Academia de las asignaturas Física, Física Experimental y Fundamentos de Física.

Departamento de Física Experimental

SUGERENCIAS PARA LA IMPARTICIÓN DE LA ASIGNATURA FÍSICA EXPERIMENTAL.

TEMA 1. Física e Ingeniería.

Objetivo: El alumno comprenderá la importancia del estudio de la física en las carreras de ingeniería.

1.1 Definición de física y su campo de estudio.

Es muy importante aclarar el concepto de ciencia como un conjunto de conocimientos ciertos y comprobables, metódicamente fundados y sistemáticamente dispuestos y, en especial, el de ciencia natural, así como ubicar dentro de estas a la Física, comentando los aspectos más generales de su campo de estudio, haciendo la distinción con la Biología y la Química.

1.2 Clasificación de la física: clásica y moderna.

Conviene, para formar en el estudiante una visión útil y suficiente de esta clasificación, el resaltar aquellas partes de esta ciencia que aparecen en los planes de estudio de ingeniería, al menos en la etapa inicial de su formación.

1.3 Concepto de ingeniería. Áreas de la ingeniería.

Destacar que la ingeniería no es una ciencia, pero sí una actividad humana (disciplina) que para su desempeño pleno, requiere de una formación científica complementada de aspectos empíricos propios de su carrera. Comentar al menos las áreas de la ingeniería que se atienden en esta Facultad y citar algunos casos cuyo estudio se realice en otras facultades (como Ing. Química en la Facultad de Química, UNAM) o instituciones educativas del país como Ing. Automotriz e Ing. en Aeronáutica, ambas en el Instituto Politécnico Nacional.

1.4 Método de estudio en la física: el método científico experimental.

Dar a conocer las fases de este método con explicaciones sencillas, resaltando que no es un método rígido, pero con su guía se han obtenido conocimientos que han favorecido la estructuración de la ciencia. Entre sus fases podemos mencionar: la observación, formulación de hipótesis, experimentación, análisis de resultados (validación o rechazo de hipótesis), formulación de teorías y leyes.

1.5 Método de resolución de problemas en ingeniería.

En este subtema se debe presentar al estudiante el procedimiento general que se emplea en la ingeniería en la obtención de una solución de un problema. Este procedimiento se denomina: proceso de diseño y lo componen las cinco fases siguientes: formulación del problema, análisis del problema, búsqueda de soluciones, toma de decisión y especificación.

1.6 Interacción entre la física y la ingeniería.

En este punto es muy importante resaltar que una de las ciencias que más respaldan la labor del ingeniero es la física, de la cual este profesional encuentra y produce aplicaciones diversas. De manera recíproca, la ingeniería ha dado a la física temas que se iniciaron de manera empírica, de los cuales se han formulado teorías para su mejor comprensión y aplicación como son los casos de las máquinas térmicas y los canales para suministro de agua potable a las poblaciones.

TEMA 2. Conceptos básicos de metrología.

Objetivo: El alumno comprenderá la importancia de la medición en el estudio de la física y aplicará algunos de los procedimientos de obtención y manejo de datos experimentales.

2.1 La importancia de la medición en la física.

Un aspecto esencial de la física es que su estudio se basa en la observación y análisis de los fenómenos naturales en los que las sustancias no modifican su composición. Para explicar dichos fenómenos se recurre a su modelado a través de experimentos en los que se hace imprescindible cuantificar los cambios que ocurren en las características de las sustancias (propiedades) y de las variables que rodean al experimento y poder determinar a través de las mediciones, la influencia de dichas condiciones en los efectos que provocan.

2.2 Conceptos de dimensiones y unidades.

Para favorecer la comprensión de la estructura de un sistema de unidades, el estudiante debe tener muy claro que las dimensiones (o magnitudes de base) del sistema son las cantidades físicas que se eligieron para su formación: masa, tiempo, longitud, entre otras, y la unidad es el patrón que se selecciona para compararlo con cada cantidad física; en este caso podrían ser: el kilogramo, el segundo y el metro. Cada sistema de unidades tiene sus dimensiones y sus unidades correspondientes, llamadas de base o fundamentales.

2.3 Definiciones de unidad fundamental y unidad derivada.

Conviene subrayar que las unidades seleccionadas para cada dimensión, o magnitud de base, del sistema se denominan unidades fundamentales o de base; las unidades derivadas se obtienen a partir de las unidades de base (fundamentales) y se expresan utilizando los símbolos matemáticos de multiplicación y división.

2.4 Dimensiones de los sistemas de unidades absolutos y gravitatorios. Distinción esencial entre estos tipos de sistemas.

Es importante destacar que un sistema de unidades del tipo absoluto es aquel que incluye entre sus dimensiones a la masa pero no a la fuerza para la cual se obtendrá su unidad como derivada. En forma recíproca, un sistema de unidades de tipo gravitatorio incluye a la fuerza entre sus dimensiones, pero no a la masa por lo cual esta cantidad física se medirá con la unidad derivada

que se forme con las unidades de base o fundamentales de este sistema. Esta es la distinción esencial entre los sistemas absolutos y gravitatorios.

2.5 Dimensiones, unidades de base y derivadas del Sistema Internacional. Principio de homogeneidad dimensional. Reglas para la escritura de unidades. Prefijos utilizados en las unidades.

Para el análisis de este subtema es muy recomendable apoyarse en la información publicada en el Diario Oficial, con fecha miércoles 27 de noviembre de 2002, referente a la Norma Oficial Mexicana NOM-008-SCFI-2002, Sistema General de Unidades de Medida. En lo referente a las definiciones de unidades de base, es útil saber que existen pero no se recomienda memorizarlas ya que varias de ellas superan los conocimientos de Física que nuestro alumno promedio posee.
Conviene destacar que las unidades radián y esterradián son unidades derivadas pero son un caso especial ya que son adimensionales (inclusive anteriormente se agrupaban en un tercer grupo: unidades suplementarias).
Para el Principio de homogeneidad dimensional se recomienda ejemplificarlo con expresiones matemáticas no tan sencillas pero que el alumno ya haya visto en bachillerato, como por ejemplo la Ley de gravitación universal de Newton.

2.6 Mediciones directa e indirecta.

Es muy útil y conveniente el comentar que al trabajar en el laboratorio, al requerir la medición de alguna cantidad física que no pueda ser comparada directamente con el patrón o unidad (medición directa) resulta necesario obtener dicho valor, tomando como base otras mediciones (indirectas) con magnitudes que se relacionan con la cantidad física requerida en un principio. Es oportuno en este momento del curso el explicar y ejemplificar las características estáticas de un instrumento de medición (rango, resolución y legibilidad) así como sus características dinámicas (exactitud, precisión y sensibilidad).

2.7 Conceptos de error, error sistemático y error aleatorio.

Es indispensable el definir al error de medición como la diferencia entre el valor patrón o de referencia y el valor medido de la cantidad física bajo estudio. Comentar que el error sistemático de un instrumento tiene relación con la falta de exactitud del mismo, al carecer de la calibración adecuada. Los errores aleatorios que se presentan en las mediciones están relacionados con la precisión limitada del instrumento.

2.8 Sensibilidad de un instrumento de medición. Obtención experimental de la precisión y la exactitud de un instrumento de medición. Proceso de calibración.

Es necesario comentar la gráfica del comportamiento del instrumento de medición denominada curva de calibración, cuya pendiente nos representa la sensibilidad del instrumento; con el mismo conjunto de valores patrones y sus mediciones repetidas, se puede obtener la precisión y la exactitud para cada valor patrón.
Se sugiere enfatizar la diferencia entre precisión y exactitud, ya que en el habla coloquial suelen utilizarse como sinónimos.
Resaltar la utilidad del proceso de calibración en el instrumento antes de utilizarlo para las mediciones.

2.9 Manejo de datos experimentales, incertidumbre de una medición, análisis estadístico elemental de datos experimentales, ajuste gráfico de curvas y el método del mínimo de la suma de los cuadrados.

Es conveniente obtener la incertidumbre de una medición con elementos estadísticos sencillos y con ayuda del método del mínimo de la suma de los cuadrados obtener la mejor recta que representa a un conjunto de puntos experimentales con tendencia lineal.
En el caso del análisis estadístico elemental se sugiere trabajar únicamente con los parámetros: media, desviación estándar y error estándar de la media; conviene también enfatizar que no son cantidades adimensionales.
Para el análisis de datos experimentales con el método del mínimo de la suma de los cuadrados (también llamado método de mínimos cuadrados) se sugiere únicamente comentar en qué se basa dicho método sin demostrar las expresiones matemáticas ya que los elementos necesarios para entender

dicha demostración quedan fuera del alcance del nivel de un alumno de primer semestre.

TEMA 3. Mecánica clásica.

Objetivo: el alumno determinará experimentalmente la aceleración gravitatoria local y analizará dinámicamente el movimiento uniformemente acelerado de un cuerpo.

3.1 Campo de estudio de la mecánica clásica y de la dinámica. Conceptos de posición, desplazamiento, velocidad media, velocidad instantánea, rapidez, aceleración media, aceleración instantánea, masa, fuerza, peso, trabajo, energía, energía cinética y energía potencial gravitatoria. Planeación del experimento.

Es recomendable que el análisis de los conceptos indicados se haga de manera ágil sin perder el objetivo de estudiar el movimiento rectilíneo con aceleración constante (MRUA). Conviene también definir el concepto de partícula y resaltar muy claramente las cantidades físicas de tipo escalar y aquellas de tipo vectorial. Los conceptos dinámicos del subtema quedan lo suficientemente claros si se analizan con la dinámica de la partícula. En este rubro conviene también dejar claro que, desde el punto de vista de cómo se manifiesta, la energía puede clasificarse como propiedad del sistema (aquí se incluye a la cinética y la potencial gravitatoria) o como energía en tránsito, la cual no es propiedad (aquí se incluye al trabajo); esto servirá como preámbulo a la energía en forma de calor que será relevante en el tema de Termodinámica.
La planeación del experimento se desarrolla a partir de la ecuación de este movimiento en la cual la distancia vertical que recorre el móvil (un balín) se expresa como proporcional al cuadrado del tiempo empleado en el recorrido; el módulo de la aceleración aparece como parte de la constante de proporcionalidad.

3.2 Registro y tabulación de las variables desplazamiento y tiempo.

Como el movimiento de aceleración uniforme que se experimentará es el de caída libre de un móvil, conviene proponer una tabla de registro para recorridos del balín entre 70 y 10 [cm] (se sugieren valores de 10 en 10 centímetros) y repetir la medición del tiempo de caída al menos tres veces para cada recorrido y obtener el tiempo promedio de los tres como el más representativo. El número de lecturas para cada distancia dependerá del tiempo disponible para la práctica. Conviene resaltar que se verifiquen de los datos obtenidos el hecho que a mayor distancia, mayor tiempo de recorrido; en caso contrario será necesario verificar las conexiones o el procedimiento de medición empleado.

3.3 Modelo matemático que describe la relación entre el desplazamiento y el cuadrado del tiempo. Significado físico de la pendiente. Modelos matemáticos y gráficos que relacionan la rapidez y la aceleración con el tiempo.

Es muy ilustrativo el obtener el obtener el modelo gráfico de la variable dependiente desplazamiento "d" del balín en función del lapso de recorrido "t", considerando t=0 el instante de liberación del balín. Resulta muy razonable efectuar el cambio de variable $z=t^2$, para obtener un modelo lineal que nos permita evaluar la pendiente m del modelo $d = m\,t^2$ ya que dicha pendiente tiene relación con la aceleración gravitatoria que es nuestro objetivo principal de este tema.
Con el modelo matemático obtenido en el experimento: $d = \frac{1}{2}\, g\, t^2$, es posible obtener los modelos matemáticos y gráficos de la rapidez del móvil y su aceleración con respecto del tiempo. Conviene también enfatizar la relación con el cálculo de una variable, toda vez que la rapidez se puede obtener derivando con respecto al tiempo la posición; la aceleración se obtiene derivando con respecto al tiempo la rapidez; o también a partir de la aceleración podemos obtener la rapidez integrando con respecto al tiempo y la posición integrando con respecto al tiempo la expresión de la rapidez.

3.4 Prueba del modelo y su aplicación en la solución de problemas de dinámica.

El modelo matemático obtenido se puede poner a prueba en otro experimento en el laboratorio; por la infraestructura con que cuenta, se

sugiere hacerlo a través del desplazamiento de un móvil en un plano inclinado, incorporando en el análisis las variables dinámicas: energía potencial gravitatoria y energía cinética del móvil. Se sugiere también comentar que el movimiento de caída libre (analizando en la práctica 3) es un caso particular del movimiento uniformemente acelerado en un plano (práctica 4) cuando el ángulo entre la horizontal y la trayectoria descrita por el móvil es de 90 grados. Se sugiere también que el estudiante determine las energías potencial gravitatoria y cinética al inicio y al final del movimiento para que vaya percibiendo que el principio de conservación de la energía (la energía potencial gravitatoria se trasforma en energía cinética) como preámbulo al tema de Termodinámica que se analizará más adelante.

TEMA 4. Mecánica de fluidos.

Objetivo: el alumno determinará experimentalmente algunas propiedades de fluidos; obtendrá y comprobará la validez de la ecuación del gradiente de presión.

4.1 Campo de estudio de la mecánica de fluidos. Cuerpo sólido y fluido ideal. Densidad, densidad relativa, volumen específico y peso específico. Medios homogéneos e isótropos. Presión. Planeación del experimento.

Conviene partir del concepto de masa visto en el tema anterior, agregar el de volumen y a partir de estos dos, llegar al de densidad. Se sugiere establecer para cantidad física analizada: sus unidades en el SI, unidades en otros sistemas así como su expresión dimensional. Se recomienda también clasificar a estas propiedades (y las vistas en el tema anterior) en intensivas y extensivas, de esta manera será muy sencillo establecer el concepto de medio homogéneo.
Para el concepto de presión es aconsejable recalcar que, con base en el Principio de Pascal, se trata de una cantidad escalar y que es el cociente de la magnitud de una fuerza de contacto que actúa en forma perpendicular sobre un área de contacto. Conviene resaltar el empleo de otras unidades para medir esta cantidad física además de la unidad del SI; por ejemplo: el bar, la atmósfera, los milímetros de mercurio, libra fuerza sobre pulgada cuadrada, etc.

4.2 Registro y tabulación de las variables profundidad y presión.

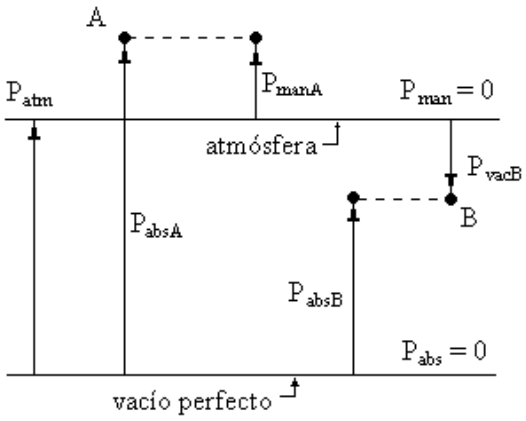
En este punto conviene recalcar que la profundidad puede considerarse como una altura negativa y que la presión que se medirá será manométrica.
En el experimento de laboratorio conviene enfatizar que la lectura que arroja el manómetro, al medir la presión atmosférica del lugar, es cero (no marca desnivel alguno); por otra parte, conviene también hacer evidente que la lectura del manómetro no cambia cuando el sensor se desplaza en el plano horizontal, a diferencia de lo que sucede cuando se desplaza en una línea vertical.

4.3 Ecuación de una línea recta que represente los valores experimentales. Significado físico de la pendiente de la recta obtenida.

En este rubro conviene destacar que la presión medida en el laboratorio es manométrica y comentar brevemente cómo funciona dicho medidor. También resulta bastante ilustrativo resaltar que si la gráfica fuera de la presión absoluta en función de la profundidad, la pendiente se mantiene pero la ordenada al origen representa el valor de la presión ambiente.

4.4 Ecuación del gradiente de presión. Uso del modelo en la determinación experimental de la presión atmosférica. Relación entre presión absoluta, relativa y manométrica. Aplicación del modelo en la solución de problemas de hidrostática.

Es aconsejable relacionar la deducción del gradiente de la presión con la experiencia física del estudiante. Conviene apoyarse en un gráfico como el siguiente para que se comprenda la relación entre la presión absoluta, la relativa y la manométrica:



Aquí también conviene recalcar que un manómetro mide con respecto a su entorno el cual no siempre es aire a la presión atmosférica.

TEMA 5. Termodinámica.

Objetivo: El alumno determinará experimentalmente la capacidad térmica específica de algunas sustancias mediante la aplicación de la primera ley de la termodinámica para sistemas cerrados y aislados.

5.1 Campo de estudio de la Termodinámica. Conceptos de temperatura, equilibrio térmico, calor como transferencia de energía, energía interna y capacidad térmica específica. Sistemas termodinámicos abierto, cerrado y aislado.

Es imperativo que el estudiante se forme un concepto sobre el campo de estudio de la termodinámica que incluya el análisis de las formas de energía de una sustancia y las propiedades con las que están asociadas dichas energías. Aclarar que las únicas formas que se conocen para modificar la energía de una sustancia es a través de las energías en tránsito: calor y trabajo que no son propiedades de la sustancia. En otras palabras, destacar que la Termodinámica estudia las interacciones térmicas (calor), las interacciones mecánicas (trabajo) así como el cambio en el valor de las propiedades de las sustancias al efectuarse dichas interacciones.
El concepto de temperatura debe incluir el hecho de que es una propiedad termodinámica de tipo macroscópico y ligada de manera directa con el equilibrio térmico y la Ley cero de la termodinámica cuyo mensaje es “todo

cuerpo tiene una propiedad llamada temperatura la cual tiene el mismo valor cuando dos sustancias están en equilibrio térmico y viceversa".

Conviene enfatizar que un sistema está en equilibrio termodinámico si mantiene el equilibrio térmico, mecánico, de fase y químico.

Es también importante resaltar que el calor no es una propiedad y que es un tipo de energía en tránsito (al igual que el trabajo); es decir, tanto el calor como el trabajo son mecanismos de transferencia de energía que nos permiten modificar la energía del sistema. Conviene entonces resaltar que podemos modificar la temperatura de un cuerpo sin necesidad de una interacción térmica. Ayuda a comprender el concepto de sistema termodinámico la analogía con un diagrama de cuerpo libre en el cual se aísla un objeto del resto del universo para analizar las fuerzas que actúan en él; para el caso del sistema termodinámico, se aísla la sustancia del resto del universo para considerar las transferencias de energía que recibe o que cede el sistema para analizar de qué manera se modifican los valores de sus propiedades. Si bien no existe una definición única de energía interna, se puede considerar para este curso que es la energía propia del sistema, cuya variación está asociada al cambio de temperatura.

Como ejemplo se puede considerar una cuenta bancaria en la que se tiene un saldo (energía interna del sistema) y varios mecanismos para disminuirlo o aumentarlo (calor o trabajo) como por ejemplo retiros en cajero automático, expedición de cheques, depósitos en ventanilla, transferencias electrónicas, etc. En este aspecto conviene apoyarse en la primera ley de la termodinámica para un sistema cerrado (masa constante) en la que:

Transferencias de energía	=	cambio de energía termodinámica del sistema

Es decir: Calor + Trabajo = ΔE_T

donde $\Delta E_T = \Delta E_{cinética} + \Delta E_{potencial\ grav.} + \Delta E_{interna\ del\ sist.} = \Delta E_c + \Delta E_p + \Delta U$

Si es despreciable el cambio de energía cinética y el de energía potencial gravitatoria, entonces se puede escribir:

$$Q + W = \Delta U$$

En este subtema es útil resaltar que lo anterior no es más que el Principio de conservación de la energía para un sistema cuya masa permanece constante y se puede considerar despreciable el cambio de energía mecánica (suma de energía cinética y potencial gravitatoria).
Una propiedad relevante en los cambios de temperatura al proporcionar o retirar energía en forma de calor es la capacidad térmica específica (llamado también en forma incorrecta *calor específico* ya que el calor no es propiedad) la cual podemos asociar a la cantidad de energía en forma de calor requerida para que una unidad de masa logre un cambio unitario en su temperatura; es decir:

$$c = \frac{\text{energía transferida en forma de calor}}{(\text{masa unitaria})(\text{variación unitaria de temperatura})}$$

Es importante destacar en este concepto que se trata de una propiedad que no depende de la cantidad de masa, sólo depende de la sustancia analizada y mientras no haya cambio de fase se puede considerar constante.

Puede citarse como ejemplo la capacidad térmica específica del agua en su fase líquida: c = 4 186 [J/(kg·ΔK)]; esto indica que dicha sustancia requiere 4 186 [J] para que 1 [kg] modifique su temperatura 1 [K]. Resulta muy adecuado resaltar en este rubro que, dado que 1 ΔK = 1 Δ°C entonces para la capacidad térmica específica de cualquier sustancia tenemos: [J/(kg·ΔK)] = [J/(kg·Δ°C)].
Para la clasificación de sistemas termodinámicos resulta útil mencionar ejemplos de cada caso y resaltar que el sistema aislado es un caso particular del sistema cerrado.

5.2 Registro y tabulación de las variables variación de energía interna y temperatura.

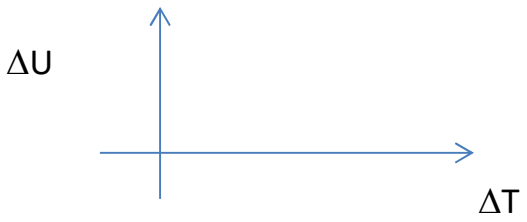
Con base en el balance de energía para la primera ley de la Termodinámica para un sistema cerrado y considerando que no hay transferencia de energía en forma de trabajo, tenemos que:

Calor (Q)	=	Variación de la energía interna del sistema (ΔU)

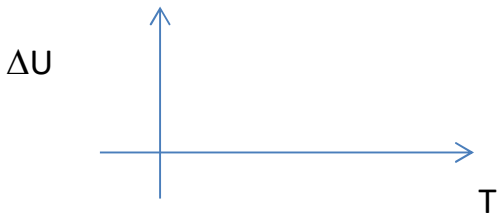
Como, además en este caso la sustancia no cambiará de fase, el calor transferido se puede calcular como:

$Q = m\,c\,\Delta T$; por lo tanto, para el experimento de laboratorio: $m\,c\,\Delta T = \Delta U$

Tomando como variable independiente la variación de temperatura, se puede elaborar la gráfica:



O también:



Aquí conviene resaltar que en ambas gráficas las dos variables involucradas son propiedades termodinámicas de la sustancia.

5.3 Ecuación de una línea recta que represente los valores experimentales. Significado físico de la pendiente de la recta obtenida.

Con base en el punto anterior se puede deducir que la pendiente del modelo matemático asociado a la gráfica obtenida es el producto de la masa de la sustancia por su capacidad térmica específica, es decir la capacidad térmica.

5.4 Prueba del modelo y su aplicación en la determinación de la capacidad térmica específica de una sustancia y en la solución de problemas de calorimetría.

En este subtema se sugiere, para la resolución de los problemas, establecer primero el tipo de sistema termodinámico a analizar (cerrado o aislado) y no analizar problemas que involucren transferencias de calor asociadas a cambios de fase.

TEMA 6. Electromagnetismo.

Objetivo: El alumno obtendrá experimentalmente el modelo matemático que relaciona la fuerza de origen magnético que experimenta un conductor con corriente eléctrica que se encuentra dentro de un campo magnético.

6.1 Campo de estudio del Electromagnetismo. Conceptos de carga eléctrica y sus tipos, campo eléctrico, diferencia de potencial, corriente eléctrica y campo eléctrico. Planeación del experimento.

En la discusión del campo de estudio del electromagnetismo conviene resaltar que estos fenómenos e presentan por la existencia de cargas eléctricas estáticas o móviles, y que estos movimientos pueden ser con rapidez constante o en forma acelerada.
Para establecer un concepto de carga eléctrica en clase se sugiere apoyarse de las ideas antecedentes que los estudiantes poseen sobre el fenómeno electromagnético. Puede dejarse, previamente, que el alumno investigue un concepto de esta propiedad para discutirse posteriormente en clase.
La parte esencial del concepto de carga eléctrica es que es una propiedad fundamental de la materia (como la masa) que existe en dos tipos (positiva y negativa), que no se puede crear o destruir, solo trasladar y que todos los valores de carga son múltiplos enteros de la carga del protón o del electrón, según su tipo. Debido a esta propiedad las partículas o cuerpos con carga eléctrica interactúan con fuerzas repulsivas o atractivas, si son del mismo tipo o diferentes, respectivamente.
Por otra parte, el espacio que rodea a una carga se modifica por la presencia de ésta; dicha modificación se representa por el concepto de campo eléctrico (que es un campo vectorial: $\vec{E}$) y por el campo de potencial eléctrico (campo escalar: V), los cuales tienen relación entre sí. Para el concepto de campo eléctrico se sugiere utilizar como analogía el concepto del campo gravitatorio asociado a una masa (en particular a la Tierra).

Al movimiento de cargas eléctricas se le denomina corriente eléctrica y solo ocurre si los campos eléctrico y potencial eléctrico están presentes. Conviene también hablar sobre la relación entre la diferencia de potencial y la corriente eléctrica en un resistor a través de la relación de Ohm.
Resulta útil, también, enfatizar que una corriente eléctrica produce, en el espacio que le rodea, otra modificación que identificamos como campo magnético $\vec{B}$, región en que se observa interacciones entre imanes, o entre conductores con corrientes eléctricas o interacciones entre un conductor con corriente eléctrica y un imán.
Esto último se puede representar con la ecuación $\vec{F}_{ci} = i_c\, \vec{\ell}_c \times \vec{B}_{ci}$ en la cual la fuerza que experimenta el conductor con corriente, debida al imán es $\vec{F}_{ci}$, i_c es la corriente eléctrica en el conductor expuesto al campo magnético del imán, $\vec{\ell}_c$ es la longitud del conductor recto con la dirección del movimiento de las cargas positivas de la corriente y $\vec{B}_{ci}$ es el campo magnético del imán en que se encuentra inmerso el conductor. Resulta muy conveniente relacionar este subtema como una aplicación del producto cruz o producto vectorial el cual se ve en "Álgebra vectorial" (tema 6 del curso paralelo "Cálculo y Geometría Analítica").
También es oportuno resaltar que la fuerza de origen magnético es función de la corriente, de la longitud del conductor, del campo magnético que lo rodea y del ángulo entre las líneas de campo magnético y el conductor citado; es decir, es una función de varias variables.

6.2 Registro y tabulación de las variables: fuerza de origen magnético y corriente eléctrica.

En el experimento que se realiza en el Laboratorio, se observa de manera objetiva la interacción entre el conductor con corriente eléctrica y el imán. Como el conductor está montado en una armazón rígida, no observaremos que actúa en él, pero en el imán y por la tercera ley de Newton de la acción y reacción, sí se puede detectar una fuerza sobre él. Esta fuerza puede ser repulsiva o atractiva, entre imán y el conductor; la interacción que resulte depende del sentido de la corriente eléctrica y por lo tanto del vector $\vec{\ell}_c$. Sobre el imán la fuerza atractiva dará una percepción de disminución de masa, si la fuerza es repulsiva se notará un aumento aparente de masa, todo esto porque el imán se coloca sobre el platillo de la balanza. Claro que la

masa del imán permanece constante pero la variación que se detecta es exactamente la fuerza magnética que se superpone al peso del imán. El módulo de esta fuerza, $\left|\vec{F}_{ci}\right|$ es la variable dependiente (ordenada) y el valor de la corriente, será la variable independiente.

6.3 Ecuación de una línea recta que represente los valores experimentales. Significado físico de la pendiente de la recta obtenida.

Se debe resaltar que durante el experimento <u>no</u> varían el módulo del vector del conductor $\left|\vec{\ell}_c\right|$, el módulo del vector del campo magnético $\left|\vec{B}_{ci}\right|$ y el ángulo θ entre estos vectores que por cierto es $\frac{\pi}{2}\ [rad]$. Del Álgebra Vectorial sabemos que $\left|\vec{F}_{ci}\right| = i\left|\vec{\ell}_c\right|\left|\vec{B}_{ci}\right| \operatorname{sen}\theta$ al obtener la ecuación de la recta que pasa por los puntos experimentales, se podrá identificar a la pendiente como $m = \left|\vec{\ell}_c\right|\left|\vec{B}_{ci}\right| \operatorname{sen}\theta$ y la ordenada al origen, de existir, tendrá relación con los errores de medición, en particular con los errores sistemáticos.

6.4 Prueba del modelo y su aplicación en la solución de problemas de electromagnetismo.

Se sugiere poner ejemplos en los que sea necesario efectuar el producto cruz o producto vectorial. Por otra parte, es conveniente indicar a los alumnos que, dado que la fuerza de origen magnético es función de varias variables, qué sucedería con el significado físico de la pendiente si en lugar de variar la corriente, ésta se deja constante y se varía la longitud del conductor, el campo magnético o el ángulo θ. En el caso de la variación del ángulo entre conductor y líneas de campo magnético (θ) es necesario hacer un cambio de variable (sen θ) para que la relación sea lineal.

Tema 7. Movimiento Ondulatorio

Objetivo: El alumno describirá y analizará el fenómeno ondulatorio estudiando experimentalmente algunas de sus variables físicas relevantes, para establecer su modelo matemático.

7.1 Conceptos de onda y onda viajera. Ondas longitudinales y transversales. Ondas estacionarias. Ondas viajeras unidimensionalmente armónicas. Amplitud y longitud de onda, número de onda y frecuencia angular. La función de onda para una onda armónica, frecuencia, rapidez de propagación y modos de vibración. Planeación del experimento.

Es conveniente iniciar el tema con el concepto más general y claro de lo que es una onda; con base en éste explicar los conceptos de onda viajera, ondas longitudinales, transversales y estacionarias. En el concepto de onda conviene recalcar que lo que se propaga es energía y no materia. La obtención de la función de onda para una onda armónica unidimensional, prototipo de onda periódica, permite definir e identificar fácilmente los conceptos: amplitud, longitud de onda, periodo, frecuencia, rapidez de propagación, frecuencia angular y número de onda (también llamado constante de propagación). Para la relación entre frecuencia (f) y frecuencia angular (ω); es decir para $\omega = 2\pi f$ debe quedar claro al estudiante que las unidades del factor 2π son [radianes/ciclo].
Para las ondas estacionarias es muy conveniente comentar que dependiendo del número de nodos y antinodos que presentan estas ondas, por ejemplo en una cuerda tensa, se identifican los diferentes modos de vibración como se obtendrán experimentalmente en el Laboratorio.
Se sugiere incluir la clasificación de las ondas dependiendo de la necesidad de un medio de propagación o no; es decir, en ondas mecánicas y ondas electromagnéticas. Como ejemplo del primer caso conviene mencionar al sonido y como ejemplo del segundo la luz que tomará especial importancia en el tema siguiente del curso.
Se sugiere describir brevemente la función de onda (y) en forma matemática y apoyarse en la función sinusoidal (función seno o coseno) que se analiza en el curso paralelo “Cálculo y Geometría Analítica”. Resaltar que dicha función de onda depende de dos variables: la posición (x) y el tiempo (t); por el alcance del curso, se sugiere limitarse únicamente a la descripción de la onda de la forma: $y\,(x,t) = A\cos\ (kx - \omega t)$ donde A es la amplitud, k es el número de onda y ω es la frecuencia angular. Para este apartado, se sugiere apoyarse en una breve descripción del movimiento armónico simple.

7.2 Registro y tabulaciones de las variables: longitud de onda y frecuencia.

En la realización del experimento de la cuerda tensa, es recomendable que la cuerda sea inextensible y que la masa m_S que se suspenda en la cuerda para tensarla sea de 100 [g] o menos, dicha masa será constante y como resultado de esto, la tensión *F* en la cuerda no cambiará. Si la cuerda es inextensible, su densidad lineal $\mu = \frac{m_c}{\ell_c}$ será constante, ya que m_c (masa de la cuerda) y ℓ_c (longitud de la cuerda) serán fijas. De esta forma la rapidez de propagación v de las ondas en la cuerda será fija, por que $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$, para todos los modos de vibración. Para obtener cada uno de los modos de vibración posibles con el equipo disponible, se variará la frecuencia del impulsor de ondas hasta obtener el modo 1, el 2,…, etc. y se medirá la longitud de onda $\lambda_1, \lambda_2, \ldots$, etc.
Con los valores de las frecuencias para cada modo de vibración: $f_1, f_2, \ldots$, etc. como abscisas y las longitudes de onda $\lambda_1, \lambda_2, \ldots$, etc. como ordenadas se puede construir un modelo gráfico, su inconveniente es que no es un modelo lineal. Si se realiza un cambio de variable y en lugar de las frecuencias se calculan los periodos correspondientes a cada modo, se puede obtener una distribución de los puntos experimentales de forma muy aproximada a una recta.

7.3 Ecuación de una línea recta que represente los valores experimentales. Significado físico de la pendiente de la recta obtenida.

Al obtener el modelo matemático (la ecuación) de la recta encontrada en el subtema anterior, del análisis dimensional de la pendiente se puede obtener su significado físico en el experimento.
Como en otros experimentos realizados la ordenada al origen, de existir, estará relacionada con los errores sistemáticos en las mediciones.

7.4 Prueba de modelo y su aplicación en la solución de problemas de movimiento ondulatorio.

En la función de onda de una onda armónica unidimensional del tipo $y = A\cos\ (kx - \omega t)$ que se desplaza hacia las x^+, se puede identificar los conceptos que aparecen en la ecuación y calcular algunos otros para el movimiento ondulatorio que representa tales como la amplitud máxima, la longitud de onda, el periodo, la frecuencia y la rapidez de propagación. En

este subtema se sugiere apoyarse en ejercicios relacionados con las variables analizadas en el laboratorio: frecuencia, longitud de onda, rapidez de propagación y periodo; para ejercicios relacionados con la función de onda $y(x,t) = A\cos\ (kx - \omega t)$ se deberá abarcar únicamente la identificación de los parámetros amplitud, número de onda y longitud de onda a partir del modelo matemático de dicha función.

Tema 8. Óptica geométrica

Objetivo: El alumno obtendrá experimentalmente la ley de la reflexión y de la refracción o ley de Snell.

8.1 Campo de estudio de la óptica; óptica geométrica y óptica física. Ondas electromagnéticas, espectro visible. Frente de onda y rayo de luz. Reflexión y refracción. Índice de refracción. Planeación del experimento.

El concebir a la Óptica como la parte de la Física que estudia la luz nos ayuda a entender por qué existen varios modelos para su estudio. La luz presenta algunas de sus características en ciertos fenómenos pero otras de ellas no se perciben. Cuando se observa que la luz viaja en línea recta, el modelo de rayos de luz es suficiente dando origen a la Óptica Geométrica. En otros fenómenos, la luz se comporta como formada de un flujo de corpúsculos submicroscópicos llamados cuantos de luz o fotones y existen fenómenos ópticos que sólo pueden explicarse con un análisis ondulatorio de la luz, tales como la interferencia y la difracción, a esta parte se le conoce como Óptica Física. En este apartado, conviene resaltar la naturaleza dual de la luz.

Las ondas de luz son una parte muy pequeña de un conjunto muy grande de ondas denominadas electromagnéticas; a la gama completa de frecuencias de estas ondas se le denomina espectro electromagnético y al conjunto de frecuencias que el ojo humano puede percibir se le denomina espectro visible.

En esta parte conviene apoyarse en el tema anterior, haciendo énfasis que todo el espectro electromagnético, incluyendo una parte que es la luz visible, es un conjunto de ondas que no requieren de medio alguno para propagarse, esto es, que se pueden transmitir en el vacío.

Es muy útil explicar que un frente de onda es el lugar geométrico de los puntos adyacentes en los que la fase de vibración de la cantidad física asociada con la onda es la misma y que la línea imaginaria que nos describe la

dirección en que la luz se propaga es un rayo de luz; es decir, los rayos siempre son líneas rectas normales a los frentes de onda, formados éstos, por ejemplo, por las crestas de las ondas.
Es importante recalcar también que la luz se propaga en línea recta y con rapidez constante si el medio en el cual se transmite es homogéneo e isótropo, conceptos vistos en el tema 4 de este curso.
Entre los fenómenos ópticos que pueden ser analizados con el modelo de rayos de luz son la reflexión y la refracción (o transmisión). Los rayos que llegan o que inciden a la superficie lisa que separa dos materiales transparentes (por ejemplo aire y vidrio) y forman un ángulo θ_i respecto de la normal a la superficie serán reflejados parcialmente con un ángulo igual al de incidencia llamado ángulo de reflexión θ_r medido también con respecto a la normal a la superficie lisa. La parte de rayos que no fueran reflejados serán refractados o transmitidos hacia el vidrio, formando con la normal mencionada, un ángulo denominado ángulo de transmisión θ_t o de refracción. Es muy importante resaltar que los rayos de incidencia, de reflexión y de transmisión así como la normal con respecto a la cual se miden los ángulos, están contenidos en un mismo plano, que suele ser en el que se representan la interfaz entre los materiales, así como los rayos y sus respectivos ángulos.
El índice de refracción o transmisión (n), se define como el cociente de la rapidez de la luz en el vacío entre la rapidez de ella cuando es transmitido en el material. Aquí conviene recalcar, por un lado, que el índice no puede ser menor a la unidad así como el hecho de que este índice no es de valor constante cuando la frecuencia de la luz que se transmite varía.

8.2 Registro y tabulación de las variables: ángulo de incidencia, ángulo de reflexión y ángulo de refracción; tabulación de las variables seno del ángulo de incidencia y seno del ángulo de refracción.

Con el equipo disponible en el Laboratorio es posible realizar mediciones de ángulos de incidencia sobre un espejo y medir a su vez los respectivos ángulos de reflexión; para mejores resultados de estas mediciones se sugiere utilizar la luz monocromática de la fuente de láser; esto exige el análisis y cumplimiento de las precauciones que se deben tener al utilizar esta fuente de energía luminosa. Conviene experimentar con ángulos de incidencia desde

10° hasta 60° y realizar las mediciones de los ángulos de reflexión al menos en tres ocasiones, para poder estimar la incertidumbre en esas mediciones.
De forma semejante y para el mismo intervalo de ángulos de incidencia, medir indirectamente los ángulos de transmisión correspondientes, a través de la expresión:

$$\tan \theta_t = \frac{\operatorname{sen} \theta_i - \frac{d}{e}}{\cos \theta_i}$$

en la cual se requiere adicionalmente la desviación lateral “d” formada por el rayo incidente al refractarse dos veces, al entrar a la muestra transparente de caras paralelas y espesor “e” y salir de la muestra en dirección paralela a la del rayo incidente pero desplazada una distancia “d”, paralela a la dirección original del rayo incidente.
Se sugiere demostrar en clase la expresión del párrafo anterior como una aplicación del tema “Trigonometría” del curso “Álgebra” que se lleva en paralelo.

8.3 Modelo matemático de la relación entre el ángulo de incidencia y el ángulo de reflexión; modelo matemático entre el seno del ángulo de incidencia y seno del ángulo de refracción.

Con los valores de los ángulos de incidencia y sus correspondientes ángulos de reflexión, se puede construir el modelo gráfico con el ángulo de incidencia como variable independiente y, si resulta una recta, se puede obtener el modelo matemático del ángulo de reflexión en función del ángulo de incidencia. En esta gráfica conviene hacer énfasis de su semejanza con la función identidad analizada en el curso “Cálculo y Geometría Analítica”.
Para el fenómeno de transmisión conviene realizar los cambios de variables: seno del ángulo de incidencia y seno del ángulo de transmisión para que la relación sea lineal y, con base en ello y en la ley de Snell, determinar el índice de refracción desconocido de la muestra del material empleado.

8.4 Prueba del modelo y su aplicación en la determinación de índice de refracción de otro dieléctrico transparente y en problemas relativos a refracción de un rayo de luz.

Con el procedimiento descrito, si existe la oportunidad de trabajar en el laboratorio, se podría estudiar la transmisión de la luz a través de un dieléctrico transparente diferente al empleado en la práctica anterior y verificar la validez de la ley de Snell. También la prueba del modelo se puede realizar a través de problemas que tengan relación con la reflexión y la refracción de la luz.
Adicionalmente, si el tiempo lo permite, se sugiere realizar en el laboratorio el fenómeno de la dispersión de la luz, como ejemplo de qué sucede cuando se considera que el índice de refracción no es constante para el material y éste depende de la frecuencia de la luz.

Tema 9. Sistemas de unidades

Objetivo: El alumno analizará las dimensiones, las unidades fundamentales y las unidades derivadas, de las cantidades físicas que se presentan con mayor frecuencia en la ingeniería, en los sistemas de unidades más usuales en esta disciplina.

9.1 Estructura del Sistema Internacional de Unidades. Unidades derivadas involucradas en los fenómenos estudiados.

Resulta muy recomendable para consolidar el aprendizaje del Sistema Internacional que en este subtema se retome la estructura básica de este Sistema tratada al inicio del tema 2 del curso; al tener presentes las cantidades de base (dimensiones) y sus unidades (fundamentales). Se sugiere elaborar un listado que contenga, en el orden en que aparecieron en el curso, las cantidades físicas que requieren para su medición de unidades derivadas, la equivalencia de éstas con las unidades de base, su símbolo particular, si es el caso, y la expresión dimensional de la cantidad física; por ejemplo:

aceleración: $\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$ $\qquad$ $\dim(\mathrm{a}) = \mathrm{L\,T}^{-2}$

fuerza: $\mathrm{N} = kg\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$ $\qquad$ $\dim(\mathrm{F}) = \mathrm{M\,L\,T}^{-2}$

presión: $\mathrm{Pa} = \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2} = \frac{\mathrm{kg\,m}}{\mathrm{s}^2 m^2}$ $\qquad$ $\dim(\mathrm{P}) = \mathrm{M\,L}^{-1}\,\mathrm{T}^{-2}$

9.2 Sistemas MKS: gravitatorio y absoluto. Sistemas CGS: gravitatorio y absoluto. Sistemas FPS: gravitatorio y absoluto.

La revisión de estos sistemas no pretende ser exhaustiva, se recomienda agrupar las versiones absolutas de los sistemas MKS, cgs, FPS y el SI; para todos estos identificar las unidades que se emplean para medir: masa, longitud, tiempo y fuerza (esta última con su unidad derivada). Para las versiones gravitatorias de los sistemas MKS, CGS y FPS identificar las unidades empleadas en la medición de la fuerza, longitud, tiempo y masa (esta última con su unidad derivada). Con esta forma de estudio se espera resaltar la diferencia entre los sistemas absolutos y gravitatorios, incluyendo entre los primeros al SI, que se observa muy cercano a la versión absoluta del MKS.

9.3 Ecuaciones dimensionales. Conversión de unidades y de fórmulas.

Es muy recomendable realizar ejemplos y ejercicios de verificación de homogeneidad dimensional en fórmulas y ecuaciones, así como también verificación de unidades.
En la industria y el comercio se emplean aún varias unidades que no pertenecen al SI, resulta ilustrativo el efectuar conversiones de esas unidades tales como psi, HP, kg_f/cm^2, mi/h, ℓ, etc. a las que debieran usarse de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana.
Existen algunas fórmulas empíricas que emplean unidades ajenas al SI y resulta conveniente que el alumno aprenda a traducirlas a su sistema oficial.

Ing. Gabriel Alejandro Jaramillo Morales.
M. I. Rigel Gámez Leal.
Semestre 2016-1, enero de 2016.

Se agradece la participación de los profesores de la asignatura que durante el semestre 2016-1 asistieron a las Reuniones de Academia y enriquecieron la primera versión de este documento.

Martín Bárcenas Escobar
Eduardo Bernal Vargas
Violeta Luz María Bravo Hernández
Juan Carlos Cedeño Vázquez

José Rafael Cuellar Lara
Esther Flores Cruz
Rigel Gámez Leal
Gabriel Alejandro Jaramillo Morales
M. del Carmen Maldonado Susano
Catarino Fernando Pérez Lara
Luis Enrique Quintanar Cortés
Luis Andrés Suárez Hernández
Manuel de Jesús Vacio González
Alfredo Velásquez Márquez