



ANTOLOGÍA

FÍSICA

*LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES
PRIMER CUATRIMESTRE*

Marco Estratégico de Referencia

ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Nuestra Universidad tiene sus antecedentes de formación en el año de 1979 con el inicio de actividades de la normal de educadoras “Edgar Robledo Santiago”, que en su momento marcó un nuevo rumbo para la educación de Comitán y del estado de Chiapas. Nuestra escuela fue fundada por el Profesor de Primaria Manuel Albores Salazar con la idea de traer Educación a Comitán, ya que esto representaba una forma de apoyar a muchas familias de la región para que siguieran estudiando.

En el año 1984 inicia actividades el CBTiS Moctezuma Ilhuicamina, que fue el primer bachillerato tecnológico particular del estado de Chiapas, manteniendo con esto la visión en grande de traer Educación a nuestro municipio, esta institución fue creada para que la gente que trabajaba por la mañana tuviera la opción de estudiar por las tardes.

La Maestra Martha Ruth Alcázar Mellanes es la madre de los tres integrantes de la familia Albores Alcázar que se fueron integrando poco a poco a la escuela formada por su padre, el Profesor Manuel Albores Salazar; Víctor Manuel Albores Alcázar en septiembre de 1996 como chofer de transporte escolar, Karla Fabiola Albores Alcázar se integró como Profesora en 1998, Martha Patricia Albores Alcázar en el departamento de finanzas en 1999.

En el año 2002, Víctor Manuel Albores Alcázar formó el Grupo Educativo Albores Alcázar S.C. para darle un nuevo rumbo y sentido empresarial al negocio familiar y en el año 2004 funda la Universidad Del Sureste.

La formación de nuestra Universidad se da principalmente porque en Comitán y en toda la región no existía una verdadera oferta Educativa, por lo que se veía urgente la creación de una institución de Educación superior, pero que estuviera a la altura de las exigencias de los jóvenes que tenían intención de seguir estudiando o de los profesionistas para seguir preparándose a través de estudios de posgrado.

Nuestra Universidad inició sus actividades el 18 de agosto del 2004 en las instalaciones de la 4ª avenida oriente sur no. 24, con la licenciatura en Puericultura, contando con dos grupos de

cuarenta alumnos cada uno. En el año 2005 nos trasladamos a nuestras propias instalaciones en la carretera Comitán – Tzimol km. 57 donde actualmente se encuentra el campus Comitán y el Corporativo UDS, este último, es el encargado de estandarizar y controlar todos los procesos operativos y Educativos de los diferentes Campus, Sedes y Centros de Enlace Educativo, así como de crear los diferentes planes estratégicos de expansión de la marca a nivel nacional e internacional.

Nuestra Universidad inició sus actividades el 18 de agosto del 2004 en las instalaciones de la 4ª avenida oriente sur no. 24, con la licenciatura en Puericultura, contando con dos grupos de cuarenta alumnos cada uno. En el año 2005 nos trasladamos a nuestras propias instalaciones en la carretera Comitán – Tzimol km. 57 donde actualmente se encuentra el campus Comitán y el corporativo UDS, este último, es el encargado de estandarizar y controlar todos los procesos operativos y educativos de los diferentes campus, así como de crear los diferentes planes estratégicos de expansión de la marca.

MISIÓN

Satisfacer la necesidad de Educación que promueva el espíritu emprendedor, aplicando altos estándares de calidad Académica, que propicien el desarrollo de nuestros alumnos, Profesores, colaboradores y la sociedad, a través de la incorporación de tecnologías en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

VISIÓN

Ser la mejor oferta académica en cada región de influencia, y a través de nuestra Plataforma Virtual, tener una cobertura Global, con un crecimiento sostenible y las ofertas académicas innovadoras con pertinencia para la sociedad.

VALORES

- Disciplina
- Honestidad
- Equidad
- Libertad

ESCUDO



El escudo de la UDS, está constituido por tres líneas curvas que nacen de izquierda a derecha formando los escalones al éxito. En la parte superior está situado un cuadro motivo de la abstracción de la forma de un libro abierto.

ESLOGAN

“Mi Universidad”

ALBORES



Es nuestra mascota, un Jaguar. Su piel es negra y se distingue por ser líder, trabaja en equipo y obtiene lo que desea. El ímpetu, extremo valor y fortaleza son los rasgos que distinguen.

Física

Objetivo de la materia: La asignatura de Física se plantea como una introducción a los conceptos y leyes básicas de algunas de sus ramas como la cinemática, dinámica (partículas y sistemas), hidrostática y termodinámica. Este bagaje es imprescindible a la hora de afrontar las competencias que se exigirán al futuro profesional en cursos superiores, en los cuales se profundizará y desarrollarán todas estas materias con enfoque más especializado.

UNIDAD I LA MAGNITUD FÍSICA Y SU MEDIDA

- I.1 La ciencia Física
- I.2 Magnitudes
- I.3 Unidades y medidas
- I.4 Leyes fundamentales. Constantes universales
- I.5 Sistemas físicos de unidades
- I.6 Sistema Internacional de unidades
- I.7 Unidades derivadas en el Sistema Internacional.
- I.8 Sistemas técnicos de unidades
- I.9 Errores de medición.
- I.10 Clasificación de los errores.
- I.11 Teoría de errores. Curva de Gauss
- I.12 Ecuaciones bidimensionales.

UNIDAD II LEYES DE NEWTON

- 2.1 Fuerza
- 2.2 Clasificación de las fuerzas
- 2.3 Primera ley de Newton
- 2.4 Equilibrio de una partícula
- 2.5 Masa inercial. Segunda ley de Newton
- 2.6 Tercera ley de Newton
- 2.7 Medición estática de fuerzas
- 2.8 Ejemplo de la aplicación de las leyes de Newton
- 2.9 Interacciones gravitacionales
- 2.10 Interacciones electromagnéticas
- 2.11 Fuerzas de fricción

UNIDAD III MECÁNICA DE LA PARTÍCULA

- 3.1 Definición
- 3.2 Cinemática. Movimiento relativo
- 3.3 Dinámica
- 3.4 Masa de inercia y masa gravitatoria

- 3.5 Trabajo y energía
- 3.6 Energía potencial
- 3.7 Conservación de la energía mecánica
- 3.8 Trabajo y energía en sistemas no conservativos
- 3.9 Movimiento rectilíneo o unidimensional
- 3.10 Movimiento oscilatorio
- 3.11 Dinámica de una partícula en el movimiento circular uniforme
- 3.12 El modelo sólido rígido
- 3.13 Sistema de partículas
- 3.14 Dinámica del sólido rígido
- 3.15 Estática del sólido rígido

UNIDAD IV TERMODINÁMICA

- 4.1 Historia de la termodinámica
- 4.2 Termodinámica y sus principios
- 4.3 Ley cero de la termodinámica
- 4.4 Equilibrio térmico
- 4.5 Fórmula del equilibrio térmico
- 4.6 Primera ley de la termodinámica
- 4.7 Segunda ley de la termodinámica
- 4.8 Maquinas térmicas
- 4.9 Entropía
- 4.10 Tercera ley de la termodinámica
- 4.11 Importancia de las leyes de la termodinámica

Índice

UNIDAD I LA MAGNITUD FÍSICA Y SU MEDIDA

1.1 La ciencia Física.....	11
1.2 Magnitudes.....	13
1.3 Unidades y medidas.....	15
1.4 Leyes fundamentales. Constantes universales	18
1.5 Sistemas físicos de unidades.....	19
1.6 Sistema Internacional de unidades.....	20
1.7 Unidades derivadas en el Sistema Internacional.	24
1.8 Sistemas técnicos de unidades.....	26
1.9 Errores de medición.	27
1.10 Clasificación de los errores.	28
1.11 Teoría de errores. Curva de Gauss.....	30
1.12 Ecuaciones bidimensionales.	32

UNIDAD II LEYES DE NEWTON

2.1 Fuerza.....	33
2.2 Clasificación de las fuerzas.....	34
2.3 Primera ley de Newton.....	37
2.4 Equilibrio de una partícula.....	39
2.5 Masa inercial. Segunda ley de Newton.....	40
2.6 Tercera ley de Newton.....	41
2.7 Medición estática de fuerzas.....	42
2.8 Ejemplo de la aplicación de las leyes de Newton.....	43
2.9 Interacciones gravitacionales.....	45
2.10 Interacciones electromagnéticas.....	46
2.11 Fuerzas de fricción.....	47

UNIDAD III MECÁNICA DE LA PARTÍCULA

3.1 Definición.....	49
3.2 Cinemática. Movimiento relativo.....	49
3.3 Dinámica.....	52

3.4 Masa de inercia y masa gravitatoria	53
3.5 Trabajo y energía.....	54
3.6 Energía potencial.....	55
3.7 Conservación de la energía mecánica.....	57
3.8 Trabajo y energía en sistemas no conservativos.....	58
3.9 Movimiento rectilíneo o unidimensional.....	59
3.10 Movimiento oscilatorio.....	60
3.11 Dinámica de una partícula en el movimiento circular uniforme	62
3.12 El modelo sólido rígido.....	63
3.13 Sistema de partículas.....	66
3.14 Dinámica del sólido rígido.....	67
3.15 Estática del sólido rígido.....	69

UNIDAD IV TERMODINÁMICA

4.1 Historia de la termodinámica.....	71
4.2 Termodinámica y sus principios.....	71
4.3 Ley cero de la termodinámica.....	73
4.4 Equilibrio térmico.....	73
4.5 Fórmula del equilibrio térmico.....	75
4.6 Primera ley de la termodinámica	76
4.7 Segunda ley de la termodinámica.....	77
4.8 Maquinas térmicas.....	78
4.9 Entropía.....	81
4.10 Tercera ley de la termodinámica.....	82
4.11 Importancia de las leyes de la termodinámica.....	83

UNIDAD I LA MAGNITUD FÍSICA Y SU MEDIDA

I.1 La ciencia Física

La ciencia física se define como: Ciencia que estudia las propiedades generales de la materia y establece las leyes que dan cuenta de los fenómenos naturales; esta se divide desde hace tiempo en las fracciones de mecánica, acústica, termodinámica, electricidad, magnetismo y óptica, a las que se añaden las secciones, hoy a la delantera de la investigación, de la naturaleza y estructura de la materia, física atómica y nuclear.

Cuanto más se perfeccionan los conocimientos tanto más arbitrarios son los límites entre estas disciplinas. La acústica y la termodinámica se interpretan con ejemplos mecánicos; la óptica y el electromagnetismo se amalgaman en un único campo; la radiación térmica y la luz se consideran una misma cosa. Así con el modelo de onda se explican fenómenos tan distintos, en apariencia, como los acústicos, térmicos u ópticos. Grandes principios, como el de la energía cuya validez se restringía antiguamente a un campo acotado, rebosaron sus propios límites al avanzar la ciencia, abarcando a la totalidad de la física y logrando una posición predominante en todas las ciencias naturales.

Todo esto, lleva a que el investigador se obstine en la exploración de teorías que aúnen la exposición de estas partes de forma que, con el mínimo número de principios factibles y reglas, se describan el máximo número de fenómenos.

Excluyendo la biofísica, que en un rápido desarrollo se ha transformado en una ciencia independiente. Los estudios en la física de los fenómenos de la naturaleza inanimada son tan distintos que englobarlos y exponerlos parece, a primera vista, una tarea exasperada. Así y todo, resulta que es posible explicarlos por medio de un conjunto de conceptos que, seleccionados adecuadamente, no son tan considerables como para que no se puedan recopilar en un sencillo sistema conceptual, tal como longitud, tiempo, masa, velocidad, aceleración, carga eléctrica, etc. Su denominación se ha obtenido corrientemente del lenguaje ordinario. Pueden significar lo mismo que en este último, pero no tiene por qué ser así; su peculiaridad consiste en la necesidad de fijar de un

modo unívoco su significado. La condición previa para establecer la ciencia física es la definición exacta e inconfundible de cada uno de los conceptos.

El paso siguiente a la mera descripción de la naturaleza es el descubrimiento de unas leyes; para formularlas exactamente, los conceptos físicos tienen que poder considerarse cuantitativamente, es decir, medirse, o sea expresarse mediante unidades y números. Por esta razón, para la formulación de las leyes naturales sólo resulta adecuada una determinada elección de conceptos.

La formulación matemática de un fenómeno físico se le denomina **ley física**, dicha formulación se puede hacer mediante la observación o mediante la imitación del fenómeno en condiciones engendradas y controladas (experimento físico). Cuando, al contrario, el experimentador provoca un fenómeno que sigue un trayecto apetecido y conocido, las leyes físicas están al beneficio de los fines del hombre. Por eso la física es la base de la técnica. El físico aspira prever las propiedades y leyes de la naturaleza y en general no se cuestiona la utilidad de la investigación. Pero la historia muestra que todo descubrimiento importante, por muy alejado que esté cuando aparece de toda aplicación práctica, fomenta más tarde el desarrollo de la técnica.

El fin investigador de la física consiste en asentar la teoría de los fenómenos naturales que estudia. El trayecto hasta ella pasa en primer lugar por la elaboración de una hipótesis. Las conclusiones que se derivan han de confirmarse siempre con la experiencia. Si la hipótesis da buenos resultados, ésta se denomina teoría. El concepto de teoría no tiene en la física el defecto de inseguridad que se da en el lenguaje habitual.

Pero la razón de la ley descubierta no es organizar lo observado y sintetizar los fenómenos complicados a lo más sencillo. Debe concebir, sobre todo, la posibilidad de pronosticar cuantitativamente el hecho físico.

1.2 Magnitudes

Observables

Por medio de la observación de los fenómenos naturales el raciocinio humano construye las entidades utilizadas en Física; se alcanzan por un camino de abstracción que estriba en coger una cualidad común y excluir todas las demás. De esa manera, el concepto de tiempo brota de la contemplación de la duración de las cosas sujetas a cambio, cualesquiera que sean su color, tamaño y naturaleza. Lo mismo sucede con la longitud, el área y el volumen, etc.

Algunos entes físicos son **observables** mediante los sentidos (belleza, color, olor, sabor, velocidad, temperatura, longitud, fuerza, presión, etc.). Otros se conciben como causas de hechos observables. (Tal ocurre con la masa, carga eléctrica, energía, etc.). Se denomina observables tanto a unos como a otros.

La explicación del efecto observable propio de cada ente físico conforma una definición cualitativa, que no debe excluirse. Estas definiciones cualitativas son válidas para conocer de qué se trata y para reconocerlo siempre que se trate con él.

Magnitudes físicas

La física emplea observables que se pueden cuantificar, es decir, han de poder medirse. Se denomina **magnitud física** a todo observable que se puede medir. De esta definición se puede estimar que el objeto de la física es alterable, en función de que los fenómenos físicos observados sean medibles o no; de forma que el progreso en las tecnologías de instrumentación de medida, sin duda aumentan el dominio de la física tomando conceptos y leyes, derivadas de estas nuevas medidas.

Por ejemplo, conforme la tecnología ha facultado medir los fenómenos vinculados al átomo, su estructura, su núcleo y sus electrones la física se ha ido ampliando hasta incluir en ella una nueva sección, la física atómica y nuclear, que trata de esto.

La longitud, tiempo, velocidad, aceleración, fuerza, masa, color, etc. son ejemplos de magnitudes físicas. La belleza, el sabor, el olor, el amor, la satisfacción, etc. son observables que no constituyen magnitudes físicas ya que no se pueden medir.

Las magnitudes pueden clasificarse en escalares, vectoriales y tensoriales, a su vez, las primeras, se pueden clasificar en extensivas e intensivas.

Magnitudes escalares

Son aquellas que quedan determinadas por un número real, acompañado de un estado elegido de esta magnitud, de entre las magnitudes **escalares extensibles** se encuentran la masa, energía, tiempo, carga eléctrica, volumen, la cantidad de sustancia, resistencia eléctrica, etc. y de entre las unidades **escalares intensivas**, se encuentran la temperatura, densidad, volumen específico, carga específica, etc.

Magnitudes vectoriales

Las magnitudes vectoriales necesitan además el conocimiento de una dirección y un sentido, entre las cuales, se encuentran, la velocidad, aceleración, fuerza, cantidad de movimiento, campo eléctrico, etc.

Magnitudes tensoriales

Las magnitudes tensoriales son las que el valor observado de dicha magnitud depende de la dirección en que es observada. Entre dichas magnitudes se encuentran el tensor de inercia, el tensor de esfuerzos, el tensor de deformaciones, el tensor conductividad térmica, el índice de refracción, el tensor dieléctrico en medios anisótropos, ...

1.3 Unidades y medidas

Se denomina cantidad de una magnitud al estado de esa magnitud en un objeto determinado. Por ejemplo, la carga eléctrica es una magnitud; la carga del electrón es una cantidad de la magnitud carga eléctrica.

Un conjunto de observables $(A_0), (A_1), (A_2), \dots$, comparables entre sí dos a dos, son cantidades de una misma magnitud física.

Dos cantidades (A) y (B) de una misma magnitud se dice que son comparables cuando existe una definición operacional y universal de la razón:

$$\frac{(A)}{(B)} = n$$

siendo n un número que expresa que la cantidad (A) es n veces mayor que la cantidad (B) , es decir, $(A) = n \cdot (B)$.

En la definición de comparación, el adjetivo **operacional** señala que se han de especificar los instrumentos usados en la comparación, así como las operaciones a efectuar. El requisito de **universalidad** requiere que la razón obtenida no dependa de la naturaleza de los cuerpos utilizados en la construcción del instrumental.

Definida la razón entre cantidades, quedan definidas la igualdad y la suma, pues de:

$$\frac{(A_1)}{(A_0)} = n_1; \quad \frac{(A_2)}{(A_0)} = n_2; \quad \frac{(A_3)}{(A_0)} = n_3$$

Se deduce

$$(A_1) = (A_0) \text{ si } n_1 = 1$$

$$(A_1) + (A_2) = (A_3) \text{ si } n_1 + n_2 = n_3$$

Recíprocamente, la definición de la razón entre cantidades, puede sustituirse por la definición de la igualdad y de la suma, si se cumple el postulado de divisibilidad indefinida. El criterio de **igualdad** está implicado en la definición cualitativa de cada magnitud, pues es obvio admitir que dos cantidades son iguales cuando sus efectos son idénticos.

Para la suma de cantidades vale en Física el criterio de equivalencia, según el cual, la suma ha de producir por sí sola el mismo efecto que los sumandos reunidos. Se postula que el resultado es independiente de la manera como se reúnen.

Las magnitudes extensivas, se suman por acumulación, o sea yuxtaponiendo los objetos que les sirven de soporte, mientras que a las magnitudes intensivas no les es aplicable la suma por acumulación, así, por ejemplo, para la densidad, al reunir dos líquidos con densidades conocidas, la densidad que resulta no es la suma de las densidades de ambos líquidos por separado. Pero la densidad sigue siendo una magnitud física, pues basta que una sustancia de masa constante se le varíe su volumen para que su densidad aumente a medida que disminuye su volumen, y por tanto se puede sin ninguna ambigüedad definir la razón entre dos densidades cualesquiera, así para un volumen dado de una sustancia la densidad se incrementará a medida que aumente la masa que ocupa la totalidad del volumen (entendiéndose una distribución de masa homogénea en el volumen considerado, en caso de no cumplirse, se tendría que estudiar en elementos diferenciales).

Para las magnitudes vectoriales, su suma se realiza mediante la regla del polígono. La discriminación entre magnitudes y cantidades es indispensable cuando hay que concretar las ideas. Pero es habitual en Física coger lo general por lo particular, y por eso se suele hablar de magnitudes y pocas veces de cantidades, aún en el caso en que el vocablo oportuno sea este último.

Para una magnitud determinada se puede elegir una cantidad de esta magnitud como patrón, a esta cantidad se le denomina **unidad**, la comparación de cantidades de la misma magnitud con la unidad se denomina **medida**, sea la magnitud $\{A\}$, cuya unidad se

representa por U_A , y sean (A_1) , (A_2) , cantidades de dicha magnitud, se forman las siguientes razones:

$$\frac{(A_1)}{U_A} = A_1; \quad \frac{(A_2)}{U_A} = A_2$$

donde A_1 y A_2 son las medidas de las cantidades (A_1) y (A_2) respectivamente con la unidad U_A , así a cada cantidad (A) le corresponde una medida A , para la unidad U_A es decir, **cantidad = medida.unidad.**

$$(A) = A \cdot U_A$$

De forma que a cada cantidad (A) , se asocia un número A , que representa el número de veces que (C) es mayor que la unidad. Dicho número como se ha indicado es la medida de la cantidad (A) referida a la unidad.

Cabe destacar la diferencia conceptual entre cantidad y medida, puesto que la cantidad de una magnitud física no depende de la unidad utilizada para medirla, la medida en cambio, si depende de la unidad, de forma que para una misma cantidad, cuanto menor sea la unidad que se utiliza para medirla, mayor será el valor de la medida obtenida.

Sean dos Unidades U_A y U'_A de la magnitud $\{A\}$ al cambiar la unidad U_A por la U'_A se tendrá para la cantidad (A) :

$$(A) = A \cdot U_A = A \cdot \left(\frac{U_A}{U'_A} \right) \cdot U'_A = A' \cdot U'_A \Rightarrow A' = A \cdot \frac{U_A}{U'_A} \Rightarrow \frac{A'}{A} = \frac{U_A}{U'_A}$$

De donde las medidas de una misma cantidad son inversamente proporcionales a las unidades con que se han obtenido.

Las medidas pueden ser: *Directas* al comparar cada cantidad con la unidad y aplicar el criterio de igualdad y suma. *Indirectas*, aquellas que se miden las cantidades de otras magnitudes y mediante una ley física se determina la medida de la cantidad

correspondiente; Y las realizadas mediante instrumentos calibrados (balanzas, cronómetros, voltímetros, etc.)

1.4 Leyes fundamentales. Constantes universales

Como se ha indicado las leyes físicas relacionan las magnitudes que intervienen en un fenómeno considerado, estas tienen un carácter cuantitativo, pudiéndose elegir relaciones de proporcionalidad entre potencias determinadas de las cantidades que intervienen, así:

$$(A) \propto (B)^b \cdot (C)^c \cdot \dots$$

Que representa una relación de proporcionalidad entre cantidades, por tanto si el fenómeno en cuestión se hace x veces mayor la cantidad (B) y se mantiene constantes el resto de cantidades, la cantidad (A) queda multiplicada por x^b . Dichas relaciones de proporcionalidad entre cantidades tienen un carácter absoluto, puesto que no se introducen elementos convencionales como lo son las unidades.

Al pasar de la relación de proporcionalidad entre cantidades a la ecuación entre medidas, hay que introducir un factor proporcional, K, (este puede valer 1, en cuyo caso se dice que las magnitudes físicas que intervienen son coherentes), que dependerá en un principio de las unidades elegidas de cada magnitud, con lo que resulta:

$$A = K \cdot B^b \cdot C^c \cdot \dots$$

Para hallar K habrá que conocer la relación de proporcionalidad y según las unidades que se adopten, dicho valor se obtendrá al medir en diversos casos particulares las cantidades que figuran en la ecuación; pueden ocurrir dos casos:

- a) Al variar la naturaleza del cuerpo con que se opere, y para el mismo conjunto de unidades, el factor de proporcionalidad varía, por lo que se dice, que K es una constante característica del cuerpo.
- b) Pero puede ocurrir que dicho factor de proporcionalidad sea independiente de la naturaleza del cuerpo. Entonces se denomina **constante universal**, y a la relación entre cantidades **ley universal**.

Las constantes universales poseen un carácter desconcertante. Surgen en las leyes sin definirse a priori. Al no ser propiedades de los cuerpos o medios y no variar, no son magnitudes, puesto que sólo existe un único espécimen de cada una y por tanto no hay comparación, pero no son números fijos, porque su valor numérico depende de las unidades que se elijan para medir las cantidades que comparten con ellas las respectivas ecuaciones.

Las constantes universales trazan al ser descubiertas una nueva era científica, por tanto, ejecutan en Física una función importante.

1.5 Sistemas físicos de unidades

Aunque parezca sorprendente, sólo son necesarias tres magnitudes fundamentales para el estudio de la mecánica, en los sistemas físicos se elige como magnitudes fundamentales mecánicas *longitud*, *masa* y *tiempo*. Al estudiar la termodinámica se necesitan dos magnitudes fundamentales más, estas son *cantidad de materia* y *temperatura*, para el estudio de la electricidad es necesario introducir otra magnitud fundamental, en la mayoría de los sistemas físicos se elige como magnitud fundamental a la *intensidad de corriente eléctrica*, aunque en otros sistemas físicos, los electrostáticos, toman como magnitud fundamental la *carga eléctrica*, con la fotometría resulta necesario introducir una séptima magnitud fundamental, se elige a la *intensidad luminosa*.

De entre los sistemas acordes de unidades cabe destacar el Sistema Internacional de Unidades, que se estudiará más adelante con mayor detalle, el sistema cgs, que a su vez se divide en sistema electrostático y sistema electromagnético, el sistema mts y sistema fps. El sistema cegesimal o cgs (centímetro, gramo, segundo) toma como unidades mecánicas fundamentales el centímetro, $1\text{ cm}=10^{-2}\text{ m}$; el gramo, $1\text{ g}=10^{-3}\text{ kg}$; y el segundo. Las unidades derivadas que tienen un nombre especial son: la dina, $1\text{ din}=10^{-5}\text{ N}$, que es la unidad de Fuerza; el ergio, $1\text{ erg}=10^{-7}\text{ J}$, unidad de Energía; y la baria, $1\text{ baria}=0,1\text{ Pa}$, unidad de presión.

El sistema mts (metro, tonelada, segundo) fue el sistema legal en Francia durante algunas décadas, aunque no tuvo nunca la aprobación de los físicos. Sus unidades mecánicas fundamentales son el metro; la tonelada métrica, $1\text{ t}=10^3\text{ kg}$; y el segundo. Las unidades derivadas que tienen un nombre especial son: el steno, $1\text{ sn}=10^3\text{ N}$, que es la unidad de Fuerza; el kilojulio, $1\text{ kj}=10^3\text{ J}$, unidad de Energía; el kilovatio $1\text{ kW}=10^3\text{ W}$ unidad de potencia; y la pieza, $1\text{ pz}=10^3\text{ Pa}$, unidad de presión.

El sistema fps (foot, pound, second) (pie, libra, segundo) sistema físico utilizado principalmente en el mundo anglosajón. Sus unidades mecánicas fundamentales son el pie, $1\text{ ft}=0,3048\text{ m}$; la libra, $1\text{ Lb}=0,45359\text{ kg}$; y el segundo. El poundal como unidad de fuerza es la unidad derivada con nombre especial $1\text{ poundal} = 0,138254\text{ N}$.

1.6 Sistema Internacional de unidades

El sistema internacional (S.I.) está formado por las unidades del sistema mksA racionalizado (metro, kilogramo, segundo, amperio), y lleva definiciones adicionales para la unidad de temperatura, la unidad de intensidad luminosa y la unidad de cantidad de sustancia.

Este sistema de unidades fue adoptado oficialmente por España en 1967 (B.O.E. de 10-11-1967). La última modificación se ha publicado en el BOE del 29 de abril de 2020. Las unidades fundamentales mecánicas son el metro (m) para la longitud, el kilogramo (kg)

para la masa y el segundo (s) para el tiempo. Las siete unidades fundamentales se han definido por última vez en la 26ª Conferencia General de Pesas y Medidas en noviembre de 2018 en su sesión octava, quedando definidas ancladas a constantes universales, constantes fundamentales de la física u otras constantes de la naturaleza.

La masa unidad, es decir, el **kilogramo**, símbolo **kg**, se define al fijar el valor numérico de la constante de Planck, h , en $6,626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$, cuando se expresa en la unidad $J \cdot s$, igual a $kg \cdot m^2 \cdot s^{-1}$, donde el metro y el segundo se definen en función de c y $\Delta\nu_{Cs}$. De la relación exacta $h = 6,626\ 070\ 15 \times 10^{-34} kg \cdot m^2 \cdot s^{-1}$ se obtiene la unidad $kg \cdot m^2 \cdot s$, y de esta la expresión para el kilogramo en función del valor de la constante de Planck h : $1kg = (299\ 792\ 458)^2 / [(6,626\ 070\ 15 \times 10^{-34}) \cdot (9\ 192\ 631\ 770)] h \cdot \Delta\nu_{Cs} / c^2$.

La unidad de longitud, el **metro**, símbolo **m**, se define al fijar el valor numérico de la velocidad de la luz en el vacío, c , en $299\ 792\ 458$, cuando se expresa en la unidad $m \cdot s^{-1}$, donde el segundo se define en función de la frecuencia del cesio 133, $\Delta\nu_{Cs}$. $1m = 9\ 192\ 631\ 770 / 299\ 792\ 458 c / \Delta\nu_{Cs}$

La unidad de tiempo, el **segundo**, símbolo **s**, se define al fijar el valor numérico de la frecuencia de la transición hiperfina del estado fundamental no perturbado del átomo de cesio 133, $\Delta\nu_{Cs}$, en $9\ 192\ 631\ 770$, cuando se expresa en la unidad Hz, igual a s^{-1} .
 $1s = 9\ 192\ 631\ 770 / \Delta\nu_{Cs}$

La unidad de intensidad de corriente eléctrica, el **amperio**, símbolo **A**, se define al fijar el valor numérico de la carga elemental, e , en $1,602\ 176\ 634 \times 10^{-19}$, cuando se expresa en la unidad C, igual a $A \cdot s$, donde el segundo se define en función de $\Delta\nu_{Cs}$. De la relación exacta $e = 1,602\ 176\ 634 \times 10^{-19} A \cdot s$ se obtiene la expresión para la unidad amperio en función de las constantes e y $\Delta\nu_{Cs}$:

$$1A = e / 1,602\ 176\ 634 \times 10^{-19} s^{-1}$$

La unidad de temperatura, el **kelvin** símbolo **K**, se define al fijar el valor numérico de la constante de Boltzmann, k , en $1,380\ 649 \times 10^{-23}$, cuando se expresa en la unidad $J \cdot K^{-1}$, igual

a $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$, donde el kilogramo, el metro y el segundo se definen en función de h , c y $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

$$1\text{K} = 1,380\,649 \times 10^{-23} / [(6,626\,070\,15 \times 10^{-34}) \cdot (9\,192\,631\,770)] \Delta\nu_{\text{Cs}} \cdot h/k$$

La unidad de cantidad de sustancia, el **mol** símbolo **mol**, Un mol contiene exactamente $6,022\,140\,76 \times 10^{23}$ entidades elementales. Esta cifra es el valor numérico fijo de la constante de Avogadro, N_A , cuando se expresa en la unidad mol^{-1} , y se denomina número de Avogadro.

Junto a la palabra mol, se ha de especificar las entidades elementales, que pueden ser, átomos, moléculas, iones, electrones, etc.

La unidad de intensidad luminosa en una dirección dada, la **candela**, símbolo **cd**, se define al fijar el valor numérico de la eficacia luminosa de la radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} Hz, K_{cd} , en 683, cuando se expresa en la unidad $\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$, unidad igual a $\text{cd} \cdot \text{sr} \cdot \text{W}^{-1}$, o a $\text{cd} \cdot \text{sr} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^3$, donde el kilogramo, el metro y el segundo se definen en función de h , c y $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

$$1\text{cd} = 1 / [(6,626\,070\,15 \times 10^{-34}) \cdot (9\,192\,631\,770)^2 \cdot 683] (\Delta\nu_{\text{Cs}})^2 \cdot h \cdot K_{\text{cd}}$$

El efecto de esta definición es que la candela es la intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente que emite radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} Hz y tiene una intensidad radiante en esa dirección de $(1/683)$ W/sr.

El Sistema Internacional, al igual que el resto de sistemas admiten múltiplos y submúltiplos de las unidades, para ello se añaden al nombre de la unidad el prefijo adoptado, por acuerdo internacional, los cuales se encuentran en la tabla I.

Factor	Prefijo	Símbolo
10^{24}	Yolta	Y
10^{21}	Zetta	Z
10^{18}	Exa	E
10^{15}	Peta	P
10^{12}	Tera	T
10^6	Mega	M
10^9	Giga	G
10^3	Kilo	K
10^2	Hecto	H
10	Deca	Da
10^{-1}	Deci	D
10^{-2}	Centi	C
10^{-3}	Mili	m
10^{-6}	Micro	μ
10^{-9}	Nano	n
10^{-12}	Pico	p
10^{-15}	Femto	f
10^{-18}	Atto	a
10^{-21}	Zepto	z
10^{-24}	Yocto	y

Tabla I. Múltiplos y submúltiplos decimales

No se admiten los prefijos compuestos formados por la yuxtaposición de varios prefijos, así los múltiplos o submúltiplos de la unidad fundamental de masa del S.I. serán múltiplos del gramo, es decir, 1000 veces dicha unidad será el megagramo (Mg) y no el kilokilogramo (kkg), algunos múltiplos o submúltiplos de las unidades del Sistema Internacional tienen un nombre propio, de los cuales los más habituales son los que se encuentran reflejados en la tabla II.

Unidad	Nombre con prefijo	Equivalente S.I.
Micra (μ)	Micrómetro (μm)	10^{-6} m
milimicra ($\text{m}\mu$)	Nanómetro (nm)	10^{-9} m
Ångström (Å)	-	10^{-10} m
Fermi	Femtometro (fm)	10^{-15} m
Tonelada	Megagramo (Mg)	10^3 kg
Bar	Megabaria (Mbaria)	10^5 Pa

Tabla II. Unidades múltiplos y submúltiplos con nombre propio

1.7 Unidades derivadas en el Sistema Internacional.

En el sistema Internacional existe una serie de unidades derivadas que tienen nombre propio estas son:

Radián (rad) unidad de ángulo plano;

Estereorradián (sr) unidad de ángulo sólido; *Hercio (Hz)*, $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$ unidad de frecuencia;

Newton (N), $1 \text{ N} = 1 \text{ kg.m.s}^{-2}$ unidad de fuerza;

Pascal (Pa), $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N.m}^{-2}$, unidad de presión;

Julio (J), $1 \text{ J} = 1 \text{ N.m}$, unidad de energía, de trabajo y de cantidad de calor ;

vatio (W), $1 \text{ W} = 1 \text{ J.s}^{-1}$, unidad de potencia;

Culombio (C), $1 \text{ C} = 1 \text{ sA}$, unidad de carga eléctrica y de cantidad de electricidad;

Voltio (V), $1 \text{ V} = 1 \text{ W.A}^{-1}$, unidad de diferencia de potencial y de fuerza electromotriz;

Faradio (F), $1 \text{ F} = 1 \text{ C.V}^{-1}$, Unidad de capacidad eléctrica;

Ohmio (Ω), $1 \text{ Ω} = 1 \text{ V.A}^{-1}$, unidad de resistencia eléctrica;

Siemens (S), $1 \text{ S} = 1 \text{ Ω}^{-1} = 1 \text{ A.V}^{-1}$, unidad conductancia eléctrica;

Weber (Wb), $1 \text{ Wb} = 1 \text{ Vs}$, unidad de flujo magnético o flujo de inducción magnética;

Tesla (T), $1 \text{ T} = 1 \text{ Wb.m}^{-2}$, unidad de densidad de flujo magnético o inducción magnética;

Henrio (H), $1 \text{ H} = 1 \text{ Wb.A}^{-1}$, unidad de inductancia;

Grado Celsius (°C), $1 \text{ °C} = 1 \text{ K}$, unidad de temperatura celsius;

Lumen (lm), $1 \text{ lm} = 1 \text{ cd sr}$; *Lux (lx)*, $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm.m}^{-2}$, unidad de iluminancia;

Becquerel (Bq), $1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$, unidad de actividad de un radionucléido;

Gray (Gy), $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J.kg}^{-1}$, unidad de dosis absorbida, de energía másica (comunicada) y de kerma; *Sievert (Sv)*, $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J.kg}^{-1}$, unidad de dosis equivalente, de dosis equivalente ambiental, de dosis.

Las dos primeras unidades derivadas de las indicadas con nombre propio en el párrafo anterior son especiales, al igual que existen otras magnitudes como el índice de refracción y la permeabilidad relativa, que no recibe nombre especial, además existe otras dos con nombre especial que se aplica a muchas magnitudes estas unidades son el *Belio (B)* y el *Neper (Np)*, el Belio lo definimos como el logaritmo decimal del cociente

de dos cantidades de una misma magnitud y el Neper al neperiano, (ambas son no pertenecientes al SI pero de aplicación en sectores específicos).

Con respecto a las unidades radián y estereorradián. (Ambas antes de las 20ª conferencia eran consideradas suplementarias y a partir de 1995 se consideran derivadas, dicha consideración se ha publicado en España por primera vez en 2010 BOE de 12 de enero).

El **radian** se define como el ángulo plano que, teniendo su vértice en el centro de un círculo, intercepta sobre la circunferencia de este círculo, un arco de longitud igual a la del radio.

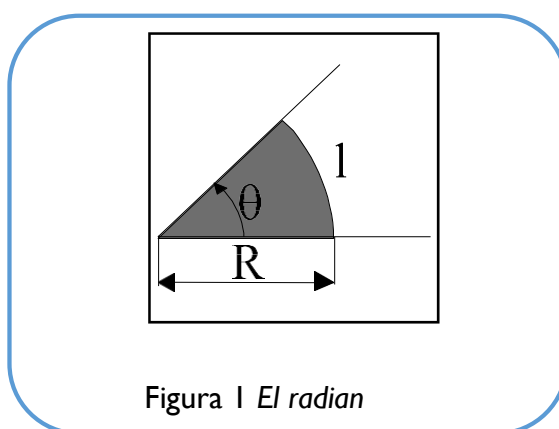


Figura 1 El radian

Es decir, un ángulo expresado en radianes responde al siguiente proceso, se traza una circunferencia de radio R cuyo centro O coincida con el vértice del ángulo. El ángulo θ en radianes es la razón:

$$\theta = \frac{l}{R}$$

siendo l la longitud del arco abarcado por el ángulo θ .

Análogamente el ángulo sólido es la región del espacio constituida por todas las semirrectas con origen común O y que tienen un punto en común también con un casquete esférico de una esfera de radio R y centro el origen O. Su valor, expresado en estereorradianes, está dado por:

$$\Omega = \frac{S}{R^2}$$

1.8 Sistemas técnicos de unidades.

Los sistemas técnicos de unidades, aunque tienden a desaparecer, todavía se utiliza en las tecnologías, las magnitudes mecánicas fundamentales de estos sistemas son **longitud**, **fuerza**, y **tiempo**, apareciendo la masa como magnitud derivada, siendo su ecuación de definición:

$$m = \frac{f}{a}$$

De entre los sistemas acordes de unidades cabe destacar el **Sistema técnico decimal** de Unidades y el sistema **inglés**.

El sistema técnico decimal toma como unidades mecánicas fundamentales el metro como unidad de longitud; el kilogramo como unidad de fuerza; y el segundo como unidad de tiempo.

El kilogramo se define como el peso del kilogramo patrón en un punto en que la aceleración de la gravedad sea la normal, por acuerdo adoptado en la 13ª conferencia general de pesas y medidas celebrada en 1968, se toma como valor normal el de la gravedad en Postdam (latitud 52°29' Norte), es decir, $g=9'81260 \text{ m.s}^{-2}$, se eligió Postdam por estar situado en ella uno de los más destacados laboratorios de medidas gravitatorias. La relación entre el kilogramo y el Newton se deduce fácilmente, puesto que: El peso en Postdam de una masa de 1 Kg será:

- a) Sistema técnico decimal: $P= 1 \text{ kg}$
- b) Sistema internacional: $P=m.g=1 \times 9'81=9'81 \text{ N}$ De donde:

$$1 \text{ kg} = 9'81 \text{ N}$$

En el sistema técnico, la unidad de masa no tiene nombre especial, denominándola

unidad técnica de masa (UTM) y de la ecuación de definición se tiene:

$$1\text{ UTM} = \frac{1\text{ kg}}{1\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}}$$

$$1\text{ UTM} = \frac{9'81\text{ N}}{1\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}} = \frac{9'81\text{ kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}}{1\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}} = 9'81\text{ kg}$$

Es decir, la UTM es 9'81 veces más grande que la masa de 1 kg.

En algunos textos la unidad kilogramo cuando se trata de la magnitud fuerza se le denomina kilopondio, o kilopeso. La unidad de trabajo se le denomina kilográmetro (kgm) (también se conoce dicha unidad como kilopondímetro).

El sistema inglés es el utilizado principalmente en el mundo anglosajón. Sus unidades mecánicas fundamentales son: el pie, 1 ft=0'3048 m para la longitud; la libra, 1 Lb=0'45359 kg para la fuerza; y el segundo como unidad de tiempo. El slug como unidad de masa es la unidad derivada con nombre especial, 1 slug = 1'488 UTM = 14'59 kg = 32'174 lb.

1.9 Errores de medición.

En todas las ciencias aplicadas se trabaja con datos numéricos adquiridos con medidas y observaciones que nunca son totalmente precisas; como causa de que tanto los instrumentos de medida no son perfectos, como que los sentidos no son absolutamente perspicaces. Por otra parte, en muchas ocasiones participan en las fórmulas números irracionales, como $\sqrt{2}$, π , e, etc., que no pueden tomarse con todas las cifras, sino que se deben simplificar, quedando limitada su introducción a cierto número de cifras decimales. Todo esto condiciona los resultados, que, por tanto, no serán precisos y estarán afectados de cierta **incertidumbre** que se hace necesario determinar en cada caso, pues ésta señala la calidad de la medida efectuada, y debe seguir al resultado en todos los casos. Por ejemplo, no es lo mismo facilitar el resultado de una pesada en la

siguiente manera $4'24 \pm 0'01$ g que en esta otra: $4'240 \pm 0'001$ g, pues la primera expresa que la pesada posee una cifra decimal garantizada, mientras que la segunda tiene dos. En ambos casos $\pm 0'01$ g y $\pm 0'001$ g definen respectivamente, la incertidumbre de las medidas. La aproximación con que se ha de realizar una medida, es decir, la incertidumbre del resultado, es función del fin que se desee y del origen mismo de la medida, pero, en último término, lo interesante es preverla de antemano, como error máximo que puede vincular al resultado.

Saber el error que se incurre en una medida tiene también una gran importancia para decidir el mínimo número de cifras decimales que hay que conservar de un número irracional para evitar cálculos desagradables e inservibles.

1.10 Clasificación de los errores.

Los errores se pueden clasificar según su causa: en sistemáticos y accidentales; según su expresión en absolutos y relativos.

Sistemáticos y accidentales

Los errores sistemáticos están causados por un vicio del aparato de medida o por una propensión equivocada del observador, y por tanto se muestran siempre en un sentido; sólo se pueden evidenciar cambiando de instrumento de medida o de observador.

Los errores accidentales son los provocados por pequeñas causas no cuantificables e imposibles de controlar, que modifican, tanto en un sentido como en otro, los valores encontrados. Como pueden ser, por ejemplo, minúsculas alteraciones de la temperatura, presión o sencillamente la imperfección de los sentidos y métodos de medida. Este tipo de errores, que no son evitables, se pueden nivelar asumiendo como medida, por ejemplo, la media aritmética de una serie de medidas.

Los errores accidentales no pueden observarse para las medidas aisladas, ya que su reparto está subordinado a las leyes del azar, y sólo cabe designar un límite superior que está fijado por la sensibilidad de las medidas efectuadas.

La media aritmética de una serie de medidas de una misma cantidad de una magnitud está afectada por un error menor que cualquiera de los resultados individuales.

Errores absoluto y relativo

Un error de un centímetro incurrido en la medida de una longitud de algunos centímetros es inaceptable, mientras que el mismo error al medir la distancia entre dos puntos de una carretera que distan varios kilómetros carece de importancia. De ahí la necesidad de considerar el error absoluto y relativo de una medida.

Se denomina error absoluto propio de una medida, o de un número real aproximado, a la diferencia, con su signo, entre el valor aproximado, y el que se estime como correcto puesto que el valor exacto es desconocido:

$$\varepsilon_i = \Delta x_i = x_i - x$$

En la práctica, como se ha mencionado anteriormente, se toma como correcto el valor medio de un gran número de observaciones o simplemente se asigna al error absoluto un cierto valor o cota superior (o se opta por la menor cantidad capaz de ser medida con el utensilio empleado). Por ejemplo, cuando se mide una longitud con una regla graduada en milímetros se admite que $|\varepsilon_i| \leq 0'001$ m, o cuando se toma el número $\pi=3'1415927$, se sabe que $|\varepsilon_\pi| \leq 0'0000001$.

Como se ha apuntado, el error absoluto no es útil para apreciar el grado de aproximación o exactitud de una medida; por ello es obligatorio acudir al error relativo, que se define como el valor absoluto del cociente de dividir el error absoluto por el valor de la magnitud, o número exacto que se mide:

$$\varepsilon_{r_i} = \frac{|\varepsilon_i|}{x} = \frac{|\varepsilon_i|}{x}$$

La segunda igualdad, se entiende que es para valores positivos de la medida o número exacto.

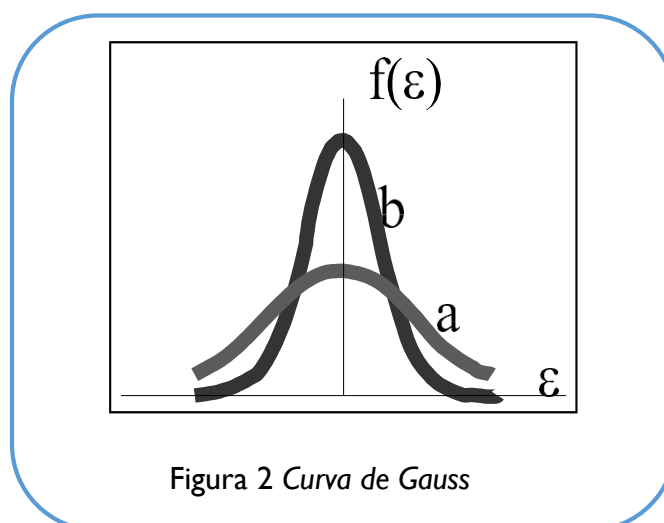
Como el valor exacto es, en general, desconocido se calcula el límite superior del error relativo dividiendo la cota del error absoluto por el número que resulta sustituyendo por ceros todas las cifras que siguen a la primera significativa del número aproximado. Así, por ejemplo, el error relativo cometido al tomar el número con cuatro cifras decimales será:

$$\varepsilon_r = \frac{0'0001}{2'7183} \approx \frac{0'0001}{2'0000} = 0'00005$$

Frecuentemente, los errores relativos se exponen en porcentaje. El resultado anterior sería de un 0'005 %.

1.11 Teoría de errores. Curva de Gauss.

Cuando se realizan un gran número de medidas de una misma cantidad de una magnitud, los errores individuales de cada medida se distribuyen entre una gran diversidad de valores; todos los errores son posibles, aunque siempre son menos probables, es decir, menos frecuentes, los de mayor valor absoluto.



Si se representa el número de veces en que el error se encuentra en cada uno de los distintos intervalos, o más correctamente, la probabilidad o frecuencia relativa $n/N=f(\varepsilon)$ de cada error, en función del error absoluto (ε), se obtiene una curva en forma de campana, mucho más perfecta y continua a medida que aumente el número de medidas realizadas. Esta curva, conocida como curva de **Gauss** (*Gauß*), está representada en la figura anterior; la curva b pertenece a un buen conjunto de medidas, es decir, con pequeña dispersión, mientras que la a representa una serie con mayores errores, o sea, la dispersión es mayor.

La curva de Gauss, o de **distribución normal** de los errores, tiene una ecuación que no se deducirá en esta asignatura, la cual se expresa por:

$$\frac{n}{N} = f(\varepsilon) = \frac{h}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(h\varepsilon)^2}{2}}$$

Lógicamente $f(\varepsilon).d\varepsilon$ es la frecuencia o probabilidad de que una medida individual tenga un error comprendido entre $\varepsilon-d\varepsilon/2$ y $\varepsilon+d\varepsilon/2$; como la probabilidad de que el error tome algún valor, es decir, esté comprendido entre $-\infty$ y $+\infty$, es la unidad, debe cumplirse que:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(\varepsilon).d\varepsilon = 1$$

El parámetro h define la mayor o menor altura del valor central de la curva que será el máximo y, por tanto, da una idea de la precisión de las medidas; cuanto mayor sea h mayor será la altura de la ordenada máxima, lo que significa que en el conjunto de medidas sólo son muy probables los errores pequeños.

I.12 Ecuaciones bidimensionales

El Barón **Jean Batiste Fourier** (1768-1830) aplicó a las magnitudes físicas la idea geométrica de dimensión, y por ello se le debe admitir como el precursor del Análisis dimensional.

En su obra "*Théorie Analytique de la Chaleur*" fija de un modo claro y rotundo el concepto de dimensión.

Los conceptos desarrollados por Fourier fueron aprovechados con gran éxito a finales del siglo XIX por **Osborne Reynolds** (1842-1912), **Lodge**, **Fitzgerald**, **Rücker**, **Jean** y muy especialmente por **Lord Rayleigh (J. W. Strutt)** (1842-1919). Primero fueron aplicadas para probar la homogeneidad de las ecuaciones con el fin de descubrir errores de cálculo, y posteriormente, se empleó el Análisis dimensional, por idea de Rayleigh, a la determinación de problemas cuyo tratamiento directo presentaba dificultades matemáticas insuperables. Lord Rayleigh utilizó por primera vez las magnitudes con exponentes adimensionales en la mecánica de fluidos y es por lo que se le considera junto a Fourier, cofundador del análisis dimensional.

UNIDAD II LEYES DE NEWTON

2.1 Fuerza

El concepto de fuerza es lo primero que debemos comprender para poder entender las leyes de Newton. Todos estamos familiarizados con el concepto de fuerza de acuerdo a nuestra experiencia diaria. Cuando alguien empuja o tira de un objeto, independientemente de si se mueve o no, concluimos que sobre el objeto se está aplicando una fuerza. Una definición más apropiada de fuerza es considerar que es el resultado de la interacción de dos objetos.

Antes de los trabajos de Galileo, la fuerza era concebida como la acción necesaria para mantener un cuerpo en movimiento. Ya sabemos que la primera ley de Newton precisamente establece la naturalidad del estado de movimiento rectilíneo y uniforme, tanto como del reposo, es decir, no se requieren acciones externas para mantener un cuerpo en movimiento; pero sí se requieren para cambiar su estado, es decir, para producirle una aceleración. Podemos entender la fuerza como una medida de la intensidad de la interacción de un cuerpo dado, con otros cuerpos, como resultado de la cual éste sufre una aceleración.

Basado en observaciones astronómicas del movimiento de los planetas y de los cuerpos en el espacio, cuyas mediciones realizaron astrónomos anteriores y contemporáneos a él, Newton estableció los principios fundamentales de la mecánica. Estas observaciones le permiten postular la no necesidad del contacto físico entre los cuerpos para que uno ejerza fuerza sobre el otro. Un ejemplo es el movimiento que realiza la tierra alrededor del sol o el movimiento de la luna alrededor de la tierra. Las fuerzas que se ejercen son consideradas como una fuerza a distancia que ejerce uno sobre el otro y entre sí. Este tipo de fuerzas a distancia las denomino fuerzas gravitacionales y la medición de las trayectorias, velocidades y distancias le permiten descubrir la Ley de Gravitación Universal. Otro principio planteado por Newton, está referido al movimiento que un objeto realiza con velocidad constante a lo largo de una línea recta. Newton plantea que dicho objeto no requiere de ninguna fuerza actuando sobre él para mantener dicho

movimiento con velocidad constante; pero si se observa que el objeto cambia su velocidad, sobre él debe estar actuando una fuerza. Este planteamiento lo lleva a establecer su primer principio:

“Para que un cuerpo se acelere y/o se mueva a lo largo de una trayectoria curva es necesario que sobre él actúe una fuerza resultante. Si se mueve con velocidad constante y a lo largo de una línea recta la fuerza resultante es nula”.

La fuerza necesaria para acelerar a un cuerpo se denomina fuerza neta o fuerza resultante. Una partícula o un cuerpo rígido sobre el cual actúan varias fuerzas, recordando que la fuerza es una magnitud física vectorial, la fuerza resultante o neta será la suma vectorial de todas las fuerzas aplicadas sobre ella. Cuando una partícula se mueve con velocidad constante a lo largo de una línea recta o se encuentra en reposo (su velocidad es cero) se dice que la partícula está en equilibrio.

2.2 Clasificación de las fuerzas

En física hay varias formas de clasificar a las fuerzas. En esta oportunidad solo consideraremos dos de ellas: de acuerdo a cómo actúan las fuerzas sobre los cuerpos o las partículas, se les denomina:

Primera clasificación de las fuerzas

- fuerzas de contacto.
- fuerzas de acción a distancia

Las fuerzas de contacto son las que se aplican directamente sobre el cuerpo o la partícula, por ejemplo: cuando empujamos o jalamos, cuando golpeamos, cuando estiramos un resorte, cuando jalamos de una cuerda etc.

Las fuerzas de acción a distancia son las que se ejercen entre dos cuerpos sin que entre ellos exista contacto físico, por ejemplo: la fuerza de atracción que se ejerce entre los cuerpos celestes (planetas, meteoritos, satélites, estrellas etc.), fuerza que se denomina de atracción gravitatoria y que es debido a la masa de los cuerpos.

La ecuación planteada por Newton para el módulo o la magnitud de la fuerza de atracción gravitatoria es:

$$F_g = G \frac{Mm}{d^2}$$

Donde F_g es la fuerza de atracción gravitatoria, M y m son las masas de los cuerpos, d la distancia de separación y G la constante de gravitación universal. $G = 6.672 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$

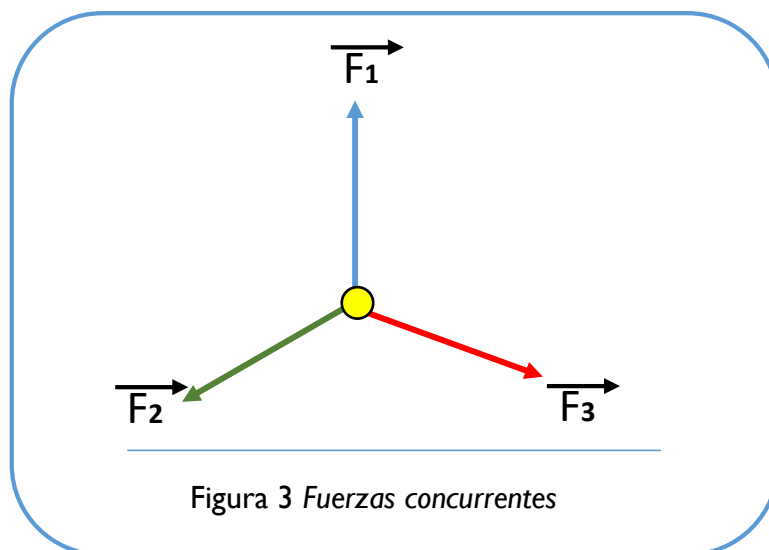
En el SI También existen otras fuerzas de acción a distancia en el mundo físico por ejemplo la que se ejerce entre partículas cargadas eléctricamente; la fuerza que se ejerza entre dos imanes etc.

Segunda clasificación de las fuerzas

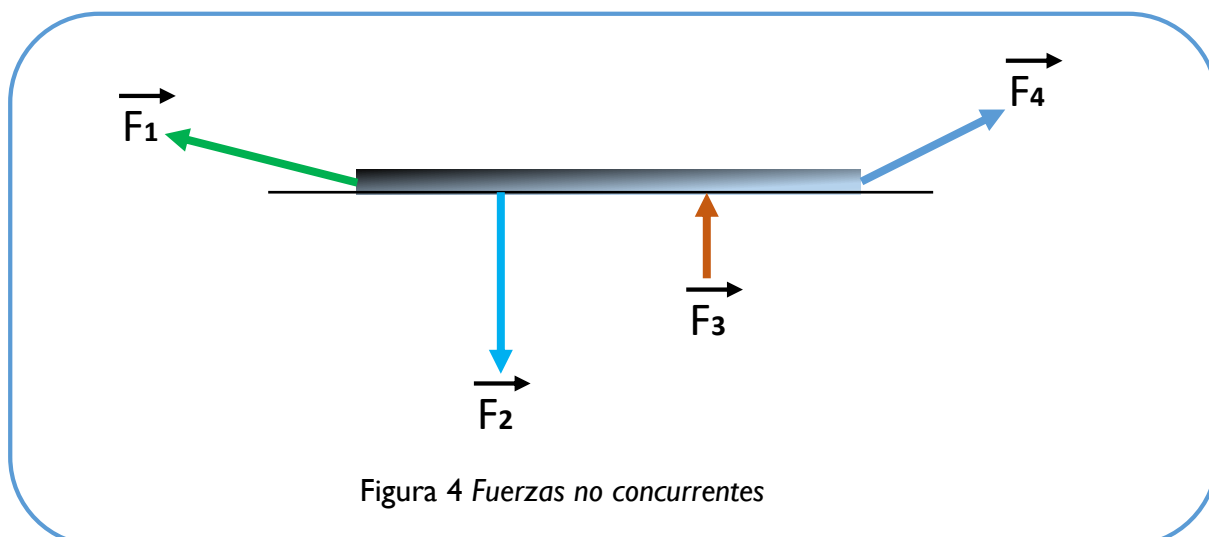
Las fuerzas de contacto a su vez pueden ser denominadas:

- fuerzas concurrentes
- fuerzas no concurrentes.

Las fuerzas concurrentes se llaman a si por que los vectores que las representan al ser prolongadas sus líneas de acción o dirección pasan por un solo punto como se muestra en la figura 3.



Cuando se trata de una partícula las fuerzas que actúan sobre ella siempre son concurrentes. Las fuerzas no concurrentes se caracterizan por que si se prolonga la línea de acción o dirección de cada una de las fuerzas estas no pasan por un mismo punto. Además, las fuerzas no concurrentes pueden ser consideradas como coplanares, si todas están ubicadas en un plano y no coplanares si las fuerzas están ubicadas en el espacio. La figura 4 muestra una barra sobre la que actúan fuerzas no concurrentes y coplanares



2.3 Primera ley de Newton

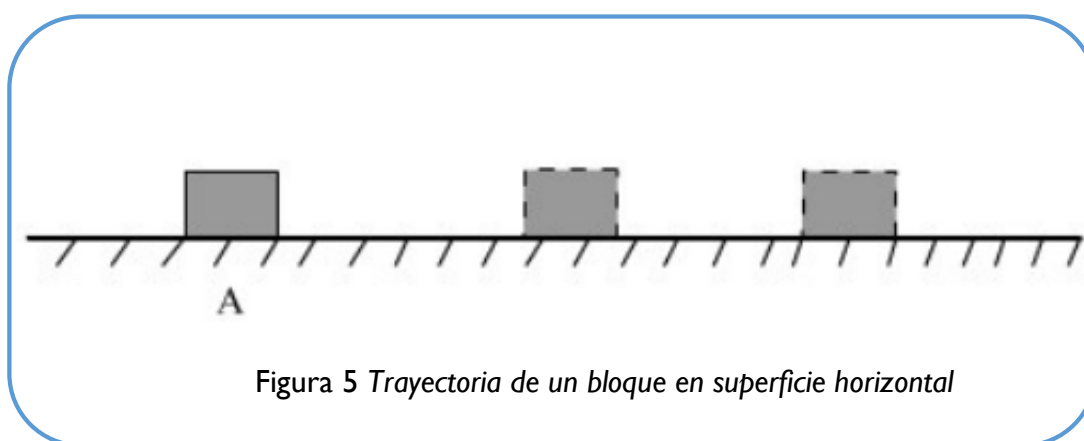
Isaac Newton basado en los experimentos de sus predecesores y en experiencias propias estableció una ley acerca del movimiento de los cuerpos y que hoy día es conocida como la primera Ley de Newton:

“Un cuerpo en reposo permanecerá en reposo a no ser que sobre él actúe una fuerza neta o resultante, que obligará al cuerpo a moverse aceleradamente. Un cuerpo en movimiento a lo largo de una línea recta con velocidad constante se desplazará con la misma velocidad, a no ser que sobre él actúe una fuerza neta o resultante que lo obligue a cambiar la velocidad y por consiguiente se acelerará. La trayectoria puede seguir siendo una línea recta o puede ser una curva”.

Las ideas que condujeron a la formulación de la primera ley de Newton están ligadas al análisis de las causas que provocan o modifican el movimiento mecánico. Antes de los trabajos de Galileo se pensaba que era necesaria la acción de agentes externos para mantener el estado de movimiento o de un cuerpo; se decía que el reposo era su estado natural. De esta forma, para que un cuerpo se moviera con Movimiento Relativo Uniforme (MRU) debía ser continuamente empujado por otro, o de lo contrario se detenía.

A favor de esta tesis se argumentaba el hecho de que, en la práctica, un cuerpo que es puesto en movimiento mediante una acción exterior (por ejemplo, un bloque que es empujado con la mano sobre una superficie horizontal), termina por detenerse poco después de cesar ésta. Nosotros sabemos que al eliminarse las causas que iniciaron el movimiento, no se eliminan completamente todas las acciones exteriores sobre el cuerpo y por ello resulta imposible demostrar, en la práctica, cuál sería su verdadero comportamiento en caso de moverse sin influencia alguna del medio exterior. Galileo se cuestionó seriamente las ideas anteriores que establecían el reposo como estado natural de los cuerpos. Para ello acudió a la experimentación y a la inducción, estableciendo un

método muy empleado desde entonces en la ciencia. El método consiste en realizar una serie de experimentos en condiciones cada vez más parecidas a las del modelo ideal e inducir el comportamiento del sistema en la situación límite del modelo o hipótesis. En el caso concreto que se analiza, se disminuye sucesivamente la acción de los agentes externos y se induce el comportamiento del cuerpo en el supuesto de que éstos no influyan en lo absoluto sobre él. Las ideas básicas de Galileo, en este sentido, están contenidas en el experimento que se describe en la Figura 5:



Supongamos que un bloque suficientemente liso es lanzado con cierta velocidad inicial sobre una superficie horizontal, en el punto A. El bloque recorrerá cierta distancia antes de detenerse. Si, mediante algún procedimiento, pulimos las superficies en contacto y repetimos el experimento con igual velocidad inicial, la distancia recorrida será mayor que en el caso anterior.

Podemos ahora usar un lubricante entre las superficies en contacto, con lo cual obtenemos una distancia aún mayor antes de detenerse, al disminuir sensiblemente el efecto de la fricción. Una situación cercana al límite se obtiene mediante el uso del llamado riel de aire en el cual un bloque de sección transversal en forma de V invertida se desliza sobre una película de aire que es lanzada a presión mediante un compresor por pequeños orificios ubicados en los planos laterales de un riel, cuya sección transversal es también en forma de V invertida (Figura 5). En este caso la fricción es mínima y sólo debido a la interacción del bloque con la película de aire. Se requiere verdaderamente un riel de gran longitud para lograr que el bloque se detenga, una vez que adquiere cierta

velocidad inicial. Los resultados de estos experimentos nos permiten ahora extrapolar y decir qué sucedería si pudiera eliminarse completamente la fricción: el cuerpo sobre el que no se ejercen acciones externas y que es puesto inicialmente en movimiento, continuará indefinidamente con velocidad constante (MRU). Se necesitan acciones externas para variar la velocidad de un cuerpo (para producirle una aceleración) pero no se necesitan para mantenerlo.

El movimiento rectilíneo uniforme es tan natural como el reposo. Las conclusiones anteriores fueron adoptadas por Newton como su primera ley, la cual podemos enunciar de la siguiente forma: Todo cuerpo mantiene su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme, a menos que otros cuerpos ejerzan acciones sobre él y lo obliguen a cambiar de estado. Esta ley es también llamada ley de la inercia, ya que se denomina inercialidad a la propiedad que tienen los cuerpos de resistirse a variar su estado de reposo y en general, su velocidad. Aunque no está explícito en la ley, se deduce que el estado de reposo o de MRU se mantiene no solamente cuando no están presentes acciones externas, sino también cuando las mismas existen, pero ellas se contrarrestan exactamente.

2.4 Equilibrio de una partícula

Como se señaló anteriormente si sobre una partícula se aplican fuerzas, necesariamente estas fuerzas deben ser concurrentes, siendo el punto de aplicación de las fuerzas la misma partícula. La figura muestra una partícula de masa m sobre la que actúan N fuerzas coplanares en el plano XY ,

$$\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3 \dots \vec{F}_N$$

La fuerza neta o resultante que actúa sobre la partícula es la suma vectorial de todas las fuerzas aplicada sobre la partícula:

$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots \vec{F}_N$$

De acuerdo a la primera Ley de Newton, si la partícula está en equilibrio se cumplirá que:

$$\overrightarrow{F_R} = 0$$

Este resultado debe entenderse que el resultado de la suma vectorial de todas las fuerzas aplicadas sobre la partícula es nulo. La ecuación anterior también es válida si las fuerzas que actúan sobre la partícula están en el espacio.

2.5 Masa inercial. Segunda ley de Newton

Desde el punto de vista cinemático, tanto la roca como la hipotética bola de cartón se comportan igual, es decir, tienen la misma velocidad. Sin embargo, el movimiento de la bola se caracteriza, no sólo por su velocidad, sino también por su **masa**, tal y como dijimos cuando presentamos la cantidad de movimiento o momento lineal. A mayor masa y a mayor velocidad, más inercia tiene la bola, es decir, *mayor dificultad en detenerla*. De ahí que la mejor opción del doctor Jones sea la huida.

Gracias a la magnitud *masa*, podemos estudiar la dificultad que presentan los cuerpos para variar su velocidad, es decir, su inercia. Por eso, a esta masa también se la conoce como masa inercial.

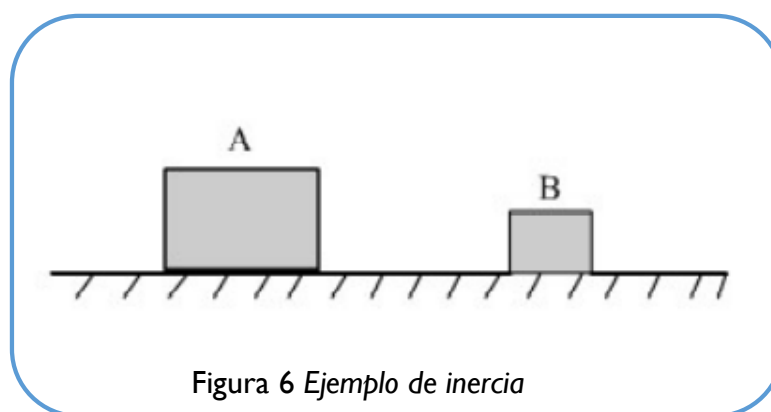
La **masa** es una medida cuantitativa (numérica) de la inercia de un cuerpo.

¿Qué sucede si se aplica una misma fuerza sobre cuerpos diferentes?

La experiencia demuestra que se obtienen aceleraciones diferentes y esto se explica diciendo que estos cuerpos poseen diferentes valores de la masa inercial, o simplemente de la masa.

La masa inercial o masa de un cuerpo es una de sus características más importantes y mide la inercialidad g del mismo, es decir, su resistencia a ser acelerado bajo la acción de

una o varias fuerzas; a mayor masa, mayor es la inercialidad del cuerpo, es decir, su oposición a variar su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme. La masa está asociada a la cantidad de sustancia que forma el cuerpo. Supongamos, por ejemplo, que se tienen dos bloques A y B hechos de una misma sustancia, digamos de cobre, pero de volúmenes diferentes. Resulta evidente que el bloque A, de mayor volumen, posee mayor masa inercial y, además, si se aplica a ambos una misma fuerza de magnitud F (se desprecian los efectos de la fricción con la superficie de contacto), dicho bloque sufrirá una menor aceleración que el bloque B (figura 6).



La aceleración recibida por un cuerpo bajo los efectos de una fuerza dada, es inversamente proporcional a su masa.

Newton consideraba que la masa es una medida de la cantidad de materia de los cuerpos, punto de vista que, lamentablemente, es aún sostenido por algunos autores y reviste un carácter metafísico

2.6 Tercera ley de Newton

Cuando sobre un cuerpo actúa una fuerza, ella necesariamente, es el resultado de la acción sobre él, de otro cuerpo que forma parte del medio ambiente. La experiencia demuestra que las acciones entre los cuerpos que interactúan son mutuas, es decir, si el cuerpo A ejerce una acción sobre el cuerpo B, a la vez el cuerpo B ejerce una acción sobre el cuerpo A. En correspondencia con ello, si un cuerpo A ejerce una fuerza sobre

el cuerpo B, simultáneamente el cuerpo B ejerce una fuerza sobre el cuerpo A. La experiencia también demuestra que ambas fuerzas son de igual magnitud, están contenidas en la línea recta que une a ambos cuerpos, supuestos puntos materiales (esto no es completamente general ya que supone despreciable el tiempo que tardan en transmitirse las acciones entre los cuerpos. Volveremos a estos aspectos posteriormente en el texto) y tienen sentidos opuestos.

Esto constituye el contenido de la tercera ley que puede ser enunciada de la siguiente forma: Las acciones mutuas entre dos cuerpos siempre son iguales y dirigidas en sentidos contrarios. Matemáticamente, la tercera ley puede formularse así:

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$

2.7 Medición estática de fuerzas

El procedimiento estático, es aquel que se basa en considerar la deformación que sufre un cuerpo sobre el que actúa una fuerza, como medida de la propia fuerza. Estaremos de acuerdo en que el cuerpo que se utilice para sufrir la deformación debe ser un cuerpo elástico. Vale la pena recordar que se denomina elasticidad a la propiedad de los cuerpos de recuperar su forma original al cesar la acción que los ha deformado.

Todos los cuerpos en la naturaleza poseen elasticidad dentro de ciertos límites. Esto significa que para un cuerpo dado existe una deformación máxima (límite de elasticidad), sobre pasada la cual no recupera por sí solo su forma original. Los cuerpos que admiten grandes deformaciones sin rebasar el límite de elasticidad son denominados cuerpos elásticos. Un ejemplo típico lo constituye el resorte en forma de espiral que se obtiene enrollando convenientemente un alambre fino de acero. Para la medición estática de fuerzas este dispositivo se dota de un indicador en uno de sus extremos y de una escala por la cual se desliza el indicador. El instrumento así obtenido es llamado dinamómetro, el cual se utiliza para medir una fuerza dada, basta aplicar ésta al extremo libre del resorte hasta que llegue al equilibrio y medir su magnitud por la deformación sufrida, la cual se

determina por el movimiento del indicador sobre la escala (el dinamómetro en sí mismo no debe estar acelerado). Desde luego, se requiere una calibración inicial del instrumento. Para comenzar puede situarse el cero de la escala en la posición que marca el indicador cuando no se está aplicando fuerza alguna. Como fuerza unitaria puede escogerse la atracción de la Tierra sobre un cuerpo patrón en un lugar determinado. Supongamos, por ejemplo, que utilizamos un bloque cuya masa, en kg, es $m=1/g$ (g es el valor de la aceleración de la gravedad, en m/s^2). Si colgamos el cuerpo del resorte, una vez alcanzado la posición de equilibrio. Usando las mismas denominaciones que allá, para las diferentes fuerzas, tendremos:

$$P=mg= \frac{1}{g} \text{ kg} \cdot \text{g} \cdot \text{m/s}^2 = 1\text{N}$$

Y puesto que

$$\vec{p} = -\vec{T} = \vec{T}'$$

Tenemos que $T'=1\text{N}$ (T' es el valor modular de \vec{T}').

2.8 Ejemplo de la aplicación de las leyes de Newton

La aplicación de los principios establecidos por Isaac Newton, tienen múltiples aplicaciones a continuación los pasos para resolver problemas dinámicos sencillos:

- Identificar el cuerpo al cual se refiere el problema (que será considerado como un punto material) así como los restantes cuerpos que conforman el medio ambiente y que ejercen acciones (fuerzas) sobre el primero.
- Seleccionar un sistema (inercial) de referencia adecuado. El origen y las direcciones de los ejes rectangulares serán ubicados de forma tal que se simplifique el resto de los pasos.
- Realizar el diagrama de fuerzas o de cuerpo libre del cuerpo en cuestión. Para ello deben ubicarse todas las fuerzas que actúan sobre el mismo y descomponer estas en sus componentes rectangulares según los ejes coordenados establecidos.

- d) Escribir la segunda ley de Newton para cada uno de los ejes coordenados.
- e) Escribir las ecuaciones de ligadura presentes en la situación dada. Vistas en sentido amplio, las ecuaciones de ligaduras o en relaciones preestablecidas por las condiciones del problema y que ligan dos o más magnitudes cinemáticas o dinámicas. Ejemplos de tales ecuaciones pueden ser la relación entre las aceleraciones de dos cuerpos que se mueven atados por una cuerda, la igualdad entre las magnitudes de dos fuerzas que forman un par de acción y reacción, etc.
- f) Resolución del sistema de ecuaciones que resulta de los puntos d y he a fin de encontrar los valores de las incógnitas del problema.
- g) Análisis de los resultados desde el punto de vista numérico, dimensional, etc.

Ejemplo:

La Figura 7 muestra un bloque de masa m que se encuentra en reposo sobre la superficie lisa de un plano inclinado un ángulo respecto a la horizontal, por medio de una cuerda ligera e inextensible.

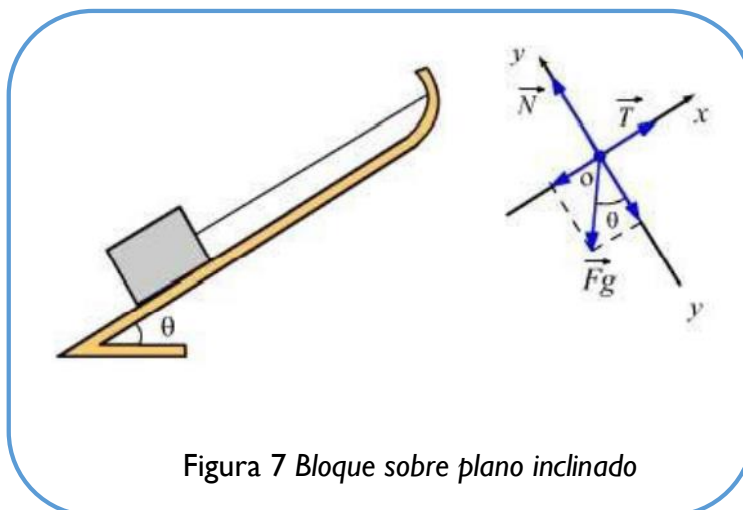


Figura 7 Bloque sobre plano inclinado

- a) Calcule el valor de la tensión en la cuerda y de la reacción normal de la superficie sobre el bloque en función de m .

b) Supongamos que se corta la cuerda junto al bloque. Calcule la aceleración con que baja por el plano

Solución.

Resulta evidente que el cuerpo a tener en cuenta es el bloque y que los demás cuerpos que ejercen acciones sobre él son la superficie del plano, la cuerda y la Tierra que lo atrae hacia su centro. En la Figura 8 b se muestra el diagrama de fuerzas del bloque, así como el sistema de referencia que supondremos fijo a la Tierra, con su origen en algún punto del propio plano, con eje ox paralelo al plano y el eje oy perpendicular a éste. Observe que esta elección del sistema conlleva a que solamente (que sigue).

Si se corta la cuerda, el bloque se moverá aceleradamente según el eje ox , bajo la acción de la componente de la fuerza de gravedad paralela al mismo. En este caso podemos reescribir la segunda ley de Newton como:

$$\vec{N}$$

2.9 Interacciones gravitacionales

La ley de gravitación universal Esta ley establece a qué es igual la fuerza (de atracción) gravitacional entre dos puntos materiales de masas m_1 y m_2 separados una distancia r entre sí. Es también válida cuando uno o ambos puntos se sustituyen por cuerpos esféricos homogéneos, para el caso en que como distancia entre ellos se considera la distancia entre sus centros. Como señalamos con anterioridad, en el caso particular y más común en que se considera la atracción gravitacional de la Tierra sobre un cuerpo de masa m situado en las cercanías de su superficie, puede asumirse como expresión de la fuerza el producto mg . En esta expresión g es la magnitud de la llamada aceleración de la gravedad y para ella es común tomar el valor de $9,8\text{m/s}^2$. Esta sustitución tiene sólo un carácter aproximado, pero puede ser asumida sin mucho error en la mayoría de los casos

prácticos. En realidad, el valor de g obtenido a partir de la ley de gravitación universal es ligeramente superior al señalado aquí, en virtud del movimiento de rotación de la Tierra.

2.10 Interacciones electromagnéticas

Estas interacciones se caracterizan por la fuerza que experimentan las partículas cargadas eléctricamente bajo la acción del campo electromagnético. Ellas serán estudiadas en detalle en la parte II del presente texto y no serán abordadas aquí. De momento diremos solamente que las fuerzas de origen electromagnético son mucho más fuertes que las de origen gravitacional. Así, por ejemplo, las fuerzas eléctricas entre las partículas cargadas que forman el átomo son millones de veces superiores que las fuerzas gravitacionales entre las mismas partículas, siendo las últimas despreciables frente a las primeras. Tanto las fuerzas elásticas como las fuerzas de fricción tienen su origen en la interacción entre las moléculas y los átomos de la sustancia de la cual están constituidos los cuerpos. Por ello, la naturaleza de estas fuerzas es netamente electromagnética. Nos referimos a la fuerza elástica que ejerce un resorte una vez que ha sufrido una deformación x (aumento o disminución de la longitud respecto a su valor normal), sobre el cuerpo que le produjo la misma. El origen de esta fuerza radica en la atracción que ejercen entre sí los átomos del resorte. Desde luego, dado el gran número de átomos, es imposible calcular todas las fuerzas individuales y sumarlas vectorialmente para obtener la fuerza resultante. Por ello es preferible recurrir a una ley empírica aproximada que relacione a esta fuerza con parámetros macroscópicos. Tal es el caso de la ley de Hooke que relaciona la magnitud de la fuerza elástica con el valor de la deformación x . Esta ley es válida no solamente para los resortes sino en general para todos los cuerpos dentro del límite de elasticidad.

Algo análogo ocurre con las fuerzas de fricción. Si pretendiéramos calcular detalladamente las fuerzas que aparecen entre dos superficies sólidas en contacto y en movimiento relativo, deberíamos calcular las fuerzas electromagnéticas entre los átomos que conforman las mismas para obtener la resultante. Un análisis de dicha naturaleza, a nivel microscópico, es prácticamente imposible. En su lugar es costumbre utilizar leyes simples de carácter empírico que permiten relacionar a las fuerzas de fricción con las características macroscópicas del propio cuerpo y del medio que lo rodea. Por la

extraordinaria importancia que revisten estas fuerzas, tanto en nuestra vida diaria como en la técnica, dedicaremos un epígrafe independiente para considerar sus particularidades.

2.11 Fuerzas de fricción

Las fuerzas de fricción, también llamadas de rozamiento, aparecen, en sentido general, durante el desplazamiento relativo de cuerpos en contactos o de unas partes de un cuerpo respecto a otras. Las fuerzas de fricción que aparecen entre capas contiguas de un fluido (líquido o gas), debido al desplazamiento relativo entre ellos, y las que se generan por el movimiento de un sólido en el seno de un fluido son denominadas fuerzas de viscosidad. De momento estudiaremos las fuerzas de fricción originadas por el desplazamiento entre superficies sólidas secas, que se hallan en contacto. Consideremos un bloque en reposo sobre una mesa horizontal (figura 8) y atemos al mismo uno de los extremos de un dinamómetro de masa despreciable. Apliquemos al otro extremo, una fuerza de magnitud pequeña F , que puede ser medida en la escala de este instrumento. Si el bloque es suficientemente pesado y las superficies en contacto no son muy pulidas, no observaremos movimiento alguno.

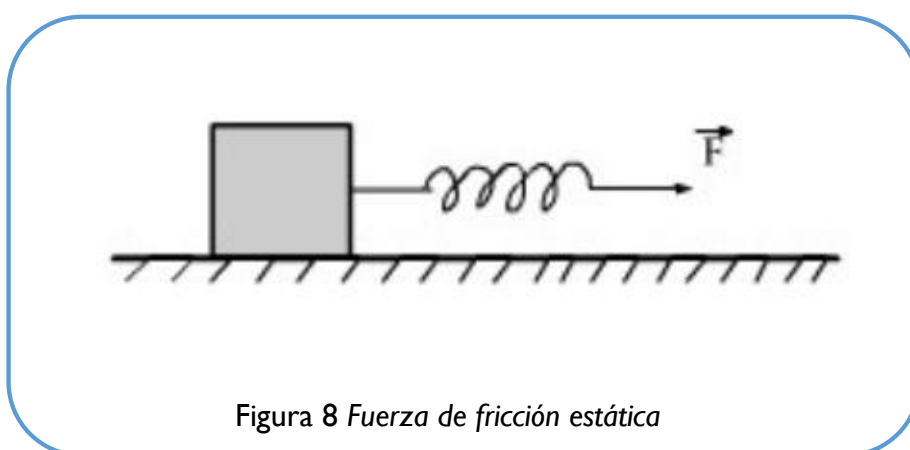


Figura 8 Fuerza de fricción estática

Ya que la aceleración del bloque es nula y se está aplicando la fuerza hacia la derecha, debe existir otra fuerza hacia la izquierda de igual magnitud a fin de que la resultante sea nula en correspondencia con la Segunda Ley de Newton. Esta segunda fuerza sólo puede

ser aplicada por la superficie de la mesa sobre la superficie del bloque en dirección tangencial a esta y es llamada fuerza de fricción estática.

1. Tanto la fuerza máxima de fricción estática como la fuerza de fricción cinética son directamente proporcionales a la magnitud de la fuerza normal entre las superficies en contacto. Este hecho permite definir los llamados coeficientes de fricción estática y cinética (s_k respectivamente) mediante las relaciones: $f_{sm} = sN$
 $f_k = kN$
2. Las magnitudes de las fuerzas de fricción estática máxima y cinética son aproximadamente independientes del área de las superficies en contacto, dependen de la naturaleza de la sustancia que forman las mismas y de su rugosidad. Dentro de ciertos límites, la fricción disminuye con el aumento del pulido de las superficies.
3. La fuerza de fricción cinética entre superficies sólidas secas en contacto es aproximadamente independiente de la rapidez relativa entre ellas.

Ellos relacionan las magnitudes de vectores que son perpendiculares entre sí y por tanto no pueden ser vistas como relaciones vectoriales. Obsérvese, además, que los coeficientes s y k son adimensionales ya que cada uno de ellos es igual al cociente de las magnitudes de dos fuerzas. Los valores de los coeficientes estático y cinético de fricción están dados para cada par de superficies particulares, son generalmente menores que 1 y para ellos se cumple que $s > k$. Ellos dependen de la naturaleza de las sustancias que forman ambas superficies, de la rugosidad de las mismas y de la temperatura.

La fricción, en muchos casos, resulta beneficiosa. De hecho, no podríamos caminar si no existiera fricción entre nuestros zapatos y el piso. Tampoco podrían moverse los transportes automotores. En casos como estos es común tratar de aumentarla fricción haciendo rugosas las superficies en contacto, evitando la humedad o la presencia de lubricantes en las carreteras, etc.

UNIDAD III MECÁNICA DE LA PARTÍCULA

3.1 Definición

La mecánica es la rama de la física que describe el movimiento de los cuerpos, y su evolución en el tiempo, bajo la acción de fuerzas. El conjunto de disciplinas que abarca la mecánica convencional es muy amplio y es posible agruparlas en cuatro bloques principales:

- Mecánica clásica
- Mecánica cuántica
- Mecánica relativista
- Teoría cuántica de campos

En la mecánica elemental, se puede asociar a un cuerpo cualquiera el movimiento de una partícula o punto, sin tener en cuenta las dimensiones del cuerpo. El concepto de partícula está asociado con el de punto material, al cual se le puede asociar una masa o una carga.

3.2 Cinemática. Movimiento relativo

La cinemática es una rama de la física que estudia el movimiento de los objetos sólidos y su trayectoria en función del tiempo, sin tomar en cuenta el origen de las fuerzas que lo motivan. Para eso, se toma en consideración la velocidad (el cambio en el desplazamiento por unidad de tiempo) y la aceleración (cambio de velocidad) del objeto que se mueve. Los orígenes de la cinemática se remontan a la astronomía antigua, cuando astrónomos y filósofos como Galileo Galilei observaban el movimiento de esferas en planos inclinados y en caída libre para entender el movimiento de los astros celestes. Estos estudios, junto a los de Nicolás Copérnico, Tycho Brahe y Johannes Kepler, sirvieron de referencia a Isaac

Newton para formular sus tres Leyes del movimiento, y todo ello conjuntamente fundó a principios del siglo XVIII la cinemática moderna. Las contribuciones de los franceses Jean Le Rond d'Alembert, Leonhard Euler y André-Marie Ampère fueron clave en el establecimiento de esta disciplina, bautizada por Ampère mismo como cinemática (del griego kinéin, desplazar, mover). La muy posterior postulación de la relatividad por Albert Einstein le daría un vuelco a esta disciplina y fundaría la cinemática relativista, en la que el tiempo y el espacio no son dimensiones absolutas, como sí lo es la velocidad de la luz. Puede servirte: Inercia Elementos de la cinemática Los elementos básicos de la cinemática son tres: espacio, tiempo y un móvil. Debemos tener en consideración que en la mecánica clásica los primeros dos (tiempo y espacio) son dimensiones absolutas, independientes del móvil y previos a su existencia. El espacio se describe mediante la geometría euclídea, el tiempo se considera único en cualquier región del universo, y un móvil puede ser un cuerpo cualquiera en movimiento. Los móviles más simples son las partículas (y su estudio abre el campo de la cinemática de partículas), pero más frecuentemente se considera a los sólidos rígidos (análogos a un sistema de partículas y que corresponden a lo que conocemos como cuerpos u objetos).

En ese sentido, la cinemática clásica contempla los siguientes tipos de movimiento:

Movimiento rectilíneo uniforme. Un cuerpo se desplaza a una velocidad constante v , con aceleración nula en línea recta.

Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado. Un cuerpo se desplaza a una velocidad que varía linealmente (dado que su aceleración es constante) conforme avanza el tiempo.

Movimiento armónico simple. Es un movimiento periódico de vaivén en el cual un cuerpo oscila alrededor de un punto de equilibrio en una dirección determinada y en unidades regulares de tiempo.

Movimiento parabólico. Es la composición de dos movimientos rectilíneos distintos: uno horizontal y de velocidad constante, y otro vertical y uniformemente acelerado.

Movimiento circular uniforme. Como su nombre lo indica, es el movimiento que traza círculos perfectos en su recorrido, manteniendo invariable el módulo de su velocidad en el tiempo.

Movimiento circular uniformemente acelerado. Es el movimiento que traza círculos perfectos en su recorrido, pero con una velocidad que varía en módulo en el tiempo.

Movimiento armónico complejo. Se trata de la combinación de diversos movimientos armónicos simples, en direcciones distintas.

Ejemplo:

Un automóvil parte del reposo y se mueve con aceleración constante de 4 m/s^2 , y viaja durante 4 s. Durante los próximos 10 s se mueve con movimiento uniforme. Se aplican los frenos y el automóvil decelera a razón de 8 m/s^2 hasta que se detiene.

Calcular:

- El desplazamiento del móvil en cada intervalo y el desplazamiento total.
- Hacer un gráfico de la velocidad en función del tiempo.
- Mostrar que el área comprendida entre la curva y el eje del tiempo mide el desplazamiento total del automóvil.

Solución:

De $t=0$ a $t=4$.

$$a=4 \quad v=4t \quad x=12t^2$$

Para $t=4$ s, $v=16$ m/s, $x=32$ m

$$\text{De } 4 \text{ s a } 14 \text{ s } a=0 \quad v=16 \quad x=32+16(t-4)$$

$$a=0 \quad v=16 \quad x=32+16(t-4)$$

Para $t=14$ s, $v=16$ m/s, $x=192$ m

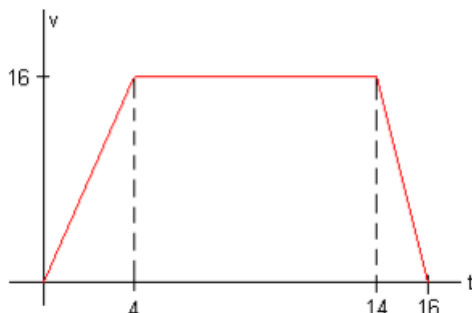
De 14s hasta que se para

$$a=-8 \quad v=16+(-8)(t-14) \quad x=192+16(t-14)+12(-8)(t-14)^2$$

$$x=192+16(t-14)+12(-8)(t-14)^2$$

Se detiene $v=0$, en el instante $t=16$ s, la posición del móvil es $x=208$ m

Gráfica:



$$\text{Área bajo la curva } v-t \quad 4 \cdot 16 + 10 \cdot 16 + 2 \cdot 16 = 20$$

3.3 Dinámica

Ley fundamental de la dinámica La segunda ley propuesta por Newton se conoce como principio fundamental de la dinámica. Esta ley enuncia que la aceleración que experimenta una partícula material sigue la dirección y el sentido de la fuerza que se aplica sobre ella, y que el cociente entre los módulos de estos dos vectores (fuerza y aceleración) es una constante característica de la partícula:

$$\frac{F}{a} = m$$

Esta constante m_I recibe el nombre de masa de inercia. En forma vectorial, la segunda ley de Newton se expresa como:

$$\vec{F} = m_I \cdot \vec{a}$$

3.4 Masa de inercia y masa gravitatoria

Los trabajos sobre mecánica de Newton se inspiraron en los experimentos previos de Galileo Galilei. Este científico italiano estudió la caída de los graves y dedujo que todos los cuerpos materiales, cuando se dejan caer libremente hacia la superficie terrestre, se mueven con la misma aceleración y velocidad.

La fuerza que impulsa a los cuerpos hacia la superficie de la Tierra se llama peso, y la aceleración que éste induce recibe el nombre de gravedad. Ambas magnitudes se relacionan por la siguiente expresión: Siendo m_G una constante de proporcionalidad que se conoce por masa gravitatoria. El Principio de Equivalencia de la física defiende que la masa inercial y la masa gravitatoria tienen un mismo valor numérico, por lo que ambas se conocen genéricamente por masa (símbolo m).

$$P = m_G \cdot g$$

Aceleración de la gravedad

Del principio de equivalencia de masas y de la ley de gravitación universal de Newton, puede determinarse el valor de la aceleración de la gravedad según la siguiente fórmula:

$$g = G \frac{M_{\oplus}}{R_{\oplus}^2}$$

donde $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2 \text{ kg}^{-2}$, constante de gravitación universal

$M_{\oplus} = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ masa de la Tierra.

$R_{\oplus} = 6,37 \cdot 10^6 \text{ m}$ radio de la Tierra.

De ello se obtiene que $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Ejemplo:

Si el módulo de la fuerza resultante que actúa sobre una masa de 4 kg tiene un valor de 60 N, determine el módulo de la aceleración con que se mueve la masa.



Solución:

Datos del problema

$$m = 4 \text{ kg}$$

$$Fr = 60 \text{ N}$$

$$\text{Sabemos que: } F_R = m \cdot a$$

Reemplazamos y tenemos que

$$60 = 4 \times a$$

$$a = \frac{60}{4}$$

$$a = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

3.5 Trabajo y energía

¿Qué significan el trabajo y la energía?

La energía es una palabra que suele utilizarse mucho en la vida cotidiana. Aunque a menudo se usa de manera ambigua, tiene un significado físico muy específico. La energía es una medida de la capacidad de algo para producir trabajo. No es una sustancia material, y puede almacenarse y medirse de muchas formas. Aunque solemos escuchar a las personas hablar del consumo de energía, esta nunca se destruye realmente: tan solo se transfiere

de una forma a otra, y realiza un trabajo en el proceso. Algunas formas de energía son menos útiles para nosotros que otras (por ejemplo, la energía calorífica de bajo nivel). Es mejor hablar del consumo o la extracción de recursos energéticos (como el carbón, el petróleo o el viento) que hablar del consumo de energía en sí mismo. Una bala que se mueve a gran velocidad tiene asociada una cantidad medible de energía, conocida como energía cinética. La bala adquiere esta energía por el trabajo que hizo sobre ella una carga de pólvora que a su vez perdió algún tipo de energía potencial química en el proceso. Una taza de café caliente tiene una cantidad medible de energía térmica, que adquirió por el trabajo que realizó sobre ella un horno de microondas, que a su vez tomó la energía de la red eléctrica.

En la práctica, siempre que se realice un trabajo para convertir energía de una forma a otra, hay alguna pérdida en otras formas de energía, como el calor o el sonido. Por ejemplo, un foco tradicional es capaz de convertir energía eléctrica en luz visible con tan solo un 3% de eficiencia, mientras que un ser humano es aproximadamente un 25% eficiente para convertir en trabajo la energía química que extrae de los alimentos que consume.

¿Cómo medimos la energía y el trabajo?

En la física, la unidad estándar para medir la energía y el trabajo realizado es el joule, que se denota por el símbolo J. En mecánica, 1 joule es la energía que se transfiere cuando se aplica una fuerza de 1 newton sobre un objeto y lo desplaza una distancia de 1 metro.

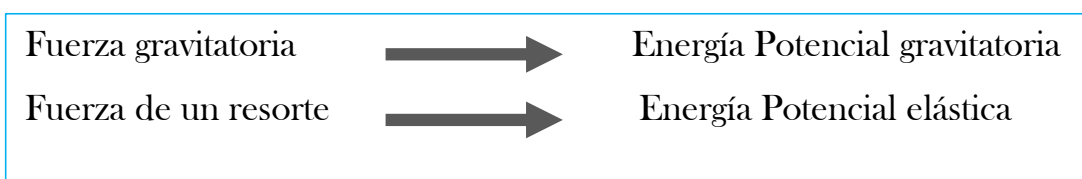
3.6 Energía potencial

Energía potencial y que se encuentra asociada ya no a la velocidad sino a la configuración o a la posición o coordenadas de posición de la partícula. La energía potencial está relacionada con un solo tipo de fuerzas, llamadas fuerzas conservativas. Se puede realizar una clasificación de las fuerzas según su disposición geométrica y las denominamos concurrente y coplanares.

Otra manera de clasificarlas es en cuanto a su naturaleza o propiedad para realizar trabajo. Esta nueva forma de clasificación divide a las fuerzas en dos grandes grupos:

1. Fuerzas conservativas.
2. Fuerzas no conservativas.

En la naturaleza existen muchas fuerzas denominadas conservativas, entre las más conocidas tenemos la fuerza de gravedad, la fuerza que ejerce un resorte que cumple con la Ley de Hooke, la fuerza eléctrica y otras y entre las no conservativas la fuerza de rozamiento. La denominación de fuerza conservativa lo comprenderemos más tarde cuando trabajemos con ellas. En nuestro curso de mecánica solo nos referiremos a las fuerzas gravitatorias y a las fuerzas de los resortes. Las fuerzas conservativas se caracterizan por que el trabajo que ellas realizan puede ser expresado como la diferencia de una cantidad a la que denominaremos energía potencial. Cada fuerza conservativa está relacionada con un tipo particular de energía potencial, así tenemos:



Las fuerzas conservativas se caracterizan por lo siguiente:

1. Si una fuerza se aplica sobre una partícula que se mueve entre las posiciones P y Q a lo largo de la trayectoria 1, la fuerza realiza un trabajo al que denominaremos $WPQ1$. Si la misma fuerza se aplica sobre la misma partícula que se mueve entre los mismos puntos P y Q, pero a lo largo de otra trayectoria 2, la fuerza realiza un trabajo al que se denominara $WPQ2$.

La fuerza se denomina conservativa si los trabajos $WPQ1$ y $WPQ2$ son iguales. En este caso se observa que el trabajo realizado por la fuerza conservativa es independiente de la trayectoria seguida y depende solamente de las posiciones P y Q o de las coordenadas inicial y final de los puntos P y Q. Una fuerza que realiza trabajo independientemente de la trayectoria seguida y dependiente solo de las

coordenadas inicial y final de los puntos entre los que se mueve se denomina fuerza conservativa

- Otra característica de las fuerzas conservativas es: $W_{PQ1} = -W_{QP2}$ $W_{PQ1} + W_{QP2} = 0$, por consiguiente, el trabajo total realizado por una fuerza conservativa alrededor de cualquier trayectoria cerrada siempre es cero. Es decir, cuando la partícula inicia su movimiento en un punto de la trayectoria y regresa al mismo punto. O cuando el punto inicial coincide con el punto final.

3.7 Conservación de la energía mecánica

Para definir la energía mecánica consideremos una partícula moviéndose por acción de solo fuerzas conservativas. Como conocemos solo dos fuerzas conservativas estas serían la fuerza de gravedad y la fuerza del resorte, por consiguiente, la fuerza neta actuando sobre la partícula es:

$$\mathbf{F}_n = \mathbf{F}_{mg} + \mathbf{F}_r$$

El trabajo neto realizado por estas fuerzas es:

$$\mathbf{W}_n = \mathbf{W}_{mg} + \mathbf{W}_r$$

Como sabemos cada una de estas fuerzas se representan como cambio de otras energías, así tenemos:

$$\mathbf{W}_n = \Delta E_K \quad \mathbf{W}_{mg} = -\Delta E_{pg} \quad \mathbf{W}_r = -\Delta E_{pe}$$

Si se reemplazan en la ecuación anterior

$$\Delta E_K = -\Delta E_{pg} - \Delta E_{pe} = -(\Delta E_{pg} + \Delta E_{pe})$$

El término entre paréntesis es la suma de los cambios de las energías potenciales, la que puede escribirse en general como cambios en la energía potencial.

$$\Delta E_K = -\Delta E_P \quad \Delta E_K = -\Delta E_P \quad \Delta E_K + \Delta E_P = 0$$

Esta ecuación se lee que la suma de los cambios en la energía cinética más los cambios en la energía potencial son siempre nulos. Debemos tener en cuenta que este resultado se obtiene si sobre la partícula actúan solo fuerzas conservativas. Si desarrollamos los términos de esta ecuación, teniendo en cuenta que los cambios en la energía se entienden como la diferencia entre la energía final menos la inicial se tendrá:

$$(E_{Kf} - E_{Ki}) + (E_{Pf} - E_{Pi}) = 0 \quad E_{Kf} + E_{Pf} = E_{Ki} + E_{Pi} \quad (5)$$

A ambos lados de la ecuación se tiene la suma de la energía cinética más la energía potencial, suma a la que denominaremos energía mecánica:

$$E_M = E_K + E_P$$

En la ecuación (5) el término de la izquierda representa la energía mecánica final y el de la derecha la energía mecánica inicial, y deben ser iguales.

$$E_{Mf} = E_{Mi}$$

$$E_{Mf} - E_{Mi} = 0$$

$$\Delta E_M = 0$$

Ecuación que podemos interpretar como: Cuando sobre una partícula actúan solo fuerzas conservativas la energía mecánica total se conserva, o que la energía mecánica total antes y después de actuar la fuerza conservativa es la misma.

3.8 Trabajo y energía en sistemas no conservativos

Normalmente en todo sistema físico están presentes las fuerzas no conservativas, como por ejemplo la fuerza de fricción, por consiguiente, en estos casos la energía mecánica del sistema no se conserva. Si consideramos un sistema en el que están presentes fuerzas conservativas y fuerzas no conservativas todas ellas realizan trabajo sobre el sistema. Si W_c representa el trabajo realizado por todas las fuerzas conservativas sobre una partícula y W_{nc} el trabajo realizado por la fuerza no conservativa, el trabajo total o trabajo neto realizado sobre la partícula será: $W_n = W_c + W_{nc}$ (1) Conocemos por el teorema del

trabajo – energía, el trabajo neto es igual al cambio en la energía cinética de la partícula:

$$W_n = \Delta E_K$$

Podemos decir que el trabajo realizado por las fuerzas conservativas puede escribirse como menos el cambio en la energía potencial: $W_c = - \Delta E_P$ Reemplazado ambos términos en la ecuación (1) y despejando el trabajo realizado por las fuerzas no conservativas W_{nc} , tendremos: $W_{nc} = \Delta E_K + \Delta E_P$ (2) Es decir el trabajo realizado por las fuerzas no conservativas es igual al cambio en la energía cinética más el cambio en la energía potencial. Desarrollando los términos de la ecuación (2) tendremos:

$$W_{nc} = (E_{Kf} - E_{Ki}) + (E_{Pf} - E_{Pi})$$

$$W_{nc} = (E_{Kf} + E_{Pf}) - (E_{Ki} + E_{Pi})$$

$$W_{nc} = E_{Mf} - E_{Mi}$$

$$W_{nc} = \Delta E_M$$

Esta ecuación muestra que el trabajo realizado por las fuerzas no conservativas es igual al cambio en la energía mecánica del sistema

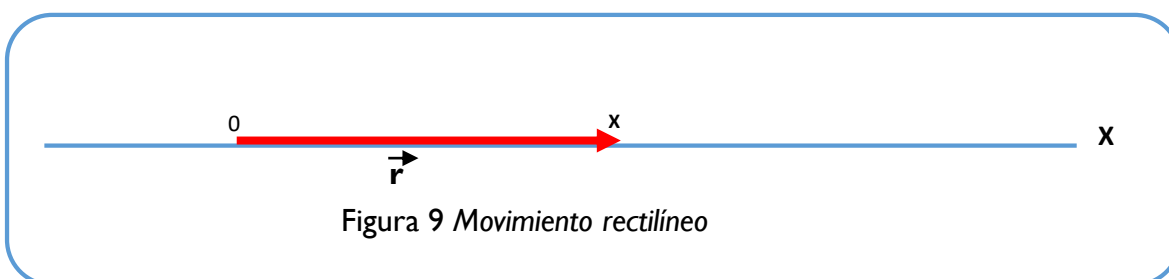
3.9 Movimiento rectilíneo o unidimensional

El movimiento rectilíneo o movimiento unidimensional por ser el más sencillo que puede realizar una partícula, para definir los términos antes mencionados. Un punto muy importante a considerar en el estudio de la cinemática, es que todo movimiento es relativo. Esto quiere decir que, para hacer un análisis del movimiento, primero es necesario definir un sistema de coordenadas en el cual se encuentre el observador, dado que en diferentes sistemas de coordenadas el movimiento analizado puede tener diferente interpretación.

Un objeto que está en reposo para un observador puede estarlo en movimiento para otro observador. Tomemos el ejemplo de un observador A sentado dentro de un tren que se mueve uniformemente respecto de la estación en la que se encuentra parado otro observador B. Para el observador A un libro que está sobre una mesa dentro del tren

está en reposo; pero para el observador B, que está fuera del tren, el mismo libro está en movimiento junto con el tren. Esta diferencia en la observación del movimiento del libro que realiza cada observador se denomina relativo, porque depende del lugar en el cual se encuentre cada observador.

El movimiento rectilíneo o unidimensional es el que realiza una partícula o un móvil a lo largo de una línea recta, en cualquiera de los dos sentidos. La línea recta a la que hacemos referencia es cualquiera y puede ser horizontal, vertical o inclinada. Para poder definir los términos antes señalados, consideraremos que dicho movimiento es a lo largo del eje X, es decir un eje horizontal:



El vector de posición es un vector que va del origen del SCC al punto donde se encuentra la partícula; en nuestro caso de movimiento rectilíneo en el eje X la figura muestra el vector de posición \vec{r}

3.10 Movimiento oscilatorio

El movimiento oscilatorio es un movimiento en torno a un punto de equilibrio estable. Este puede ser simple o completo. Los puntos de equilibrio mecánico son, en general, aquellos en los cuales la fuerza neta que actúa sobre la partícula es cero. Si el equilibrio es estable, un desplazamiento de la partícula con respecto a la posición de equilibrio (elongación) da lugar a la aparición de una fuerza restauradora que devolverá la partícula hacia el punto de equilibrio. En términos de la energía potencial, los puntos de equilibrio estable se corresponden con los mínimos de la misma.

Un movimiento oscilatorio se produce cuando al trasladar un sistema de su posición de equilibrio, una fuerza restauradora lo obliga a desplazarse a puntos simétricos con respecto a esta posición. Se dice que este tipo de movimiento es periódico porque la posición y la velocidad de las partículas en movimiento se repiten en función del tiempo.

Ejemplos:

Una partícula que se mueve de acuerdo a un movimiento armónico simple tarda 1 s en llegar de un extremo a otro de su trayectoria a otro. Sabiendo que la distancia que separa ambas posiciones es de 16 cm, y que el movimiento se inicia en un extremo de la trayectoria.

Calcular:

1. El periodo del movimiento
2. La posición de la partícula a los 1.5 segundos
3. La amplitud máxima de las oscilaciones

Solución

Datos:

Distancia entre extremos de la trayectoria: $16 \text{ cm} = 16 \cdot 10^{-2} \text{ m}$

Tiempo entre extremos de la trayectoria: 1 s

1. La partícula tarda 1 segundo en ir de un extremo a otro de la trayectoria, es decir, en hacer media oscilación.

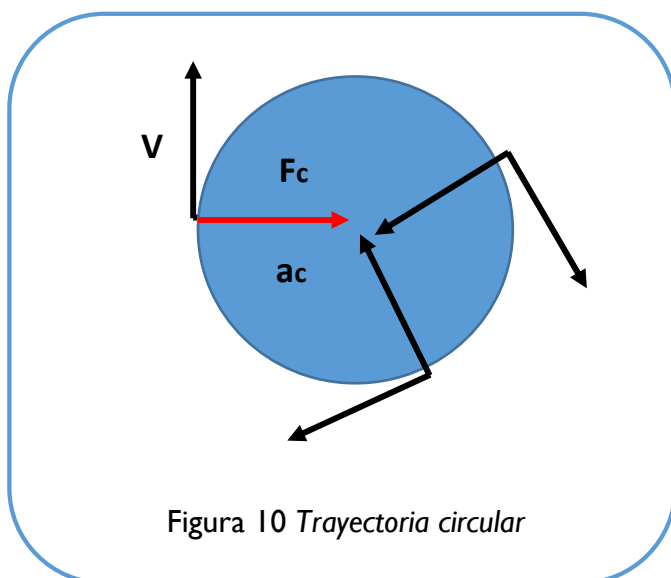
La oscilación completa se cumple cuando la partícula vuelve al punto de inicio: $T = 2 \cdot 1 = 2 \text{ s}$

2. Dado que la partícula tarda 2 segundos en completar una oscilación, a los 1.5 segundos se habrán completado los $\frac{3}{4}$ de la misma y se encontrará en el punto de equilibrio, de vuelta hacia el punto inicial. 3. La distancia entre los extremos de un m.a.s. es el doble de la amplitud. Por tanto: $A = \frac{\text{dextremos}}{2} = \frac{16 \cdot 10^{-2}}{2} = 8 \cdot 10^{-2} \text{ m}$.

3.11 Dinámica de una partícula en el movimiento circular uniforme

Si una partícula se mueve en una trayectoria circular de radio r con rapidez constante, sobre la partícula se ejerce una aceleración perpendicular a la velocidad a la que se denominó aceleración centrípeta y cuya expresión está dada por:

$$a_c = \frac{v^2}{r}$$



La figura 10, muestra que en todo momento la a_c siempre está dirigida hacia el centro de la trayectoria circular. Si la partícula tiene masa m , de acuerdo a la segunda Ley de Newton sobre ella se debe ejercer una fuerza neta a la que se le denomina fuerza centrípeta cuya expresión es:

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

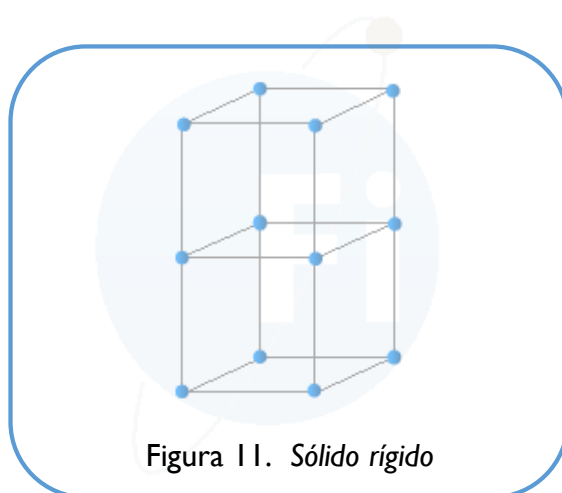
La cual es un vector paralelo a la aceleración como se muestra en la figura y que en todo momento es perpendicular a la velocidad y siempre está dirigida al centro de la trayectoria. Debemos recordar que estamos analizando el movimiento de una partícula que realiza movimiento circular uniforme (MCU).

3.12 El modelo sólido rígido

Hasta ahora hemos considerado que los cuerpos se encuentran en *un sólo punto* del espacio, y tienen una masa determinada. Es lo que denominamos **masa puntual**, punto material o partícula puntual. No hemos tenido en cuenta las dimensiones del cuerpo en movimiento. La realidad es que los cuerpos se componen de millones de partículas. Por ello podemos considerar un cuerpo real como una suma de puntos materiales. El caso más simple de sistema formado por varios puntos materiales es el del **sólido rígido**.

Un sólido rígido es cualquier cuerpo formado por varios puntos materiales cuyas distancias mutuas permanecen constantes, incluso bajo la acción de fuerzas exteriores.

El sólido rígido es un caso ideal, es decir, se trata de un modelo, una abstracción de la realidad que resulta útil para estudiar ciertos tipos de cuerpos.



En el modelo del sólido rígido, La materia se organiza formando estructuras en las que la masa se concentra en ciertos puntos del espacio (átomos, moléculas e iones), unidos por enlaces eléctricos lo que hace que existan las **fuerzas interiores de cohesión** de las partículas que son las que forman el sólido, estas se suponen tan fuertes *que* los cuerpos son indeformables.

Estas fuerzas de cohesión se anulan dos a dos por la tercera ley de la dinámica y por ello no es necesario tenerlas en cuenta a la hora de resolver la mayoría de nuestros

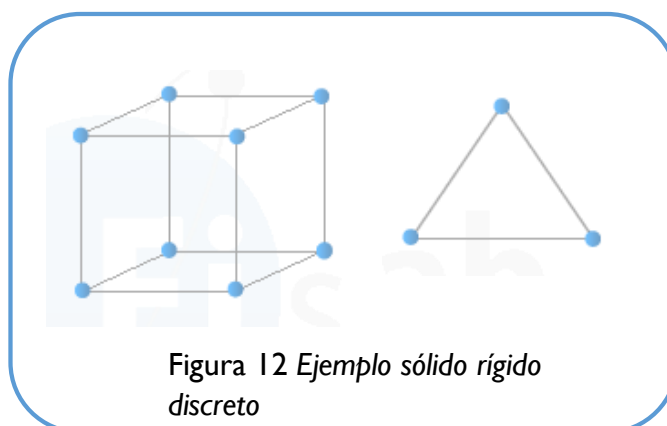
problemas, sin embargo, es importante que recuerdes que, gracias a ellas, la forma del sólido se mantiene constante incluso bajo la acción de fuerzas externas altas. Estas fuerzas pueden hacer que el sólido se mueva (se traslade o rote), pero, idealmente, **nunca se deformará**.

Si, como hemos visto, el sólido rígido es un modelo para estudiar los cuerpos reales, ¿cuándo podemos usarlo?

- En la realidad todos los cuerpos se deforman cuando se aplican fuerzas sobre ellos. Sin embargo, podemos emplear el modelo cuando las deformaciones que se producen son despreciables frente a las dimensiones del sistema.
- Además, podemos emplear el modelo cuando las dimensiones del cuerpo que se mueve no son despreciables frente a las de la trayectoria descrita. En caso contrario, podríamos estudiar el cuerpo como una masa puntual

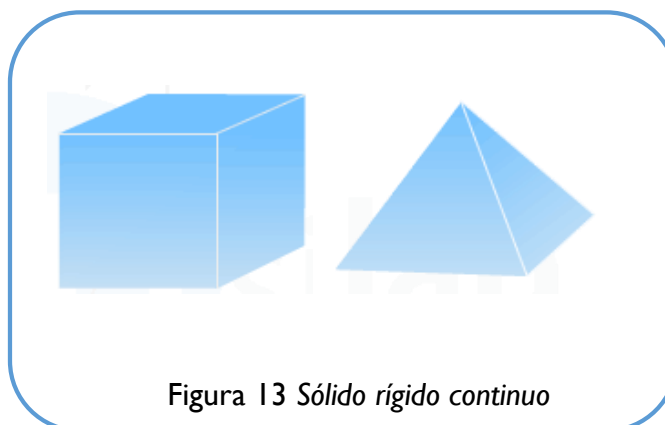
Existen dos grandes categorías de sólido rígido:

- I. Sólido rígido discreto: Se compone de un número determinado de partículas distinguibles. Dichas partículas se encuentran en posiciones no contiguas.



La masa de las uniones es inexistente o despreciable y se representa únicamente para indicar que las distancias mutuas entre partículas permanecen constantes.

2. Sólido rígido continuo: Se compone de un número infinito de partículas no distinguibles. Dichas partículas se encuentran en posiciones infinitamente próximas entre sí.



Movimientos

Cuando aplicamos una fuerza sobre el sólido rígido, este se mueve, conservando su forma. Cualquier movimiento del sólido rígido se puede descomponer en dos clases: traslación y rotación.

- Traslación: Se produce cuando todas las partículas del cuerpo describen *trayectorias paralelas*. Cuando aplicas una fuerza en el centro de masas de un cuerpo, se produce un movimiento de traslación pura.
- Rotación: Existe un *eje de rotación*, real o imaginario, en torno al cual las partículas describen circunferencias. Los efectos de una fuerza sobre la rotación de un cuerpo están asociados a los momentos que genera dicha fuerza en el cuerpo

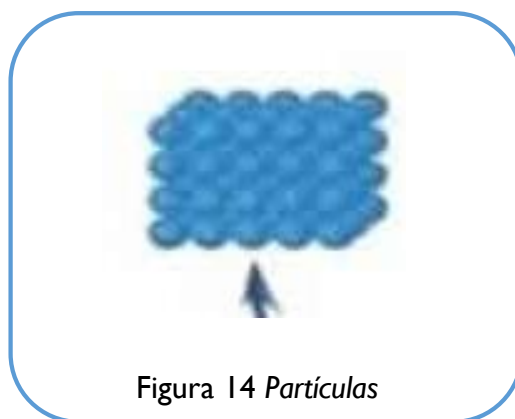
En la naturaleza abundan ejemplos de ambos tipos de movimiento que, en la mayoría de los casos, se producen de manera combinada. En tal caso decimos que pueden ser:

- Independientes. No hay relación entre la rotación y la traslación del cuerpo. Por ejemplo: la Tierra en su recorrido alrededor del Sol.

- Acoplados: La velocidad de traslación y rotación se encuentran relacionadas. Por ejemplo: un cilindro rodando en un plano inclinado.

3.13 Sistema de partículas

Definición de sistema de partículas En mecánica consideramos un sistema de partículas como un conjunto de N partículas que se mueven por separado, si bien interactúan entre sí y están sometidos a fuerzas externas.



El número de partículas que forman un sistema puede ser muy variado e ir desde 2 (por ejemplo, al estudiar un átomo de hidrógeno), hasta cantidades gigantescas (por ejemplo, en 1 l de agua hay del orden de 10^{24} partículas). Cuando el número de partículas es reducido se puede abordar el problema dinámico analizando cada una por separado. Cuando es elevado, es preciso recurrir a promedios y descripciones colectivas (como la mecánica estadística, la elasticidad o la mecánica de fluidos).

Los sistemas se clasifican en abiertos o cerrados:

- Un sistema cerrado es aquél en el que no entra ni salen partículas del sistema. Por tanto, su masa permanece constante.

- Un sistema abierto es aquel que permite el paso de partículas (y por tanto masa) a través de los límites del sistema.

Aquí consideraremos solo sistemas cerrados.

Entre las fuerzas **internas** en un sistema estarían, por ejemplo, las fuerzas eléctricas de atracción entre las cargas de un sistema de protones y electrones, o la atracción gravitatoria entre las estrellas de una galaxia.

Entre las fuerzas **externas** figura, por ejemplo, el peso de un sistema de partículas, originado por la atracción de un cuerpo externo como la Tierra. Cada una de las partículas del sistema posee una masa propia, m_i , siendo $i=1, \dots, N$ un índice que sirve para etiquetar individualmente cada una de las partículas. La partícula i está caracterizada por una posición \vec{r}_i y una velocidad \vec{v}_i . Esta posición y esta velocidad evolucionan de acuerdo con las leyes de la dinámica.

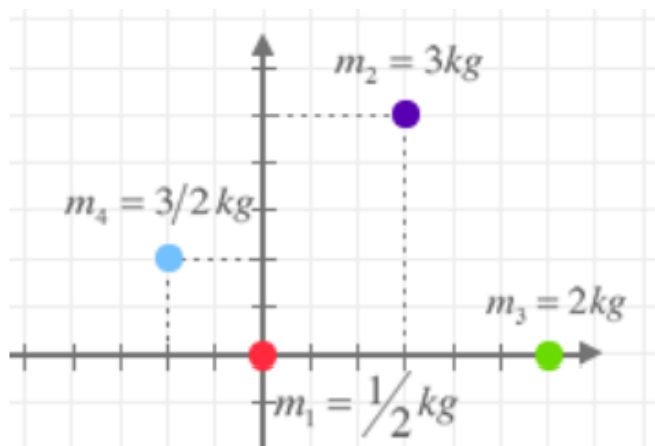
3.14 Dinámica del sólido rígido

Un sólido rígido es un sistema de partículas en el cual las distancias relativas entre ellas permanecen constantes. Cuando las distancias entre las partículas que constituyen un sólido varían, dicho sólido se denomina deformable. En lo que sigue nos ocuparemos únicamente del estudio del movimiento de un sólido rígido.

En general, el movimiento de un sólido rígido puede ser muy complejo; sin embargo, vamos a ver que, haciendo las descomposiciones oportunas, puede ser analizado por partes, lo que nos permitirá simplificar el problema.

Ejemplo:

Encuentra el centro de masas de las partículas que aparecen en la figura. Se supone que el sistema es rígido y el sistema de referencia se encuentra expresado en metros.



Datos:

- $m_1 = 1/2 \text{ kg}$
- $m_2 = 3 \text{ kg}$
- $m_3 = 2 \text{ kg}$
- $m_4 = 3/2 \text{ kg}$
- $r \rightarrow 1 = 0 \text{ m}$
- $r \rightarrow 2 = 3 \cdot i \rightarrow + 5 \cdot j \rightarrow \text{ m}$
- $r \rightarrow 3 = 6 \cdot i \rightarrow$
- $r \rightarrow 4 = -2 \cdot i \rightarrow + 2 \cdot j \rightarrow \text{ m}$

Consideraciones previas:

- Se nos indica que las distancias entre las partículas son rígidas. Es por tanto un sólido rígido y tiene sentido que nos preguntemos por el centro de masas.
- Todas las partículas se encuentran en un plano, por lo que podemos despreciar la coordenada z ($z = 0$ en todas).

Solución

La posición del centro de masas viene dada por:

$$r \rightarrow \text{CM} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot r \rightarrow i}{m_{\text{total}}} = \frac{m_1 \cdot r \rightarrow 1 + m_2 \cdot r \rightarrow 2 + \dots + m_n \cdot r \rightarrow n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$

Por tanto, aplicando a nuestras 4 partículas, separando las coordenadas x e y y nos queda:

$$x_{CM} = m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2 + m_3 \cdot x_3 + m_4 \cdot x_4$$

$$m_1 + m_2 + m_3 + m_4 = 12 \cdot 0 + 3 \cdot 3 + 2 \cdot 6 + 32 \cdot (-2) = 12 + 9 + 12 - 64 = -11$$

$$m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2 + m_3 \cdot x_3 + m_4 \cdot x_4 = 12 \cdot 0 + 3 \cdot 9 + 2 \cdot 12 + 32 \cdot (-4) = 0 + 27 + 24 - 128 = -77$$

Es decir, el vector de posición del centro de masas es:

$$\vec{r}_{CM} = 187 \cdot \vec{i} + 187 \cdot \vec{j} \Rightarrow \vec{r}_{CM} = (187, 187) \text{ m}$$

3.15 Estática del sólido rígido

La Estática es la parte de la Mecánica que estudia el equilibrio de los cuerpos sometidos a la acción de fuerzas. Además de tener interés para la técnica, son numerosas las aplicaciones de la Estática a problemas de interés geofísico, por ejemplo, el equilibrio y estabilidad en la corteza terrestre tanto a gran escala (isostasia) como a pequeña escala (equilibrio y estabilidad de taludes y pendientes, deslizamientos, avalanchas, etc.) y de las capas fluidas de la Tierra (Océanos, Atmósfera).

Para la Biología, aparte de sus implicancias respecto de la estructura y organización de los seres vivos, interesan las aplicaciones a la dinámica de la biosfera, y por ende a la ecología. Se estudiará la estática del punto y del cuerpo rígido.

Estática del punto

En ausencia de movimiento la aceleración de un punto material es nula y la Segunda Ley de Newton establece entonces que la condición necesaria y suficiente para el equilibrio de un punto material es: $F = 0$ siendo F la resultante de las fuerzas que actúan sobre el punto. La aplicación de la condición se complica a veces porque no se conocen de antemano todas las fuerzas que están actuando. Este es el caso cuando existen vínculos, es decir condiciones materiales que limitan el movimiento. Los vínculos ejercen reacciones, que obligan al móvil a respetar las condiciones que imponen. Consideremos por ejemplo un objeto apoyado sobre un plano inclinado. En este caso el vínculo es la

condición de que el cuerpo no puede penetrar el plano. Siendo así el plano debe ejercer una reacción que compense exactamente a la componente normal del peso.

Equilibrio del sólido rígido

El sólido rígido se encuentra en equilibrio bajo la acción de un sistema de fuerzas si su estado de movimiento es el que correspondería a un sólido rígido libre de acción exterior; pero ¿qué tipo de movimiento presenta el sólido rígido libre? Sabemos que el movimiento más general de un sólido rígido es el rototraslatorio; esto es, compuesto de una rotación y una traslación. Sabemos, además, que el centro de masa del sólido rígido (al igual que el de cualquier sistema material) se mueve como si la resultante de todas las fuerzas que actúan sobre el sólido rígido estuviesen aplicadas en él. En ausencia de fuerzas, el centro de masa del sólido rígido se mueve con velocidad constante (movimiento rectilíneo y uniforme). Así pues, el sólido rígido se encuentra en equilibrio de traslación en un referencial cuando la aceleración de su centro de masa es nula en ese referencial.

Fuerzas aplicadas a un sólido rígido

Con anterioridad hemos definido el sólido rígido como aquel sistema de partículas en el que la distancia entre dos cualesquiera de ellas permanece invariable en el transcurso de cualquier proceso físico. Esta definición es sólo conceptual, por cuanto que el sólido rígido, en todo rigor, no existe, ya que todos los cuerpos reales se deforman siempre, en mayor o menor grado, bajo la acción de las fuerzas. Sin embargo, si esas fuerzas son suficientemente poco intensas, las deformaciones que producen al actuar sobre un gran número de cuerpos reales son despreciables; dichos cuerpos serán considerados como rígidos o indeformables.

UNIDAD IV TERMODINÁMICA

4.1 Historia de la termodinámica

La termodinámica es la ciencia de la energía; la palabra termodinámica viene de las palabras griegas *therme* que significa calor y *dymanis* que significa fuerza. Para el caso podemos considerar que la energía es la capacidad de realizar cambios. El estudio de la termodinámica se desarrolla a nivel macroscópico donde no se necesita establecer la naturaleza de la materia y el sistema puede ser descrito con un número reducido de variables extensivas como la entropía, la composición, el volumen, etc.; o variables no extensivas como la temperatura, presión, etc. El estudio a nivel microscópico se realiza a través de la termodinámica estadística; para ello, se requiere información molecular y la inclusión de una gran cantidad de partículas y magnitudes.

El primer principio termodinámico en establecerse fue **obra de Nicolás Léonard Sadi Carnot en 1824**, que luego se denominó Segunda Ley de la Termodinámica.

En 1860 este principio fue expresado por Rudolf Clausius y William Thompson, junto al que luego se convirtió en la Primera Ley de Termodinámica.

La tercera, más moderna, fue propuesta por Guggenheim y Fowler y se la denominó la “Ley Cero” en 1930, aunque no en todos los ámbitos es reconocida como tal.

4.2 Termodinámica y sus principios

La termodinámica es **una rama de la física** dedicada a la descripción de los estados de equilibrio de los sistemas físicos a nivel macroscópico, es decir, aquellos cuyas características son determinables por elementos internos y no por fuerzas externas que actúan sobre ellos. Por esta razón, considera que la energía solo puede intercambiarse de un sistema a otro en forma de calor o de trabajo.

Un sistema termodinámico es una región del espacio definida. El estado del sistema estará □ caracterizado por variables como la temperatura, presión, volumen, composición, etc. El entorno es la parte exterior al sistema y el universo comprende tanto al sistema como al entorno. Los sistemas termodinámicos se clasifican según el grado de aislamiento con su entorno en: **abiertos**, mantienen un flujo de energía y materia con su entorno; **cerrados**, no intercambian materia con su entorno; y **aislados**, no intercambian ni energía ni materia con su entorno.

El sistema es **homogéneo** si sus propiedades intensivas se mantienen constantes en todas las direcciones y es **heterogéneo** si está constituido por porciones homogéneas separadas por interfaces. Un sistema pasa por un proceso o transformación termodinámica, si alguna de las variables macroscópicas (temperatura, volumen, etc.) que establece su estado de equilibrio experimenta una modificación. Los procesos pueden ser espontáneos o irreversibles, artificiales y reversibles. La termodinámica se sustenta en sus leyes o principios que definen la forma en que la energía puede ser intercambiada entre sistemas en forma de calor o trabajo.

¿Qué son las leyes de la termodinámica?

Se conoce como leyes de la termodinámica o principios de la termodinámica a un conjunto de formulaciones que caracterizan a los sistemas termodinámicos a partir de sus cantidades físicas fundamentales: temperatura, energía y entropía.

Se denominan sistemas termodinámicos a una parte del universo que se aísla teóricamente para poder estudiarla.

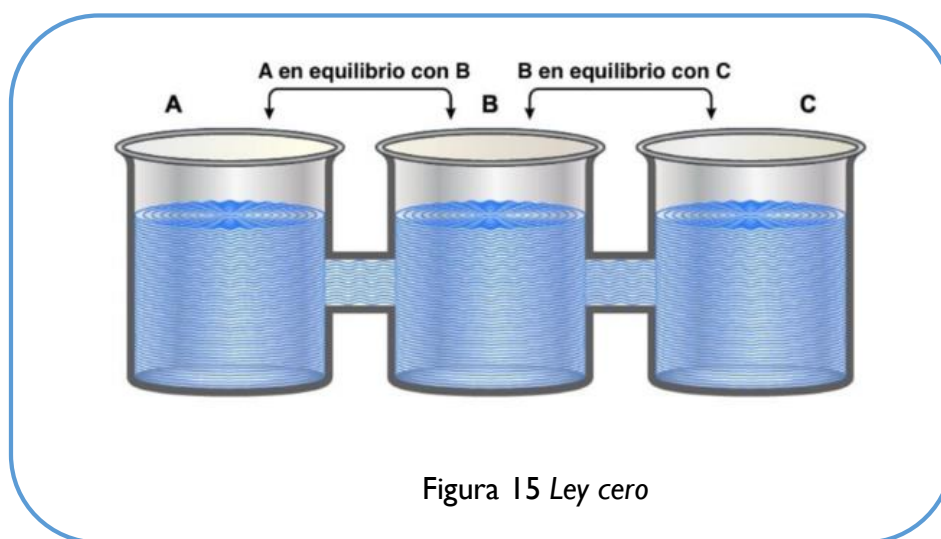
Existen cuatro leyes de la termodinámica, enumeradas del cero al tres. En ellas se describe cómo operan dichos sistemas ante diversas circunstancias y contextos, y prohíben la existencia de algunos fenómenos, como el movimiento perpetuo.

Se trata de las formulaciones más elementales de esta rama de la física.

4.3 Ley cero de la termodinámica

La “ley cero” es llamada así porque a pesar de haber sido **la última en postularse**, establece preceptos fundamentales para las otras tres.

Establece que, si un cuerpo A se encuentra en equilibrio térmico con un cuerpo B, y este se encuentran en equilibrio térmico con un cuerpo C, A y C también están en equilibrio; es decir, los tres cuerpos, A, B y C, se encuentran en equilibrio térmico entre sí. Por tanto, el equilibrio térmico es transitivo.



Esto puede expresarse lógicamente:

$$A = B \text{ y } B = C$$

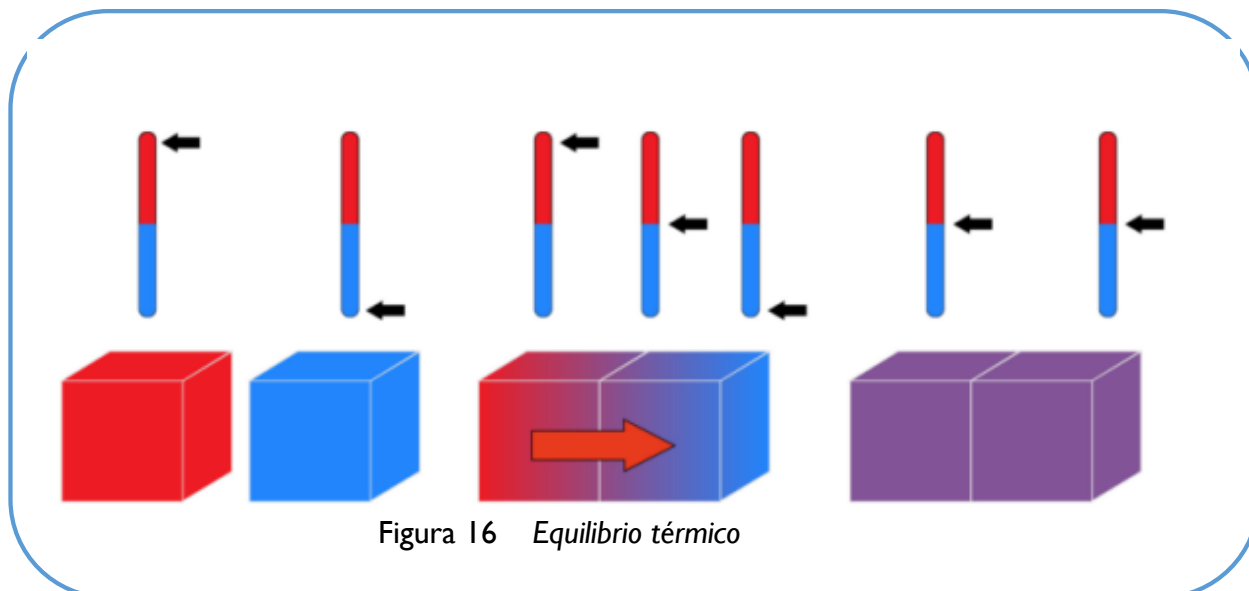
entonces **A = C**.

4.4 Equilibrio térmico

¿Qué es el equilibrio térmico?

En física, se llama equilibrio térmico al estado en que dos cuerpos en contacto, o separados por una superficie conductora, igualan sus temperaturas inicialmente dispares, debido a la transferencia de calor de uno hacia el otro. Si tenemos dos objetos en

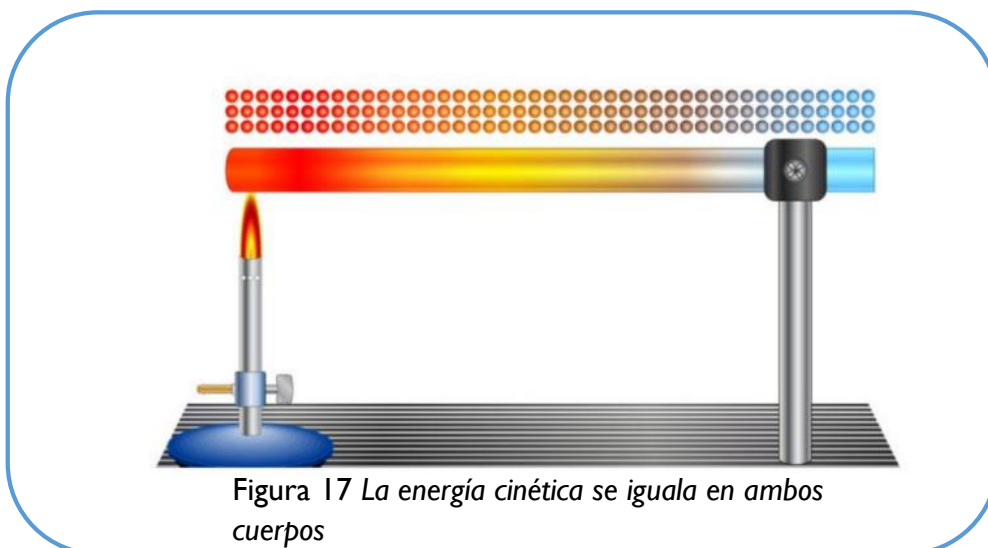
contacto, uno más caliente que otro, a medida que el tiempo transcurra ambos tenderán a alcanzar la misma temperatura y, si no hay transferencia de calor hacia otros objetos, en adelante mantendrán un equilibrio térmico, o sea, una temperatura constante.



Luego de determinado tiempo, dos objetos en contacto alcanzaran la misma temperatura.

¿En qué consiste el equilibrio térmico?

Este fenómeno puede explicarse microscópicamente, comprendiendo que la temperatura de los objetos está directamente relacionada con la energía cinética promedio de sus partículas, sean átomos, moléculas, o los que convenga considerar. Este promedio es lo que comúnmente se llama en física «energía interna», por lo que a mayor energía cinética mayor energía interna y mayor temperatura del sistema. Dos cuerpos en contacto intercambian energía a medida que el tiempo transcurre. Y así, el punto de equilibrio térmico se alcanza cuando la energía cinética de ambos cuerpos se iguala, de manera que ambos cuerpos pasan a operar como un sistema termodinámico único, dotado de una misma cantidad de energía interna y, por ende, de temperatura.



4.5 Fórmula del equilibrio térmico

La expresión del equilibrio térmico involucra el cálculo de la diferencia de temperaturas entre los dos cuerpos, por lo que debe determinarse la cantidad de calor (Q) que intercambian. Esto se determina empleando la fórmula:

$$Q = m \cdot C_e \cdot \Delta t,$$

En donde m será la masa del cuerpo, C_e su calor específico expresado en cal / gr °C, y Δt la variación de temperatura, o sea: $\Delta t = t_f - t_i$, tiempo final menos tiempo inicial.

Una vez calculado el calor Q para cada cuerpo, podremos compararlos a sabiendas de que el equilibrio térmico se da en la igualdad de las temperaturas entre el cuerpo uno y el cuerpo dos.

Para llegar al equilibrio térmico, el calor que el cuerpo más frío gana es el que el cuerpo más caliente pierde, así que $Q_1 = Q_2$, o sea, calor ganado = calor perdido.

4.6 Primera ley de la termodinámica

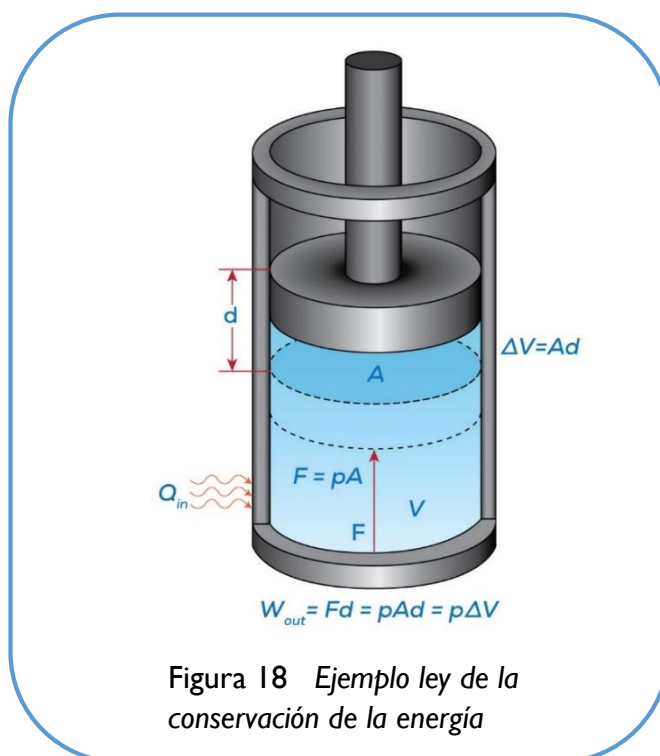
También conocida como la **“Ley de la Conservación de la Energía”**, establece que en cualquier sistema físico aislado, la cantidad total de energía será la misma a lo largo del tiempo, aunque pueda transformarse en otras formas de energía.

Dicho de otro modo: **“en un sistema aislado, la energía no puede crearse ni destruirse, solo transformarse”**.

Otra manera de enunciar esta ley es mediante la relación entre el calor (Q) que recibe o cede un sistema termodinámico, el trabajo hecho o recibido por él y su energía interna. Al suministrar una cantidad determinada de calor a un sistema, su energía interna (ΔU) será igual a la diferencia entre esa cantidad de calor y el trabajo (W) que hace el sistema sobre sus alrededores. Es decir:

$$Q = \Delta U + W, \text{ o lo que es lo mismo: } \Delta U = Q - W.$$

Esta formulación establece que la diferencia entre la energía del sistema y el trabajo efectuado será desprendida del sistema como calor.



Ejemplo de la primera Ley de termodinámica

Imaginemos **el motor de un automóvil**. La gasolina es un sistema termodinámico que reacciona con el oxígeno generando una chispa que produce una combustión. Esta reacción mueve un pistón que es el responsable del movimiento de las ruedas del automóvil (trabajo). Además, todo el proceso genera calor que sale por el caño de escape.

Si pudiéramos medir la cantidad de combustible consumido, la cantidad de trabajo desempeñado y la cantidad de calor liberado, llegaríamos a la conclusión de que **la energía en el motor se ha mantenido constante en el tiempo** (no se creó ni destruyó energía).

4.7 Segunda ley de la termodinámica

La segunda ley de la termodinámica nos dice que es imposible que en un proceso cíclico el único resultado sea la absorción de calor de un reservorio y su total conversión en trabajo entregado al exterior del sistema. Es decir, es imposible transformar todo el calor en trabajo. Esta ley postula la irreversibilidad de los fenómenos físicos, e introduce la función de estado de entropía (S).

La cantidad de entropía en el universo tiende a incrementarse en el tiempo, esto es, que el desorden de todos los sistemas incrementa hasta que hayan alcanzado el equilibrio.

Dicho de otro modo: dado el tiempo suficiente, todos los sistemas tienden al equilibrio, que es el estado de máximo desorden, máxima entropía.

Así como la primera ley relaciona las distintas energías que intervienen en un proceso, la segunda ley impone restricciones a su dirección y un límite superior a la eficiencia de una máquina térmica. Esto quiere decir que ninguna máquina que convierte calor en trabajo puede hacerlo con 100% de eficiencia. Así, la segunda ley es importantísima para muchas aplicaciones de la vida cotidiana y para la industria.

Este principio también se formula clásicamente como que el cambio en la entropía (dS) será siempre igual o mayor a la transferencia de calor (Q), dividido por la temperatura (T) de la fuente que proporciona o absorbe ese calor:

$$dS \geq \delta Q / T$$

Ejemplo de la segunda ley de termodinámica

Ya que esta ley **determina la irreversibilidad de los fenómenos físicos**, es posible comprobarla fácilmente. Si ponemos dos cuerpos con distintas temperaturas en contacto, luego de cierto tiempo la entropía aumentará y sus temperaturas serán iguales. Si separamos los cuerpos, ambos mantendrán esas temperaturas de equilibrio y no volverán naturalmente a las originales. El proceso es irreversible.

4.8 Maquinas térmicas

Las máquinas térmicas son sistemas que transforman calor en trabajo (figura 19). En ellas, se refleja claramente las restricciones señaladas anteriormente. Existen muchos ejemplos de aparatos que son, en realidad, máquinas térmicas: la máquina de vapor, el motor de un coche, e incluso un refrigerador, que es una máquina térmica funcionando en sentido inverso.

Una máquina térmica transforma energía térmica en trabajo realizando un ciclo de manera continuada. En ellas no hay variación de energía interna, $\Delta U=0$.

Esquema de una maquina térmica.

Las máquinas térmicas se componen de manera general por un elemento de alta temperatura llamado fuente y otro de baja temperatura llamado sumidero, de tal forma que el calor fluye desde la fuente al sumidero transformándose parcialmente en trabajo.

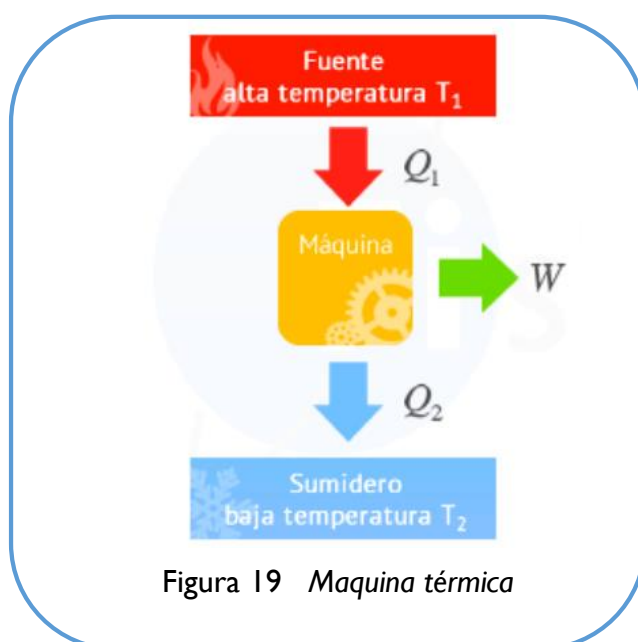


Figura 19 *Maquina térmica*

Dado que $T_1 > T_2$, el calor fluye de manera espontánea desde la fuente al sumidero. La máquina transforma parte de este calor en trabajo, y el resto fluye al sumidero. No existe variación en la energía interna de la máquina resultando:

$$\Delta U = 0 \Rightarrow |Q_1| = |W| + |Q_2|$$

Donde hemos utilizado el valor absoluto para ser consistente con cualquiera de los criterios de signos habituales. Observa que, en condiciones óptimas:

$$|W| = |Q_1| - |Q_2| \Rightarrow |W|$$

Es decir, no todo el calor que absorbe la máquina se transforma en trabajo. Puede que te estés preguntando si sería posible otro modelo de máquina, sin sumidero de calor, que sí permita transformar todo el calor en trabajo. La respuesta es que una máquina así es imposible de construir en la práctica ya que se necesita de una diferencia de temperatura entre la fuente de calor y el sumidero para que este fluya a través de la máquina.

Funcionamiento

El proceso cíclico de una máquina térmica sigue los siguientes pasos:

1. La fuente de calor, por ejemplo una caldera, a una temperatura T_1 , inicia una transferencia del mismo Q_1 a la máquina. Esta transferencia es posible por la diferencia de temperatura con el sumidero, a una temperatura T_2
2. La máquina emplea parte de ese calor en realizar el trabajo W . Por ejemplo, el movimiento de un pistón
3. El resto de calor Q_2 se transfiere a un sumidero de calor, por ejemplo un circuito de refrigeración, a una temperatura $T_2 < T_1$. El proceso anterior se repite de manera continuada mientras la máquina se encuentra en funcionamiento. Eficiencia térmica Las máquinas térmicas aprovechan una parte del calor que reciben y lo transforman en trabajo, dejando el resto que pase al sumidero. Dadas dos máquinas cualesquiera, nos será útil saber cual de ellas es capaz de convertir en trabajo una mayor cantidad del calor que recibe

El rendimiento o eficiencia térmica es la relación entre el trabajo realizado y el calor suministrado a la máquina en cada ciclo. Su expresión viene dada por:

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Donde:

- η : Rendimiento o eficiencia térmica. Representa la parte de calor que la máquina aprovecha para realizar trabajo. Su valor se establece en tanto por uno ($\eta = 1$ significa rendimiento del 100%)
- W : Trabajo realizado por la máquina. Su unidad de medida en el sistema internacional es el julio (J)
- Q_1, Q_2 : Calor. Representa el flujo de calor transferido entre la fuente y la máquina y la máquina y el sumidero respectivamente. Su unidad de medida en el sistema Internacional es el julio (J), aunque también se usa la caloría (cal). $1 \text{ cal} = 4.184 \text{ jul}$.

El hecho de que los valores de eficiencia sean menores del 100% no es una cuestión técnica que se pueda mejorar, sino una consecuencia del segundo principio de la termodinámica.

4.9 Entropía

El segundo principio de la termodinámica no se limita exclusivamente a máquinas térmicas sino que se ocupa, en general, de todos los procesos naturales que suceden de manera espontánea. Podemos decir que se ocupa de la evolución natural de los sistemas termodinámicos, es decir, de la dirección en que avanzan. Esta dirección se asocia a la distribución molecular interna de las moléculas. Para estudiar la espontaneidad de los procesos, el austriaco Ludwig Edward Boltzmann introdujo una nueva magnitud denominada entropía. La entropía S es una variable de estado. Está asociada a la probabilidad de que un determinado estado ocurra en un sistema. Aquellos más probables tienen una mayor entropía. Un estudio más exhaustivo de la entropía requiere herramientas matemáticas que están fuera del ámbito de este nivel educativo, sin embargo si es importante que sepas qué relación guarda la entropía con la segunda ley de la termodinámica. Cualquier proceso natural espontáneo evoluciona hacia un aumento de la entropía. Veamos algunos ejemplos concretos para entender mejor este concepto:

1. Si coges un montón de lápices y los lanzas al aire, cuando caigan es poco probable que caigan alineados. Lo más probable es que caigan en completo desorden
2. Si echas azúcar al agua, las partículas se distribuyen al azar por toda la disolución de un modo espontáneo, y no en una sola dirección
3. En un gas que se expande libremente, la presión en las paredes del recinto en el que se encuentra es la misma en cualquier punto.

La razón es que las partículas del gas se han expandido en todas direcciones por igual y no en una en concreto. Vemos pues, que el aumento del desorden es la dirección natural en que evolucionan los procesos naturales. Degradación energética. A partir de las leyes

primera y segunda de la termodinámica podemos decir que en toda transformación natural la energía del universo se conserva y su entropía aumenta.

Por tanto:

$$\Delta U_{\text{universo}}=0 ; \Delta S_{\text{universo}}=0.$$

Este aumento de entropía se asocia a un aumento de la energía térmica de los sistemas. La energía térmica es la forma más degradada de energía, ya que, como hemos señalado, no se puede aprovechar íntegramente en producir trabajo. A este fenómeno se le ha venido a denominar crisis entrópica ya que conduce al universo, con el paso de millones de años, a una muerte térmica: todas las formas de energía se acabarán convirtiendo en calor.

4.10 Tercera ley de la termodinámica

Finalmente, la tercera ley o principio de la imposibilidad de alcanzar un cero absoluto de temperatura hace referencia a los sistemas que están en equilibrio interno cuando su temperatura es cercana al cero absoluto, $-273,15^{\circ}\text{C}$ o 0K . Este principio afirma que, para cualquier sustancia pura, cristalina y perfecta, la entropía debe ser nula en el cero absoluto. De esta ley se deduce que no se puede alcanzar el cero absoluto en ningún proceso final asociado al cambio de entropía.

Esta ley plantea que la entropía de un sistema llevado al cero absoluto es una constante definida:

- Al llegar al cero absoluto (0K), los procesos de los sistemas físicos se detienen.
- Al llegar al cero absoluto (0K), la entropía poseerá un valor mínimo constante.

Ejemplo de la tercera ley de termodinámica

Si bien resulta difícil alcanzar de manera cotidiana temperaturas cercanas al llamado cero absoluto ($-273,15^{\circ}\text{C}$, valor que nunca se ha alcanzado aún), puede ejemplificarse este principio con lo que ocurre en nuestro congelador: la carne y los alimentos que

depositemos allí serán llevados a temperaturas muy bajas, para enlentecer o incluso detener prácticamente los procesos bioquímicos en su interior, retardando su descomposición y maximizando su vida útil.

4.11 Importancia de las leyes de la termodinámica

Estos cuatro preceptos termodinámicos describen el modo de operar de los sistemas termodinámicos y, por lo tanto, ofrecen una guía aplicable a la comprensión, al menos teórica, de la física universal.

Son fruto de la capacidad analítica del ser humano y del paso del tiempo (no así de la experimentación, son principios teóricos) y al mismo tiempo son el sostén de futuros análisis y consideraciones en la materia.

Bibliografía

- Antonio Sanchis Sabater (2002) **Física para ingeniería**, tomo I; Universitat Politècnica de Valencia.
- Oscar Gabriel Toapanta Cunalata, Willan Pablo Castillo Herrera (2008) **Fundamentos de física aplicada en la ingeniería**; 3 ciencias.
- José Ricardo Luna Victoria Muñoz (2011) **Física Básica**; Libro digital Universidad Ricardo Palma.

Videos complementarios:

Título: Errores de Medición

Link: <https://www.youtube.com/watch?v=F93978pDsik>

Fuente: Paradigmadigital

Título: Errores de Medición

Link: <https://www.youtube.com/watch?v=ZdpoYHjYRNM>

Fuente: AnalisisdelSI

Título: Leyes de la termodinámica

Link: <https://www.youtube.com/watch?v=xOXHmbdM7I8>

Fuente: Fisicaonhouse