ejemplo se sabe; que fuerza se debe hacer, donde, y como hacerla, al mover un cuerpo o al detenerlo; para que el esfuerzo sea lo más eficaz posible. Sin embargo, cuando esas ideas entran en contacto con los modelos y teorías físicas que se presentan en la escuela o en el colegio surgen los problemas.

Para muchos estudiantes, en las clases de física para explicar aquellas cosas que son normales y corrientes, aunque se utilizan términos familiares (fuerza, velocidad, aceleración, etc.), los profesores se complican la vida aplicando esos conceptos de forma extraña y difícil, mezclándolos con otros, más complejos todavía, como vector, sistema de referencia, inercia, centrípeta, centrífuga, etc.

La diferencia entre el conocimiento previo que el alumno posee y el conocimiento que se intenta transmitir en la escuela radica en que más allá de la utilidad ocasional o la simple descripción de un fenómeno, con la enseñanza de la física se pretende buscar explicaciones de los distintos fenómenos dentro de un marco teórico determinado. Se debe tener en cuenta que para comprender los movimientos de los cuerpos y los efectos de las fuerzas sobre ellos implican, un estudio de los distintos fenómenos en términos de interacción y equilibrio.

EL PROBLEMA DE LA INTERACCIÓN Y EL PRINCIPIO DE LA ACCIÓN Y REACCIÓN.

Como se ha dicho, los estudiantes están muy familiarizados con las fuerzas y el movimiento de los cuerpos. La vida cotidiana proporciona de forma continua multitud de experiencias, hechos y datos que llevan al alumno adoptar una serie de creencias sobre fuerzas y movimiento que, frente a la idea de interacción entre cuerpos y sistemas que propone la ciencia, lleva a explicar los cambios en el reposo y movimiento mediante relaciones causales simples.

En la siguiente tabla se presenta un esquema de las diferencias entre las teorías de los alumnos y en las teorías escolares, en relación al problema de las fuerzas y el movimiento.

TABLA N°10

<p>HECHOS Y DATOS. De los que parte el alumno Y que llevan a adoptar unas Creencias.</p>	<p>CREENCIAS del alumno.</p> <ul style="list-style-type: none"> -Los objetos se paran por sí solos. Si un cuerpo está quieto es porque no actúan fuerzas sobre él. -Un movimiento constante requiere una fuerza constante -La fuerza es una propiedad de los objetos. -La "Fuerza de un objeto" depende de sus características externas(Por Ej., su tamaño)
<p>CAUSALIDAD LINEAL Y UNIDIRECCIONAL</p>	<p>RELACIONES CAUSALES que establece el alumno.</p> <ul style="list-style-type: none"> -La causa del movimiento es siempre una causa adquirida. Esa causa es una fuerza. -Siempre hay una fuerza responsable del movimiento con el mismo sentido que él. Para que un cuerpo adquiriera fuerza es necesario que otro lo empuje (una persona) o lo atraiga (la tierra). -La "Cantidad de movimiento" de un cuerpo es proporcional a la cantidad de fuerza que posee. -Los cuerpos se paran cuando la fuerza se gasta. -La fuerza depende sólo del agente que realiza la acción (mano que empuja, la tierra, imán, etc.) -En caso de que haya interacción, un objeto se ve privilegiado sobre el otro. (Ej. el más grande)
<p>INTERACCIÓN Y SISTEMAS</p>	<p>INTERACCIÓN ENTRE CUERPOS Y SISTEMAS</p> <ul style="list-style-type: none"> -Para que haya fuerza es necesaria una interacción entre dos o más cuerpos. -La fuerza es una medida de la interacción. -La interacción es mutua y simétrica (acción y reacción) -Cuando un cuerpo se para es porque actúa una fuerza en contra del movimiento. -Cuando sobre un cuerpo no actúan fuerzas, o están equilibradas, permanece en reposo, si ya lo estaba, o sigue moviéndose con velocidad constante y en línea recta (inercia)

La experiencia diaria sobre el movimiento de los cuerpos proporciona datos fiables sobre su comportamiento, se trata de una serie de hechos conocidos que son de conocimiento público y sobre los que existe un consenso bastante generalizado y universal. Por ejemplo se sabe que: los objetos inanimados pueden moverse, pero para conseguirlo hay que hacer una fuerza sobre ellos; cualquier objeto que se mueva acaba por pararse por sí solo, sin que se tenga que intervenir; si se lanza una piedra hacia arriba, aunque primero sube, acaba por pararse y caer hacia el suelo. Pero para que un alumno explique este y muchos otros hechos que conoce y los integre en una teoría que resulte útil para predecir sucesos y resolver de forma rápida y sencilla sus problemas, o los que se le plantean en el colegio, necesita reducirlos a una serie de ideas simples con las que pueda trabajar fácilmente. Todo ello le lleva a una serie de supuestos o creencias, muchas veces erróneas, relacionadas en la mayoría de las ocasiones con la forma en que percibe los fenómenos estudiados y, por tanto, firmemente asentadas. Estos supuestos o creencias hacen más manejables los datos de que se dispone, aunque restringen el campo de aplicación de su propia teoría y van hacer muy difícil la comprensión posterior de la teoría científica sobre las fuerzas y el movimiento.

Todo esto se traduce, frente a lo que se enseña en la escuela o en el colegio, en unas teorías sobre Las fuerzas y el movimiento de los cuerpos basadas en un razonamiento causal simple, en el que todo cambio que experimenta un cuerpo necesita la presencia de un agente que cause ese cambio. Por ejemplo para que un objeto se mueva tiene que actuar una fuerza sobre él. Así reposo y movimiento uniforme, que en la teoría científica son dos casos particulares de una misma realidad (la ausencia de fuerzas o la presencia de fuerzas equilibradas) se transforman en realidades diferentes. Para la mayoría de los alumnos un cuerpo en reposo implica ausencia de fuerzas sobre él y un cuerpo con velocidad constante implica que tiene que actuar una fuerza también constante. Esta interpretación causal lleva a la necesidad de que siempre exista una fuerza actuando en el mismo sentido del movimiento. Así un objeto lanzado hacia arriba tiene que tener siempre una fuerza hacia arriba, no importa que vaya frenando. En el caso de que se reconozca la presencia de más de una fuerza, habría siempre una privilegiada (la mayor, la más grande) que coincidiría con el sentido del movimiento, limitándose las demás a disminuir su efecto sobre la velocidad. En la Figura N° 36 se muestran algunas interpretaciones sobre el movimiento de los cuerpos y las fuerzas que sobre ellos actúan.

En la misma figura N°36 se observa, algunos ejemplos de cómo interpretan los alumnos las fuerzas que según ellos actúan sobre una pelota que se lanza verticalmente hacia arriba.

Las variaciones en el estado del movimiento de un cuerpo se interpretan también a partir de esta teoría causal. Así cuando un cuerpo que se mueve acaba por pararse, simplemente la fuerza que tenía se le acaba (por ej: la piedra que sube).

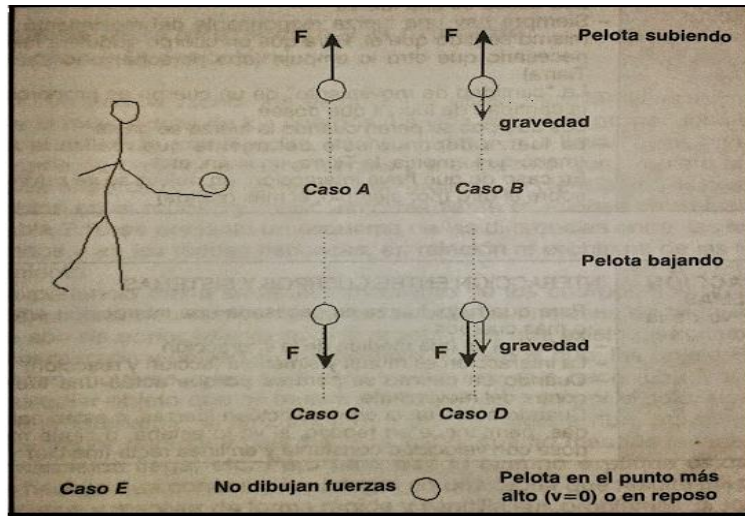


FIGURA: 36 INTERPRETACIÓN DEL CONCEPTO FUERZA, POR PARTE DE ALGUNOS ALUMNOS. Imagen tomada de: aprender y enseñar ciencia, de J. POZO.

Frente a las interpretaciones de los fenómenos de la naturaleza en términos de interacción entre cuerpos o sistemas, los estudiantes y muchos adultos, tienden a establecer relaciones causales simples y en un solo sentido entre dos objetos en las que siempre hay un agente responsable del cambio. Así, por ejemplo, cuando cae un lápiz libremente desde una mesa hasta el suelo, los alumnos asumen que la tierra hace una fuerza sobre él – que es la responsable del movimiento y de la caída – pero no comprenden ni aceptan que el lápiz haga una fuerza sobre la tierra. En resumen, no aceptan el principio Newtoniano de la acción y la reacción. De esta forma cualquier cambio en un cuerpo siempre está causado por un agente (en este caso la tierra) que le transmite una propiedad (movimiento, etc.), de forma que este agente siempre actúa sobre el cuerpo, pero el cuerpo no actúa sobre el agente y por tanto no habrá cambios en él. Frente a esto, la teoría científica nos habla de la interacción entre cuerpos y de la fuerza como un resultado de esa interacción, una magnitud que mide su intensidad.

Con la edad y la instrucción, el alumno puede incorporar el concepto de interacción a sus ideas sobre las fuerzas, pero seguirá haciéndolo dentro del marco que le proporciona su propia teoría basada en la causalidad. Asume la interacción entre los cuerpos pero esta interacción no es simétrica. Así, se encuentra con que, aunque reconoce la acción mutua de los cuerpos, va a privilegiar a uno sobre otro. Acepta que el lápiz ejerce fuerza sobre la tierra, pero esta fuerza es menor que la que la tierra ejerce sobre el lápiz. Sigue asociando de alguna manera fuerza con movimiento, de forma que el objeto que se mueve, el lápiz es aquel que recibe una fuerza mayor. El alumno, aunque reconoce la interacción entre los cuerpos, no diferencia que acción y reacción son fuerzas aplicadas sobre cuerpos distintos, sino que considera que ambas se aplican sobre uno de los cuerpos. Ello le lleva a interpretar, otra vez, que existe una fuerza privilegiada en el sentido del movimiento. Así, la acción sobre el cuerpo que se mueve es

Siempre menor que la reacción, aunque en realidad se trate de fuerzas aplicadas sobre cuerpos distintos.

Puede verse algunos ejemplos de estas interpretaciones de los alumnos en la figura siguiente (Figura N°37).

Ejemplo de cómo ven algunos alumnos la interacción entre cuerpos. Los alumnos no distinguen que acción y reacción son fuerzas aplicadas sobre cuerpos diferentes, además si hay movimiento se considera que la interacción es asimétrica.

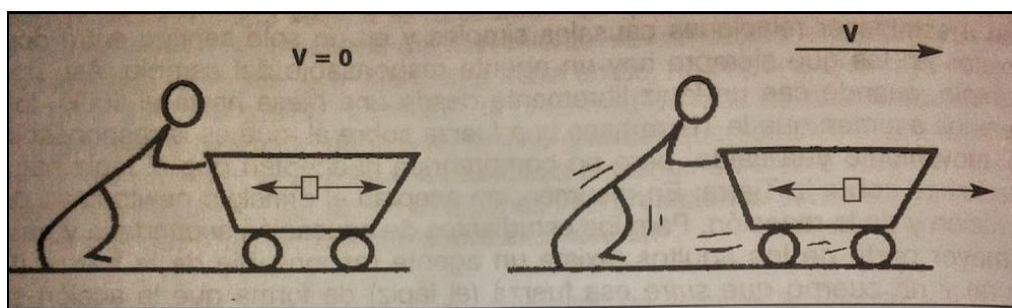


FIGURA: 37 EJEMPLOS DE COMO PIENSAN ALGUNOS ALUMNOS LA INTERACCIÓN ENTRE LOS CUERPOS. Imagen tomada de: aprender y enseñar ciencia, de J. POZO.

EN RELACIÓN A LA FUERZA CENTRÍFUGA

Por tanto, no basta con aceptar la interacción entre los cuerpos sino que también es necesario distinguir qué fuerza actúa sobre cada cuerpo. Algo que no es fácil ni sencillo para los alumnos. Pero que también, en algunas ocasiones, se induce de forma más o menos explícita desde algunos libros de texto.

Quizá el mayor obstáculo para la comprensión de la teoría científica esté, como propone VIENNOT (1996), en la concepción de la fuerza como una propiedad intrínseca de los cuerpos, dotándola de un carácter material, algo que el cuerpo posee y que se puede ganar o perder. Así, la fuerza que un cuerpo puede llegar a poseer, adquirir o, en su caso, la que es capaz de hacer va a depender de sus características externas, por ejemplo su tamaño. Pero esta tendencia a considerar las magnitudes físicas como propiedades intrínsecas de los cuerpos no se queda sólo en la fuerza, sino que se extiende a otras magnitudes necesarias para describir el movimiento de los cuerpos como son la velocidad, la posición, trayectoria, etc., que al igual que ocurría en las teorías pregalileanas, impiden concebir el movimiento como algo relativo y dependiente del sistema de referencia utilizado. Así, para el alumno, con una visión fundamentalmente egocéntrica en la que el sistema de referencia viene dado por su propia percepción del fenómeno, se hace difícil de comprender la relatividad del movimiento; cómo una misma magnitud puede tomar valores diferentes en función del observador y del sistema

De referencia utilizado. Esta visión del movimiento de los cuerpos centrada en el movimiento percibido y que ignora el sistema de referencia utilizado, provoca también dificultades para distinguir entre las distintas magnitudes utilizadas para definir y explicar el movimiento de los cuerpos. Para el alumno, que trabaja en un espacio absoluto, existen una única magnitud temporal, una única magnitud espacial y una única magnitud que define el movimiento, por tanto encuentra dificultades para distinguir entre conceptos como: espacio recorrido, posición y trayectoria; velocidad, velocidad relativa, velocidad media, velocidad instantánea y aceleración; fuerzas reales y **fuerzas de inercia**; etc. Así esta dificultad para reconocer la influencia del sistema de referencia en el valor de las magnitudes que caracterizan a un cuerpo, hacen que aparezcan magnitudes privilegiadas, aquellas que van asociadas a su propia percepción como observador: la velocidad que se observa en un cuerpo, frente a la velocidad relativa; la fuerza centrífuga frente a la fuerza centrípeta; etc.

TRAYECTORIAS CURVAS

Para el alumno, que se le indica que la trayectoria que realiza un cuerpo no es rectilínea, sino una trayectoria curvilínea, se convierte en un problema analizar las fuerzas que originan este movimiento (Figuras N° 38 y N° 39). Pruebas clásicas presentadas para investigar este caso, son las siguientes:

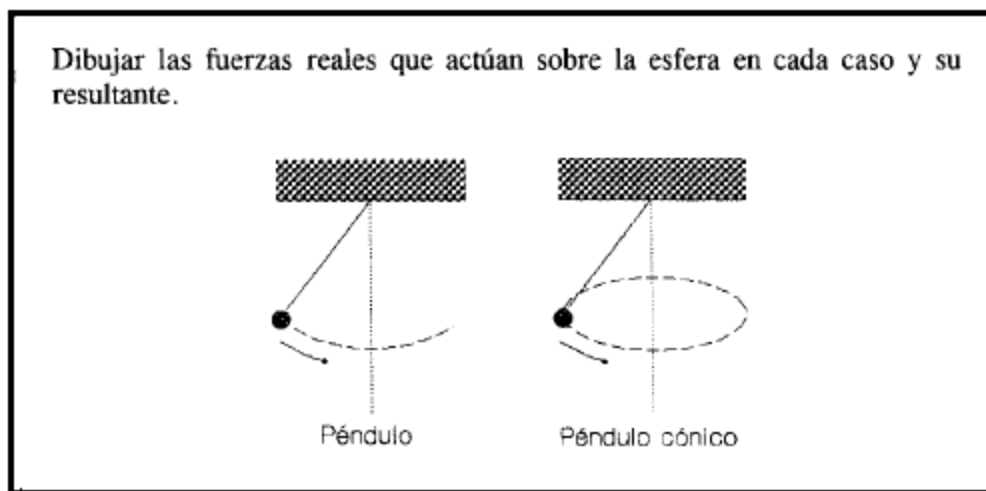


FIGURA: 38 FUERZAS Y MOVIMIENTO EN TRAYECTORIAS CURVAS. Imagen tomada de la tesis doctoral: Resolución de problemas en la enseñanza de las ciencias. M. Varela. (2002)

El error más común que se ha detectado, con un alto porcentaje (95%), consiste generalmente en dibujar la fuerza resultante en la dirección del movimiento.

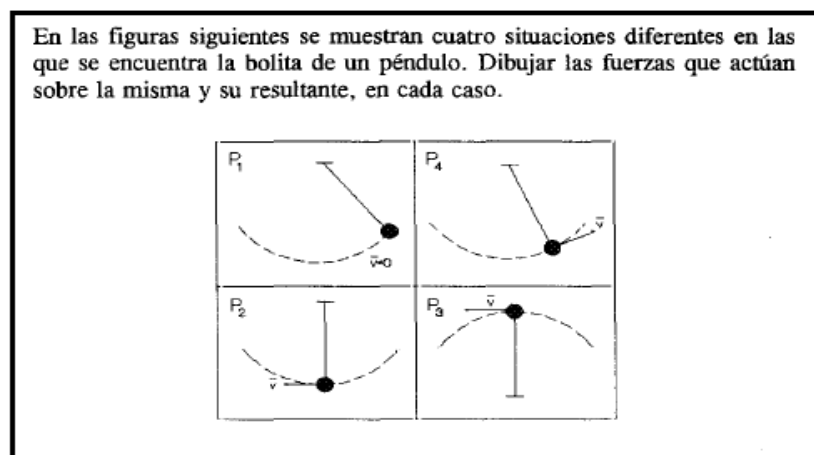


FIGURA: 39 FUERZAS SOBRE UN PÉNDULO EN MOVIMIENTO. Imagen tomada de la tesis doctoral: Resolución de problemas en la enseñanza de las ciencias. M. Varela. (2002)

Para complementar la visión de las trayectorias curvas, se hace referencia al movimiento circular y se comenta un trabajo interesante; que ha profundizado en los esquemas alternativos que utilizan los sujetos cuando se enfrentan a esta situación. J. M. Sebastián planteó la siguiente situación: (Figura N° 40)

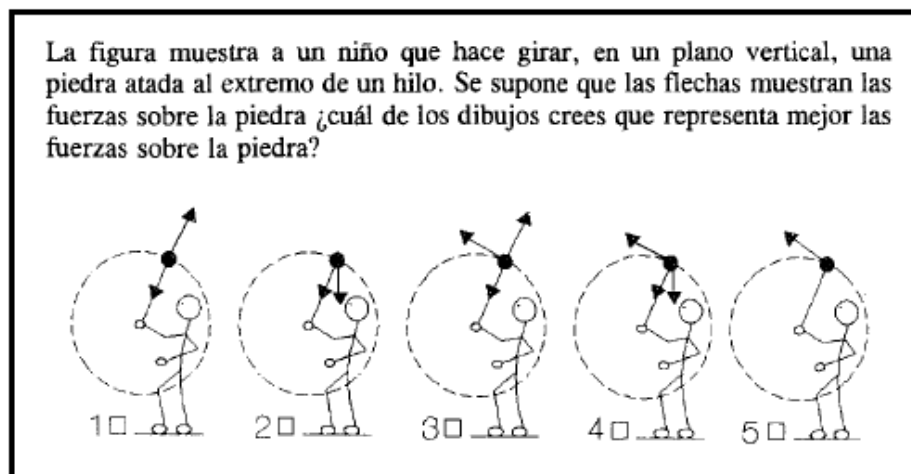


FIGURA: 40 FUERZAS SOBRE UN CUERPO GIRANDO EN UN PLANO VERTICAL. Imagen tomada de la tesis doctoral: Resolución de problemas en la enseñanza de las ciencias. M. Varela. (2002)

Nuevamente se encuentra con que la opción Newtoniana es elegida por un porcentaje mínimo de los estudiantes (4%). La alternativa número 3 es la más escogida con un (60%), y en ella los estudiantes realizan sus explicaciones, introduciendo “La *fuerza centrífuga*” que contrarresta la tensión de la cuerda quedando únicamente la fuerza en la dirección del movimiento

Un razonamiento similar describe Gunstone y Watts (1985), cuando trabajaron con dos grupos de escolares australianos: uno formado por estudiantes de 17 años que habían terminado de estudiar el movimiento circular, y otro con estudiantes de ciencias de 15 años. Las situaciones que se les presentaron fueron: una lata unida por una cuerda a una clavija en el centro de una mesa, un vehículo recorriendo una curva con velocidad constante, y un viajero en el interior del vehículo y una de las lunas de Júpiter girando alrededor de este. Los estudiantes de 15 años contestaron mayoritariamente "*es preciso que haya alguna fuerza, dado que el objeto se mueve en esa dirección*" para justificar una fuerza en la dirección de la velocidad. Los alumnos de 17 años contestaron con frecuencia que la fuerza total era cero y para ello introdujeron en sus explicaciones el concepto de *fuerza centrífuga* (esta fuerza apenas fue nombrada por el otro grupo de estudiantes) consecuencia evidente de la instrucción recibida.

Para terminar el análisis de las fuerzas que actúan sobre el movimiento circular, se comenta un estudio en donde J. W. Warren (1971), trabajando con universitarios ingleses, se les pidió que dibujaran la fuerza resultante que actúa sobre un vehículo que describe un arco de circunferencia a una velocidad constante. Así alrededor del 40% de los estudiantes pintaron la resultante tangencialmente a la dirección del movimiento. Un porcentaje alrededor del 30% representa la resultante como una fuerza radial hacia adentro o hacia afuera. Volvemos a encontrar aquí la idea apuntada por Viennot; de que los alumnos con cierta formación y fundamentación sobre el movimiento de rotación de los cuerpos, describen el movimiento circular como una especie de situación de equilibrio que les lleva a introducir una fuerza hacia afuera - *Centrífuga* - para equilibrar la fuerza centrípeta hacia adentro.

7.4 ANÁLISIS DEL FORCE CONCEPT INVENTORY:

Uno de los principales hallazgos de la investigación en educación de la física en los últimos 30 años es que los estudiantes a menudo pueden aprender a resolver con éxito ciertos tipos de problemas de física sin dejar de tener muy poca comprensión cualitativa de los conceptos físicos subyacentes. La investigación detrás de este hallazgo se basa en mediciones válidas, confiables y repetibles de la comprensión conceptual de los estudiantes. Los investigadores han desarrollado una serie de herramientas para hacer estas mediciones, incluyendo múltiples instrumentos estandarizados de elección. Probablemente el más conocido de ellos es el Inventario del Concepto de Fuerza (FCI), publicado por primera vez por David Hestenes, Malcolm Wells, y Gregg Swackhamer en 1992.

El FCI consta de 30 preguntas diseñadas para evaluar la comprensión conceptual en varias áreas de la mecánica, incluyendo la cinemática, las leyes de Newton, la superposición, y tipos de fuerzas. Cada pregunta tiene una sola respuesta correcta newtoniana con varios distractores sobre la base de los conceptos erróneos de sentido común de los estudiantes. La prueba está diseñada para ser administrada dos veces: primero como una evaluación previa al curso de la comprensión de los estudiantes antes de la instrucción, y de nuevo al final del curso. Mediante la comparación de la prueba previa a las ganancias posteriores a la prueba en el FCI, los instructores pueden fácilmente evaluar qué tan bien los estudiantes mejoraron en la comprensión conceptual de la mecánica. Por otra parte, debido a que es tan ampliamente utilizado, las ganancias de la FCI pueden ser comparados a través o dentro de las instituciones de comparar la eficacia de diferentes pedagogías.

Los resultados establecidos de la investigación educativa, describen que las creencias del estudiante sobre temas de física están vagamente organizadas, son incoherentes, débilmente definidas y a veces inconsistentes. Normalmente tienen razones para sus explicaciones que en lo general son “incompatibles” con los conceptos Newtonianos. Ya hace más 30 años, Hestenes (1992) y colaboradores, desarrollaron el Inventario de Concepto de Fuerza (FCI), para identificar las creencias del sentido común en el área de la física en el nivel básico, derivadas de la experiencia personal de los estudiantes; creencias que juegan un papel dominante en el aprendizaje de la física. Específicamente, se ha establecido que las creencias del sentido común sobre el movimiento y fuerza son en la mayoría de los casos, incompatibles con los conceptos Newtonianos (Halloun, 1985), la instrucción convencional produce en la mayoría de los casos, cambios insuficientes en las creencias del estudiante, y este resultado es independiente del instructor y su método de instrucción (Arons, 1990) (en lo general se pretende que el docente cubra el tema, memorizando, repitiendo fragmentos aislados, llevando a cabo tareas, etc.)

Es claro que las implicaciones en la enseñanza son graves, si los estudiantes no han aprendido los conceptos Newtonianos más básicos, no podrán comprender la mayor parte del material de sus siguientes cursos. Este análisis no indica que los maestros en lo general no sean competentes, lo que indica es que para que la instrucción sea más eficaz, se requiere de más

dedicación, conocimiento sobre cómo los estudiantes piensan, aprenden, y diseñar materiales didácticos en consecuencia.

Las versiones iniciales de FCI se construyeron usando las respuestas más comunes (creencias no-Newtonianas) escritas por los estudiantes. Las preguntas de la prueba fueron diseñadas para evaluar las concepciones cualitativas de los estudiantes sobre el movimiento y sus causas, e identificar conceptos erróneos o creencias de sentido común, no-Newtonianas citadas en la literatura (Arons, 1990). Los autores exploran y clasifican las ideas Newtonianas y las concepciones no-Newtonianas de los estudiantes por medio de una taxonomía que las categorizan en seis dimensiones (Cinemática, Primera Ley de Newton, Segunda Ley de Newton, Tercera Ley de Newton, Principio de Superposición y Tipos de Fuerzas) Halloun y Hestenes(1985), y las consideran cruciales para interpretar los resultados de FCI. Los profesores deberán ser cautos al suponer que el inventario mide la comprensión coherente de un concepto de fuerza.

Desde la perspectiva de la física, cada pregunta de FCI mediante su configuración de opción múltiple, exige al estudiante que diferencie una respuesta Newtoniana de cuatro alternativas no-Newtonianas. Para analizar y clasificar las respuestas, Hestenes considera que una respuesta es *falsa negativa* si un estudiante con pensamiento Newtoniano escoge una respuesta no-Newtoniana, y una respuesta se considera *falsa positiva* si la opción Newtoniana es escogida por razones no-Newtonianas. Los resultados de la investigación educativa muestran que una respuesta falsa casi siempre es un indicador confiable de la deficiencia con la que el estudiante entendió los conceptos Newtonianos, mientras que una respuesta verdadera (Newtoniana) a una sola pregunta es, claramente, mucho menos informativa. Un problema importante en el desarrollo de la prueba de opción-múltiple fue el minimizar falsos positivos y negativos, reduciendo la probabilidad de respuestas negativas y positivas falsas. Del análisis cualitativo de respuestas por estudiantes de pensamiento Newtoniano, la probabilidad de una respuesta falsa negativa es menor al 10% (menos de tres preguntas), e inclusive para los alumnos de pensamiento Newtoniano, las respuestas le son tan obvias que las respuestas falsas negativas sólo pueden atribuir a descuidos o a la falta de atención. Sin embargo, minimizar los falsos positivos es difícil, incluso las opciones del azar tiene una oportunidad de aproximadamente del 20% de ser falsas positivas.

En el diseño de FCI se usaron dos dispositivos para reducir el “ruido” de los falsos positivos (Halloun y Hestenes, 1995):

a) FCI examina cada dimensión conceptual con varias preguntas que involucran contextos y puntos de vista diferentes. Una opción falsa positiva puede ser parcialmente compensada por una opción no-Newtoniana escogida en otra.

b) Se introduce un distractor en cada pregunta, como, una opción no-Newtoniana que parece sumamente razonable a los estudiantes, debido a que se extrajeron de sus propias ideas.

Es pertinente aclarar que para que los criterios antes citados tengan aplicación, se requiere que el grupo de respuestas de los alumnos se hayan caracterizado como Newtonianas. Esta característica se identifica definiendo que el alumno que rebasa con el 60% la prueba FCI, es un alumno que está en la etapa básica del pensamiento Newtoniano (Halloun y Hestenes, 1995).

Es decir el estudiante empieza a usar en sus razonamientos los conceptos Newtonianos en forma coherente, desarrolla un concepto universal de fuerza y aprende a identificar a los

agentes activos y pasivos de la fuerza, además desarrolla dinámica y coherentemente los conceptos vectoriales de la velocidad, la aceleración y en su mayor nivel tiene plena comprensión de la Tercera Ley de Newton. Por otra parte, los alumnos que no rebasan el 60% en lo general presentan las siguientes características: (Halloun, 1985) no diferencian los conceptos de velocidad y aceleración; carecen del concepto vectorial de velocidad; (Hestenes, 1992) carecen de un concepto universal de fuerza (es decir, cree que hay otras influencias en el movimiento además de las fuerzas), y no saben realmente identificar los agentes de fuerzas en un objeto; (Arons, 1990) conceptos fragmentados e incoherentes sobre la fuerza y el movimiento (Halloun y Hestenes, 1995).

Hestenes, recomendó que el inventario sea usado para diagnosticar, juzgar la efectividad de la instrucción y evaluar al estudiante, siendo la efectividad la más importante.

Para evaluar la efectividad de la instrucción mediante la ganancia $\langle g \rangle$, la prueba FCI se aplica como pre-prueba (primer día de la clase) y pos-prueba (al final del curso) (Hake, 1997). Los estudiantes que obtienen la más alta calificación en la post-prueba, generalmente también obtienen la más alta calificación al resolver problemas cuantitativos. Lo más notorio es que la comprensión conceptual según lo medido por FCI parece ser un requisito previo a la buena capacidad en la resolución de problemas.

7.5 UN MODELO DE LA GUÍA DE FUNDAMENTACIÓN

Con base en los fundamentos expuestos anteriormente, se considera inicialmente que: se tiene un obstáculo epistemológico que causa en el alumno un impedimento que afecta la capacidad para construir un conocimiento real, debido a los conocimientos previos mal fundamentados, y son precisamente estos conocimientos previos los que se activan, al acceder a un nuevo conocimiento, relacionándose estos dos grupos entre sí para dar origen a un aprendizaje significativo, en caso de estar bien relacionados y correctamente estructurados; lo que constituye precisamente el segundo elemento a considerar. Y por último tener en cuenta los resultados y opiniones de un informe tan serio como el FCI que permite identificar las creencias y dominios en el sentido común de los estudiantes de un concepto tan importante como el de “fuerza”, por lo que se propone la **guía de fundamentación** como un instrumento de ayuda didáctica y de formación pedagógica que le permita al estudiante tratar de **reducir** dicho “obstáculo epistemológico”, **elaborar** una construcción del “aprendizaje significativo” para **adquirir** la fundamentación adecuada sobre los conceptos de “fuerza, sistema de referencia y fuerza centrífuga”.

La estructura de la guía tiene elementos que se relacionan con cada aspecto:

- 1- Del “Obstáculo epistemológico”: se toma en consideración que la guía debe indagar por los conocimientos previos que tiene el estudiante. (Que clases de concepciones se tienen) y trabajar a partir de ellas.
- 2- Del “aprendizaje significativo”: evitar preguntas y tareas que permitan respuestas reproductivas, es decir, evitar que la respuesta “correcta” esté literalmente incluida en los materiales y actividades de aprendizaje.

Plantear en la evaluación situaciones y tareas nuevas, al menos en algún aspecto, requiriendo del alumno la generalización de sus conocimientos a una nueva situación.

Utilizar técnicas “indirectas” (clasificación, solución de problemas, etc.) que hagan inútil la repetición literal y acostumbrar a los alumnos a aventurarse a usar su conocimiento Para resolver enigmas, problemas y dudas, en lugar de encontrar la solución fuera de Ellos (en el profesor, el libro, etc.)

- 3 - Del “Force Concept Inventory”: se realizan cuestionamientos básicamente sobre los Conceptos de fuerza, fuerza centrífuga, fuerza centrípeta y sistemas de referencia.

TABLA N°11
ESTRUCTURA DE LA GUÍA



TITULO: GUÍA DIDÁCTICA DE FUNDAMENTACIÓN

La guía de fundamentación busca centrar la atención del alumno, despabilar la imaginación, crear expectativas de lo que aprenderá, **activar los conocimientos previos** y **apoyar en la superación de las dificultades cognitivas**.

OBJETIVO: Se hace necesario focalizar muy bien y concretamente lo que pretendemos. En la guía debe estar escrito el objetivo, para que el alumno tenga claro lo que se espera de él. Además el profesor debe verbalizar este propósito varias veces para así conducir mejor el desarrollo y fijar instrucciones

ESTRUCTURA: (Se sugiere cada punto se debe desarrollar en un intervalo de 15 a 35 minutos)

1. Contexto:

Conocer la disposición y conocimientos previos.

2. Experiencia:

Que conoce de la experiencia que se le plantea, como percibe el fenómeno

3. Reflexión:

Considerar seriamente, lo que se le pregunta y dar posibles soluciones

4. Acción:

Es la manifestación operativa de las decisiones, soporta sus respuestas mediante las Formulaciones adecuadas.

5. Evaluación:

Expresa el por qué considera que su respuesta es correcta

NIVEL DEL ALUMNO: Es el grado de instrucción al cual pertenece el alumno. Es importante que la guía sea acorde con las condiciones del alumno, es decir dirigida al momento en que está en su aprendizaje y adaptada a su realidad.

CONTEXTUALIZACIÓN: En algunas ocasiones, nos damos cuenta que al usar las actividades de los textos de estudio los alumnos no comprenden bien o se desmotivan. Se debe a que encuentran los ejemplos o situaciones muy alejados de su realidad. Por eso, si las guías son confeccionadas, por los profesores que conocen la realidad de sus alumnos, deberían nombrar situaciones locales o regionales o incluso particulares del curso. Es increíble lo que refuerza la motivación y compromiso del alumno por desarrollarla. Esto no quiere decir, que en algunas ocasiones también es positivo que el alumno conozca otras realidades, ya que le permiten tener puntos de referencia para comparar y elementos que le ayudarán a formar su nivel crítico.

DURACIÓN: Un primer lapso de tiempo radica en el tiempo que tiene el estudiante para desarrollar la guía. Una guía individual se sugiere debe durar alrededor de 35 minutos en su lectura y ejecución; ya que la experiencia nos indica que más allá de este tiempo, el alumno se desconcentra y pierde interés. En el caso de guías grupales es distinto ya que la interacción va regulando los niveles de concentración. Incluso hay guías que pueden tener etapas de avance y desarrollarse en más de una clase.

EVALUACIÓN: Dentro del proceso enseñanza aprendizaje, evaluar es sondear la situación para seguir adelante; por lo tanto es vital que el alumno- en conjunto con su profesor- revise y compruebe sus logros o analice sus errores, para así reafirmar lo aprendido y además al autoevaluarse se desarrolla su autoestima.

Una guía, también puede significar una ponderación en la calificación de alguna unidad. Otro aspecto importante de la evaluación, hace referencia a que al profesor se le facilita el conocimiento de sus alumnos, ver cómo ellos aprenden a aprender, observar las interrelaciones, etc.

7.6 OBJETIVO GENERAL: EN LA IMPLEMENTACIÓN DE LA GUÍA DE FUNDAMENTACIÓN

Mejorar el desempeño académico de los docentes de la media académica, a través de la implementación y desarrollo de los módulos de la guía, para poder realizar un trabajo asertivo y efectivo en las aulas; durante el año escolar, que contribuya y se manifieste en una buena y correcta preparación de los educandos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

Utilizar como instrumento de ayuda didáctica.

Explicar como una estrategia de razonamiento conceptual y operacional.

Emplear el desarrollo de la guía como herramienta de construcción, para una correcta elaboración de las concepciones epistemológicas de los conceptos fundamentales de la mecánica.

OBJETIVO GENERAL DE LA GUÍA

Detectar y revisar, la fundamentación de conceptos básicos de la mecánica, como: fuerza, sistema de referencia y fuerza centrífuga, mediante la aplicación y desarrollo de los módulos de la guía, para inducir al estudiante en un correcto manejo de la fundamentación conceptual, lo que a su vez le permita; tratar de **reducir** el obstáculo epistemológico de los conocimientos previos mal adquiridos, y de llegar a **elaborar una construcción** del aprendizaje significativo de los conceptos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

Posibilitar, la construcción y correcto entendimiento de los conceptos fuerza, sistema de referencia y fuerza centrífuga, mediante el desarrollo de los módulos respectivos.

Tratar de reducir los conocimientos previos que se convierten en un obstáculo, para la adquisición correcta de los nuevos conceptos.

Contribuir en la construcción de redes de conocimiento científico, que dan sentido y valor a lo que se aprende.

TABLA N°12

**GUÍA DIDÁCTICA DE FUNDAMENTACIÓN
SOBRE EL CONCEPTO FUERZA Y FUERZA CENTRÍFUGA**

UNIDAD: Dinámica Rotacional

Módulo 1

TEMA: Fuerza

OBJETIVO FUNDAMENTAL: Adquirir una correcta fundamentación sobre el concepto fuerza y fuerza centrífuga, mediante la reducción de un obstáculo epistemológico, y la construcción del aprendizaje significativo, para obtener un buen manejo y una correcta interpretación de las fuerzas inerciales.

OBJETIVO DE LA GUÍA: Estimular en el alumno la importancia de reducir el obstáculo de aprendizaje y construir un aprendizaje significativo del concepto **fuerza**.

GRADO: Décimo

NOMBRE:

CURSO:

FECHA:

Instrucciones: (Léidas en silencio)

- Lea atentamente esta guía
- Trabajar en forma individual
- Pegarla en su cuaderno o archivarla en su carpeta.
- Tiene 30 minutos para trabajar

CONTEXTO: Conocer la disposición y conocimientos previos.

PREGUNTAS:

¿Qué es una fuerza?

Defina con sus palabras: ¿qué es fuerza?

De dos ejemplos de la vida diaria donde se realiza una fuerza

¿Qué elementos o cosas se necesita para que haya una fuerza?

EXPERIENCIA: ¿Qué conoce de la experiencia que se le plantea, como percibe el fenómeno?

¿Si un bloque está depositado sobre una mesa, existe alguna fuerza en esta situación?

En caso de que exista una fuerza en la situación anterior, ¿cuál es? O ¿cuáles son?



REFLEXIÓN: Considerar seriamente, lo que se le pregunta y dar posibles soluciones

En caso de que haya respondido que existe alguna fuerza sobre el bloque de la situación anterior.

¿Qué cuerpo hace la(s) fuerza(s) sobre el Bloque?

¿Por qué cree que existe(n) esa(s) fuerza(s)?

¿Quién hace esa(s) fuerza(s)?, explique en forma breve y precisa.

ACCIÓN: Es la manifestación operativa de las decisiones, soporta sus respuestas mediante las formulaciones adecuadas.

¿Conoce alguna ley de la naturaleza que exprese la(s) fuerza(s) que haya señalado anteriormente?

En caso afirmativo, ¿puede expresar alguna formulación matemática para esa(s) fuerza(s)?

EVALUACIÓN: Expresa el por qué considera que su respuesta es correcta.

En esta parte de la guía se le solicita al estudiante, solucionar uno o varios ejercicios del FCI o del test de fundamentación que están directamente relacionados con el concepto en estudio (**fuerza**).

Se le pide explique claramente sus respuestas de ser posible, utilizando argumentos de las leyes físicas.

GUÍA DIDÁCTICA DE FUNDAMENTACIÓN SOBRE SISTEMA DE REFERENCIA

UNIDAD: Dinámica Rotacional

Módulo 2

TEMA: Sistema de Referencia.

OBJETIVO FUNDAMENTAL: Adquirir una correcta fundamentación sobre el concepto fuerza y fuerza centrífuga, mediante la reducción de un obstáculo epistemológico, y la construcción del aprendizaje significativo, para obtener un buen manejo y una correcta interpretación de las fuerzas inerciales.

OBJETIVO DE LA GUÍA: Estimular en el alumno la importancia de reducir el obstáculo de aprendizaje y construir un aprendizaje significativo del concepto sistema de referencia.

GRADO: Décimo

NOMBRE:

CURSO:

FECHA:

Instrucciones: (Léidas en silencio)

- Lea atentamente esta guía
- Trabajar en forma individual
- Pegarla en su cuaderno o archivarla en su carpeta.
- Tiene 25 minutos para trabajar

CONTEXTO: Conocer la disposición y conocimientos previos.

PREGUNTAS:

¿Que es un " Sistema de Referencia"?

Defina con sus palabras ¿por qué existe la necesidad de tener un sistema de referencia?

De, dos ejemplos donde se requiera utilizar el sistema de referencia.

¿En qué situación de la vida real, usted considera es necesario utilizar un sistema de referencia, ya que de no utilizarlo le sería imposible una comunicación asertiva?

Dar mínimo un ejemplo de esta situación

EXPERIENCIA : Qué conoce de la experiencia que se le plantea, como percibe el fenómeno

¿Si una persona está sentada dentro de un ascensor, hablando por teléfono y dice que se está moviendo, por qué dice esto, a qué se refiere?

¿En la situación anterior existe algún sistema de referencia?, ¿Cuál?

¿Si un cuerpo gira atado a una cuerda existe algún sistema de referencia en esta situación?

Si es afirmativo lo anterior, ¿Cuál es?

Explique una situación de la vida real donde cree existe un sistema de referencia.

REFLEXIÓN: Considerar seriamente, lo que se le pregunta y dar posibles soluciones.

¿En la explicación anterior por qué se hace necesario tener un sistema de referencia?

¿Un sistema de referencia que define?

¿Qué característica(s) física(s) depende(n) del sistema de referencia?

ACCIÓN: Es la manifestación operativa de las decisiones, soporta sus respuestas mediante las formulaciones adecuadas.

¿Por qué cuando una persona se va a encontrar en algún lugar con otra, es necesario tener un sistema de referencia?, explique su respuesta. En la pregunta anterior, decir:¿ cuáles podrían ser unos posibles sistemas de referencia?, nombre tres.

¿Conoce alguna expresión de la física que defina un sistema de referencia?

En caso afirmativo, ¿puede expresar alguna formulación matemática para describir un sistema de referencia?

EVALUACIÓN: Expresa, el por qué considera que su respuesta es correcta.

En esta parte de la guía se le solicita al estudiante, solucionar uno o varios ejercicios del FCI o del test de fundamentación que están directamente relacionados con el concepto en estudio (sistema de referencia) o algunos propuestos por el docente.

Se le pide explique claramente sus respuestas de ser posible, utilizando argumentos de las leyes físicas.

GUÍA DIDÁCTICA DE FUNDAMENTACIÓN SOBRE FUERZA CENTRÍFUGA

UNIDAD: Dinámica Rotacional

Módulo 3

TEMA: Fuerza Centrífuga

OBJETIVO FUNDAMENTAL: Adquirir una correcta fundamentación sobre el concepto fuerza y fuerza centrífuga, mediante la reducción de un obstáculo epistemológico, y la construcción del aprendizaje significativo, para obtener un buen manejo y una correcta interpretación de las fuerzas inerciales.

OBJETIVO DE LA GUÍA: Estimular en el alumno la importancia de reducir el obstáculo de aprendizaje y construir un aprendizaje significativo del concepto **fuerza centrífuga**.

GRADO: Décimo

NOMBRE:

CURSO:

FECHA:

Instrucciones: (Léidas en silencio)

- Lea atentamente esta guía
- Trabajar en forma individual
- Pegarla en su cuaderno o archivarla en su carpeta.
- Tiene 35 minutos para trabajar

CONTEXTO: Conocer la disposición y conocimientos previos.

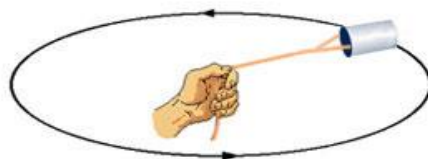
PREGUNTAS:

¿Qué es una fuerza centrífuga? o ¿Qué entiende por fuerza centrífuga?

Defina con sus palabras ¿por qué aparece una fuerza centrífuga?

De, dos ejemplos donde se realiza una fuerza centrífuga.

¿Qué elementos, condiciones o situaciones son necesarios para que haya una Fuerza centrífuga?



EXPERIENCIA : Que conoce de la experiencia que se le plantea, como percibe el fenómeno

¿Si un cuerpo gira atado a una cuerda existe alguna fuerza en esta situación?

Si es afirmativo, lo anterior, ¿Cuántas fuerzas son?, ¿Cómo se llaman?

¿Existe en este caso la fuerza centrífuga?

Explique una situación de la vida real donde cree existe la fuerza centrífuga.

REFLEXIÓN: Considerar seriamente, lo que se le pregunta y dar posibles soluciones

¿Si para usted en la explicación anterior, existe la fuerza centrífuga, **que** cuerpo hace la fuerza centrífuga **sobre quién**?

¿Existe en este ejemplo la fuerza centrífuga?

¿Qué relación, si existe, hay entre la fuerza centrípeta y la centrífuga?, explique en forma breve y precisa

ACCIÓN: Es la manifestación operativa de las decisiones, soporta sus respuestas mediante las formulaciones adecuadas

¿Conoce alguna ley de la física que exprese la fuerza centrífuga?

Dibuje las fuerzas que actúan sobre sistemas que giran, por ejemplo una piedra atada a una cuerda, una persona sobre un carrusel, un planeta alrededor del sol, etc. Y si para usted existe, en el dibujo destaque cual es la fuerza centrífuga.

En caso afirmativo, ¿puede expresar alguna formulación matemática para describir el comportamiento de la fuerza centrífuga?

EVALUACIÓN: Expresa, el por qué considera que su respuesta es correcta.

En esta parte de la guía se le solicita al estudiante, solucionar uno o varios ejercicios del FCI o del test de fundamentación que están directamente relacionados con el concepto en estudio (fuerza centrífuga).

Se le pide explique claramente sus respuestas de ser posible, utilizando argumentos de las leyes físicas.

GUÍA DIDÁCTICA DE FUNDAMENTACIÓN SOBRE CASOS ESPECIALES DE FUERZA CENTRÍFUGA

UNIDAD: Dinámica Rotacional

Módulo 4

TEMA: Fuerza y Fuerza Centrífuga

OBJETIVO FUNDAMENTAL: Adquirir una correcta fundamentación sobre el concepto fuerza y fuerza centrífuga, mediante la reducción de un obstáculo epistemológico, y la construcción del aprendizaje significativo, para obtener un buen manejo y una correcta interpretación de las fuerzas inerciales.

OBJETIVO DE LA GUÍA: Estimular en el alumno la importancia de reducir el obstáculo de aprendizaje y construir un aprendizaje significativo del concepto fuerza **centrífuga**.

GRADO: Décimo

NOMBRE:

CURSO:

FECHA:

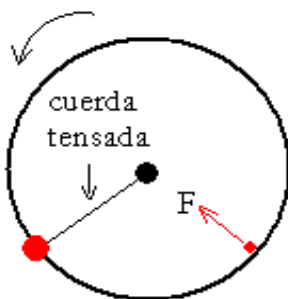
Instrucciones: (Léidas en silencio)

- Lea atentamente esta guía
- Trabajar en forma individual
- Pegarla en su cuaderno o archivarla en su carpeta.
- Tiene 120 minutos para trabajar

CONTEXTO: Conocer la disposición y conocimientos previos.

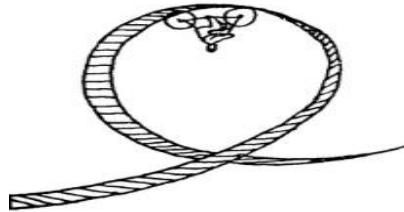
PREGUNTAS:

1. Solucionar las preguntas 4, 7, 8, 11, 16, 17, 18 del test de fundamentación.
Solucionar la pregunta: ¿Por qué la cuerda se tensa al girar el cuerpo?



EXPERIENCIA : Que conoce de la experiencia que se le plantea, como percibe el fenómeno

Considere el caso en el que un motociclista va a gran velocidad y toma el rulo de la rampa, al llegar al instante de la posición que muestra la figura, ¿por qué no cae?

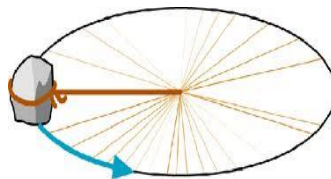


REFLEXIÓN: Considerar seriamente, lo que se le pregunta y dar posibles soluciones

¿Por qué los dos cuerpos se separan al girar el sistema?



ACCIÓN: Es la manifestación operativa de las decisiones, soporta sus respuestas mediante las formulaciones adecuadas.



Dibujar las fuerzas que actúan sobre la piedra

EVALUACIÓN: Expresa, el por qué considera que su respuesta es correcta.

Explique claramente su respuesta, de ser posible utilizando argumentos de las leyes físicas

¿Por qué al girar el sistema, el péndulo sale de su posición de equilibrio?



8. METODOLOGÍA PEDAGÓGICA

8.1 REFERENTE PEDAGÓGICO DE LA METODOLOGÍA

En la búsqueda por encontrar una buena propuesta pedagógica a diferentes dificultades en el proceso de enseñanza- aprendizaje de las ciencias, como por ejemplo el obstáculo epistemológico, se han realizado una serie de estudios que han dado como resultado, diferentes procesos de aprendizaje, tomando como el más acertado en la elaboración del desarrollo de esta guía: el “aprendizaje significativo”, que está soportado en un modelo pedagógico que implica hacer, no solo actitudinalmente, sino mentalmente, que es precisamente lo que respaldan las tesis del constructivismo.

Dentro del proceso de ejecución y desarrollo de la guía, el docente busca alcanzar un proceso educativo, conducente a un aprendizaje significativo, es necesario que en cada uno de los pasos del desarrollo de la guía, el docente observe cuidadosamente no solo las características actitudinales, sino también las aptitudinales de los estudiantes, ya que la estructura cognitiva del estudiante debería incluir los requisitos de capacidad intelectual, contenido de ideas y antecedente experiencial (Sacristán, 1992). La innovación realizada por el docente, debe construir el nuevo conocimiento lo mejor posible, en la estructura cognitiva del estudiante.

Un aprendizaje significativo en un estudiante, es posible, en la medida que nuevos conocimientos se incorporen a conocimientos adquiridos previamente. Según Ausubel (Ausubel, 2000), un aprendizaje es significativo cuando puede relacionarse de modo no arbitrario y sustancial (no al pie de la letra) con lo que el estudiante ya sabe (Sacristán, 1989). Por tanto, es necesario que el material pedagógico que presente el docente posea en sí mismo un significado. De tal manera, que al considerar el aprendizaje como un proceso social de solución de conflicto conceptual, en el cual el docente y el estudiante procuran una permanente mediación para llegar a acuerdos respecto a cómo se concibe de parte y parte el conocimiento, y dado el posible cambio de paradigma en educación al respecto de que los estudiantes asuman con liderazgo su aprendizaje, al construir el conocimiento a partir de sus experiencias y aprendizajes, se puede aproximar al supuesto teórico de implementar una estrategia metodológica basada en las premisas del constructivismo, donde el conocimiento es construido, no transmitido, para lo cual las experiencias deben ser interpretadas y procesadas por cada estudiante; además, el conocimiento previo adquiere un reconocimiento por el impacto en el proceso de aprendizaje de los estudiantes.

Por otra parte, en la clasificación dada por Guba (Guba, 1990) quien tomando el concepto de paradigma de Kuhn como la síntesis de creencias grupales, compartidos por una comunidad científica, clasifica a un grupo de investigadores dentro del paradigma interpretativo (constructivista) y epistemológicamente respecto a cuál es la naturaleza de la relación entre el conocedor (el investigador) y el conocido (o saber) sostiene que la relación sujeto-objeto es dialógica y constructiva. Por tanto, en el paradigma constructivista se sostiene que *“la realidad existe en forma de constructos mentales múltiples, determinados por las personas y los grupos sociales que los adoptan. Conocer es interactuar con una realidad cambiante y elusiva para interpretarla y crear nuevos constructores mentales, cada vez más complejos”* (Guba, 1990). De aquí que se pueda extrapolar en el contexto educativo afirmando que el paradigma positivista, donde la objetividad es posible, puede sufrir un cambio conformando el paradigma interpretativo, para lo cual, la relación sujeto-objeto es interactiva, no objetiva sino dialógica, por tanto, de una realidad completa se pasaría a concebir una realidad cambiante, abierta a múltiples posibilidades.

En cuanto a lo que sucede en el aula de clase cuando se procura el aprendizaje de los estudiantes, se observa que los jóvenes tienen bajos niveles interpretativos y reflexivos sobre lo que significa su lectura del mundo y el cómo funciona, y en ocasiones el docente no reflexiona al respecto, por lo que para ambos la realidad parece no ser cambiante. Además, parece poco o nada importante el mundo interno determinado por las experiencias particulares de quienes aprenden, los estudiantes.

El constructivismo retoma las premisas epistemológicas del paradigma “interpretativo” y las aplica al aprendizaje, considerando una actividad cognoscitiva del aprendiz, quien organiza y da sentido a la experiencia individual. De manera precisa, el constructivismo es la creencia de que los estudiantes son los protagonistas en su proceso de aprendizaje (Soler, 2006). Aplicado a la enseñanza, el ejercicio pedagógico constructivista, se puede concebir como el espacio propicio para que un individuo construya sus propias ideas acerca de la realidad, estas ideas deben ser el referente más importante para un acercamiento al conocimiento. Por lo tanto, el docente constructivista debe ser un facilitador del aprendizaje, que separado del conductismo y del positivismo, también se separa de la figura autoritaria, dando paso a quien, como un educador que reconoce el antecedente histórico de la enseñanza, toma con responsabilidad su papel de facilitador de los aprendizajes de sus estudiantes para que no sean memorísticos. Un aprendizaje memorístico o por repetición es aquel en el que los contenidos están relacionados entre sí de un modo arbitrario, es decir, careciendo de todo significado para la persona que aprende. Es el clásico aprendizaje por asociación el cual se da cuando la tarea de aprendizaje consta de puras asociaciones arbitrarias sin ninguna implicación afectiva para relacionar los nuevos conocimientos con aprendizajes anteriores (Pozo, 1992).

8.2 CARACTERIZACIÓN DE LA INSTITUCIÓN Y PERFIL DEL ESTUDIANTE

localidad octava de La institución educativa distrital “ IED Carlos Arango Vélez”, está ubicada en la Kennedy en dos sedes, la sede A se ubica en la carrera 70 B N° 24 B -35 sur y la sede B en el barrio Alquería la Fragua ubicada en la calle 36 A N° 68 A - 85 sur . El colegio funciona en las jornadas mañana y tarde. La institución ofrece sus servicios en pre-escolar, básica primaria, básica secundaria y la media, en las dos jornadas, de genero mixto. Las dos sedes del colegio se encuentran en arriendo, puesto que el colegio en este momento no cuenta con sede propia, ya que la antigua sede fue abandonada por problemas de ubicación, debajo de unas torres de energía de alto voltaje, y grandes campos magnéticos que se sabe afectan la salud de la comunidad educativa.

HISTORIA:

Personaje que inspira el nombre de la institución, nació en Bogotá en el año de 1892, adelanto estudios secundarios en la misma ciudad, y se graduó en derecho. Obtuvo la distinción “*el solidó Santander*”. Fue alcalde mayor de Bogotá y luego embajador de Colombia ante la santa sede, además fue candidato a la Presidencia de la Republica, en el año de 1942. Es reconocido por su inquebrantable rectitud, inteligencia, multifacético, imaginación poderosa, hondo sentimiento del arte y de la belleza; amor al pueblo y la emoción de la hidalguía. Murió en 1974, en su ciudad natal.

RESEÑA HISTORICA:

La Institución Educativa Distrital Carlos Arango Vélez, comenzó a funcionar a inicios de la década de los años setenta con el nombre de CIUDAD FLORALIA, con salones cedidos por la comunidad educativa, luego funcionan unos cursos en la capilla del barrio, hasta que la sociedad Fernando Mazuera autoriza la construcción de la sección primaria. Es de anotar que después de cinco años se abren las aulas para el nivel de preescolar.

La sección de basita secundaria es fundada en el año de 1989. A partir de la Ley 715 del 2002 se ordena la integración, junto con las dos jornadas empieza a funcionar una sola institución con el nombre de CARLOS ARANGO VÉLEZ, según resolución 2105 de 18 de julio de 2002.

HORIZONTE INSTITUCIONAL.

PROYECTO EDUCATIVO INSTITUCIONAL

“Aranguistas autónomos, comprometidos, forjadores de valores
en busca de una sociedad más digna”

MISIÓN

El colegio Carlos Arango Vélez construye con su comunidad educativa, un proyecto de formación de jóvenes en sus dimensiones afectiva, cognitiva y expresiva para el desarrollo de las habilidades comunicativas a través de aprendizajes significativos que logren procesos de pensamiento permitiéndoles mejorar su calidad de vida y aportar a la transformación de nuestra sociedad.

VISIÓN

Para el año 2018 el COLEGIO CARLOS ARANGO VELEZ se distinguirá por ser una institución que desarrolla en sus estudiantes competencias y habilidades en sus dimensiones afectiva (personal), expresiva (social) y cognitiva (intelectual), necesaria para acceder a la educación superior o para desempeñarse con liderazgo en el mundo laboral, de manera que aporte a la transformación de una sociedad más justa, participativa y humana.

FINES Y PRINCIPIOS

El COLEGIO CARLOS ARANGO VÉLEZ se propone desarrollar competencias en las dimensiones, afectiva (personal), expresiva (social) y cognitiva (intelectual) que le permitan al estudiante:

- 1- El ingreso a la educación superior como una opción de vida y/o desempeñarse en el campo labora.
- 2- La construcción y el ejercicio de la autonomía, la cultura del emprendimiento y el liderazgo para asumir con compromiso las responsabilidades en los diferentes ámbitos de la vida (escolar, familiar y laboral)
- 3- La formación en valores para el fortalecimiento de la personalidad por medio del autoconocimiento y reconocimiento del otro, aportando en la construcción de una sociedad más justa, participativa y humana.

PERFIL DEL ESTUDIANTE ARANGUISTA.

Al terminar su educación secundaria el joven aranguista, además de haber fortalecido, el respeto, la responsabilidad el sentido de pertenencia, la autonomía y la capacidad de poner en práctica sus conocimientos, actitudes y valores, logrará el desarrollo de su vida plena con las

siguientes características: Se distingue por sus cualidades humanas como ser irremplazable, dotado de valores como: Responsabilidad, puntualidad, honestidad, capacidad de servicio y por ende un alto grado de autoestima.

FOTOS DE LA INSTITUCIÓN

FOTO N° 1



FOTO N° 1: Muestra una exposición en el aula máxima sobre ciencia y tecnología.

FOTO N° 2



FOTO N° 2: Muestra una reunión de padres en el auditorio del colegio.

8.3 METODOLOGÍA

Este trabajo se ha desarrollado como de detección, de fundamentación, es cualitativo y se centra en el conocimiento de los conceptos previos de los alumnos; busca reducir el obstáculo de aprendizaje, cuando estos conocimientos están mal fundamentados, realizar un proceso de reestructuración de estos con los nuevos conceptos, hasta alcanzar un aprendizaje significativo de los mismos y por lo tanto llegar a un cambio conceptual.

En esta propuesta didáctica, el proceso de aprendizaje y de comprensión de los conceptos se desarrolló de la siguiente forma.

Se aplica un instrumento de conocimiento (Pre-test-), que se adjunta en el anexo A de este trabajo. El test consta de 36 preguntas de selección múltiple con 4 opciones de respuesta. La totalidad de las preguntas fueron realizadas por el autor con la corrección y la supervisión de las mismas por el docente director del trabajo.

Se abordó las temáticas de la cinemática del movimiento circular, estática de los cuerpos y dinámica rotacional, realizando énfasis en conceptos como: fuerza, sistemas de referencia, fuerza centrípeta y fuerza centrífuga. Durante un periodo de 64 horas de clase. En algunas clases se utilizaron ayudas didácticas como prácticas simples de laboratorio, videos y algunos Applets sobre los temas estudiados.

Se realizan clases con la propuesta de responder algunas preguntas especialmente escogidas para revisar los “conocimientos previos” de los alumnos en cada uno de los temas de estudio.

Se realizan clases con la propuesta de solucionar algunas ejercicios especialmente escogidos para revisar los “la fundamentación conceptual” de los alumnos en cada uno de los temas de estudio.

En las clases donde se explica un tema nuevo, se aborda el aspecto histórico del concepto para exaltar el valor histórico en la formación de un concepto científico y la importancia de la historia de las ciencias.

Se realizan tres prácticas especiales de laboratorio para, conocer el aprendizaje significativo de los estudiantes específicamente sobre el concepto de fuerza, sistema de referencia y fuerza centrífuga, mediante la observación de los informes de laboratorio que los alumnos presentan.

Las prácticas son:

1. Un cuerpo en caída libre, un cuerpo sobre una mesa y un balón golpeado con el pie. Dibujar todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo en cada caso.

2. Una persona ubicada sobre un carro de rodachines con otra persona, es empujado por una tercera persona y una cuarta persona se queda observándolos. Se pregunta por los sistemas de referencia de esta práctica
3. Un disco de acetato girando sobre un tocadiscos y sobre el disco una moneda que gira con el disco, luego se aumentan las revoluciones de giro del disco y la moneda sale disparada del disco. Se pregunta por las fuerzas que actúan y se pide hablar especialmente de la fuerza centrífuga

Luego se debe realizar la aplicación de la guía de fundamentación en tres momentos así:

1. Una primera aplicación se desarrolla el módulo 1 sobre el concepto "Fuerza" Se entrega la guía a los estudiantes para que la desarrollen de manera individual, máximo en un tiempo de 30 minutos. Luego el profesor recoge las guías observa las respuesta y comienza a realizar el proceso de retroalimentación, mediante una puesta en común, luego se regresan las guías a los estudiantes, para ser revisadas de nuevo, y que sea el propio estudiante quien; por lo tanto realice si considera necesario los ajustes, ampliación y corrección de sus respuestas. Y nuevamente las guías son entregadas al docente, que se encarga de observar y conocer si persisten obstáculos en el aprendizaje de los conceptos en algunos alumnos.
2. La segunda aplicación de la guía se realiza con la misma metodología, se entrega el módulo 2 sobre "Sistemas de Referencia", en este caso se da más tiempo para el desarrollo de la guía (40 minutos) porque es un tema que requiere, un proceso de análisis y abstracción mental mayor.
3. La tercera aplicación de la guía se realiza con la misma metodología, se entrega el módulo 3 sobre "Fuerza Centrífuga", en este caso se da más tiempo para el desarrollo de la guía (50 minutos) porque es un tema de mayor exigencia y con un más alto grado de dificultad en el análisis del comportamiento y origen de las fuerzas.
4. La cuarta aplicación de la guía se efectúa desarrollando el módulo 4, en este caso se pide desarrollar el test de fundamentación, el test de la "Force Concept Inventory" y se solicita especial dedicación en su solución a los ejercicios de fuerza centrífuga propuestos en los test.

8.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

RESULTADOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DEL PRE- TEST.

A continuación se presenta el resultado estadístico de la prueba del pre-test, (ver anexo 1).

MARCO DE APLICACIÓN.

La prueba del pre- test se aplica a los 100 estudiantes del grado 10 del colegio Carlos Arango Vélez de la jornada de la mañana. Este colegio está ubicado en la localidad octava de Kennedy. La totalidad de los estudiantes es de estrato 2 y 3, y la mayoría de los estudiantes tienen acceso a internet.

Clasificación de las 36 preguntas del pre-test, en diferentes ítems.

TABLA N° 13

Clase de pregunta o ítem	Numeral de la pregunta
Pregunta sobre fuerza.	1,2,3,4,7,8
Pregunta sobre inercia	5,6,9,11,14,15,16,21
Pregunta sobre leyes de Newton	10,11,12,13,14,16,20,21,23
Pregunta sobre fuerza centrípeta	26,27,28,29,30
Pregunta sobre Movimiento Circular	23,24,25,26,28
Pregunta sobre fuerza centrífuga	29,30,31,32,33,34,35,36
Pregunta sobre Sistema de Referencia	18,19,20

Los resultados de este pre-test permiten saber algunos de los conocimientos previos de los estudiantes sobre estos temas, y permite tener una idea, o conocer un dato aproximado de la fundamentación de los estudiantes sobre los mismos.

RESULTADOS

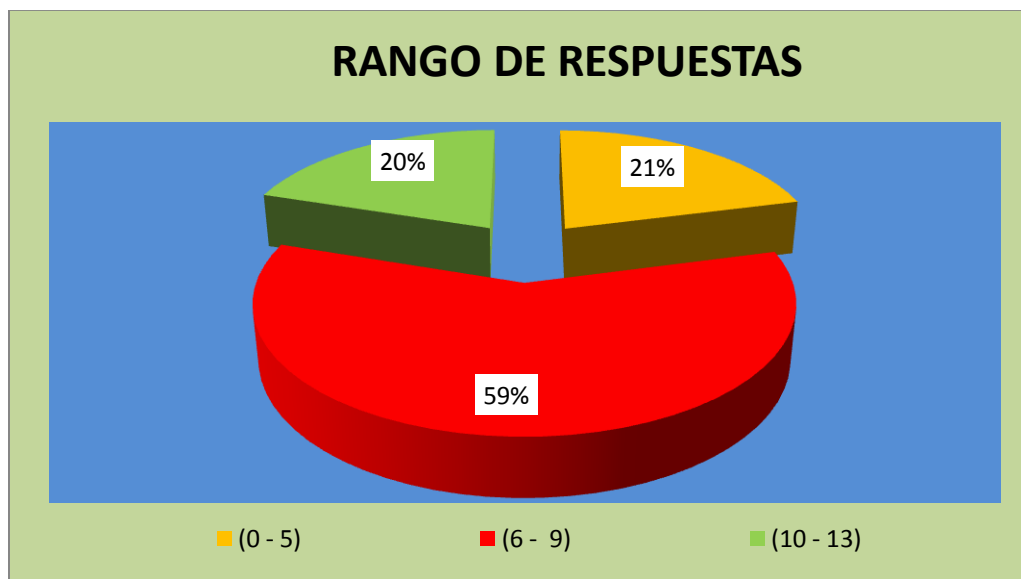
ESTADÍSTICAS DEL PRE- TEST

TABLA N° 14

RANGOS	fi	Fi
(0 - 5)	21	21
(6 - 9)	59	59
(10 - 13)	20	20
(13 - 17)	0	0
(18 - 21)	0	0
(22 - 25)	0	0
(26 - 29)	0	0
(30 - 33)	0	0
	100	

La tabla anterior, muestra que un grupo de 59 estudiantes, respondió entre 6 y 9 respuestas correctas de un total de 33, esto indica que lo máximo que se respondió correctamente por este rango de estudiantes, corresponde al 25% de las preguntas.

TABLA N° 15



La tabla anterior, indica que más de la mitad de los estudiantes se ubica con máximo 9 y mínimo 6 respuestas correctas. Se puede concluir que el gran grueso de estudiantes, no responde correctamente, ni siquiera 10 preguntas de las 36

NÚMERO DE ALUMNOS CON RESPUESTAS CORRECTAS

TABLA N° 16

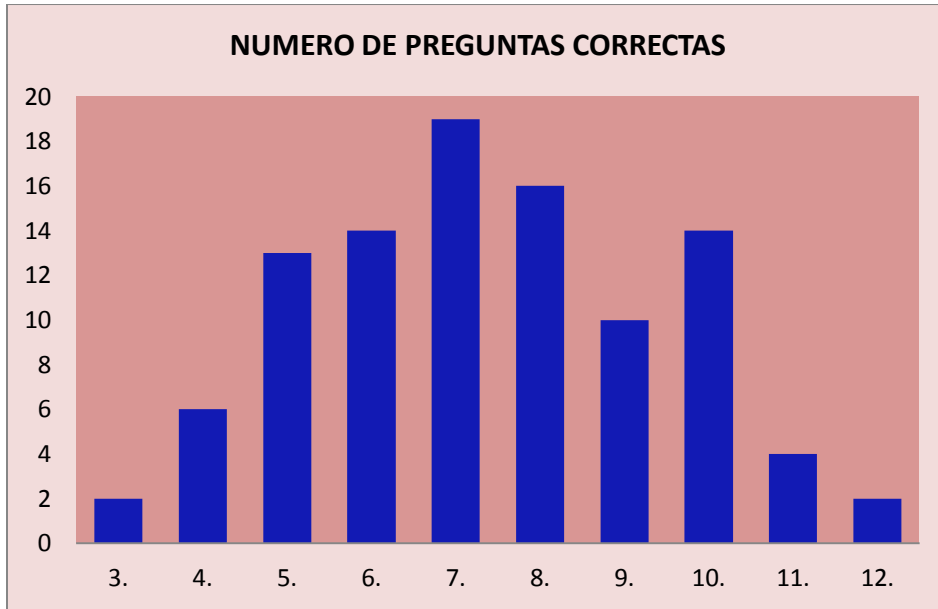
R.CORRECTAS	ESTUDIANTES	PORCENTAJE
0	0	0%
1	0	0%
2	0	0%
3.	2	2%
4.	6	6%
5.	13	13%
6.	14	14%
7.	19	19%
8.	16	16%
9.	10	10%
10.	14	14%
11.	4	4%
12.	2	2%
13	0	0%
14	0	0%
15	0	0%
16	0	0%
17	0	0%
18	0	0%
19	0	0%
20	0	0%
21	0	0%
22	0	0%
23	0	0%
24	0	0%
25	0	0%
26	0	0%
27	0	0%
28	0	0%
29	0	0%
30	0	0%
31	0	0%
32	0	0%
33	0	0%
	100	100%

Nota sólo se tabulan las primeras 33 preguntas del pre-test, ya que las 3 últimas preguntas hay que dibujar fuerzas. VER Anexo - 1

N
U
M
E
R
O

A
L
U
M
N
O
S

TABLA N° 17



NÚMERO DE PREGUNTAS

La tabla anterior y posterior indica que el más alto número de estudiantes (19) sólo alcanzaron en responder (7) respuestas correctas. Esto también señala que los grupos más grandes de estudiantes, no responden bien ni el 20% de las preguntas.

TABLA N° 18

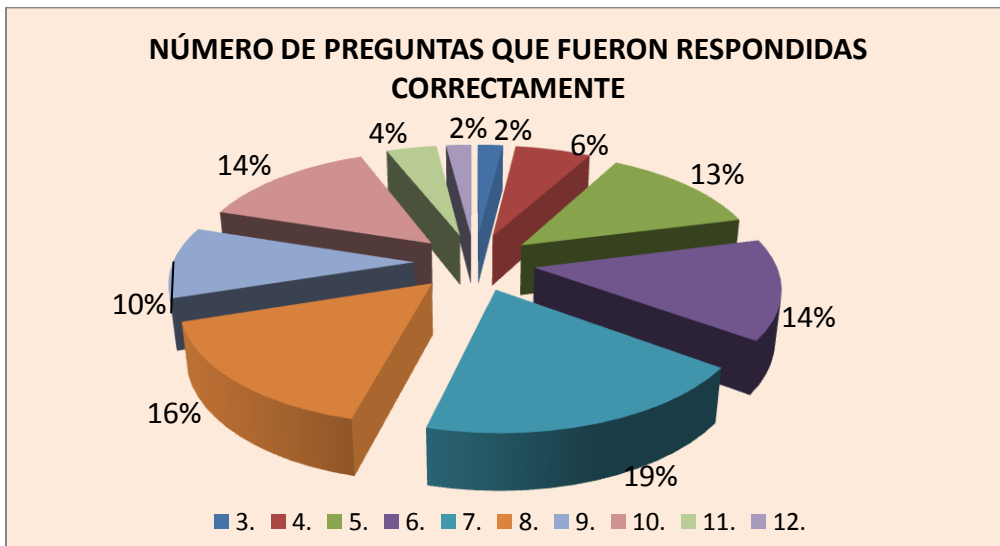
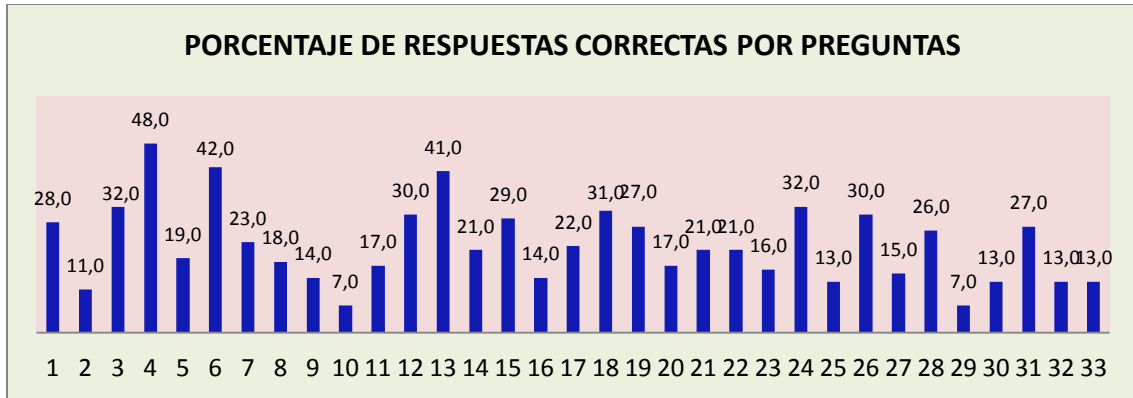
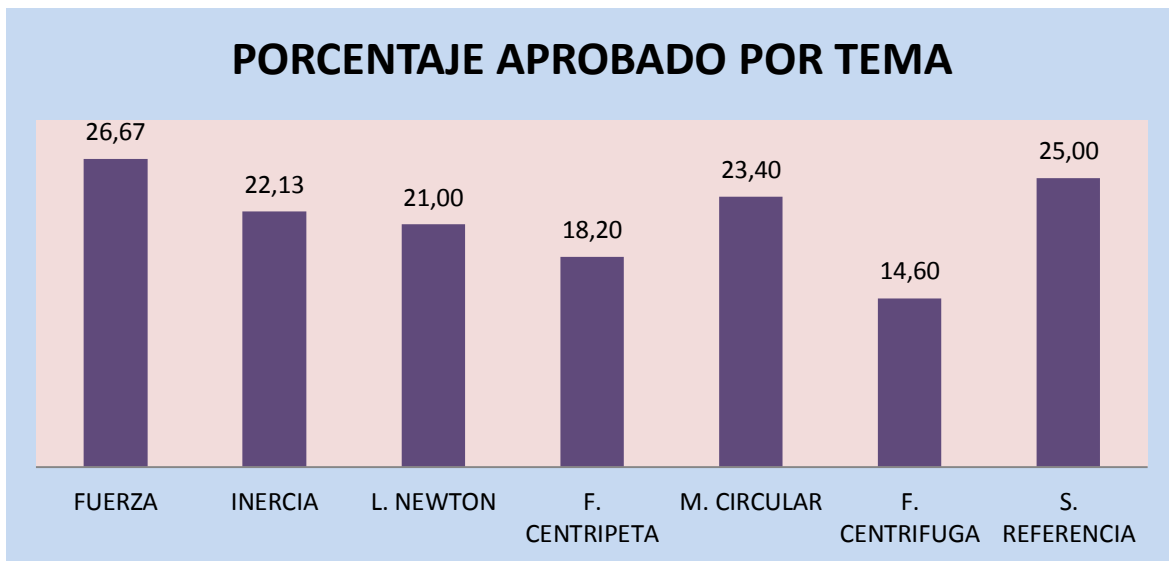


TABLA N° 19



La tabla anterior, nos señala que el mayor porcentaje (48%) lo obtuvo un número de 4 respuestas buenas, este dato indica que gran cantidad de estudiantes, no poseen ni el 5% de las preguntas buenas. En conclusión, los estudiantes no tienen una buena fundamentación.

TABLA N° 20



Esta tabla presenta datos e informes muy importantes:

1. La mayor fundamentación de los estudiantes, está en los conceptos de fuerza y de sistema de referencia.
2. Se muestra que la más baja fundamentación está en el conocimiento y dominio del concepto fuerza centrífuga.
3. Ningún concepto es ampliamente del dominio de los estudiantes.

FOTO N° 3



FOTO N° 3: Muestra el momento de la puesta en común del módulo de fuerza que solucionan los alumnos del grado 1002.

FOTO N° 4



FOTO N° 4: Muestra el desarrollo de una práctica de explicación sobre sistemas de referencia con el grado 1001.

FOTO N° 5



FOTO N° 5: Muestra una practica de laboratorio realizada sobre fuerza centrífuga con los alumnos del grado 1003

FOTO N° 6



FOTO N° 6: Muestra una puesta en común sobre el concepto de fuerza realizado con el grado 1001

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Este trabajo presenta el diseño de una guía didáctica de fundamentación, estructurada inicialmente con cuatro módulos que son: el primero intencionado a revisar los fundamentos y conocimientos previos sobre fuerza, el segundo sobre sistema de referencia, el tercero sobre fuerza centrífuga y el cuarto sobre la profundización de la fuerza centrífuga; esto garantiza que haya una revisión gradual de los conceptos previos y un aumento en el aprendizaje del nivel de complejidad de los conceptos. Por otra parte la guía se sugiere sea aplicada básicamente en tres momentos (antes, durante y después de desarrollar las temáticas), que son paralelos al desarrollo de las clases que en ningún momento impiden su normal desarrollo; por el contrario le permiten al estudiante ir tomando cierta seguridad en el desarrollo de la guía, comprensión de los conceptos y mostrar un cambio de actitud y de motivación por aprender. Es posible que este cambio en la actitud se debe, a que el desarrollo de la guía, le permite al estudiante expresar lo que sabe, conoce y propone con relación al tema que se le pregunta. El desarrollo no le pregunta al estudiante por datos puntuales, ni respuestas exactas o procesos demasiado complejos. En este momento del proceso lo que se le pide al estudiante es ser muy juicioso en el desarrollo, realizar de forma eficiente y clara el proceso de retroalimentación (después de la puesta en común) de la misma.

Durante el desarrollo de estos temas, no se realizó la práctica de una prueba, post-test, con la intención de medir cuantitativamente, ya que esta propuesta sugiere evitar preguntas y tareas que permitan respuestas reproductivas, es decir evitar la respuesta “correcta” este literalmente incluida en los materiales y actividades de aprendizaje.

El desarrollo metodológico de la guía va a permitir en el estudiante, un mayor protagonismo en la búsqueda de un aprendizaje significativo, tener la oportunidad de ser posiblemente el primero en advertir, sus propios obstáculos de aprendizaje.

Por otra parte la implementación de la guía, se constituye en un instrumento que proporciona, una enorme ayuda al docente sobre el conocimiento de las ideas previas de los alumnos y los avances en sus procesos de aprendizaje.

Por lo tanto se sugiere la implementación de esta propuesta, que se desarrolle en forma aplicada y organizada, para obtener los mejores resultados en el aprendizaje de conceptos (fuerza, sistema de referencia y fuerza centrífuga) tan delicados para algunos, casi que ignorados por otros, o mal enseñados por muchos otros; pero sin duda de enorme importancia y sin los cuales no se puede tener una estructura y conocimiento coherente del mundo no sólo científico sino del común.

10. ANEXOS -1 TEST DE FUNDAMENTACIÓN

INSTITUCION EDUCATIVA DISTRITAL

CARLOS ARANGO VELEZ

ÁREA FÍSICA Y MATEMÁTICAS

GRADO DÉCIMO

FÍSICA



PROFESOR: Víctor Manuel Acosta Gómez

TEST DE FUNDAMENTACIÓN

CUESTIONARIO SOBRE CONCEPTOS BÁSICOS DE LA FÍSICA

NOMBRE _____ GRADO _____

Este cuestionario, pretende saber el conocimiento y dominio que usted tiene sobre conceptos básicos de la física, mediante la formulación de preguntas reflexivas, o la consideración de situaciones específicas; que permiten saber el grado de comprensión y el manejo que se tenga de algunas de las leyes físicas que rigen el universo que nos rodea.

1. Una cantidad es de naturaleza escalar cuando:

- a- Se define mediante un nombre y unas unidades
- b- Se define mediante un número y unas unidades
- c- Se define mediante un número y una dirección
- d- Se define mediante una dirección y un nombre

2. Una cantidad es de naturaleza vectorial cuando:

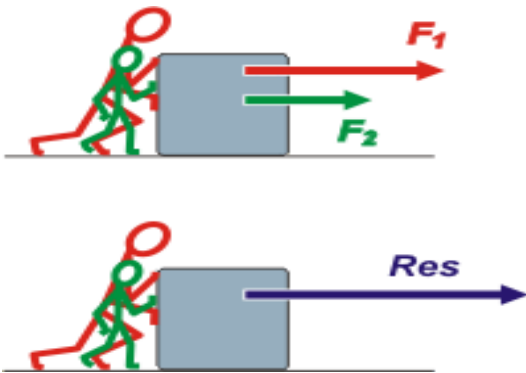
- a- Se define mediante un número, una dirección, un sentido y unas unidades.
- b- Se define mediante un nombre, una dirección, un sentido y unas unidades.
- c- Se define mediante un número, un nombre, un sentido y unas unidades.
- d- Se define mediante un número, un nombre, una dirección y unas unidades.

3. Un vector se representa geométicamente por:

- a- Un segmento de recta.
- b- Un arco.
- c- Un segmento de recta orientado.
- d- Un segmento de recta bidireccional

4. Una fuerza se representa mejor mediante:

- a- Una cantidad escalar.
- b- Un número natural.
- c- Una cantidad vectorial.
- d- Un número imaginario.



De acuerdo a la gráfica anterior y a los siguientes datos, responder las preguntas: 5, 6 y 7. $\vec{F}_1 = 200 \text{ N}$, $\vec{F}_2 = 100 \text{ N}$ y $m = 200 \text{ kg}$.

5. Dos personas empujan un cuerpo de 200 Kg con fuerzas de $F_1 = 200 \text{ N}$ Y $F_2 = 100 \text{ N}$, si las fuerzas se ejercen horizontalmente en el mismo sentido la aceleración del cuerpo es:

- A -1,5 m/s^2
- b- 1,0 m/s^2
- c- 0,5 m/s^2
- d- 2,0 m/s^2

6. Si las dos personas ejercen las fuerzas horizontalmente en sentido contrario, la aceleración del cuerpo es:

a-1,5 m/s²

b-1,0 m/s²

c- 0,5 m/s²

d-2,0 m/s²

7. Si las dos personas ejercen las fuerzas de tal forma que; F_1 forma un ángulo de 45° con F_2 ubicada en forma horizontal, la aceleración del cuerpo es:

a- 1,3 m/s²

b- 1,2 m/s²

c- 1,5 m/s²

d- 1,0 m/s²

8. Una fuerza en física es:

a-Un esfuerzo muscular.

b-La acción de un cuerpo sobre otro únicamente si existe contacto entre los dos.

c-La acción de un cuerpo sobre otro cuando no hay contacto entre los dos.

d-La acción de un cuerpo sobre otro haya o no contacto entre los dos.

9. Si un cuerpo se encuentra únicamente bajo la acción de una fuerza, entonces:

a-El cuerpo se mueve con velocidad constante.

b-El cuerpo se mueve, aumentando cada vez más su velocidad.

c-El cuerpo permanece en reposo.

d-El cuerpo experimenta una aceleración.

10. Si la sumatoria de todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo es igual a cero:

a-Entonces el cuerpo siempre permanecerá en reposo.

b-Entonces el cuerpo se acelera.

c-Entonces el cuerpo se desplaza con velocidad constante.

d-Entonces el cuerpo puede estar en reposo o en movimiento con velocidad constante.

De acuerdo a la siguiente situación, responder las preguntas 11 y 12



Un bloque reposa sobre una mesa y entre los dos cuerpos existe una fuerza de rozamiento estático.

11. Si al bloque se le aplica una fuerza F , y este no se mueve, para saber por qué no se mueve, necesito saber:

a-Cuanto vale la fuerza que se aplicó y de que material está hecha la mesa y el bloque.

b-En que dirección se aplicó la fuerza y el valor de la fuerza de rozamiento

c-Cuanto vale y cuál es la dirección de la fuerza que se aplicó, también el valor de la fuerza de rozamiento.

d-Cuanto vale el peso del cuerpo y el valor de la fuerza que se aplicó.

12. Si al bloque se le aplica una fuerza F , y el bloque se no se mueve; por lo tanto puedo decir que sobre el bloque en ese momento actúan, como fuerzas reales:

a-Una sola fuerza.

b-Dos fuerzas.

c-Tres fuerzas.

d-Cuatro fuerzas.

En la pregunta 13 completar los espacios con la opción correcta.

13. Siempre que una fuerza actúa sobre un cuerpo maleable produce una _____ o una _____ o _____

a-Acción estática ----- Acción dinámica----- Ninguna.

b-Una aceleración ----- Una velocidad ----- las dos.

c-Una deformación ----- Una aceleración ----- las dos.

d-Una velocidad ----- Acción dinámica ----- Ninguna.

14. Si un cuerpo, inicialmente en reposo, _____ una _____

Tendrá una _____ actuando en la misma dirección de la _____

a-Experimenta ---- Aceleración ----- Fuerza ---- Aceleración.

b-experimenta ---- Fuerza ----- Aceleración ----Fuerza.

c-Recibe ----- Fuerza ----- Deformación ----- Fuerza.

d-Presenta ---- velocidad ----- Fuerza ----- velocidad.

Son correctas a, b y c.

Son correctas a, b y d.

Solo la opción a.

Solo la opción b

Responder si es falso o verdadero, en los enunciados 15, 16, 17, 18, 19, 20 y 21.

15. Si un cuerpo experimenta un desplazamiento, por la acción de una fuerza; entonces este cuerpo puede estar en reposo respecto a otro cuerpo.

a-Falso.

b-Verdadero.

c-No sabe.

16. Un cuerpo inicialmente en reposo bajo la acción de una fuerza constante, ¿puede tener un movimiento circular?

a- Falso.

b- Verdadero.

c- No sabe.

17. La idea de movimiento de un cuerpo está asociada a los conceptos de posición y de tiempo, los cuales a su vez dependen del concepto sistema de referencia.

a-Falso.

b-Verdadero.

c-No sabe.

18. Un sistema de referencia inercial es un sistema que está acelerado.

a-Falso.

b-Verdadero.

c-No sabe.

19. Para que exista una fuerza, es necesario que exista mínimo dos cuerpos.

a-Falso.

b-Verdadero.

c-No sabe.

20. Si la aceleración que experimenta un objeto es igual a cero, esto significa que ninguna fuerza actúa sobre él.

a-Falso.

b-Verdadero.

c-No sabe.

21. Si un objeto está en reposo, podemos concluir que ninguna fuerza externa actúa sobre él.

a-Falso.

b-Verdadero.

c-No sabe.

22. Un cuerpo puede actuar sobre otro, aplicando una fuerza, sin que haya contacto entre los dos cuerpos.

a-Falso.

b-Verdadero.

c-No sabe.

Si es verdadero, un ejemplo es: _____

Si es falso, un ejemplo es: _____

23. La fuerza de gravedad es debido a:

- a-La velocidad de los cuerpos.
- b-La carga de los cuerpos.
- c-El peso de los cuerpos.
- d-La masa de los cuerpos.

24. El movimiento circular uniforme de un cuerpo, se denomina uniforme porque:

- a- Tiene una velocidad constante.
- b- Tiene una rapidez constante.
- c- Tiene una dirección constante.
- d- Tiene un radio de curvatura constante.

25. En el movimiento circular uniforme que realiza un cuerpo, constantemente cambia:

- a- La dirección del movimiento.
- b- La velocidad del movimiento y su radio de curvatura.
- c- La rapidez y el sentido de rotación.
- d- Solo su velocidad.

26. La aceleración centrípeta que tiene un cuerpo, que realiza un movimiento circular uniforme se debe:

- a- El cambio de la dirección de la velocidad del cuerpo.
- b- El cambio en la magnitud de la velocidad del movimiento.
- c- El cambio en la rapidez del movimiento.
- d- El cambio en el radio de curvatura de la trayectoria.

27. La dirección de la aceleración en un movimiento circular uniforme es:

- a- Hacia el centro de la curva de la trayectoria.
- b- Hacia la parte exterior de la curvatura.
- c- Tangencial a cada punto de la curva de la trayectoria.
- d- Perpendicular al plano que contiene cada punto de la curva de la trayectoria.

28. Si hay una aceleración actuando sobre el cuerpo que realiza un movimiento circular uniforme, es debido a:

- a- Una velocidad del cuerpo actuando en la misma dirección de la aceleración.
- b- Una fuerza que actúa sobre el cuerpo en la misma dirección de la aceleración.
- c- Un desplazamiento que realiza el cuerpo en la misma dirección de la aceleración.

29. La magnitud física responsable de que un cuerpo describa un movimiento circular, cambiando en cada punto de su trayectoria la dirección del movimiento es:

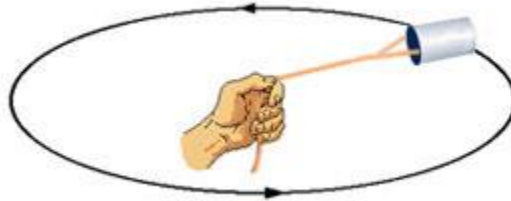
- a- La aceleración.
- b- La velocidad.
- c- La longitud.
- d- La fuerza.

30. El término “fuerza centrípeta” se refiere al hecho de que esta fuerza aplicada a un cuerpo que gira, ocasiona en el cuerpo:

- a- Un cambio en la magnitud de la velocidad del cuerpo que gira.
- b- Un cambio en la magnitud de la aceleración del cuerpo que gira.
- c- Un cambio en la dirección de la velocidad del cuerpo que gira.
- d- Un cambio en el sentido del giro del cuerpo.

31. Si sobre un cuerpo A actúa una fuerza "F" ejercida por un cuerpo B; entonces el cuerpo A sobre el cuerpo B:

- a- No realiza ninguna fuerza.
- b- Realiza una fuerza de igual valor y en la misma dirección a la que realiza B.
- c- Realiza una fuerza de igual valor y en dirección opuesta a la que realiza B.
- d- Realiza fuerza una fuerza mayor o menor a la que le aplica el cuerpo B.



32. En la figura anterior, la fuerza realizada por la tensión de la cuerda hace el papel de:

- a- Fuerza centrípeta.
- b- Fuerza normal.
- c- Fuerza centrífuga.
- d- Fuerza circular.

33. Si una persona, mediante una cuerda hace girar un objeto, la fuerza que causa el movimiento circular del cuerpo se llama:

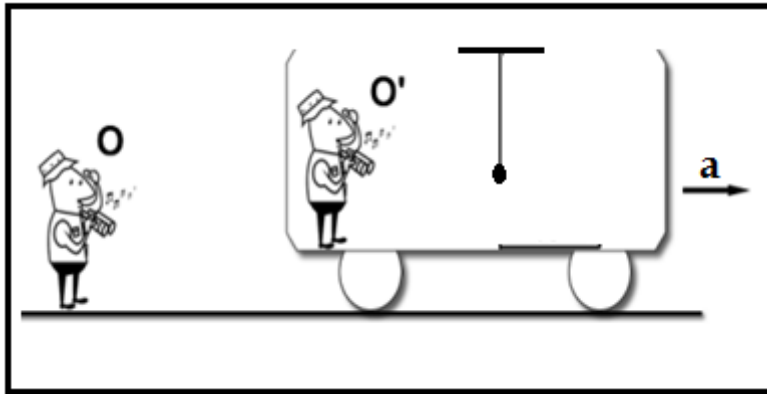
- a- Fuerza gravitacional.
- b- Fuerza normal.
- c- Fuerza centrípeta.
- d- Fuerza centrífuga.

34. En cada caso, escriba el nombre de la fuerza que desempeña el papel de fuerza centrípeta:

- a- Para el movimiento de la tierra alrededor del sol. Fuerza _____
- b- Para un objeto que gira colocado sobre un tornamesa. Fuerza _____
- c- Para una piedra, girando atada al final de una cuerda. Fuerza _____

d- Para una persona que gira, pegada a la pared de un juego mecánico que no tiene piso donde apoyarse la persona.
Fuerza _____

35. Un observador O' ubicado dentro de un tren que avanza con una aceleración constante, observa un cuerpo que cuelga del techo, mediante una cuerda; simultáneamente otro observador O ubicado en tierra observa también el mismo cuerpo.



Grafique las fuerzas que están actuando sobre el péndulo y que vería cada observador:

GRÁFICA DEL OBSERVADOR O'

GRÁFICA DEL OBSERVADOR O





36. Un bloque está ubicado sobre una plataforma que gira, luego de cierto tiempo la plataforma aumenta la velocidad de giro y el bloque sale disparado de la plataforma.

a- Nombre las fuerzas que actúan sobre el bloque cuando el cuerpo gira con la plataforma.

b- Nombre las fuerzas que actúan sobre el bloque cuando el cuerpo es disparado de plataforma. _____ c- Nombre si hay alguna fuerza responsable de que el cuerpo salga disparado de la plataforma

11. ANEXO-2 “FORCE CONCEPT INVENTORY”

“Force Concept Inventory”

PRUEBA DIAGNOSTICA CINEMATICA Y DINAMICA

1. Dos bolas de metal tienen el mismo tamaño, pero una pesa el doble que la otra. Las dos bolas se dejan caer en el mismo instante de tiempo desde el techo de un edificio de un solo piso. El tiempo que tardan las bolas en llegar al suelo es:

- (A) aproximadamente la mitad para la bola más pesada que para la bola más liviana.
- (B) aproximadamente la mitad para la bola más liviana que para la bola más pesada.
- (C) aproximadamente el mismo para ambas bolas.
- (D) considerablemente menor para la bola más pesada, pero no necesariamente la mitad.
- (E) considerablemente menor para la bola más liviana, pero no necesariamente la mitad.

2. Las dos bolas de metal del problema anterior ruedan sobre una mesa horizontal con la misma velocidad y caen al suelo al llegar al borde de la mesa. En esta situación

- (A) ambas bolas golpean el suelo aproximadamente a la misma distancia horizontal de la base de la mesa.
- (B) la bola más pesada golpea el suelo aproximadamente a la mitad de la distancia horizontal de la base de la mesa que la bola más liviana.
- (C) la bola más liviana golpea el suelo aproximadamente a la mitad de la distancia horizontal de la base de la mesa que la bola más pesada.
- (D) la bola más pesada golpea el suelo considerablemente más cerca de la base de la mesa que la bola más liviana, pero no necesariamente a la mitad de la distancia horizontal.
- (E) la bola más liviana golpea el suelo considerablemente más cerca de la base de la mesa que la bola más pesada, pero no necesariamente a la mitad de la distancia horizontal.

3. Una piedra que se deja caer desde el techo de un edificio de un solo piso hasta la superficie de la tierra

- (A) alcanza un máximo de velocidad muy pronto después de ser soltada, y desde entonces cae con una velocidad constante.
- (B) aumenta su velocidad mientras cae, porque la atracción gravitatoria se hace considerablemente mayor cuanto más se acerca la piedra a la tierra.
- (C) aumenta su velocidad porque una fuerza de gravedad casi constante actúa sobre ella.
- (D) cae debido a la tendencia natural de todos los objetos a descansar sobre la superficie de la tierra.
- (E) cae debido a los efectos combinados de la fuerza de la gravedad, empujándola hacia abajo, y la fuerza del aire, también empujándola hacia abajo.

4. Un camión grande choca frontalmente con un pequeño automóvil. Durante la colisión:

la intensidad de la fuerza que el camión ejerce sobre el automóvil es mayor que la de la fuerza que el auto ejerce sobre el camión.

- (B) la intensidad de la fuerza que el automóvil ejerce sobre el camión es mayor que la de la fuerza que el camión ejerce sobre el auto.
- (C) ninguno ejerce una fuerza sobre el otro. El auto es aplastado simplemente porque se interpone en el camino del camión.

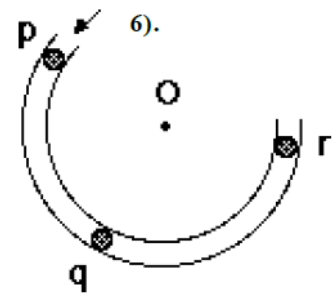
(D) el camión ejerce una fuerza sobre el automóvil pero el auto no ejerce ninguna fuerza sobre el camión.

(E) el camión ejerce una fuerza de la misma intensidad sobre el auto que la que el auto ejerce sobre el camión.

USE LA DESCRIPCIÓN Y LA FIGURA ADJUNTAS PARA

CONTESTAR LAS DOS PREGUNTAS SIGUIENTES (5 y 6).

La figura adjunta muestra un canal sin fricción con forma de segmento circular con centro en "O". El canal se halla anclado fijo sobre la superficie horizontal de una mesa sin rozamiento. Usted está mirando la mesa desde arriba. Las fuerzas ejercidas por el aire son despreciables. Una bola entra a gran velocidad hacia el interior del canal por "p" y sale por "r".



5. Considere las siguientes fuerzas:

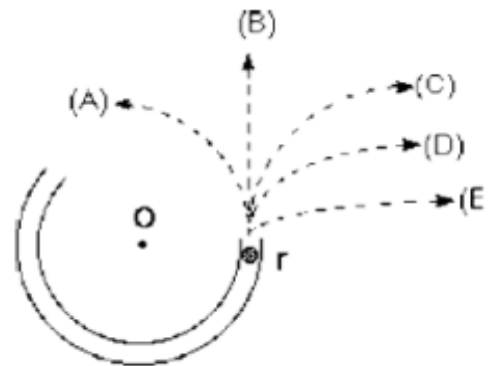
1. Una fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
2. Una fuerza ejercida por el canal y dirigida de q hacia O.
3. Una fuerza en la dirección del movimiento.
4. Una fuerza en la dirección de O hacia q.

¿Cuál(es) de dichas fuerzas actúa(n) sobre la bola cuando ésta se halla dentro del canal sin fricción en la posición "q"? (A) Sólo la 1. (B) 1 y 2. (C) 1 y 3.

(D) 1, 2 y 3.

(E) 1, 3 y 4.

6. ¿Cuál de los caminos indicados en la figura de la derecha seguirá de forma más aproximada la bola después de salir del canal por "r", si continúa moviéndose sin rozamiento sobre la superficie de la mesa?

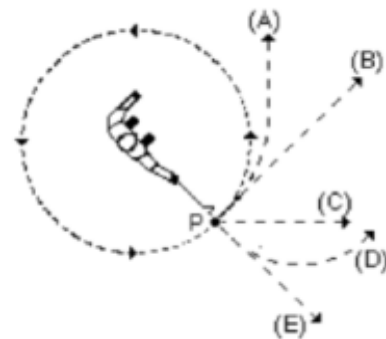


7. Una bola de acero está atada a una cuerda y sigue una trayectoria circular en un plano horizontal, como se muestra en la figura adjunta.

En el punto P, indicado en la figura, la cuerda se rompe de repente en un punto muy cercano a la bola.

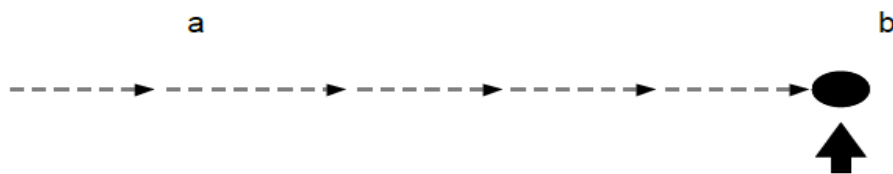
Si estos hechos se observan directamente desde arriba, como se indica en la figura,

¿qué camino seguirá de forma más aproximada la bola tras la ruptura de la cuerda?

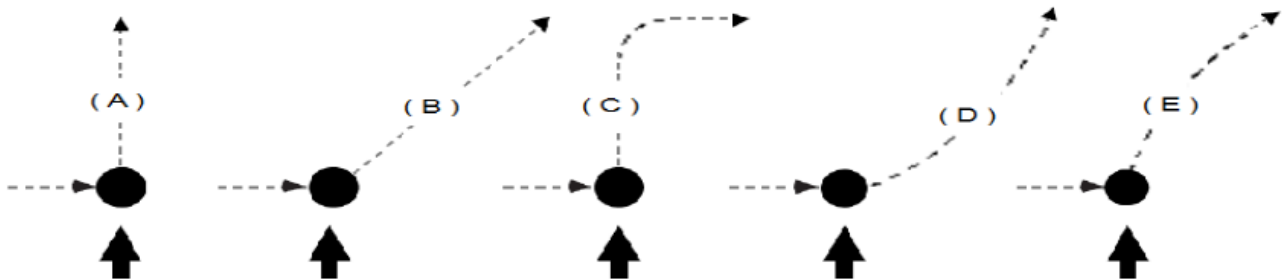


USE LA DESCRIPCIÓN Y LA FIGURA ADJUNTAS PARA CONTESTAR LAS CUATRO PREGUNTAS SIGUIENTES (8 a 11).

La figura muestra un disco de hockey desplazándose sobre el hielo sin fricción con velocidad constante V_0 en línea recta desde el punto "a" al punto "b". Las fuerzas ejercidas por el aire son despreciables. Usted está mirando el disco desde arriba. Cuando el disco llega al punto "b", recibe un golpe repentino en la dirección de la flecha gruesa. Si el disco hubiera estado en reposo en el punto "b", el golpe habría puesto el disco en movimiento con una velocidad de magnitud V_k en la dirección del golpe.



8. ¿Cuál de los caminos siguientes seguirá de forma más aproximada el disco después de recibir el golpe?



9. La magnitud de la velocidad del disco inmediatamente después de recibir el golpe es

- (A) igual a la magnitud de la velocidad " V_0 " que tenía antes de recibir el golpe.
- (B) igual a la magnitud de la velocidad " V_k " resultante del golpe e independiente de la velocidad " V_0 ".
- (C) igual a la suma aritmética de las magnitudes de las dos velocidades " V_0 " y " V_k ".
- (D) menor en magnitud que cualquiera de las velocidades " V_0 " o " V_k ".
- (E) mayor en magnitud que cualquiera de las velocidades " V_0 " o " V_k ", pero menor que la suma aritmética de las magnitudes de estas dos velocidades.

10. A lo largo del camino sin fricción que usted ha elegido en la pregunta 8, la velocidad del disco después de recibir el golpe:

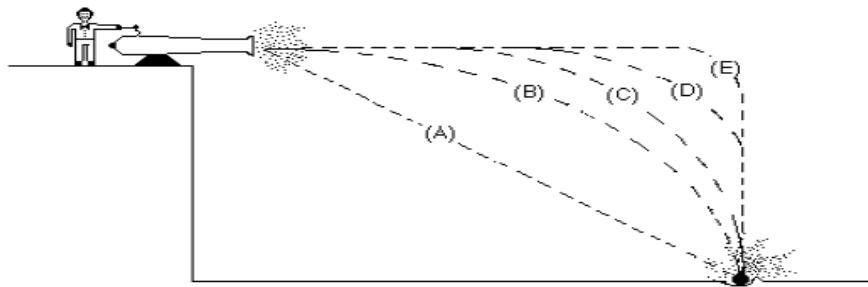
- (A) es constante.
- (B) aumenta continuamente.
- (C) disminuye continuamente.

- (D) aumenta durante un rato y después disminuye.
- (E) es constante durante un rato y después disminuye.

11. A lo largo del camino sin fricción que usted ha elegido en la pregunta 8, la(s) Fuerza(s) principal(es) que actúa(n) sobre el disco después de recibir el golpe es (son):

- (A) una fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
- (B) una fuerza hacia abajo debida a la gravedad y una fuerza horizontal en la dirección del movimiento.
- (C) una fuerza hacia abajo debida a la gravedad, una fuerza hacia arriba ejercida por la superficie y una fuerza horizontal en la dirección del movimiento.
- (D) una fuerza hacia abajo debida a la gravedad y una fuerza hacia arriba ejercida por la superficie.
- (E) ninguna. (No actúa ninguna fuerza sobre el disco).

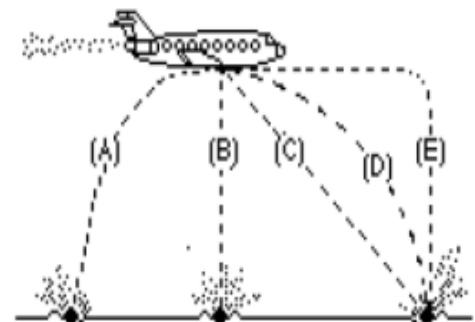
12. Con un cañón se dispara una bola desde el filo de un barranco como se muestra en la figura adjunta. ¿Cuál de los caminos seguirá de forma más aproximada dicha bola?



13. Una niña lanza hacia arriba una bola de acero. Considere el movimiento de la bola durante el intervalo comprendido entre el momento en que ésta deja de estar en contacto con la mano de la niña hasta un instante anterior al impacto con el suelo. Suponga que las fuerzas ejercidas por el aire son despreciables. En estas condiciones, la(s) fuerza(s) que actúa(n) sobre la bola es (son):

- (A) una fuerza hacia abajo debida a la gravedad, junto con una fuerza hacia arriba que disminuye continuamente.
- (B) una fuerza hacia arriba que disminuye continuamente desde el momento en que la bola abandona la mano de la niña hasta que alcanza su punto más alto; en el camino de descenso hay una fuerza hacia abajo debida a la gravedad que aumenta continuamente a medida que el objeto se acerca progresivamente a la tierra.
- (C) una fuerza hacia abajo prácticamente constante, debida a la gravedad, junto con una fuerza hacia arriba que disminuye continuamente hasta que la bola alcanza su punto más alto; en el camino de descenso sólo hay una fuerza constante hacia abajo debida a la gravedad.
- (D) sólo una fuerza hacia abajo, prácticamente constante, debida a la gravedad, que es la misma en todo el recorrido.
- (E) ninguna de las anteriores. La bola cae al suelo por su tendencia natural a descansar sobre la superficie de la tierra.

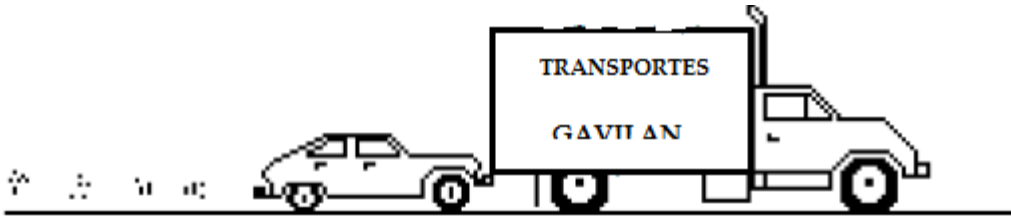
14. Una bola se escapa accidentalmente de la bodega de carga de un avión que vuela en una dirección horizontal. Tal como



lo observaría una persona de pie sobre el suelo que ve el avión como se muestra en la figura de la derecha, ¿qué camino seguiría de forma más aproximada dicha bola tras caer del avión?

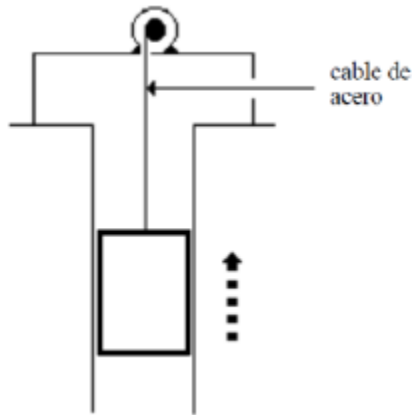
USE LA DESCRIPCIÓN Y LA FIGURA ADJUNTAS PARA CONTESTAR LAS DOS PREGUNTAS SIGUIENTES (15 y 16).

Un camión grande se avería en la carretera y un automóvil pequeño lo empuja de regreso a la ciudad, tal como se muestra en la figura adjunta.



- 15.** Mientras el automóvil que empuja al camión acelera para alcanzar la velocidad de marcha:
- (A) la intensidad de la fuerza que el automóvil aplica sobre el camión es igual a la de la fuerza que el camión aplica sobre el auto.
 - (B) la intensidad de la fuerza que el automóvil aplica sobre el camión es menor que la de la fuerza que el camión aplica sobre el auto.
 - (C) la intensidad de la fuerza que el automóvil aplica sobre el camión es mayor que la de la fuerza que el camión aplica sobre el auto.
 - (D) dado que el motor del automóvil está en marcha, éste puede empujar al camión, pero el motor del camión no está funcionando, de modo que el camión no puede empujar al auto. El camión es empujado hacia adelante simplemente porque está en el camino del automóvil.
 - (E) ni el camión ni el automóvil ejercen fuerza alguna sobre el otro. El camión es empujado hacia adelante simplemente porque está en el camino del automóvil.
- 16.** Después de que el automóvil alcanza la velocidad constante de marcha a la que el conductor quiere empujar el camión, (A) la intensidad de la fuerza que el automóvil aplica sobre el camión es igual a la de la fuerza que el camión aplica sobre el auto.
- (B) la intensidad de la fuerza que el automóvil aplica sobre el camión es menor que la de la fuerza que el camión aplica sobre el auto.
 - (C) la intensidad de la fuerza que el automóvil aplica sobre el camión es mayor que la de la fuerza que el camión aplica sobre el auto.
 - (D) dado que el motor del automóvil está en marcha, éste puede empujar al camión, pero el motor del camión no está funcionando, de modo que el camión no puede empujar al auto. El camión es empujado hacia adelante simplemente porque está en el camino del automóvil.
 - (E) ni el camión ni el automóvil ejercen fuerza alguna sobre el otro. El camión es empujado hacia adelante simplemente porque está en el camino del automóvil.

17. Un ascensor sube por su hueco a velocidad constante por medio de un cable de acero tal como se muestra en la figura adjunta. Todos los efectos debidos a la fricción son despreciables. En esta situación, las fuerzas que actúan sobre el ascensor son tales que:



Ascensor a velocidad constante

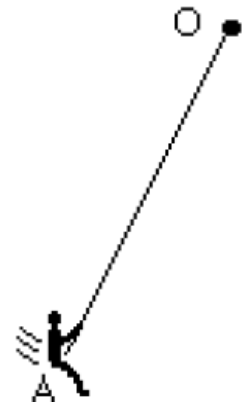
- (A) la fuerza hacia arriba ejercida por el cable es mayor que la fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
- (B) la fuerza hacia arriba ejercida por el cable es igual a la fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
- (C) la fuerza hacia arriba ejercida por el cable es menor que la fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
- (D) la fuerza hacia arriba ejercida por el cable es mayor que la suma de la fuerza hacia abajo debida a la gravedad y una fuerza hacia abajo debida al aire.
- (E) ninguna de las anteriores. (El ascensor sube porque el cable se está acortando, no porque el cable ejerza una fuerza hacia arriba sobre el ascensor).

18. La figura adjunta muestra a un niño columpiándose en una cuerda, comenzando en un punto más alto que A. Considérense las siguientes fuerzas:

1. Una fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
2. Una fuerza ejercida por la cuerda dirigida de A hacia O.
3. Una fuerza en la dirección del movimiento del niño.
4. Una fuerza en la dirección de O hacia A.

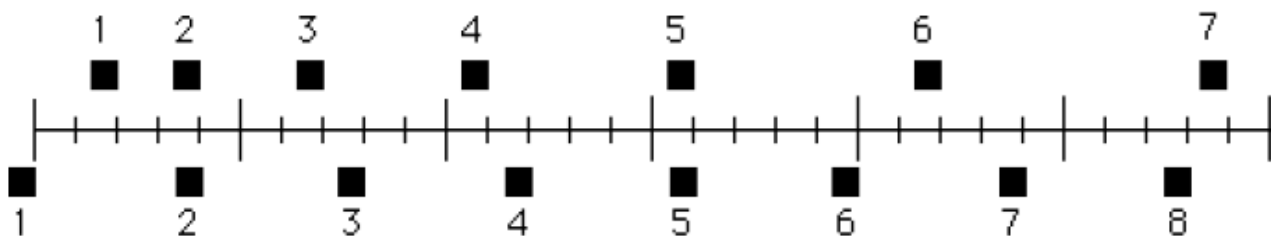
¿Cuál(es) de dichas fuerzas actúa(n) sobre el chico en la posición A?

- (A) sólo la 1.
- (B) 1 y 2.
- (C) 1 y 3.
- (D) 1,2y3.



(E) 1,3y4.

19. Las posiciones de dos bloques en intervalos de tiempo sucesivos de 0.20 segundos se hallan representadas por los cuadrados numerados de la figura adjunta. Los bloques se mueven hacia la derecha

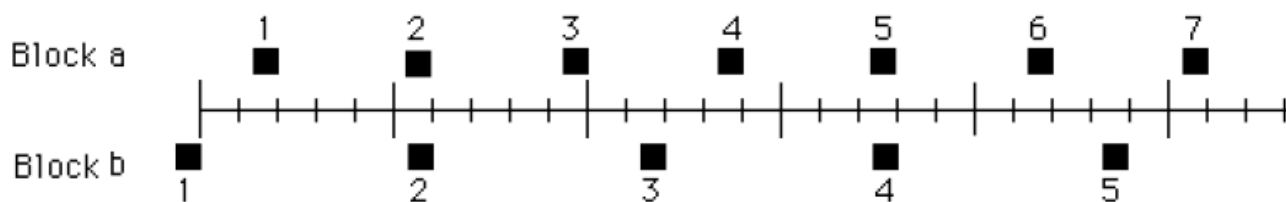


¿Tienen los bloques en algún momento la misma velocidad?

- (A) no.
- (B) sí, en el instante 2.
- (C) sí, en el instante 5.
- (D) sí, en los instantes 2 y 5.
- (E) sí, en algún momento durante el intervalo de

20. posiciones de dos bloques en intervalos sucesivos de 0.20 segundos se hallan representadas por los cuadrados numerados de la figura adjunta. Los bloques se mueven hacia la derecha.

Las aceleraciones

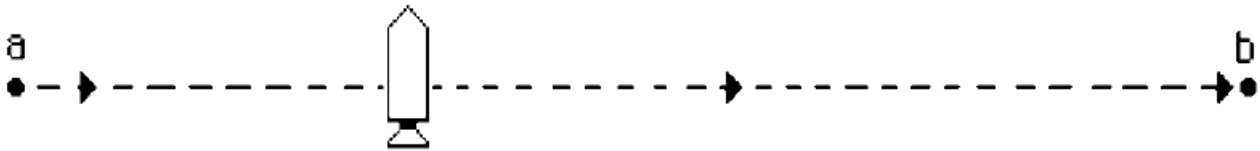


Las aceleraciones de los bloques están relacionadas de la forma siguiente:

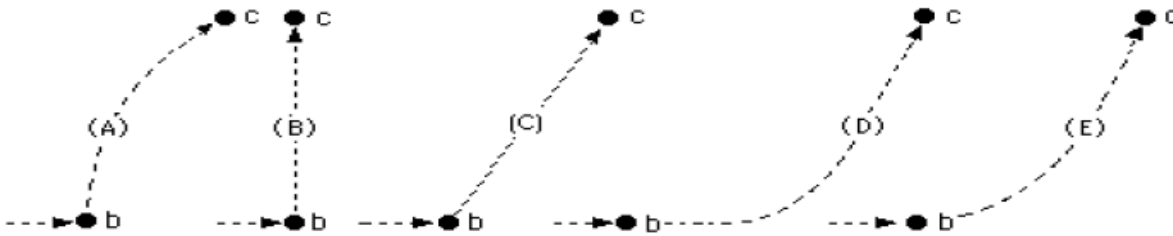
- (A) La aceleración de "a" es mayor que la aceleración de "b".
- (B) La aceleración de "a" es igual a la aceleración de "b". Ambas aceleraciones son mayores que cero.
- (C) La aceleración de "b" es mayor que la aceleración de "a".
- (D) La aceleración de "a" es igual a la aceleración de "b". Ambas aceleraciones son cero.
- (E) No se da suficiente información para contestar la pregunta.

USE LA DESCRIPCIÓN Y LA FIGURA ADJUNTAS PARA CONTESTAR LAS CUATRO PREGUNTAS SIGUIENTES (21 a 24).

Un cohete flota a la deriva en el espacio exterior desde el punto "a" hasta el punto "b", como se muestra en la figura adjunta. El cohete no está sujeto a la acción de ninguna fuerza externa. En la posición "b", el motor del cohete se enciende y produce un empuje constante (fuerza sobre el cohete) en un ángulo recto con respecto a la línea "ab". El empuje constante se mantiene hasta que el cohete alcanza un punto "c" en el espacio.



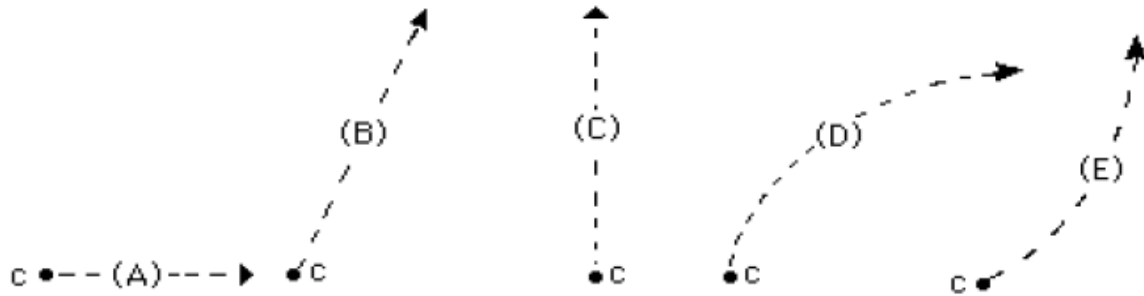
21. ¿Cuál de los siguientes caminos representa mejor la trayectoria del cohete entre los puntos "b" y "c"?



22. Mientras el cohete se mueve desde la posición "b" hasta la posición "c", la magnitud de su velocidad es:

- (A) constante.
- (B) continuamente creciente.
- (C) continuamente decreciente.
- (D) creciente durante un rato y después constante.
- (E) constante durante un rato y después decreciente.

23. En el punto "c" el motor del cohete se para y el empuje se anula inmediatamente. ¿Cuál de los siguientes caminos seguirá el cohete después del punto "c"?



24. A partir de la posición "c" la velocidad del cohete es:

- (A) constante.
- (B) continuamente creciente.
- (C) continuamente decreciente.
- (D) creciente durante un rato y después constante.
- (E) constante durante un rato y después decreciente.

29. Una silla de oficina vacía está en reposo sobre el suelo. Considere las siguientes fuerzas:

1. Una fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
2. Una fuerza hacia arriba ejercida por el suelo
3. Una fuerza neta hacia abajo ejercida por el aire. ¿Cuál(es) de estas fuerzas actúa(n) sobre la silla de oficina?

- (A) sólo la 1.
- (B) 1 y 2.
- (C) 2 y 3.
- (D) 1,2y3.
- (E) ninguna de las fuerzas. (Puesto que la silla está en reposo no hay ninguna fuerza actuando sobre ella)

30. A pesar de que hace un viento muy fuerte, una tenista consigue golpear una pelota de tenis con su raqueta de modo que la pelota pasa por encima de la red y cae sobre el campo de su oponente.

Considérense las siguientes fuerzas:

1. Una fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
2. Una fuerza ejercida por el golpe.
3. Una fuerza ejercida por el aire. ¿Cuál(es) de estas fuerzas actúa(n) sobre la pelota, después de que ésta deja de estar en contacto con la raqueta y antes de que toque el suelo?

- (A) sólo la 1.
- (B) 1 y 2.
- (C) 1y3.
- (D) 2y3.
- (E) 1,2 Y 3

12. BIBLIOGRAFIA

- Alonso, M. (1993). *Introducción a la Física*. Bogotá: Cultural.
- Ausubel, D. (1986). *Las Teorías del Aprendizaje Escolar*. New York.
- Bachelard, G. (1948). *La Formación dell Espiritud Científiffo*. Buenos Aires: Argos.
- Bachelard, G. (1976). *La Formación del Espiritud Científico*. Buenos Aires : Argos.
- Bautista, M. (2008). *Nueva Física 10*. Bogotá: Santillana.
- Born, M. (1965). *Theory of Relativity*. New York: Dover Publications.
- Buridan, J. (1974). *In a Source Book in Medieval Sciencie*. Boston: Edward Grant.
- Caamaño, A. (1994). *Enseñar Ciencias*.
- Castañeda, H. (1983). *Física Decimo Grado*. Bogotá: Susaeta.
- Chevallard, Y. (2002). *La Transposición Didáctica "Del saber sabio al saber enseñado"*. Grenoble: Aique.
- Cohen, B. (1981). *Mathesis: Filosofía e historia de las matemáticas, Volumen 1. El descubrimiento Newtoniano de la gravitación* . Mexico: Departamento de Matemáticas, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México,.
- Coll, C. (1986). *La Reforma del Sistema Educativo Español*. Cataluña: Libresa.
- Escohodato, A. (1987). *Principios matemáticos de filosofía natural (Traducción)*. Madrid: Tecnos.
- Farrington, B. (1969). *Science in Antiquity*. Qxford: Ariel.
- Guba, E. G. (1990). *The paradigm dialog*. Newbury park: Sage.
- Gunstone, C. (1985). *Effecting changes in cognitive structures among physics studens*. Orlando: West & A. Pines.
- Halliday, D. (1975). *Física Parte 1*. Mexico: Editorial Continental.
- Hestenes D. Wells D, S. G. (1992). Force concept Inventory. *The Teacher Physics*.
- Hestenes, D. (1999). *New Foundations for Classical Mechanics*. Boston: Advisory Board.
- Hewitt, P. (1995). *Física Conceptual*. Wilmington: Iberoamericano.
- Holton G. y Brush, S. (1976). *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*. Barcelona: Reverté.
- Huygens, C. (1673). *Horologium oscillatorium:.* Paris.

- Koyré, A. (1950). La Gravitación Universal de Kepler a Newton. *Actas del sexto congreso internacional de historias de las ciencias*, (pág. Volumen 1 Página 196). Amsterdam.
- Kuhn, T. (1978). *La Estructura de las Revoluciones Científicas*. Fondo de Cultura Económica.
- Mach, E. (1902). *The Science of Mechanics*. Chicago: Court Publishing.
- Marion, J. (1998). *Dinámica Clásica de las Partículas y los Sistemas*. Barcelona: Reverte.
- Nieto, M. (2005). *Aristotelismo, Teología y física : Concepciones medievales del movimiento*. Bogotá: Ediciones Uniandes.
- Ochoa, O. (1982). *Física para quinto año*. Bogotá: Bedout.
- Piaget, J. (1982). *Psicogenesis e Historia de la Ciencia*. Mexico: Siglo XXI Editores.
- Pozo, J. (1987). *Aprender y Enseñar Ciencias*. Madrid: Morata.
- Pozo, J. (1987). *Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal*. Madrid: Visor.
- Pozo, J. (1999). *Aprendices y Maestros*. ALIANZA.
- Sachs, M. (1974). *Ideas of Theory of Relativity: general implications from physics to problems of society*. Jerusalem: New York, Wiley.
- Sacristán, J. G. (1989). *La enseñanza: su teoría y su práctica*. Madrid: Akal.
- Sacristán, J. G. (1992). *Maestros: formación, práctica y transformación escolar*. Buenos Aires: Miño y Davila.
- Sears, Y. (2009). *Física Universitaria*. Mexico: Pearson Education.
- Steinberg, M. (1990). Genius is not immune to persistent misconceptions: conceptual difficulties impeding Isaac Newton and contemporary physics students. *International Journal of Science Education*, pages 265-273.
- Stinner, A. (1994). The Story of Force: from Aristotle to Einstein. *Physics Education*, Volumen 29.
- Tipler, P. (2006). *Física para la Ciencia y Tecnología*. Barcelona: Reverte.
- Toulmin, S. (1961). *Foresight and Understanding: An Inquiry into the Aims of Science*. Londres.
- Valero, M. (1976). *Física Fundamental 1*. Bogotá: Norma.
- Valero, M. (2004). *Física Grado 10*. Bogotá: Norma.
- Varela, M. P. (1997). *La resolución de problemas en la enseñanza de las ciencias. Aspectos didácticos y cognitivos*. Madrid: Tesis doctoral de la universidad Complutense de Madrid España.

Vélez, F. (2005). El problema de las Fuerzas Centrífgas y la Teoria General de la Relatividad. *Simposio Internacional "EINSTEIN CIENTÍFICO, FILÓSOFO Y HUMANISTA"* (pág. 17 Y 18). CALI: Universidad del valle.

Viennot, L. (1976). *Le raisonnement spontane en dynamique elementaire (Tesis Doctoral)*. Paris: Publicada por Heman Paris.

Viennot, L. (1996). *Raisonner en physique*. Paris: De boeck.

Warren, J. W. (1979). *Understanding force*. London.

Westfall, R. (1971). *Force in Newton's Physics*. Londres: American Elsevie.

Whiteside, D. (1970). The Mathematical principles underlying Newton's Principia mathematica. *Journal for the history of Astronomy*, pág 116 - 138.

Zalameda, E. (2009). *Física grado 10*. Bogotá: Educar Editores.

Zitzewitz, P. (1994). *Física 1*. Bogotá: Mc Graw Hill.

