



1. Las magnitudes físicas, tales como longitud, tiempo, fuerza y energía, se expresan con un número más una unidad.
2. Las unidades fundamentales del SI son:
Metro – m
Segundo – s
Kilogramo – kg
Kelvin – K
Ampere – A
Mol – mol
Candela – cd.
3. La unidad de toda magnitud física puede expresarse en función de estas unidades fundamentales .
4. En las ecuaciones, las unidades se tratan de igual manera que cualquier otra cantidad algebraica.
5. Los factores de conversión, que siempre son iguales a 1, proporcionan un método conveniente para pasar de un tipo de unidad a otro.
6. Los números muy grandes y muy pequeños se manejan más fácilmente utilizando la notación científica de las potencias de 10. Al multiplicar dos potencias de igual base, los exponentes se suman; al dividirlos se restan.
7. El número de cifras significativas del resultado de un cálculo no debe ser mayor ni menor que el número de cifras significativas de los distintos números utilizados.

CAPITULO II " MOVIMIENTO EN UNA DIMENSIÓN"

1. La velocidad media es la razón del desplazamiento Δx al intervalo de tiempo Δt .

$$v_{med} = \Delta x / \Delta t$$

2. La velocidad instantánea (en un instante determinado) v es el límite al cual tiende esta razón cuando el intervalo de tiempo tiende a cero. Está representada gráficamente por la pendiente de la curva de x en función de t . En el caso unidimensional, la velocidad media e instantánea pueden ser positivas o negativas. El valor de la velocidad instantánea recibe el nombre de celeridad.
3. La aceleración media es la razón de la variación de la velocidad Δv al intervalo de tiempo Δt .

$$a_{med} = \Delta v / \Delta t$$

La aceleración instantánea es el límite al cual tiende esta razón cuando el intervalo de tiempo tiende a cero. La aceleración instantánea está representada en la gráfica por la pendiente de la curva de v en función de t .

4. En el caso particular de aceleración constante, se cumplen las siguientes fórmulas:

$$v = v_0 + at$$

$$v_{med} = \frac{1}{2} (v_0 + v)$$

$$\Delta x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

$$v^2 = v_0^2 + 2a \Delta x$$

Un ejemplo corriente de movimiento con aceleración constante es el movimiento de un cuerpo en la proximidad de la superficie terrestre cuando sobre él sólo actúe la fuerza de la gravedad. En este caso la aceleración del cuerpo está dirigida hacia abajo y vale $9.81 \text{ m/s}^2 = 32.2 \text{ ft/s}^2$.

Otra expresión que resulta útil en la resolución de problemas de aceleración constante es:

$$\Delta x = v_{med} t$$

Esto resulta inmediatamente de la definición de velocidad media y por tanto es cierto siempre, no sólo en el caso de aceleración constante.

CAPITULO III " MOVIMIENTO EN DOS Y TRES DIMENSIONES"

1. Las magnitudes que tienen módulo, dirección y sentido, tales como el desplazamiento, la velocidad y la aceleración, son magnitudes vectoriales.
2. Los vectores se pueden sumar gráficamente situando el origen de un vector en el extremo del otro y trazando el vector resultante del origen del primero al extremo del segundo. Restar un vector **B** es lo mismo que sumar **-B**, donde **-B** es un vector de igual módulo y dirección que **B** pero de sentido opuesto.
3. Los vectores pueden sumarse analíticamente hallando primero sus componentes dadas por

$$A_x = A \cos \theta$$

$$A_y = A \sin \theta$$

La componente x del vector resultante es la suma algebraica de las componentes x de los vectores sumando y la componente y es la suma algebraica de las componentes y de dichos vectores.
4. El vector desplazamiento está dirigido de la posición inicial a la posición final. El vector velocidad es la variación, por unidad de tiempo, del vector de posición. Su módulo es la celeridad y está dirigido tangente a la curva que recorre la partícula y en el sentido del movimiento.
5. En el movimiento de proyectiles, los movimientos horizontal y vertical son independientes. El movimiento vertical es igual al movimiento unidimensional con la aceleración de la gravedad g constante dirigida hacia abajo. El movimiento horizontal tiene una velocidad constante igual a la componente horizontal de la velocidad original. La distancia horizontal total recorrida por el proyectil, llamada alcance, se halla buscando primero el tiempo total que se halla en el aire el proyectil y multiplicándolo por la velocidad horizontal constante. En el caso particular en que las elevaciones inicial y final sean iguales, el alcance será máximo cuando el ángulo de lanzamiento sea de 45° .
6. Cuando un cuerpo recorre una circunferencia con celeridad constante, está acelerado porque su velocidad varía de dirección. Su aceleración se denomina centrípeta porque está dirigida hacia el centro de la circunferencia. El módulo de la aceleración centrípeta es v^2 / r , donde v es la celeridad y r es el radio de la circunferencia.

CAPITULO IV " LEYES DE NEWTON "

1. Las relaciones fundamentales de la Mecánica clásica están contenidas en las Leyes de Newton del movimiento.

Primera Ley: Todo cuerpo continuará en su estado inicial de reposo o movimiento con velocidad uniforme si no está sometido a una fuerza no equilibrada o fuerza resultante.

Segunda Ley: La aceleración de un cuerpo es inversamente proporcional a su masa y directamente proporcional a la fuerza exterior resultante que se ejerza sobre él

$$a = \Sigma F / m \quad \text{o sea} \quad \Sigma F = ma$$

Tercera Ley: Las fuerzas siempre aparecen por parejas. Si el cuerpo A ejerce una fuerza sobre el cuerpo B, éste ejerce sobre A una fuerza de igual módulo y dirección pero de sentido opuesto.

2. La fuerza se define en función de la aceleración que comunica a un cuerpo dado. Una fuerza de 1 newton (N) es la fuerza que aplicada a un cuerpo patrón de masa 1 kilogramo (kg) le comunica una aceleración de 1 m/s^2 .
3. La masa es una propiedad intrínseca de un cuerpo, la cual mide la resistencia de éste a ser acelerado. La masa de un cuerpo se puede comparar con la de otro aplicando a cada uno de ellos una fuerza igual y midiendo las aceleraciones que adquieren. El cociente entre las masas de los cuerpos es entonces el recíproco del cociente de las aceleraciones producidas en ellos por la misma fuerza: $m_1 / m_2 = a_2 / a_1$. La masa de un cuerpo no depende de la situación del mismo.
4. El peso de un cuerpo es la fuerza de atracción gravitatoria entre el cuerpo y la Tierra. Es proporcional a su masa m y al campo gravitatorio g (que es igual a la aceleración de la gravedad para caída libre).

$$w = mg$$

El peso no es una propiedad intrínseca del cuerpo. Depende de su posición porque también depende de ella g.

5. El método general de resolución de problemas utilizando las Leyes de Newton contiene las etapas siguientes :
 1. Dibujar un esquema claro.
 2. Aislar el cuerpo (partícula) de interés y dibujar un diagrama de sólido libre, indicando cada fuerza exterior que se ejerza sobre el cuerpo. Dibujar un diagrama separado para cada cuerpo de interés.

- Elegir un sistema de coordenadas convenientes para cada cuerpo y aplicar la Segunda Ley de Newton en forma de componentes.
- De las ecuaciones que resulten, despejar las incógnitas utilizando toda información adicional disponible.
- Comprobar los resultados para ver si son razonables. Examinar atentamente las soluciones obtenidas cuando se asignen valores extremos a las variables.

CAPITULO V “ APLICACIÓN DE LAS LEYES DE NEWTON”

- Cuando están en contacto dos cuerpos, podrán ejercerse mutuamente fuerzas de rozamiento. La fuerza de rozamiento es paralela a la superficie en los puntos de contacto. Cuando las superficies están en reposo una respecto a otra, el rozamiento es rozamiento estático, el cual puede variar desde 0 hasta su valor máximo, $\mu_s F_n$, donde F_n es la fuerza normal de contacto y μ_s es el coeficiente de rozamiento estático. Cuando las superficies se mueven una respecto a otra, el rozamiento es cinético y tiene por valor $\mu_k F_n$, donde μ_k es el coeficiente de rozamiento cinético. El coeficiente de rozamiento cinético es ligeramente inferior al coeficiente de rozamiento estático.
- El momento de una fuerza respecto a un cierto eje de rotación es el producto del módulo de la fuerza por el brazo de la palanca, que es la distancia del eje a la recta soporte de la fuerza. Las condiciones de equilibrio estático de un cuerpo extenso son

$$1. \sum F = 0, \quad \text{y} \quad 2. \sum \tau = 0$$

- El equilibrio de un cuerpo extenso puede ser estable, indiferente o inestable. Un cuerpo que descansa sobre una superficie estará en equilibrio estable si la vertical que pasa por su centro de gravedad cae dentro de su base de apoyo. La estabilidad del equilibrio de un cuerpo se puede mejorar bajando su centro de gravedad aumentando el tamaño de su base de apoyo.
- Cuando un cuerpo recorre una circunferencia, tiene una aceleración centrípeta dirigida hacia el centro de la circunferencia y por tanto, deberá tener aplicada una fuerza resultante de esa dirección y sentido. Dicha fuerza se llama *centrípeta*. Puede deberse a un resorte, una cuerda o una fuerza de contacto tal como una fuerza normal de rozamiento; o puede ser una fuerza de acción a distancia tal como la de la gravedad; o puede ser una combinación de los anteriores tipos de fuerzas.
- Cuando un cuerpo se mueve a través de un fluido, como el aire o un líquido, el cuerpo experimenta una fuerza de resistencia que se opone al movimiento. Esta fuerza de resistencia aumenta con la celeridad. Si se deja caer el cuerpo partiendo del reposo, su celeridad aumentará hasta que la fuerza de resistencia se haga igual a la de la gravedad y a partir de entonces se moverá con celeridad constante a la que llamaremos celeridad terminal o de régimen. Esta depende de la forma del cuerpo y del medio a través del cual tiene lugar la caída.

CAPITULO VI “ TRABAJO Y ENERGÍA”

- El trabajo efectuado por una fuerza constante es el producto de la componente de la fuerza en dirección y sentido del movimiento por el desplazamiento y puede representarse gráficamente por el área encerrada bajo la curva que da F_x en función de x .
- La unidad SI de trabajo y de energía es el *joule*, que es igual al producto de un newton por un metro.
- El trabajo efectuado por una fuerza variable es igual al área encerrada bajo la gráfica que da la fuerza en función del desplazamiento.
- La energía cinética es la energía asociada al movimiento de un cuerpo y está relacionada con su masa y su celeridad de la manera siguiente:

$$E_k = 1 / 2 mv^2$$

- El trabajo efectuado por la fuerza resultante es igual a la variación de energía cinética del cuerpo.
- La energía potencial es la energía asociada a la posición de un cuerpo. La energía potencial gravitatoria de un cuerpo de masa m a una altura h sobre un cierto punto de referencia es

$$U_g = mgh$$

El valor absoluto de la energía potencial carece de importancia porque la elección del punto de referencia para la medida de h es arbitraria. Sólo importan las variaciones de U .

La energía potencial de un resorte de constante k al alargarlo o comprimirlo una longitud x respecto a su longitud de equilibrio viene dada por

$$U_s = 1/2 kx^2$$

- Si el trabajo que ejerce una fuerza sobre un cuerpo sólo depende de las posiciones inicial y final de éste, se dice que la fuerza es conservativa. La fuerza de la gravedad es un ejemplo de fuerza conservativa. Asociada a cada fuerza conservativa hay una función energía potencial. El trabajo efectuado sobre un cuerpo por una fuerza conservativa es igual a la disminución de la energía potencial del cuerpo.
- Si sobre un cuerpo sólo trabajan fuerzas conservativas, la suma de las energías cinética y potencial del cuerpo se mantiene constante. Este hecho se conoce con el nombre de *Principio de Conservación de la Energía Mecánica*.
- Las fuerzas no conservativas, como el rozamiento, disipan energía mecánica convirtiéndola en energía térmica. Cuando sobre un cuerpo trabajan fuerzas conservativas y no conservativas, el trabajo efectuado por las fuerzas no conservativas es igual a la variación de la energía mecánica total del cuerpo. A esto se le llama *Teorema de las fuerzas vivas generalizado*,

$$W_{mc} = \Delta E_{total}, \quad \text{donde} \quad E_{total} = 1/2 mv^2 + U$$

- Una máquina simple es un dispositivo que convierte una pequeña fuerza motriz en una gran fuerza resistente. El desarrollo mecánico de una máquina simple es el cociente entre la fuerza resistente y la fuerza motriz. En una máquina ideal (exenta de fuerzas disipativas), el trabajo motor es igual al trabajo resistente y el desarrollo mecánico es igual también al cociente entre la distancia motriz y la distancia resistente. En la práctica, siempre hay fuerzas disipativas como el rozamiento y el trabajo resistente siempre es algo menor que el motor. Ejemplos de máquinas simples los constituyen los planos inclinados, palancas, sistemas de poleas y cabrias, ...

- La potencia es el trabajo que se efectúa por unidad de tiempo

$$P = W / t = F_s v$$

donde F_s es la componente de la fuerza según el movimiento y v es la celeridad. La unidad SI de potencia es el *watt* (W), que es igual a un joule por segundo. Una unidad de energía corriente es el kilowatt-hora (kWh), que es igual a 3,6 megajoule (MJ).

- Unidades de energía utilizadas frecuentemente en la descripción de procesos térmicos son *la caloría* (cal), que es igual a 4,184 J y *la kilocaloría* (kcal), que es igual a 4184 J.
- La razón a la cual nuestro cuerpo convierte energía química derivada de los alimentos en energía mecánica y energía térmica es nuestra *tasa metabólica*. Un valor típico de la tasa metabólica es 120W que equivale a 2500 kcal / día.

CAPITULO VII “ IMPULSO, CANTIDAD DE MOVIMIENTO Y CENTRO DE MASA”

- Se llama *impulso de una fuerza* al producto de la fuerza media por el tiempo durante el cual actúa.
- Se llama *cantidad de movimiento* de un cuerpo al producto de su masa por su velocidad. La variación de la cantidad de movimiento de un cuerpo es igual al impulso de la fuerza que sobre él ejerce.
- Si la resultante de las fuerzas exteriores que se ejercen sobre un sistema es nula, se conserva la cantidad de movimiento del sistema.
- El *centro de masa* de un sistema de partículas es, por definición

$$M\mathbf{R}_{cm} = m_1\mathbf{r}_1 + m_2\mathbf{r}_2 + \dots$$

donde M es la masa total del sistema y \mathbf{R}_{cm} es el vector de posición que va del origen al centro de masa. En un campo gravitatorio uniforme, el centro de masa coincide con el centro de gravedad..

- La masa total de un sistema multiplicada por la velocidad de su centro de masa es igual a la cantidad de movimiento total del sistema:

$$P = M\mathbf{V}_{cm} = m_1\mathbf{v}_1 + m_2\mathbf{v}_2 + \dots$$

- El centro de masa se mueve como lo haría una partícula de masa igual a la total del sistema sometida a la acción de la resultante de las fuerzas exteriores que actúan sobre dicho sistema.

$$\mathbf{F}_{next, ext} = M\mathbf{A}_{cm}$$

7. En un choque perfectamente inelástico, la energía mecánica se convierte en energía calorífica. Después del choque, los cuerpos quedan adheridos uno a otro y se mueven con la velocidad del centro de masa.
8. En un choque elástico, se conservan la energía mecánica total y la cantidad de movimiento total. La velocidad relativa de retroceso de los cuerpos después del choque es igual a la velocidad relativa de aproximación antes del choque.
9. Se llama *coeficiente de restitución e* al cociente entre la velocidad relativa de retroceso y la velocidad relativa de aproximación. En los choques elásticos, $e = 1$; en los choques perfectamente inelásticos, $e = 0$.
10. Un cohete obtiene su empuje quemando combustible y expulsando los gases resultantes. La fuerza que éstos ejercen sobre el cohete lo impulsan hacia adelante.

CAPITULO VII " OSCILACIONES "

1. En el *movimiento armónico simple*, la aceleración es proporcional al desplazamiento y de sentido opuesto. En general, la relación entre la aceleración y el desplazamiento viene dada por

$$A_x = - (2\pi f)^2 x$$

donde f es la frecuencia de oscilación.

2. La función posición x de un movimiento armónico simple de amplitud A y frecuencia f viene dada por

$$x = A \cos 2\pi ft$$

La velocidad de la partícula viene dada por

$$v = - (2\pi f) A \sin 2\pi ft$$

3. El *período de oscilación* es el recíproco de la frecuencia

$$T = 1 / f$$

El período y la frecuencia de un movimiento armónico simple son independientes de la amplitud. En el caso de un objeto de masa m unido a un resorte constante de rigidez k , el periodo viene dado por

$$T = 2\pi \sqrt{m / k}$$

El período del movimiento de un péndulo simple de longitud L es

$$T = 2\pi \sqrt{L / g}$$

4. Cuando una partícula recorre una circunferencia con celeridad constante, la componente x de su posición varía con movimiento armónico simple.
5. La energía total de un movimiento armónico simple es proporcional al cuadrado de la amplitud. En el caso de una masa unida a un resorte de constante de rigidez k , viene dada por

$$E = 1 / 2 kA^2$$

6. En la oscilación de sistemas reales, el movimiento es amortiguado a causa de las fuerzas de rozamiento u otras resistencias pasivas que disipan energía. Si el amortiguamiento supera un cierto valor crítico, el sistema no oscila sino que volvería a su posición de equilibrio si fuese perturbado. El movimiento de un sistema ligeramente amortiguado es casi armónico simple con amplitud que disminuye exponencialmente al transcurrir el tiempo. La energía de un tal sistema también disminuye exponencialmente al transcurrir el tiempo. En el caso de un oscilador ligeramente amortiguado, el amortiguamiento viene medido por el factor Q , el cual está relacionado con la pérdida unitaria de energía por período, en la forma

$$|\Delta E| / E = 2\pi / Q$$

7. Cuando un sistema ligeramente amortiguado se excita mediante una fuerza exterior que varíe sinusoidalmente con el tiempo, el sistema oscila con una frecuencia igual a la de excitación y una amplitud que depende de la fuerza de excitación. Si ésta es igual o casi igual a la frecuencia propia del sistema, éste oscilará con gran amplitud. A este fenómeno se le da el nombre de *resonancia*. El factor Q es una medida de la agudeza de la resonancia. Los sistemas

poco amortiguados y por tanto con factor Q grande, presentan una curva de resonancia con un pico muy agudo. Para tales sistemas, el cociente entre la frecuencia de resonancia f_0 y la anchura Δf de la curva de resonancia es igual al factor Q:

$$Q = f_0 / \Delta f$$

CAPITULO IX “ CAMPOS ELÉCTRICOS Y FUERZAS ELÉCTRICAS”

1. Hay dos clases de carga eléctrica, llamadas positiva y negativa. La carga eléctrica siempre se produce a múltiplos enteros de la carga eléctrica elemental e. La carga del electrón es $-e$ y la del protón $+e$. Los cuerpos se cargan por cesión de carga eléctrica de un cuerpo a otro, usualmente en forma de electrones. Así pues la carga se conserva. No se crea ni se destruye, se cede.
2. La fuerza que una carga ejerce sobre otra es proporcional al producto de ambas e inversamente proporcional al cuadrado de su separación, resultado que se conoce como *Ley de Coulomb* :

$$F = k \cdot (q_1 q_2 / r^2)$$

donde la constante de Coulomb es

$$K = 8,99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$

3. El campo eléctrico en un punto es, por definición, la fuerza que otras cargas ejercen sobre una carga de prueba q_0 dividida por q_0 :

$$E = F / q_0$$

El campo eléctrico debido a una carga puntual q situada en el origen está dirigido radialmente y viene dado por

$$E_r = kq / r^2$$

El campo eléctrico debido a varias cargas es la suma vectorial de los campos debidos a las distintas cargas por separado. Una partícula de carga q situada en un campo eléctrico está sometida a una fuerza dada por

$$F = qE$$

4. El campo eléctrico puede representarse mediante líneas de fuerza que se originan en cargas positivas y terminan en cargas negativas. La intensidad del campo eléctrico viene indicada por la densidad de líneas de fuerza.
5. El flujo eléctrico $\Delta\phi$ a través de un elemento de superficie ΔA es el producto de la componente del campo eléctrico perpendicular a la superficie por el área del elemento:

$$\Delta\phi = E_n \Delta A$$

El flujo saliente a través de una superficie cerrada es igual a $4\pi k$ multiplicado por la carga total existente en el interior de la superficie, resultado que se conoce con el nombre de *Teorema de Gauss*:

$$\phi_{\text{sal}} = \sum E_n \Delta A = 4\pi k Q_{\text{interior}}$$

6. Un dipolo eléctrico es un sistema de dos cargas de igual valor absoluto y signos opuestos separadas una pequeña distancia. El momento dipolar \mathbf{p} es un vector dirigido de la carga negativa hacia la positiva y cuyo módulo es igual a la carga multiplicada por la separación:

$$\mathbf{p} = qL$$

En presencia de un campo eléctrico uniforme, la resultante de las fuerzas que se ejercen sobre el dipolo es nula, pero hay un momento que tiende a alinear el dipolo con la dirección del campo. En un campo no uniforme, sobre el dipolo actúa una fuerza resultante no nula.

7. Las moléculas polares, como la de H_2O , tienen momentos dipolares permanentes porque los centros de carga positiva y negativa no coinciden. En un campo eléctrico, se comportan como dipolos simples. Las moléculas no polares no tienen momentos dipolares permanentes si bien, en presencia de un campo eléctrico adquieren un momento dipolar inducido.

CAPITULO X “ ELECTROSTÁTICA”

1. La diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos es el trabajo por unidad de carga que hemos de efectuar para trasladar una carga de prueba de un punto a otro en un campo eléctrico. Es también igual a la diferencia de energía potencial por unidad de carga. Como sólo importan las diferencias de potencial eléctrico, podemos tomar igual a cero el potencial de cualquier punto conveniente. La unidad SI de potencial y de diferencia de potencial es el *volt* (V), cuya definición es

$$1 \text{ V} = 1 \text{ J} / \text{C}$$

En función de esta unidad, la unidad de campo eléctrico puede expresarse en la forma

$$1 \text{ N} / \text{C} = 1 \text{ V} / \text{m}$$

2. Una unidad conveniente de energía en Física atómica y nuclear es el *electronvolt* (eV), que está relacionado con el joule de la manera siguiente:

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

3. En el caso de un campo constante E_x dirigido en la dirección y sentido del semieje x positivo, la diferencia de potencial entre los puntos x_1 y x_2 viene dada por

$$\Delta V = -E_x \Delta x \quad (\text{donde } \Delta x = x_2 - x_1)$$

4. El potencial eléctrico debido a un carga puntual q situada en el origen viene dado por

$$V = kq / r$$

donde hemos tomado el potencial cero a un distancia infinita de la carga.

5. Los conductores eléctricos son materiales que tienen electrones que no están ligados a ningún átomo sino que pueden moverse libremente. Un conductor no puede soportar un campo eléctrico porque los electrones libres se mueven hasta crear un campo que contrarresta totalmente al campo original. Todo exceso de carga de un conductor reside en su superficie.
6. Inmediatamente fuera de la superficie de un conductor, el campo eléctrico es perpendicular a la superficie y está relacionado con la carga por unidad de superficie σ mediante la expresión

$$E_n = 4\pi k\sigma = \sigma / \epsilon^0$$

donde ϵ^0 es la permitividad del vacío:

$$\epsilon^0 = 1 / 4\pi k = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F} / \text{m}$$

7. El condensador es un dispositivo para almacenar carga y energía. Consiste en dos conductores que tienen cargas opuestas de igual valor absoluto. La capacidad es la razón del valor absoluto Q de la carga de uno y otro conductor a la diferencia de potencial de V entre ellos:

$$C = Q / V$$

La capacidad sólo depende de la configuración geométrica de los conductores y no de la carga ni de la diferencia de potencial. La capacidad del condensador plano es proporcional al área de la superficie de las armaduras e inversamente proporcional a la distancia que las separa:

$$C = \epsilon^0 \cdot (A / d)$$

8. Los materiales no conductores se denominan *dieléctricos*. Cuando se intercala un dieléctrico entre las armaduras de un condensador, las moléculas del dieléctrico se polarizan y el campo eléctrico se debilita, lo que origina que la capacidad se multiplique por un factor K, llamado *constante dieléctrica*:

$$C' = KC$$

Los dieléctricos también proporcionan separación física de las armaduras del condensador y aumentan la carga que puede almacenarse antes de que se produzca la disrupción.

- El campo eléctrico máximo que puede soportar un dieléctrico antes de que se produzca disrupción es la llamada *rigidez dieléctrica*. La rigidez dieléctrica del aire es de unos 3 MV / m. Cuando el campo eléctrico en el aire supera este valor, las moléculas del aire se ionizan y el aire se hace conductor. La chispa resultante se denomina *descarga corona*.
- Cuando se conectan en paralelo dos o más condensadores, la capacidad equivalente se halla sumando los recíprocos de las capacidades individuales. Ello nos da el recíproco de la capacidad equivalente:

$$1 / C_{eq.} = 1 / C_1 + 1 / C_2 + 1 / C_3 + \dots \text{ (en serie)}$$

- La energía electrostática almacenada en un condensador de carga Q, diferencia de potencial V y capacidad C es

$$U = 1 / 2 QV = 1 / 2 CV^2 = Q^2 / 2C$$

Esta energía puede considerarse que está almacenada en el campo eléctrico. La energía por unidad de volumen en un campo eléctrico E viene dada por

$$\eta = \text{energía / volumen} = 1 / 2 \epsilon^0 E^2$$

CAPITULO XI “ CORRIENTE ELÉCTRICA Y CIRCUITOS”

- La corriente eléctrica es la circulación de carga por un punto. Su sentido es el del movimiento de las cargas positivas. La corriente eléctrica por hilos conductores es el resultado de la aceleración por un campo eléctrico en el hilo de electrones cargados negativamente. Como los electrones chocan pronto con átomos del conductor, el resultado es una lenta deriva en sentido opuesto al de la corriente. Las velocidades de arrastre de estos conductores son del orden de 1 mm / s.
- La resistencia de un elemento de hilo conductor es, por definición, el cociente entre la caída de tensión y la intensidad de la corriente. En los materiales óhmicos, entre los que se cuenta la mayoría de metales, la resistencia es independiente de la intensidad de corriente, resultado experimental que se conoce por el nombre de *Ley de Ohm*. En todos los materiales, la intensidad de corriente, la resistencia y la diferencia de potencial están relacionadas por

$$V = IR$$

- La resistencia de un hilo es proporcional a su longitud e inversamente proporcional al área de su sección recta:

$$R = \rho (L / A)$$

donde ρ es la resistividad del material, la cual depende de la temperatura. El recíproco de la resistividad se denomina conductividad σ :

$$\sigma = 1 / \rho$$

- La potencia entregada a un elemento de circuito es igual al producto de la intensidad de la corriente por la caída de potencial en el elemento:

$$P = IV$$

Un dispositivo que suministre energía a un circuito recibe el nombre de *generador de fem*. La potencia suministrada por un generador de fem es el producto de la fem ϵ por la intensidad de corriente:

$$P = \epsilon I$$

Como la caída de potencial de una resistencia es IR, la potencia disipada vendrá dada por

$$P = IV = I^2 R$$

Podemos considerar que una batería es un generador de fem en serie con una pequeña resistencia que es su resistencia interna.

- La resistencia equivalente de una asociación en serie de resistencias es igual a la suma de dichas resistencias:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots \text{ (en serie)}$$

En el caso de resistencias conectadas en paralelo, el recíproco de la resistencia equivalente es igual a la suma de los recíprocos de las resistencias asociadas.

$$1/R_{eq} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots \text{ (en paralelo)}$$

6. Los circuitos simples pueden resolverse aplicando las *Leyes de Kirchhoff*:
 1. Cuando se recorre un bucle cerrado de circuito cualquiera, la suma de los aumentos de potencial ha de ser igual a la suma de los descensos de potencial.
 2. En todo punto de unión de un circuito donde la corriente pueda dividirse, la suma de las intensidades de las corrientes que llegan a la unión debe ser igual a la suma de las intensidades de las corrientes que salen de la unión.
7. Cuando se descarga un condensador a través de una resistencia, la carga del condensador y la intensidad de la corriente disminuyen exponencialmente con el tiempo. La constante de tiempo $\tau = RC$ es el tiempo que tardan una y otra en disminuir hasta el 0,27 de su valor inicial. Al cabo de un tiempo 23τ , habrán disminuido hasta un $(0,37)^2$ de su valor inicial, etc.
8. El *galvanómetro* es un instrumento que detecta una corriente débil que lo atraviesa. Su desviación es proporcional a la intensidad de la corriente. El *amperímetro* es un instrumento destinado a medir la intensidad de corriente. Consiste en un galvanómetro más una resistencia en paralelo llamado *shunt*. Para medir la intensidad de una corriente que recorra una resistencia se coloca en serie con ella un amperímetro. Éste tiene una resistencia efectiva muy pequeña, por lo que tendrá poco efecto sobre la intensidad que se quiere medir. El *voltímetro* mide diferencias de potencial. Consiste en un galvanómetro más una gran resistencia en serie. Para medir la caída de potencial en una resistencia, se conecta en paralelo con ella un voltímetro. Éste tiene una resistencia efectiva muy grande, por lo que tendrá poco efecto sobre la caída de potencial que se quiere medir. El *óhmetro* es un instrumento para medir resistencias. Consta de un galvanómetro, una pila y una resistencia.

CAPITULO XII “ CAMPO MAGNÉTICO ”

1. Las cargas en movimiento interactúan a través de la fuerza magnética. Como las corrientes eléctricas están constituidas por cargas en movimiento, se ejercerán fuerzas magnéticas entre sí. Ésta fuerza se describe diciendo que una carga en movimiento o una corriente crea un campo magnético el cual, a su vez, ejerce una fuerza sobre la otra carga en movimiento o corriente. En última instancia, todos los campos magnéticos se deben a cargas en movimiento. Los campos magnéticos de los imanes permanentes resultan espiras de corriente debidas al movimiento orbital o al spin intrínseco de los átomos del material.
2. Cuando una carga q se mueve con velocidad v en un campo magnético B , experimenta una fuerza que es perpendicular a v y a B cuyo módulo vale

$$F = qvB \sin \theta$$

donde θ es el ángulo que forman v y B . La unidad SI del campo magnético es el *tesla* (T):

$$1 \text{ T} = 1 \text{ N} / \text{A} \cdot \text{m}$$

La fuerza que un campo magnético ejerce sobre un hilo de longitud l que conduce una corriente de intensidad I es perpendicular al hilo y al campo magnético B y tiene por módulo

$$F = I l B \sin \theta$$

donde θ es el ángulo que forman el campo magnético y el hilo.

3. Un campo magnético ejerce sobre un imán o una espira de corriente un par de fuerzas que tiende a dar al momento magnético del imán o de la espira, la misma dirección y sentido del campo magnético exterior. El momento del par, vale

$$\tau = m B \sin \theta$$

donde θ es el ángulo que forma el campo magnético B con el momento magnético m . El momento magnético de una espira tiene por módulo el producto de la intensidad de la corriente por el área de la superficie encerrada por la espira:

$$m = I A$$

Está dirigido según el eje de la espira en el sentido que da la regla de la mano derecha.

4. Una partícula de masa m y carga q que se mueva con celeridad v en un plano perpendicular al campo magnético B recorre una circunferencia de radio r dado por

$$r = mv / qB$$

El período y la frecuencia de este movimiento circular son independientes del radio de la circunferencia y de la celeridad de la partícula. El período, llamado *período ciclotrónico*, viene dado por

$$T = 2\pi m / qB$$

5. El campo magnético ΔB creado a una distancia r por un elemento de corriente $I\Delta l$ viene dado por la *Ley de Biot y Savart*

$$\Delta B = (\mu_0 / 4\pi) \cdot (I\Delta l \sin \theta / r^2)$$

donde θ es el ángulo que forma el elemento de corriente con el radio vector que va de éste punto al campo. La constante μ_0 se llama *permeabilidad de vacío* y vale

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N / A}^2$$

El campo magnético es perpendicular al elemento de corriente y al radio del vector.

6. La *Ley de Ampère* relaciona la suma de las componentes tangenciales del campo magnético a lo largo de una curva cerrada con la intensidad de la corriente total que atraviesa un área limitada por la curva

$$\sum B_t \Delta l = \mu_0 I_{\text{total}}$$

La ley del Ampère puede utilizarse para deducir expresiones:

- ✓ del campo magnético creado por un hilo largo y recto recorrido por una corriente.
- ✓ del campo magnético en el interior de un solenoide.
- ✓ y de otros campos magnéticos en otras situaciones que presenten una fuerte simetría.

7. El campo magnético a una distancia r de un hilo largo y recto recorrido por una corriente de intensidad I es

$$B = (\mu_0 / 2\pi) \cdot (I / r)$$

El ampere se define diciendo que dos hilos largos y paralelos recorridos por corrientes de un ampere y separado un metro, se ejercen entre sí una fuerza exactamente igual a $2 \times 10^{-7} \text{ N / m}$.

8. El campo magnético creado por una pequeña espira de corriente de área A es exactamente igual al de un pequeño imán de momento magnético IA . El campo magnético de un solenoide es igual al de una barra imanada de la misma forma. En el interior del solenoide, en puntos alejados de los extremos, el campo magnético es uniforme y tiene por módulo

$$B = \mu_0 (n / l) I$$

donde N es el número de espiras del solenoide y l su longitud.

9. Los materiales pueden clasificarse en paramagnéticos, ferromagnéticos o diamagnéticos.

- ✓ Los paramagnéticos tienen átomos con momentos magnéticos permanentes que están orientados al azar cuando no haya campo magnético exterior. Un campo magnético exterior orientaría algunos de estos dipolos, originando un pequeño aumento del campo magnético total. El grado de orientación es pequeño salvo en campos muy intensos y a temperaturas muy bajas. A temperaturas ordinarias, la agitación térmica tiende a desordenar los momentos magnéticos.
- ✓ Los materiales diamagnéticos son aquellos en los cuales los momentos magnéticos de los átomos se contrarrestan, dando un momento magnético nulo en ausencia de campo exterior. En un campo exterior, se induce un pequeño momento magnético que tiende a debilitar el campo. Este efecto es independiente de la temperatura.
- ✓ Los materiales ferromagnéticos tienen átomos cuyos momentos magnéticos están todos igualmente orientados en pequeñas regiones llamadas dominios. Cuando no están imanados la dirección de orientación en un

dominio es independiente de la de otro, por lo que el campo magnético resultante es nulo. Cuando se imanar, se orientan igualmente los dominios de un material ferromagnético, produciendo una fuerte contribución al campo magnético. Dicha orientación puede persistir aun cuando se suprime el campo exterior, con lo que se llega a una imanación permanente.

CAPITULO XIII “ INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA”

1. El flujo magnético en una espira es el producto de la componente del campo magnético perpendicular al plano de la espira por el área encerrada por ésta. En el caso de una bobina de N espiras y área A de la sección recta situada en un campo magnético B que forme un ángulo θ con la normal a la superficie encerrada, el flujo es

$$\Phi_m = NBA \cos \theta$$

2. Cuando el flujo varía, en la espira se induce una fem dada por la *Ley de Faraday*:

$$\varepsilon = - (\Delta \Phi_m / \Delta t)$$

El sentido de la fem viene dado por la *Ley de Lenz*: la fem inducida y la corriente inducida tienen sentidos tales que se oponen a la variación que les da origen.

3. La fem inducida en un hilo o barra conductores de longitud l que se mueva con velocidad v perpendicular a un campo magnético B se denomina fem por movimiento. Su valor es

$$\varepsilon = Blv$$

4. Las corrientes circulantes que se establecen en el cuerpo de un metal al variar el flujo se denominan *corrientes de Foucault*. Dichas corrientes suelen ser nocivas porque originan desprendimiento de calor y pérdida de potencia en los transformadores y otros aparatos eléctricos.

5. El flujo que atraviesa una bobina o un circuito está relacionado con la corriente en la bobina o circuito de la manera siguiente:

$$\Phi_{m1} = L_1 I_1$$

donde L es el llamado coeficiente de autoinducción del circuito y depende de la configuración geométrica de éste. Si hubiera otro circuito en la proximidad que estuviera recorrido por una corriente de intensidad I_2 , habría otro flujo adicional

$$\Phi_{m12} = M I_2$$

6. Cuando varía la intensidad de la corriente que circula por una bobina, la fem inducida en ésta viene dada por

$$\varepsilon = - L \cdot (\Delta I / \Delta t)$$

7. En un circuito LR consistente en una resistencia, una bobina, un interruptor y una batería en serie, la corriente no alcanza instantáneamente su intensidad máxima sino que tarda un tiempo en ello. El tiempo que tarda la corriente en alcanzar una intensidad igual al 63% de su intensidad máxima es la constante de tiempo τ , que viene dada por

$$\tau = L / R$$

8. La energía almacenada en una bobina recorrida por una corriente de intensidad I es

$$U = \frac{1}{2} LI^2$$

Esta energía puede considerarse almacenada en el campo magnético del interior de la bobina. En general, la energía por unidad de volumen en un campo magnético B viene dada por

$$\eta_m = B^2 / 2\mu_0$$

9. Una bobina que gire con frecuencia f en un campo magnético genera una fem alterna dada por

$$\varepsilon = \varepsilon_{\max} \sin 2\pi ft = \varepsilon_{\max} \sin \omega t$$

donde $\omega = 2\pi f$ es la velocidad angular de rotación. Si se manda corriente alterna a una bobina en un campo magnético, la bobina se convierte en un motor.

CAPITULO XIV “ CIRCUITOS DE CORRIENTE ALTERNA”

1. La intensidad eficaz I_{ef} de una corriente alterna es, por definición,

$$I_{ef} = \text{raiz cuadrada de } (I^2)_{med}$$

Está relacionada con la intensidad máxima a través de

$$I_{ef} = I_{max} / \text{raiz cuad. 2}$$

La potencia media disipada en una resistencia recorrida por una corriente sinusoidal es

$$P_{med} = \frac{1}{2} \varepsilon_{max} I_{max} = \varepsilon_{ef} I_{ef}^2 R$$

2. En un circuito consistente en una fem alterna y una bobina, la tensión en ésta está adelantada 90° respecto a la intensidad de corriente. La intensidad eficaz o máxima está relacionada con la fem eficaz o la máxima en la forma

$$I = \varepsilon / X_L$$

siendo

$$X_L = 2\pi f l$$

la reactancia inductiva de la bobina. La potencia media disipada en este circuito es nula.

3. En un circuito consistente en una fem alterna y un condensador, la tensión en éste está retrasada 90° respecto a la intensidad de la corriente. La intensidad eficaz o la máxima está relacionada con la fem eficaz o la máxima en la forma

$$I = \varepsilon / X_C$$

siendo

$$X_C = 1/2\pi f C$$

la reactancia capacitiva. La potencia media disipada en este circuito también es nula. Al igual que la resistencia, las reactancias inductiva y capacitiva se miden en ohm.

4. La intensidad de la corriente que circula por un circuito LRC serie alimentado por una fem alterna viene dada por

$$I = (\varepsilon_{max} / Z) \sin(\omega t - \varnothing)$$

donde la impedancia Z es

$$Z = \text{raiz cuad. } (R^2 + (X_L - X_C)^2)$$

y el ángulo de fase se halla a partir de

$$\tan \varnothing = (X_L - X_C) / R$$

La potencia media entregada a un tal circuito depende de la frecuencia y viene dada por

$$P_{med} = \varepsilon_{ef} I_{ef} \cos \varnothing$$

donde $\cos \varnothing$ recibe el nombre de *factor de potencia*. La potencia media es máxima a la frecuencia de resonancia, la cual viene dada por

$$f_0 = 1 / (2\pi \text{ raiz c. LC})$$

A la frecuencia de resonancia el ángulo de la fase \varnothing es cero, el factor de potencia vale 1, las reactancias inductiva y capacitiva son iguales y la impedancia se hace igual a la resistencia R .

5. La calidad de la resonancia la describe el factor Q, el cual está definido por

$$Q = 2\pi f_0 L / R$$

Cuando la curva de resonancia es razonablemente estrecha, el factor Q puede aproximarse a

$$Q = f_0 / \Delta f$$

donde Δf es la anchura de la curva.

6. El transformador es un dispositivo que altera los valores de la tensión y la intensidad alterna sin pérdida apreciable de potencia. En un transformador que tenga N_1 espiras en el primario y N_2 en el secundario, la tensión en el devanado primario de la manera siguiente

$$V_2 = (N_2 / N_1) \cdot V_1$$

Diremos que se trata de un transformador elevador si N_2 es mayor que N_1 , con lo que la tensión de salida es mayor que la de entrada.

Si N_2 es menor que N_1 , tenemos un transformador reductor.

7. Para convertir corriente alterna en corriente continua, proceso llamado *rectificación*, puede utilizarse un diodo que sólo deja pasar la corriente en un sentido.
8. Variaciones pequeñas de la tensión de rejilla de un triodo dan lugar a grandes variaciones de la intensidad de la corriente de placa, efecto que puede utilizarse para amplificar señales alternas.

CAPITULO XV " LUZ "

1. La luz consiste en ondas electromagnéticas cuyas longitudes de onda están comprendidas entre unos 400 nm (violeta) y 700 nm (rojo). Las ondas electromagnéticas de longitudes de onda más corta que las visibles comprenden la radiación ultravioleta, los rayos X y los rayos gamma. Las ondas electromagnéticas de longitudes de onda más largas que las de luz visible comprenden la radiación infrarroja, las microondas, las ondas de radio y las ondas de televisión.
2. Las ondas electromagnéticas son ondas transversales con campos eléctrico y magnético oscilantes que son perpendiculares entre sí y a la dirección de propagación. Se producen cuando se aceleran cargas eléctricas y viajan por el vacío con una celeridad aproximadamente igual a 2×10^8 m/s. La intensidad de una onda electromagnética es proporcional a E^2 .

$$I = \text{Potencia} / \text{Área} = c\epsilon_0\epsilon_{ef}^2 E^2$$

3. Las cargas oscilantes en una antena dipolo eléctrico radian ondas electromagnéticas cuya intensidad es máxima en las direcciones perpendiculares a la antena y nula en la dirección determinada por el eje de la antena. En una dirección perpendicular a la antena y lejos de ésta, el campo eléctrico de la onda electromagnética es paralelo a la antena.
4. Cuando incide luz sobre la superficie de separación de dos medios en los cuales la luz se propaga con celeridades diferentes, parte de la energía luminosa se transmite y parte se refleja. El ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia. El ángulo de refracción depende del ángulo de incidencia y de los índices de refracción de los dos medios y viene dado por la *Ley de Snell* :

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

donde el índice de refracción n de un medio es el cociente entre la celeridad de la luz en el vacío c y la celeridad de la luz en dicho medio v :

$$n = c / v$$

5. Cuando la luz se propaga por un medio de índice de refracción n_1 e incide sobre la superficie de un segundo medio de índice de refracción inferior $n_2 < n_1$, la luz se reflejará totalmente si el ángulo de incidencia es superior al ángulo límite θ_c dado por

$$\sin \theta_c = n_2 / n_1$$

6. La celeridad de la luz en un medio y por tanto el índice de refracción del mismo dependen ligeramente de la longitud de onda de la luz, fenómeno que se conoce con el nombre de dispersión. A causa de la dispersión, un haz de luz blanca que incide sobre un prisma refringente se dispersa en sus colores componentes.

7. Los cuatro fenómenos que producen luz polarizada a partir de luz no polarizada son

1. Absorción.
2. Reflexión.
3. Difusión.
4. Birrefringencia.

8. Cuando los ejes de transmisión de dos polarizadores forman un ángulo θ , la intensidad de la luz transmitida por el segundo polarizador queda reducida en el factor $\cos^2 \theta$, resultando conocido por el nombre de *Teorema de Malus*. Si I_0 la intensidad de la luz entre los polarizadores, la intensidad transmitida por el segundo polarizador es

$$I = I_0 \cos^2 \theta$$