

Núcleo de Ingeniería Biomédica
FING - FMED

nib



Repaso de conceptos físicos y químicos

Curso:

IMÁGENES MÉDICAS: ADQUISICIÓN, INSTRUMENTACIÓN Y GESTIÓN

M.Sc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

12 de Marzo de 2015

diego.suarez07@gmail.com

Objetivo

Repasar algunos conceptos de física y química que pueden ser útiles para facilitar el estudio de las bases físicas particulares de cada uno de los métodos de obtención de imágenes médicas que se presentarán en los próximos módulos del curso *Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión*.

Contenido

- Introducción.
- Repaso de magnitudes físicas. Unidades y dimensiones físicas.
- Repaso de mecánica clásica de partículas en un campo externo: cinemática y dinámica. Fuerza y cantidad de movimiento. Torque y momento angular. Trabajo. Energía cinética y potencial. Conservación de la masa y la energía. Mención de correcciones relativistas en el caso de los electrones.
- Repaso de electricidad y magnetismo: cargas eléctricas, corrientes y campos. Conservación de la carga. Campos eléctricos y magnéticos estáticos. Dipolos eléctricos y magnéticos. Fuerzas, trabajo y energía. Campos y ondas electromagnéticas.
- Repaso sobre estructura atómica de la materia y nociones de física cuántica. Tabla periódica. Moléculas. Enlace químico. Reacciones químicas.
- Materia condensada. Ondas acústicas. Tipos de acústica (longitudinal, transversal y de superficie). Velocidad de propagación de ondas acústicas. Transmisión, reflexión, refracción, absorción. Impedancia. Atenuación. Efecto Doppler.

Introducción

Obtención de imágenes

La obtención de Imágenes del organismo, en sus distintas modalidades, surge a partir de la información contenida en algún tipo de energía que ha sido "modulada" al interactuar con los tejidos.



Cada método permite obtener diferente información al involucrar diferentes propiedades de la materia

Tipo de información que se puede obtener:

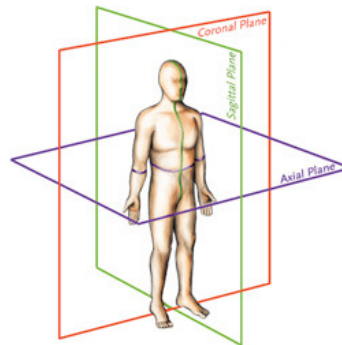
- Anatómica
- Funcional
- Anatómica + funcional

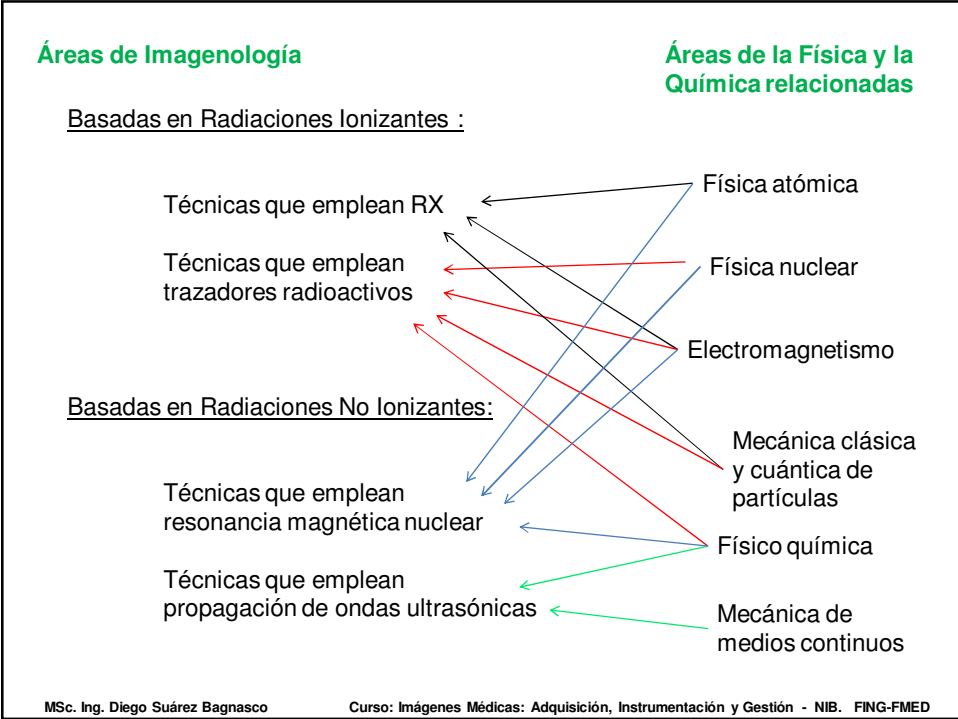
Tipos de Imágenes según dimensiones espaciales y temporal involucradas

- 2 dimensiones espaciales
 - Planas por proyección
 - Planas por Slice
- 3 dimensiones espaciales
- 2 dimensiones + tiempo (dinámicas)
- 3 dimensiones + tiempo (dinámicas)

Cortes principales

- Axial (trans axial o transversal)
- Coronal (o frontal)
- Sagital





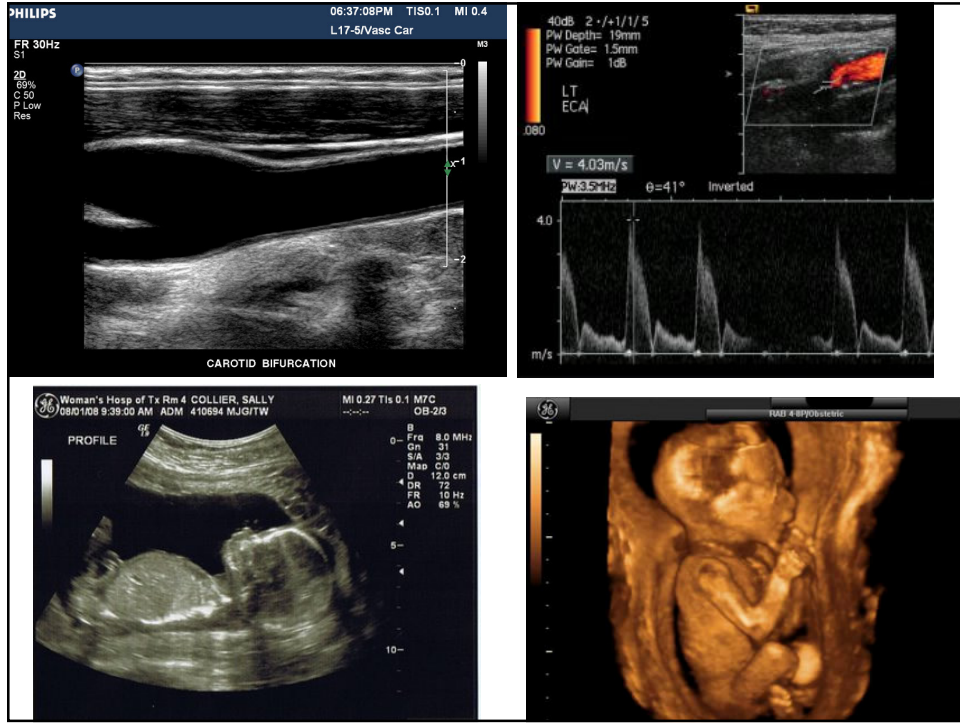
Estudios de Reflexión

Ultrasonido

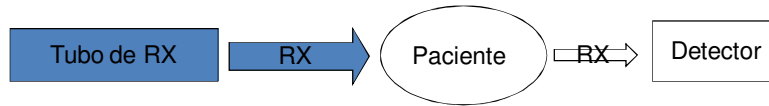
Características principales:

- Propagación de ondas mecánicas en la materia
- Se reflejan en las distintas estructuras
- Se reciben los ecos
- Fenómenos de atenuación por dispersión y absorción
- Corrimientos de frecuencias

MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED




Estudios de Transmisión




Los tejidos atenúan los Rayos X (absorción y dispersión)

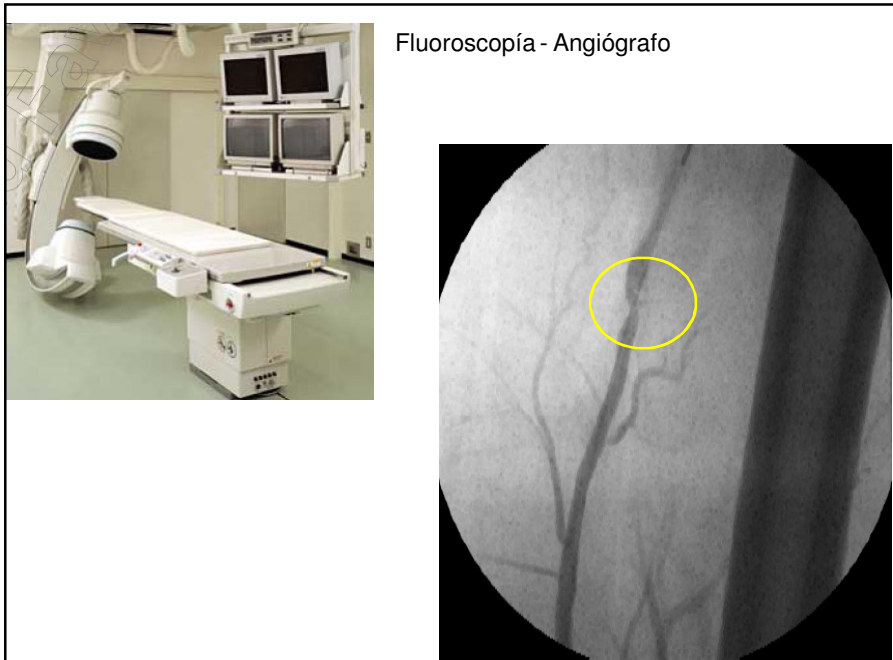
Rayos X de proyección



Tomografía computada



Fluoroscopia - Angiógrafo



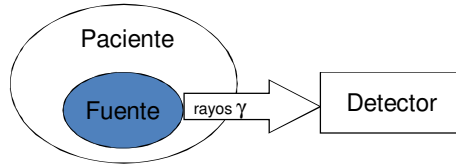
Arteria femoral obstruída

MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

Estudios de Emisión

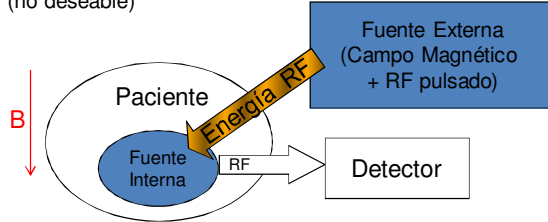
Técnicas de Medicina Nuclear:

- Sustancias marcadas con trazadores
- Concentración local de trazadores depende de la actividad fisiológica (a nivel molecular, procesos bioquímicos).
- Efectos de atenuación por los tejidos (no deseable)



Resonancia Magnética:

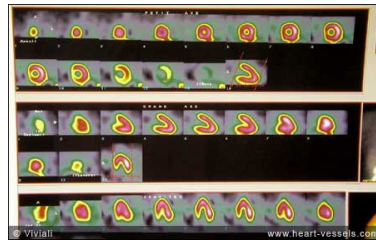
- Depende de la concentración de spines que interactúan con el campo externo. (en general átomos de H).
- Se basa en los efectos que tiene un campo magnético externo y un campo de RF sobre el comportamiento de los momentos magnéticos nucleares.



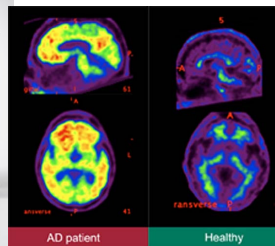
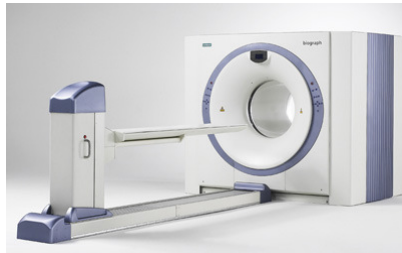
MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

SPECT



PET



MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

Resonancia Magnética



MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

Magnitudes, Unidades y Dimensiones

Magnitudes físicas

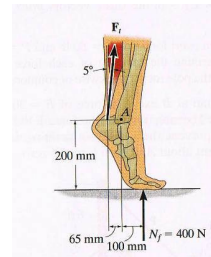
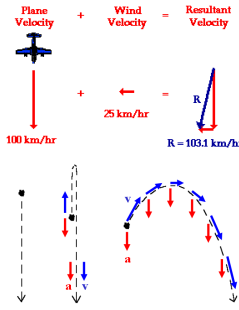
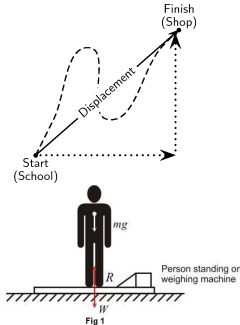
Magnitudes escalares:

Ejemplos: temperatura, concentración, densidad, masa, presión.



Magnitudes vectoriales:

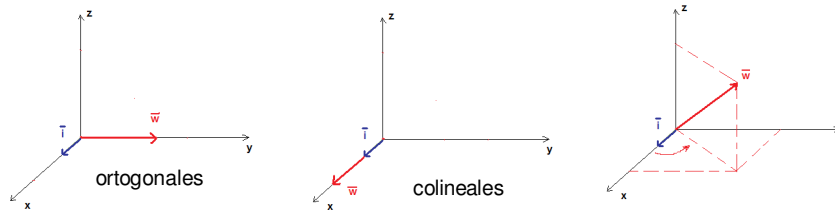
Ejemplos: desplazamiento, velocidad, aceleración, fuerza, peso.



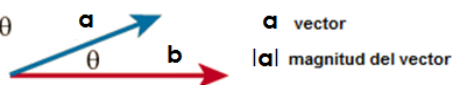
MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

Repaso de producto escalar y vectorial



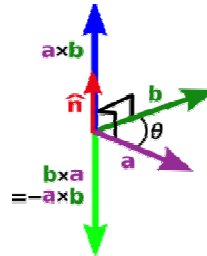
- Producto escalar $\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = |\mathbf{a}| |\mathbf{b}| \cos \theta$



\mathbf{a} vector
 $|\mathbf{a}|$ magnitud del vector

- Producto vectorial $\mathbf{a} \wedge \mathbf{b}, \mathbf{a} \times \mathbf{b}$

$$\mathbf{a} \times \mathbf{b} = (|\mathbf{a}| |\mathbf{b}| \sin \theta) \hat{\mathbf{n}}$$



MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

Unidades y dimensiones

Las unidades permiten asignar valores numéricos a las magnitudes.

El valor depende de la unidad empleada (Ej: 1 ft = 30,48 cm)

Hay unidades **básicas** y unidades **derivadas**

Las unidades de las magnitudes derivadas se expresan en términos de las unidades de las magnitudes básicas.

Ejemplo: la unidad de aceleración tiene dimensiones de distancia sobre cuadrado del tiempo

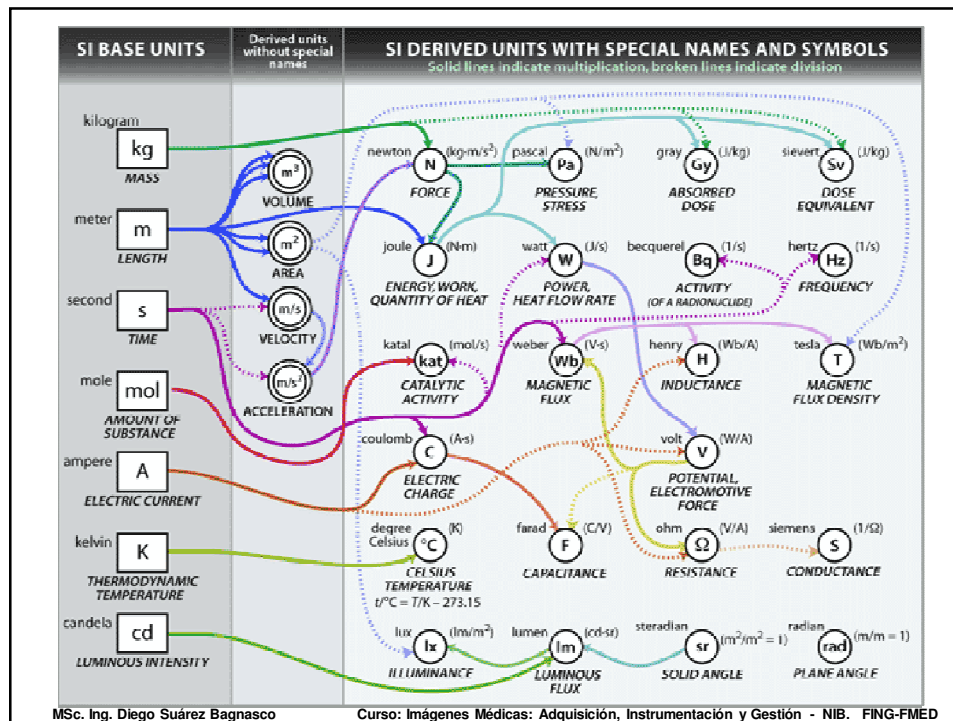
TABLE 1.4 SI Base Units

Physical Quantity	Name of Unit	Abbreviation
Mass	Kilogram	kg
Length	Meter	m
Time	Second	s ^a
Temperature	Kelvin	K
Amount of substance	Mole	mol
Electric current	Ampere	A
Luminous intensity	Candela	cd

^aThe abbreviation sec is frequently used.

MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED



Observación:

La notación [] se usa para enfatizar la dimensión de una magnitud.

Por ejemplo si es una masa, aparece [M]

Las ecuaciones que relacionan varias cantidades físicas deben ser dimensionalmente homogéneas.

Ejemplo:
$$a = \frac{1}{2}at^2 \quad [L] = \left[\frac{L}{T^2}\right][T^2]$$

Prefijos

Empleados para expresar múltiplos y sub múltiplos de una misma unidad

TABLE 1.5 Selected Prefixes Used in the Metric System

Prefix	Abbreviation	Meaning	Example (En longitudes)
Giga	G	10^9	1 gigameter (Gm) = 1×10^9 m
Mega	M	10^6	1 megameter (Mm) = 1×10^6 m
Kilo	k	10^3	1 kilometer (km) = 1×10^3 m
Deci	d	10^{-1}	1 decimeter (dm) = 0.1 m
Centi	c	10^{-2}	1 centimeter (cm) = 0.01 m
Milli	m	10^{-3}	1 millimeter (mm) = 0.001 m
Micro	μ^a	10^{-6}	1 micrometer (μ m) = 1×10^{-6} m
Nano	n	10^{-9}	1 nanometer (nm) = 1×10^{-9} m
Pico	p	10^{-12}	1 picometer (pm) = 1×10^{-12} m
Femto	f	10^{-15}	1 femtometer (fm) = 1×10^{-15} m

^aThis is the Greek letter mu (pronounced "mew").

Procesos Físicos Partículas y Campos

Procesos físicos

- Cambios en los cuerpos o los campos.
- Suceden en el espacio y el tiempo físico.

Elementos que componen los procesos físicos

Cuerpos

- sistemas de partículas separadas espacialmente
- medios continuos

Campos

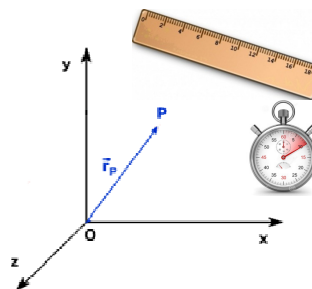
- de fuerza : definen interacciones entre partículas o entre porciones de un medio continuo

Descripción de procesos físicos

Espacio físico: homogéneo e isótropo

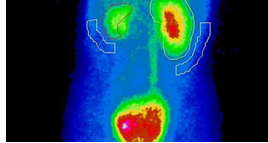
Tiempo : homogéneo

Sistemas de referencia de tiempo y espacio
(en particular sistemas inerciales)

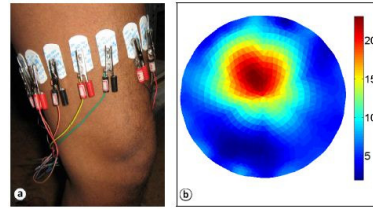


Ejemplos de Procesos que involucran Campos Escalares:

Distribución espacial de magnitudes físicas escalares
Estacionaria
Variable en el tiempo



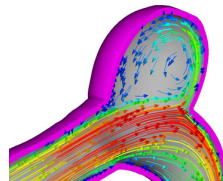
Gammagrafía renal



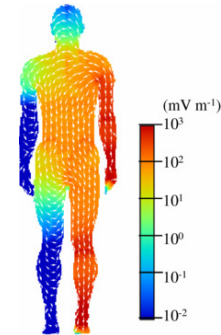
Tomografía eléctrica de impedancia. Campo de impedancia. Plano transversal al fémur

Ejemplos de Procesos que involucran Campos vectoriales:

Distribución espacial de magnitudes físicas vectoriales
Estacionaria
Variable en el tiempo



Campo de velocidades en arteria cerebral media con aneurisma. Obtenida por simulación digital



Campo eléctrico inducido en una persona sometida a una tensión a través de contactos eléctrico en mano y pie izquierdo

MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

Dinámica de partículas y sistemas de partículas

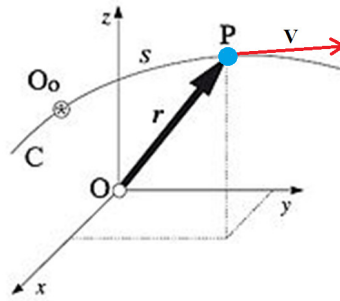
Cinemática clásica de una partícula

Trayectoria: Correspondencia entre instantes de tiempo y posiciones de una partícula

$$\vec{r}(t) = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k}$$

Velocidad:
$$\vec{v}(t) = \frac{d\vec{r}(t)}{dt}$$

Aceleración:
$$\vec{a}(t) = \frac{d\vec{v}(t)}{dt}$$



Dinámica clásica de una partícula

Descripción espacio temporal más simple: empleando sistemas inerciales

Cantidad de movimiento o momento lineal
$$\vec{p}(t) = m \vec{v}(t)$$

Segunda ley de Newton
$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F} \quad \vec{F} = \sum_i \vec{F}_i$$

MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

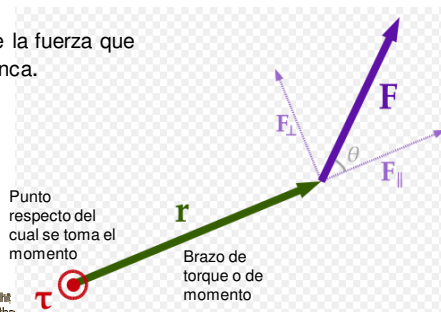
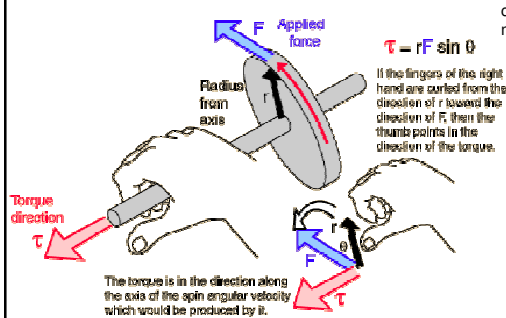
Torque

Torque, momento o momento de una fuerza es una medida de la tendencia de una fuerza a rotar un objeto por un eje.

Es el producto vectorial (o producto cruz) entre la fuerza que tiende a producir la rotación y el brazo de palanca.

$$\vec{\tau} = \vec{F} \times \vec{d}$$

$$Nm \quad N \quad m$$



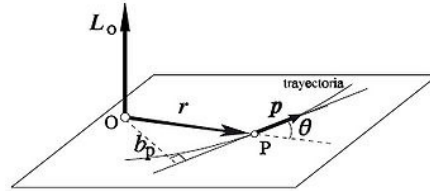
MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

Torques y momento angular

Momento angular de una partícula respecto a un origen

$$\vec{L} = \vec{r}(t) \times \vec{p}(t)$$

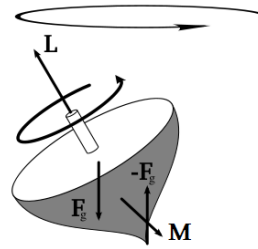
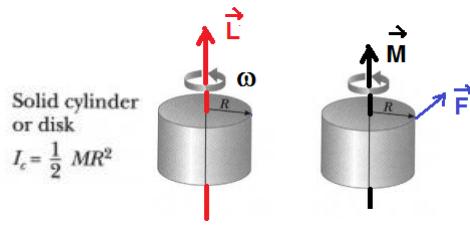


Momento de una fuerza (torque)

$$\vec{M} = \vec{r}(t) \times \vec{F}(t)$$

Ley de variación del momento angular

$$\frac{d}{dt} \vec{L} = \vec{M}$$



MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

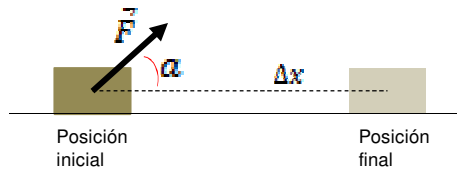
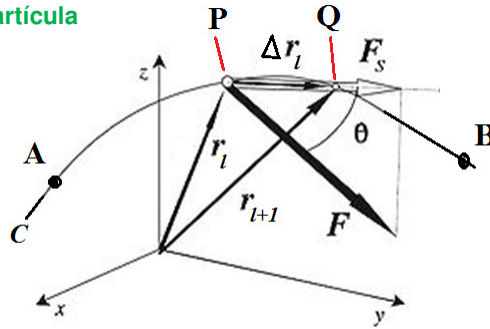
Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

Trabajo de una fuerza sobre una partícula

$$W \approx \sum \vec{F}(\vec{r}_i) \cdot \Delta \vec{r}_i$$

$$\Delta \vec{r}_i = \vec{r}_{i+1} - \vec{r}_i$$

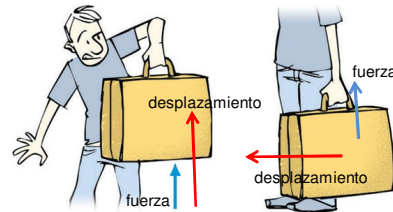
$$W = \int_C \vec{F}(\vec{r}) \cdot d\vec{r}$$



Trabajo W de una fuerza F:

$$W_F = F \cdot \Delta x \cdot \cos \alpha$$

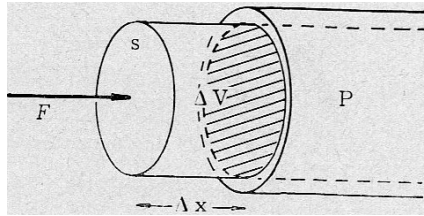
Unidad: [J] Joule



MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

Ejemplo :Trabajo y potencia de ventrículo izquierdo



F: fuerza
 P: presión
 s: superficie (sección)
 x: distancia
 V: volumen

Volumen de eyección sistólico ventrículo izquierdo (basal): 50-70cm³

Presión **media** aorta ascendente durante eyección: 90mmHg = 11997 Pa (aprox).

Tiempo de eyección VI en sístole (a 70 latidos/min) = 0,3 s (aprox)

$$W = F \cdot \Delta x$$

$$W = 11997 \text{ Pa} \cdot 7 \times 10^{-5} \text{ m}^3 = 0.839 \text{ J}$$

$$F = P \cdot s$$

$$W = P \Delta V \quad \text{Potencia} = \frac{0,839 \text{ J}}{0,3 \text{ s}} = 2,79 \text{ Watts}$$

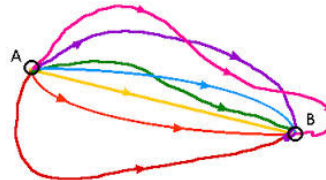
MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

Fuerzas conservativas

W depende solamente de los puntos iniciales y finales y no de la trayectoria

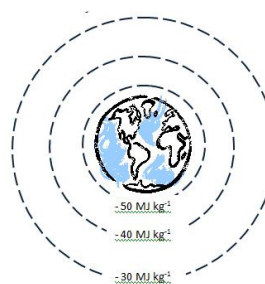
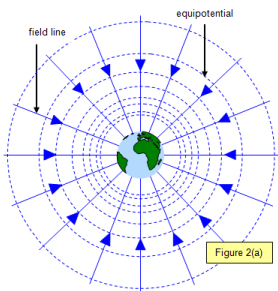
La fuerza $\vec{F}(\vec{r})$ se obtiene como el gradiente de un potencial $U(\vec{r})$ escalar.



$$\vec{F}(\vec{r}) = -\nabla U(\vec{r})$$

$$\nabla U(\vec{r}) = \frac{\partial U(\vec{r})}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial U(\vec{r})}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial U(\vec{r})}{\partial z} \vec{k}$$

Ejemplos:



MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

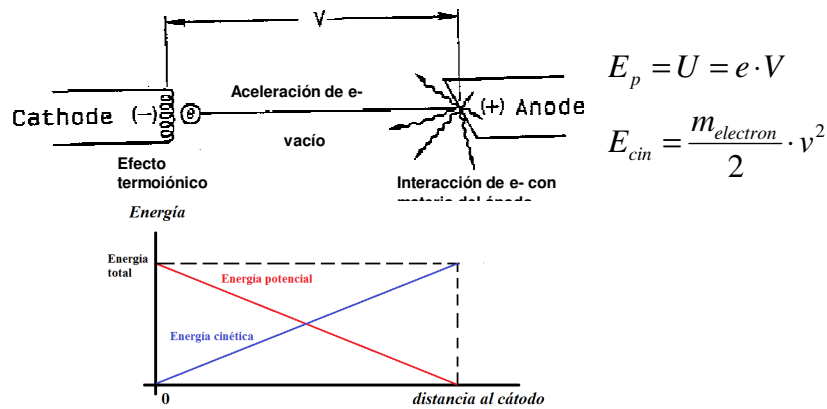
Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

Conservación de la energía

De la segunda ley de Newton aplicada al movimiento de una partícula actuada por un campo de fuerza conservativo se desprende la conservación de la energía

$$\frac{1}{2}mv^2 + U(\vec{r}) = E$$

Ejemplo: Aceleración de un electrón en tubo de Rayos X



MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

Sistemas de partículas y leyes de conservación

Sistema de partículas:

Conjunto de partículas que interactúan entre si

Ambiente:

Lo que no forma parte del sistema

Leyes de conservación para un sistema aislado:

- De la masa
- De la cantidad de movimiento
- De la energía
- Del momento angular

MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

Segunda ley de Newton para cada partícula de masa m_k

$$\frac{d\vec{p}_k}{dt} = \vec{F}_k$$

$$\vec{p}_k(t) = m_k \vec{v}_k(t) \\ k = 1, 2, \dots, N$$

Fuerza sobre la partícula k

$$\vec{F}_k = \vec{F}_{ext,k} + \sum_{j \neq k} \vec{F}_{j,k}$$

Fuerzas que
proviene del
ambiente

Fuerzas entre
partículas del
sistema

Tercera ley de Newton
Acción y reacción

$$\vec{F}_{j,k} = -\vec{F}_{k,j}$$

MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

Conservación de la cantidad de movimiento de un sistema de partículas

En ausencia de fuerzas debidas al ambiente
(sistema aislado)

$$\vec{F}_k = \cancel{\vec{F}_{ext,k}} + \sum_{j \neq k} \vec{F}_{j,k}$$

Si se verifica la ley de acción y reacción

$$\sum_k \sum_{j \neq k} \vec{F}_{j,k} = \vec{0}$$

$$\sum_k \frac{d\vec{p}_k}{dt} = \sum_k \sum_{j \neq k} \vec{F}_{j,k} = \vec{0} = \frac{d}{dt} \underbrace{\sum_k \vec{p}_k}_{\text{Cantidad de movimiento del sistema}}$$

Cantidad de movimiento
del sistema

MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

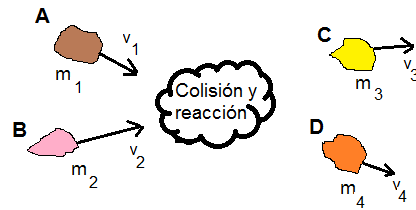
Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

Ejemplo: Reacción química o nuclear o interacción de radiación ionizante con la materia



Conservación de la masa

$$m_1 + m_2 = m_3 + m_4$$



Conservación de la cantidad de movimiento

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_3 \vec{v}_3 + m_4 \vec{v}_4$$

Conservación de la energía (para energía potencial invariante)

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_3 v_3^2 + \frac{1}{2} m_4 v_4^2 + Q$$

Si la interacción local y breve (colisión) es elástica $Q = 0$ → En ese caso se conserva la energía cinética

MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

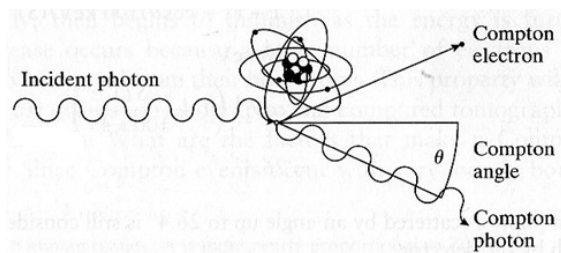
Ejemplo: Dispersión Compton de un fotón por un átomo

Se considera como la colisión de dos partículas

Fotón libre + electrón de átomo → Electrón libre + fotón dispersado

Conservación de la cantidad de movimiento

Conservación de la energía



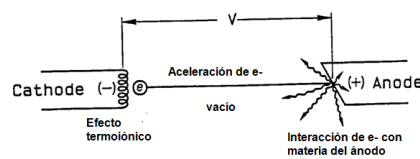
MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

Correcciones Relativistas

Necesidad de correcciones relativistas para el movimiento de electrones

Ejemplo: tubo de RX operado a 120kV



Energía del electrón:

$$\frac{1}{2}mv^2 + U(\vec{r}) = E$$

$$E_e = \frac{1}{2} m_e v_e^2(x) + (-e) V(x) = 120keV$$

Sobre el ánodo (distancia d desde el cátodo):
$$v_e(d) = \sqrt{\frac{2 \cdot 120keV}{m_e}}$$

$$v_e(d) = 2.054 \times 10^8 \frac{m}{s} \quad 68\% \text{ de la velocidad de la luz en el vacío}$$

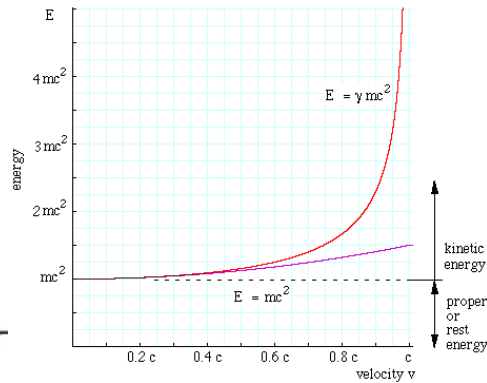
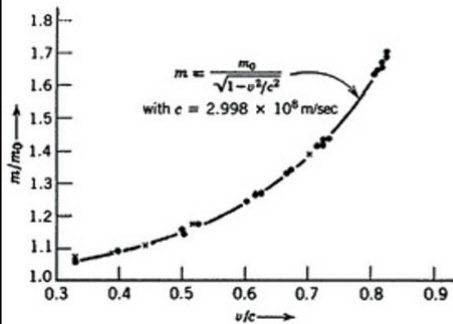
Correcciones relativistas para una partícula con masa en reposo no nula

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}$$

$$\vec{p}(t) = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \vec{v}(t) = m \vec{v}(t)$$

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = m_0 c^2 + \frac{1}{2} m_0 v^2 + \dots$$

Energía en reposo
 $m_0 c^2$



MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

Correcciones relativistas para sistemas aislados de partículas

Se suman las cantidades de movimiento relativistas para obtener la cantidad de movimiento del sistema.

Se suma a la energía potencial de interacción entre las partículas, las energías

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = m_0 c^2 + \frac{1}{2} m_0 v^2 + \dots \quad \text{para cada partícula y se obtiene la energía del sistema}$$

La masa no se conserva. Por ejemplo al dividirse un cuerpo en reposo en dos fragmentos en movimiento, la masa en reposo del cuerpo es mayor que la sumas de las masas en reposo de los fragmentos.

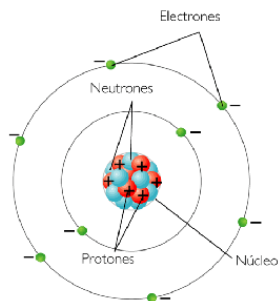
$$M c^2 = \frac{M_1 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v_1^2}{c^2}}} + \frac{M_2 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v_2^2}{c^2}}}$$

MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

Electricidad y Magnetismo

Carga eléctrica



Aparece asociada a partículas sub-atómicas (fundamentalmente e y p)

Esta cuantizada

Carga del electrón e-	$-1.602\ 17 \times 10^{-19}\ \text{C}$
Carga del protón e+	$+1.602\ 17 \times 10^{-19}\ \text{C}$

$$1\ \text{C} = 6,27 \times 10^{18}\ \text{e}^-$$

La carga total de un sistema aislado se conserva

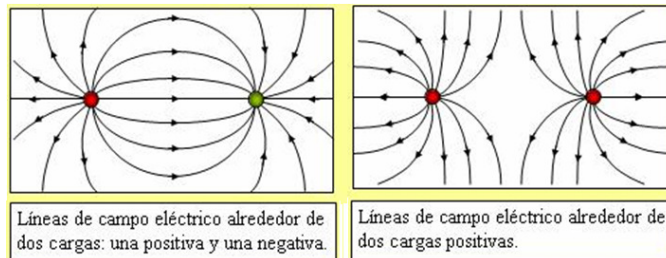
Campos Eléctricos y fuerzas debidas a campos eléctricos

Se dice que en un punto del espacio existe un **vector campo eléctrico** si colocando una carga de prueba **positiva** en dicho punto aparece una fuerza sobre esa carga.

La dirección y el sentido del campo eléctrico son los de la fuerza y su módulo es el valor del módulo de la fuerza dividido el valor de la carga de prueba

Definición operacional $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ $[E] = \frac{[F]}{[q]} \quad \frac{V}{m} = \frac{N}{C}$

Cargas eléctricas como fuentes del campo eléctrico estático:



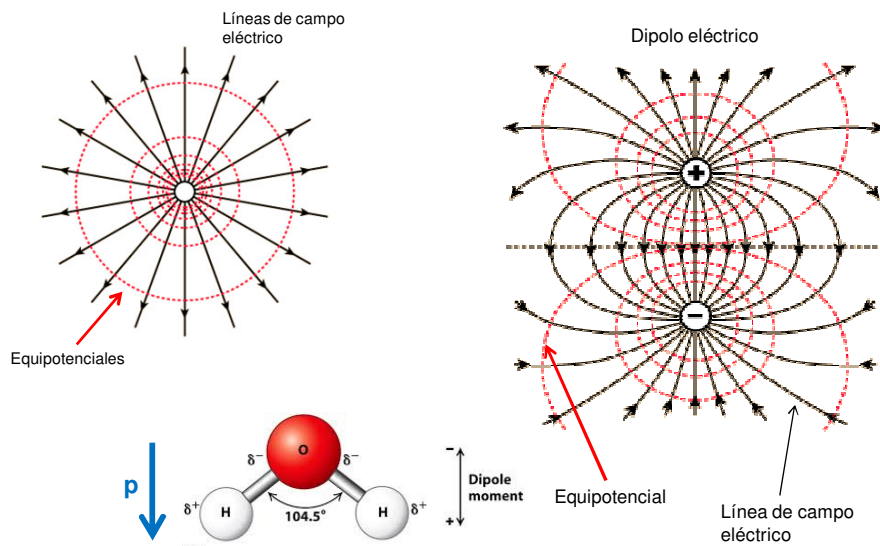
Líneas de campo eléctrico alrededor de dos cargas: una positiva y una negativa.

Líneas de campo eléctrico alrededor de dos cargas positivas.

MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

Voltaje o diferencia de potencial (Voltios) entre 2 puntos: trabajo sobre la unidad de carga (C) para desplazarla de un punto al otro en contra de la fuerza asociada a un campo eléctrico.



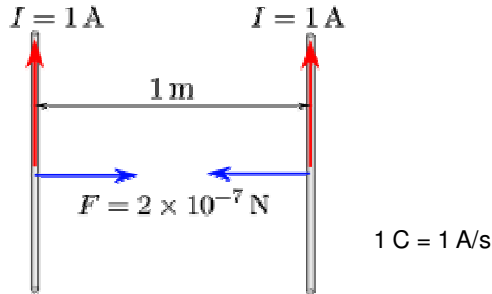
MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

Corrientes eléctricas

Corriente eléctrica – Ampere (A) : carga que atraviesa una superficie en la unidad de tiempo.

Definición operacional



En un sistema abierto la carga total puede no conservarse.

La velocidad de variación de la carga total es igual a la corriente total a través de la frontera del sistema

MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

Campos Magnéticos y torques debidos a campos magnéticos

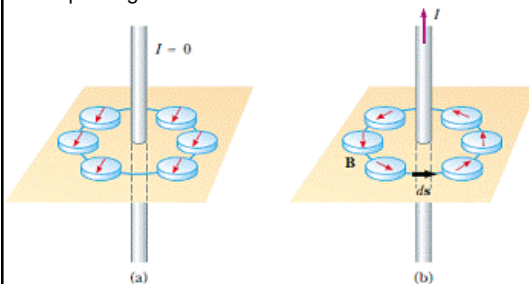
Se dice que en un punto del espacio existe un **vector campo magnético B** si colocando un dipolo magnético de prueba (imán, representado como vector $\vec{\mu}$) en dicho punto aparece un momento de fuerza (torque **M**) que verifica la correlación:

Correlación empírica

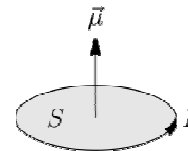
$$\vec{M} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

M : Nm
 μ : Nm/T
 B : T

Corrientes eléctricas como fuentes del campo magnético:



Movimiento de partículas cargadas como generadoras de momento magnético:



MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

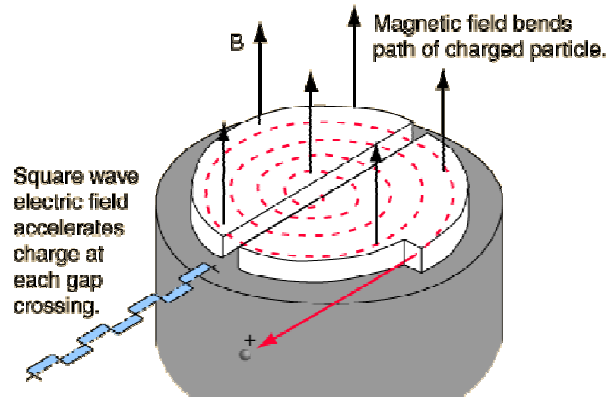
Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

Fuerza sobre una carga en movimiento en un campo electromagnético

$$\left. \begin{aligned} \vec{F}_E &= q \vec{E} \\ \vec{F}_B &= q (\vec{v} \times \vec{B}) \end{aligned} \right\} \vec{F}_{EB} = \vec{F}_E + \vec{F}_B$$

$$\vec{F}_B \cdot \vec{v} = 0 \quad \vec{F}_B \perp \vec{v}$$

$$W_{\vec{F}_B} = 0$$



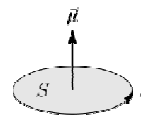
MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

Precesión del momento magnético en un campo magnético

Ley de variación del momento angular

$$\frac{d}{dt} \vec{L} = \vec{M}$$



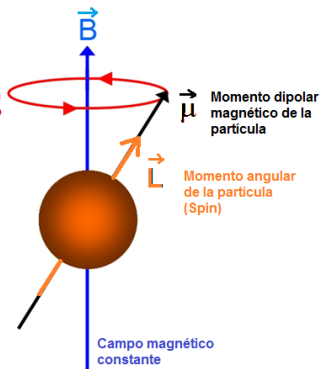
Relación giromagnética entre el momento angular y el momento magnético

$$\vec{\mu} = \gamma \cdot \vec{L}$$

Momento mecánico sobre la partícula

$$\vec{M} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

Precesión del Spin de una partícula con momento magnético no nulo



Ley de precesión del momento magnético

$$\frac{d}{dt} \vec{\mu} = \gamma \cdot (\vec{\mu} \times \vec{B})$$

MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

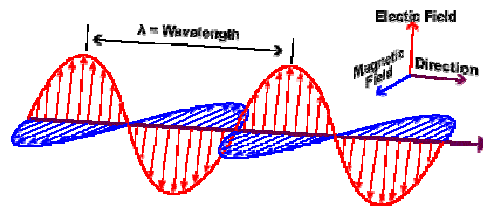
Campos electromagnéticos y radiación de cargas aceleradas

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad \text{Ley de Gauss}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad \text{Ley de Gauss para el magnetismo}$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad \text{Ley de Faraday de la inducción}$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad \text{Ley de Ampere-Maxwell}$$



$$\lambda \nu = c$$

ρ Densidad de carga eléctrica

\mathbf{J} Densidad de corriente eléctrica

ϵ_0 Permitividad del vacío

μ_0 Permeabilidad del vacío

Las cargas aceleradas radian ondas electromagnéticas

Estructura atómica y molecular

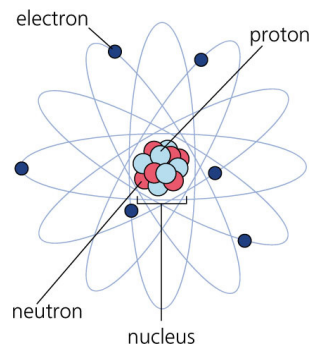
Estructura atómica – Modelo de Bohr del átomo

Representación “planetaria” compuesto por:

-Núcleo : protones (carga +) y neutrones

-Electrones (carga -)

Nucleones: conjunto de protones y neutrones



Z = número atómico

es el número de **protones** en el núcleo

define al elemento

es idéntico al número de electrones del átomo (no ionizado)

A = número másico es el número de nucleones en un átomo

A

X: representa el elemento

Z

Cada elemento tiene su Z propio, ahora el A puede variar (porque varíe el número de neutrones)

MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

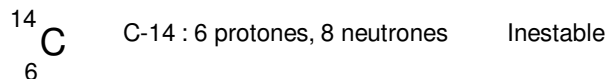
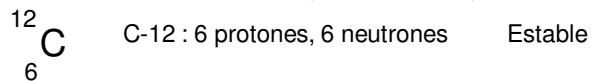
Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

Nucleido

Átomo con determinada combinación de protones y neutrones

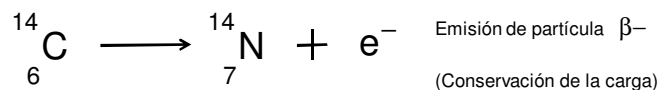
Radionucleidos

Hay nucleidos estables e inestables (radionucleidos)



Los inestables son átomos radioactivos que tienen tendencia a sufrir un proceso de reordenamiento del núcleo el cual implica entrega de energía (radiación)

En este proceso el átomo pasa de una configuración a otra más estable (final o intermedia)



MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

Radiación

Propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material.

Tipos de radiaciones

Radiación Particulada

Con carga eléctrica:

Alfa (núcleo de helio con carga positiva)

Beta - (electrones)

Beta + (positrones)

Protones

Sin carga eléctrica:

Neutrones

Radiación Electromagnética

Desde el punto de vista clásico: la energía de las ondas electromagnéticas está distribuida en forma continua en el espacio.

Desde el punto de vista cuántico: la energía de las ondas electromagnéticas está concentrada en paquetes de energía (fotones)

MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

Radiaciones Electromagnéticas habitualmente usadas para obtención de imágenes en medicina

(Radiaciones que se registran mediante los sensores de los sistemas)

Rayos X: provenientes de los orbitales del átomo.

Radiología / Fluoroscopia
Tomografía Computada por RX

Radiación Gamma: Originada en el núcleo del átomo

Cámara Gamma Planar, SPECT
PET

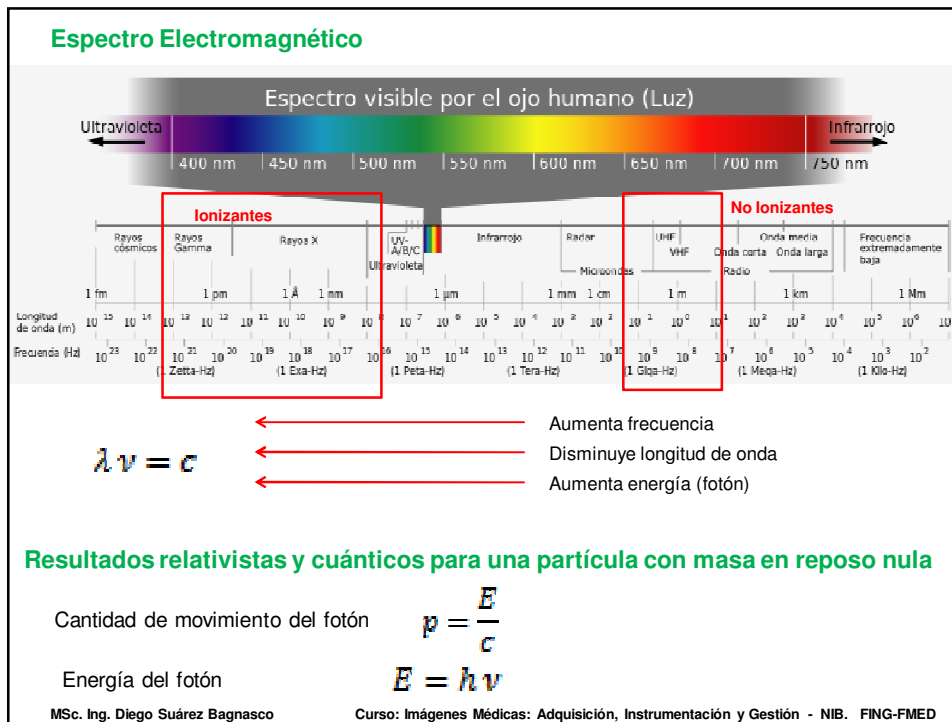
**Electromagnética
Ionizante**

Radiación Electromagnética de RF

Tomografía por RM

MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED



Sistemas confinados de partículas

La física cuántica muestra que la energía, la cantidad de movimiento y el momento angular se encuentran cuantizados en los sistemas confinados a una región acotada del espacio.

Electrones y niveles de energía

Los electrones en un átomo se encuentran ordenados en orbitales

Los electrones de los orbitales se ordenan, de la periferia al núcleo, en niveles de energía con valores negativos cuyos valores absolutos son crecientes.

Los más próximos se encuentran mas fuertemente ligados al núcleo.

Cuando un electrón deja de estar confinado su energía es positiva o nula.

Los electrones de los orbitales externos son los que participan en los enlaces químicos.

Cuando un electrón pasa de un orbital a otro emite o absorbe energía. Un posible mecanismo de pasaje es por absorción o emisión de un fotón (de energía del orden del eV) de acuerdo con la ecuación de Bohr

$$E_1 - E_2 = h \nu$$

MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

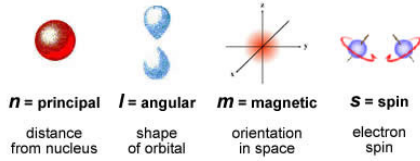
Orbitales y números cuánticos para un átomo

Cada orbital de un átomo se caracteriza por 3 números cuánticos

La descripción de un electrón en un orbital requiere de un número cuántico adicional

- n : número cuántico principal
- l : número cuántico orbital
- m : número cuántico magnético

- s : número cuántico de spin



Quantum number	Name	What it labels	Possible values	Notes
n	principal	electron energy level or shell number	1, 2, 3, ...	Except for d-orbitals, the shell number matches the row of the periodic table.
l	azimuthal	orbital type: s, p, d, f	0, 1, 2, ..., n-1	0 = s orbital 1 = p orbital 2 = d orbital 3 = f orbital
m_l	magnetic	orbital sub-type	Integers between and including $-l$ and $+l$ $-l, -(l-1), \dots, l-1, l$	$l = 0$ (s): 2 e^- in one orbital $l = 1$ (p): 2 e^- in each of three sub-orbitals (px, py, pz) $l = 2$ (d): 2 e^- in each of 5 sub-orbitals ($d_{xy}, d_{yz}, d_{zx}, d_{x^2-y^2}, d_{z^2}$)
m_s	spin	electron spin	$\pm \frac{1}{2}$	Spins in any single sub-orbital must be paired.

MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

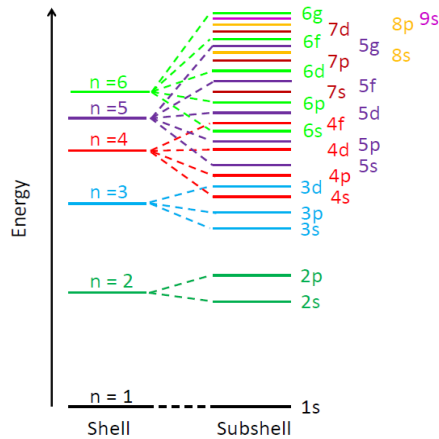
Principio de exclusión de Pauli

En los sistemas confinados las partículas pueden clasificarse en bosones y fermiones.

A los fermiones se les aplica el principio de exclusión de Pauli.

Permite comprender, sobre bases físicas, el ordenamiento de los elementos en la tabla periódica.

The quantum numbers			The number of the quantum states	
n	l	m_l	In the subshell	In the coat
1	0 (s)	0	2	2
2	0 (s)	0	2	8
	1 (p)	-1,0,+1	6	
3	0 (s)	0	2	18
	1 (p)	-1,0,+1	6	
	2 (d)	-2,-1,0,+1,+2	10	
4	0 (s)	0	2	32
	1 (p)	-1,0,+1	6	
	2 (d)	-2,-1,0,+1,+2	10	
	3 (f)	-3,-2,-1,0,+1,+2,+3	14	



MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

Tabla periódica de los elementos

Grupo 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18

Periodo 1 2 3 4 5 6 7

Elemento destacado: Hidrógeno (H)

- Número atómico: 1
- Punto de ebullición (°C): -252.7
- Punto de Fusión (°C): 0.071
- Densidad (g/ml): 0.00008989
- Valencia: 1
- Simbolo: H
- Estructura atómica: 1s¹
- Nombre: Hidrógeno
- Peso atómico: 1.00797

Legend:

- Metales (Green)
- Metaloides (Yellow)
- No metales (Pink)
- Gases nobles (Blue)

Notes: (1) Base en peso atómico carbono de 12 () indica el más estable o el de isótopo más conocido.

Footer: MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

El número atómico caracteriza al elemento desde el punto de vista químico

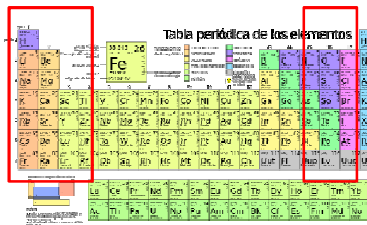
Número de Avogadro $6,022 \times 10^{23}$

Moléculas y enlace químico

Las moléculas son agregados de átomos ligados por enlaces.

En el **enlace iónico** entre 2 átomos, un átomo cede un electrón al otro. Uno queda con una carga positiva y el otro con una carga negativa

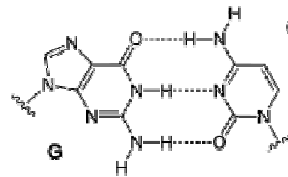
Ej: KCl, NaCl, CaCl₂



En el **enlace covalente** entre 2 átomos, se forma un orbital molecular a partir de dos orbitales atómicos (uno de cada átomo). Cada átomo aporta un electrón al enlace (spines opuestos).

Ej: H₂, Cl₂, O₂, H₂O, CH₄

El **enlace por puente de Hidrógeno** se da entre un H, unido covalentemente con un átomo electronegativo y otro átomo electronegativo



Reacciones químicas

Reacciones químicas

Es el resultado de la interacción, en una colisión, de reactantes (átomos o moléculas) que produce un reordenamiento de los átomos, originando los productos de la reacción.

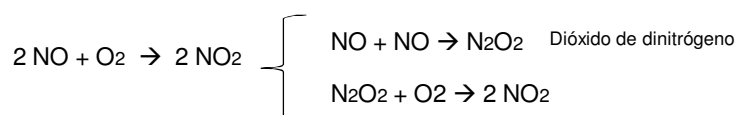
Tipos de reacción:

Elementales

Combinación	$A + B \rightarrow AB$	$H + H \rightarrow H_2$
Descomposición	$AB \rightarrow A + B$	$H_2 \rightarrow H + H$
Desplazamiento	$AB + C \rightarrow AC + B$	

Complejas

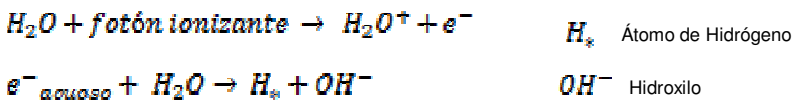
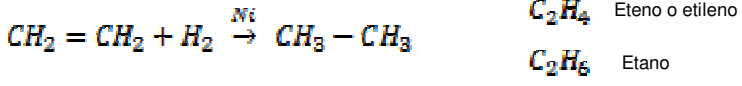
Formadas por conjuntos de reacciones elementales concatenadas



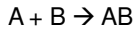
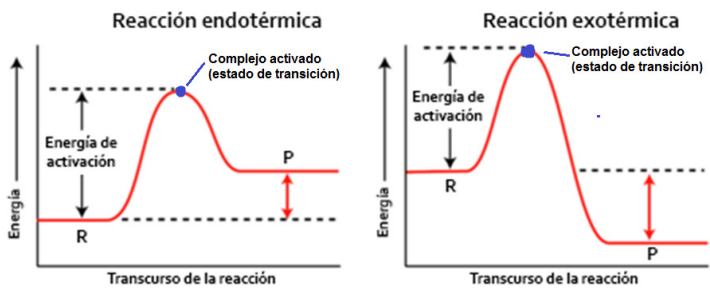
Balaneo de ecuaciones

Conservación del número de átomos de cada elemento

Conservación de la carga

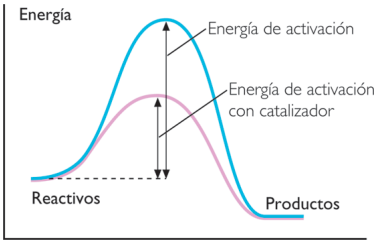


Reacciones elementales y catálisis



$v_{Reacc} = k [A][B]$

$k = k_0 e^{-\frac{E_{act}}{RT}}$



Ondas mecánicas en la materia

Onda

Perturbación en la magnitud de una propiedad de un medio, la cual se propaga, transportando energía.

Materia condensada

Sistema cuyo número de constituyentes a nivel atómico o molecular es muy elevado y cuyas interacciones son muy fuertes.

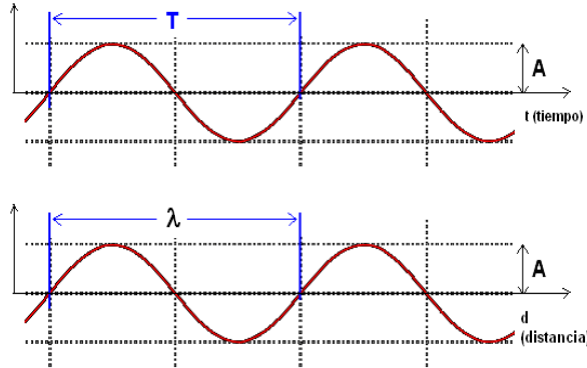
Se estudia a través del comportamiento de sus propiedades macroscópicas. Estas propiedades macroscópicas se relacionan con las propiedades a nivel molecular.

Ultrasonido

- Onda mecánica
- Frecuencia superior a 20kHz

Ondas Armónicas: parámetros característicos

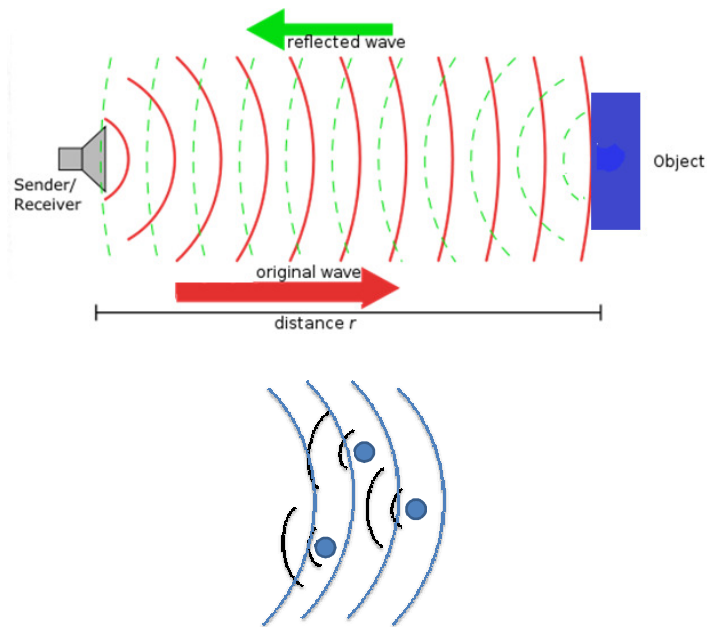
- Amplitud
- Período
- Frecuencia
- Longitud de Onda
- Velocidad de Propagación



$$f = \frac{1}{T}, \quad v_p = \lambda f$$

MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED



MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

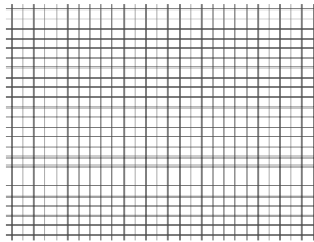
Ondas en sólidos

Longitudinales

Cizalla

Rayleigh

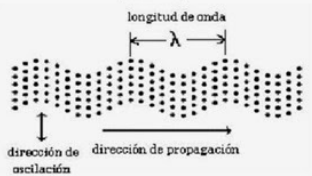
Lamb



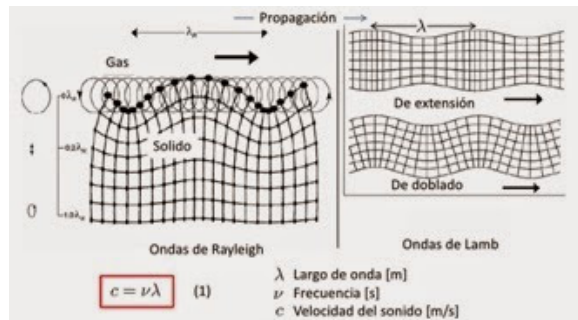
Velocidad de propagación
media en los tejidos
(longitudinales): $c = 1540\text{m/s}$

$$v_F = \sqrt{\frac{K}{\rho}} = \sqrt{\frac{E(1-\sigma)}{\rho(1+\sigma)(1-2\sigma)}}$$

ONDAS TRANSVERSALES (CORTE)



$$v_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\sigma)}}$$



MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

Impedancia Acústica para Onda Longitudinal

Z: Parámetro característico de cada material

$$Z = \rho \cdot c$$

ρ : densidad

c depende del tejido (ν_F)

$$p = Z \cdot v$$

(Análogo a la ley de Ohm)

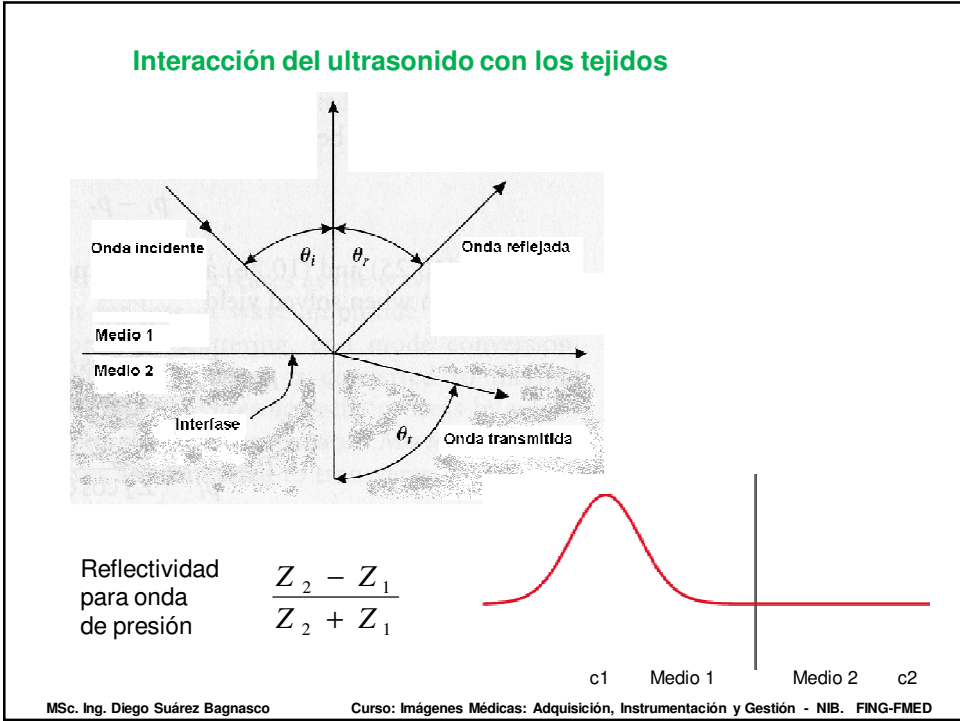
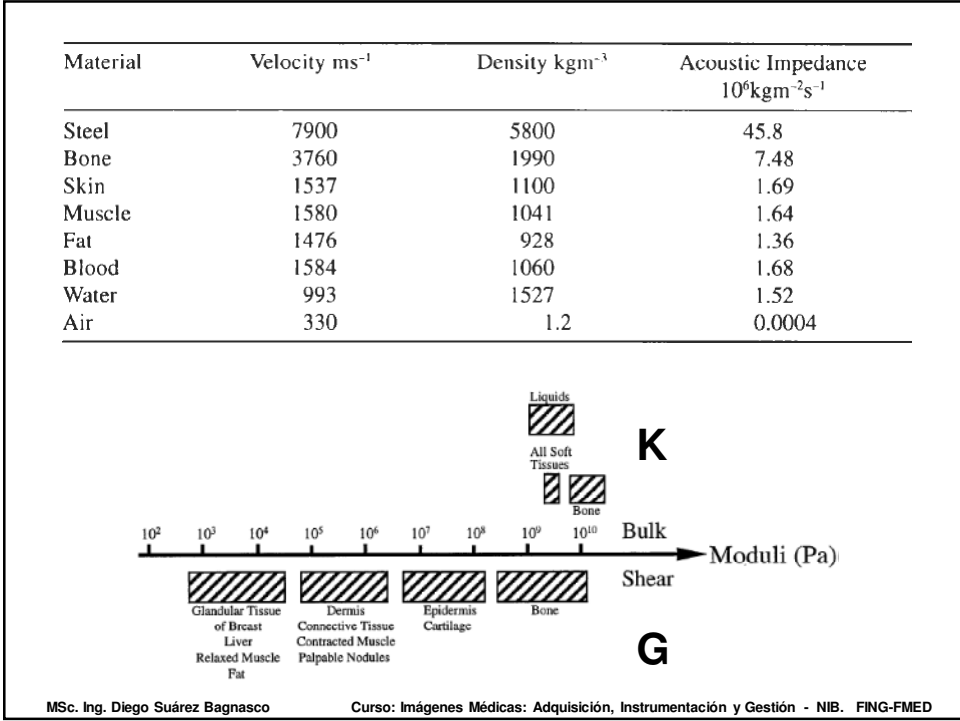
p : presión

v : velocidad de las partículas

Z : impedancia

MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

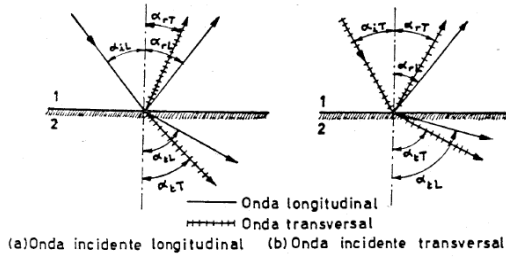


Atenuación

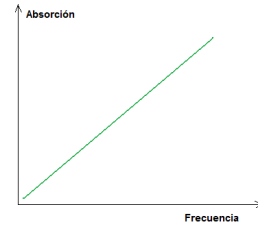
Decaimiento exponencial de la amplitud de la onda

- Pérdida de energía de la onda
- Interacción con el medio:
 - reflexión
 - refracción
 - absorción
- Conversión de modos

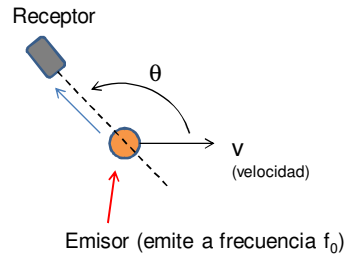
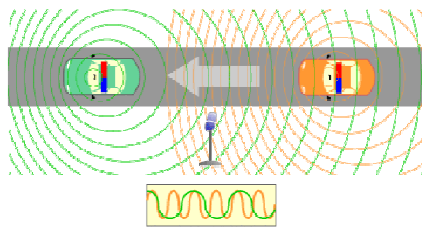
Material	Atenuación [dB/(cm.MHz)]
Hueso	20
Músculo cardíaco	1,8
Riñón	1
Grasa	0,63
Sangre	0,18



Valor de referencia (ida y vuelta) :
 1 dB/cm por MHz



Efecto Doppler – señal recibida desde un emisor en movimiento



Corrimiento Doppler

$$\Delta f_D \approx \frac{v \cdot \cos \theta}{c} f_0$$

Δf_D = corrimiento respecto a f_0 registrado por el receptor

c = velocidad de propagación en el medio

Frecuencia percibida = $f_0 + \Delta f_D$

Si v es cero, la frecuencia percibida es f_0

Efecto Doppler – señal recibida debida al eco de un blanco móvil (ej. elemento forme de la sangre)

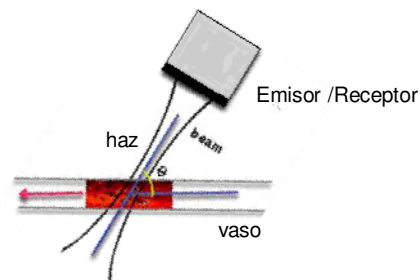
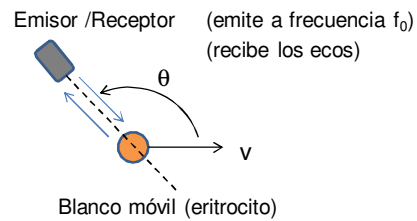
Corrimiento Doppler debido a blanco móvil

$$\Delta f_D \approx \frac{2 \cdot v \cdot \cos \theta}{c} f_0$$

Δf_D = **corrimiento** respecto a f_0 registrado por el receptor

c = velocidad de propagación en el medio

Frecuencia percibida = $f_0 + \Delta f_D$



MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

Bibliografía

- F. Blatt, "Fundamentos de Física", Prentice-Hall, Mexico, 1991.
- B. Mahan, R. Myers, "Química", Addison Wesley Iberoamericana, 1990.
- J. Prince, J. Links, "Medical Imaging: Signals and Systems", Pearson, 2006.
- B. Ivanov, "Contemporary Physics: a review of basic principles", Mir, 1966.
- P. Frank, "Foundations of Physics", The Univ. of Chicago Press, 1969.
- National Institute of Standards and Technology <http://www.nist.gov/>

MSc. Ing. Diego Suárez Bagnasco

Curso: Imágenes Médicas: Adquisición, Instrumentación y Gestión - NIB. FING-FMED

nib

Fin de la presentación

dsuarez@fisica.edu.uy

diego.suarez07@gmail.com