

# Sugerencias para la impartición de la asignatura Principios de Termodinámica y Electromagnetismo

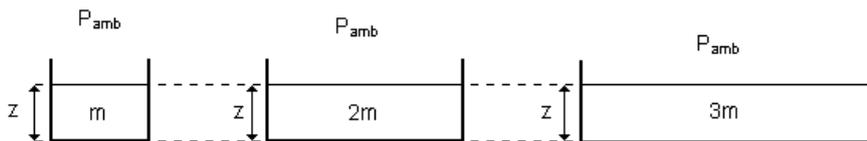
## 1. Conceptos fundamentales.

1.1 Este subtema conviene iniciarlo con las dimensiones, unidades de base, derivadas y suplementarias del Sistema Internacional de Unidades (SI) para que con ello se puedan establecer con facilidad las expresiones dimensionales de las cantidades físicas involucradas, no sólo en este subtema sino a lo largo del curso.

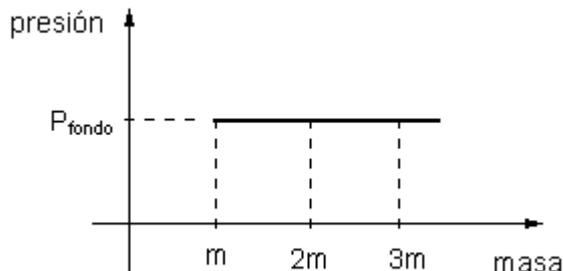
1.2 Es aconsejable relacionar la deducción del gradiente de la presión con la experiencia física del estudiante. Conviene mencionar que antes del cálculo de la variación de la presión en un fluido en reposo, tanto la densidad del mismo como la aceleración gravitatoria pueden no ser constantes. Sin embargo, debido al tiempo destinado para impartir este tema, es recomendable tratar únicamente los casos en los que sean constantes.

Conviene también enfatizar que la presión, además de ser una propiedad intensiva y escalar, es la adecuación del concepto de fuerza que resulta más adecuada para analizar los fenómenos con los fluidos.

Aquí conviene subrayar que la presión es una propiedad macroscópica de la sustancia y que no depende de la cantidad de masa. Una manera sencilla, aunque poco rigurosa de comprobar esto último es la siguiente: Considere que el ambiente está a una presión  $P_{amb}$ . En tres recipientes distintos vacíe un fluido de densidad  $\rho$  hasta el mismo nivel  $z$  como se indica en la figura.



En cada recipiente la presión en el fondo es  $P_{fondo} = P_{amb} + \rho gz$ . Si se hace una gráfica de la presión en el fondo en función de la masa de la sustancia, se obtiene

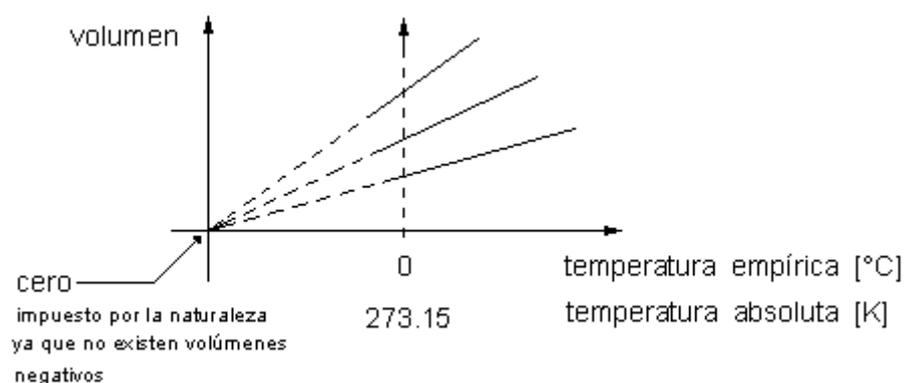


En la gráfica anterior se observa que el valor de la presión es independiente de la cantidad de masa de la sustancia.

Es indispensable que el estudiante reconozca la relación entre las presiones absolutas y relativas: si en la medida de la presión la referencia es el vacío perfecto, donde la presión es nula, entonces se trata de absoluta y si la referencia es el entorno, entonces se trata de una presión relativa que puede ser manométrica, si es mayor que la del entorno y vacuométrica en caso contrario.

1.3 El concepto de temperatura es abstracto, por lo que puede resaltarse que desde el punto de vista macroscópico la temperatura emana de la ley cero de la termodinámica; el tercer sistema al que hace mención funge como termómetro. Las escalas de temperatura empírica dan valores arbitrarios a dos estados de referencia (por ejemplo la fusión y la ebullición normales del agua) por lo que la relación entre ellas debe ser lineal. Conviene tratar únicamente con la escala de Celsius. Las escalas absolutas se basan en un estado de referencia impuesto por la naturaleza (volumen cero), aquí conviene tratar sólo con la escala de Kelvin, mencionando que se basa en la escala de Celsius y únicamente está desplazada la referencia. Esto servirá de antecedente directo para el subtema 2.5.

Resulta muy ilustrativo construir la gráfica siguiente para enfatizar que la escala de Kelvin se basa en una referencia impuesta por la naturaleza (volumen cero) de una sustancia. Esta es la representación de la ley de Gay-Lussac y de Charles. Apóyese en esta gráfica para recordarle al alumnado por qué en la ecuación del gas ideal tanto la presión como la temperatura deben ser absolutas, como se repetirá en el subtema 2.5.



1.4 Es necesario recalcar que tanto calor y trabajo son manifestaciones de una misma "cosa": energía, y que ambas cruzan la frontera de un sistema pero no son propiedad de la sustancia. La definición de calor da el convenio de su signo, la extensión de la definición mecánica de trabajo da su signo, el cual coincide con el convenio para el calor. La relación entre el calor y el trabajo se desprende de los experimentos de Joule, cuya consecuencia principal es el reconocimiento de la existencia de una propiedad muy abstracta pero de gran aplicación: la energía interna, la cual carece de una interpretación física macroscópica (por eso se "descubrió" apenas en 1850) pero que es muy útil.

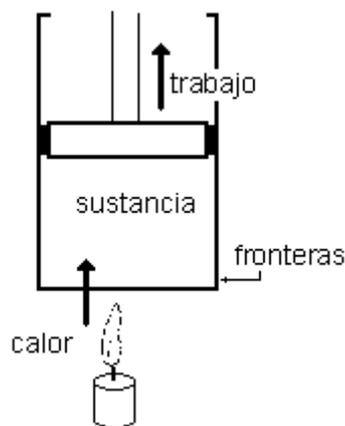
1.5 Calor y trabajo no son las únicas manifestaciones de la energía, existen también otras que son propiedad del sistema como la cinética, potencial gravitatoria y la interna, siendo esta última fundamental porque aunque no tiene interpretación macroscópica es necesaria para que se cumpla el principio de conservación de la energía.

## 2. Primera ley de la termodinámica.

2.1 Es conveniente relacionar el funcionamiento de las máquinas térmicas que originaron la revolución industrial con la definición de la termodinámica clásica o macroscópica. Se desprende lógicamente que la termodinámica es una ampliación de la mecánica; en aquella el interés principal se centra en los fluidos: líquidos y gases. Puede resultar interesante para el estudiante que el funcionamiento de una máquina térmica se reduce básicamente a: i) una sustancia que experimenta una variación en el valor de sus propiedades como el volumen y la temperatura; ii) unas fronteras que mantienen constante la masa de la sustancia y permiten la interacción que se llama calor y la que se llama trabajo; iii) una interacción de carácter mecánico que se llama trabajo; y iv) una interacción que no es de carácter mecánico sino térmico: calor. Aquí podría introducirse el concepto de rendimiento o de eficiencia:

$$\text{rendimiento } (\beta) \text{ o eficiencia } (\eta) = \frac{\text{lo que se desea del sistema}}{\text{lo que se aporta al sistema}}$$

Este concepto es crucial para reconocer la importancia de la segunda ley de la termodinámica.



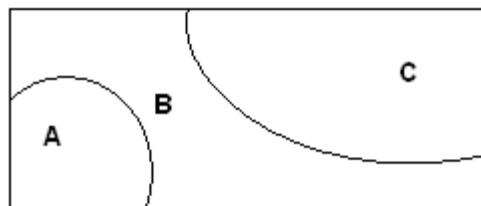
2.2 Es importante señalar que las propiedades extensivas como el volumen son aditivas mientras que las intensivas no lo son. La primera característica es un antecedente para plantear posteriormente las ecuaciones de balance; la segunda permite el análisis de un sistema mediante la toma de muestras.

$$V = \text{volumen}$$

$$V_{\text{total}} = V_A + V_B + V_C$$

$$v = \text{volumen específico}$$

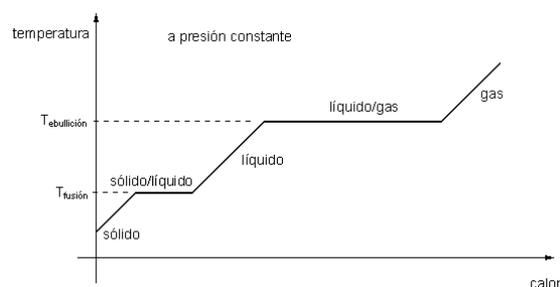
$$v_{\text{total}} \neq v_A + v_B + v_C$$



2.3 Es necesario recalcar que el postulado de estado permite el empleo de las propiedades termodinámicas como variables para el dibujo de diagramas de fase. El más útil de éstos es el diagrama (v,P). En estos diagramas es posible presentar las características matemáticas que distinguen a las propiedades termodinámicas de las variables que no lo son. Es útil señalar la diferencia entre la capacidad térmica y la capacidad térmica específica, indicando que la primera es extensiva y la segunda intensiva. Hay que reconocer la conveniencia de la propiedad entalpia, que carece de un sentido físico definible con palabras, pero que es de una gran utilidad. La existencia de la entalpia se reconoce con mayor naturalidad en los procesos con los sistemas abiertos, una vez que se introduce el concepto de trabajo de flujo.

2.4 Para analizar el principio de conservación de la energía en forma de calor y relacionarlo con la capacidad térmica específica es conveniente relacionar la curva de calentamiento de una sustancia pura, a presión constante, con los conceptos de calor sensible y latente.

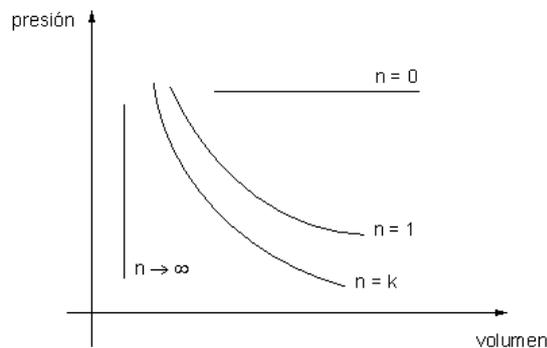
Resulta sumamente ilustrativo dibujar la gráfica siguiente, para el sistema elegido, enfatizando que en donde tenemos coexistencia de fases la temperatura permanece constante; también es importante señalar que esta gráfica es válida siempre y cuando la presión sea constante y que el signo del calor (para el sistema seleccionado) concuerda con el sentido del eje de las abscisas.



Es conveniente partir de la definición mecánica de trabajo para deducir una extensión del teorema del trabajo y la energía, aclarando que el trabajo se debe a una fuerza de contacto. La consistencia de los métodos de la termodinámica puede resaltarse al ver que, así como la temperatura emana de la ley cero, la energía lo hace de la primera ley.

2.5 La noción de temperatura absoluta se deduce de los experimentos de Gay-Lussac y de Charles. Una vez que se combinan las leyes de Boyle y de Mariotte y de Gay-Lussac y de Charles se deduce la ecuación del gas ideal:  $Pv=RT$ . Conviene enfatizar que esta ecuación de estado hace referencia a temperaturas y presiones absolutas. Gracias a la ley de Joule se tiene para un gas ideal:  $du = c_v dT$  y  $dh = c_p dT$ . De la definición de entalpia se llega a la fórmula de Mayer:  $c_p - c_v = R$ . Resulta muy ilustrativo que se comente que el proceso isobárico, isométrico e isotérmico y adiabático son un caso particular del politrópico. Es importante enfatizar que las curvas de un proceso adiabático tienen una inclinación mayor que las curvas del isotérmico ya que  $n = k$  y el índice  $k$  siempre es mayor que la unidad. Para este subtema se sugiere que el

alumno realice varias gráficas en Excel para observar, en una forma muy fácil, cómo varía la curva al ir modificando el valor del exponente politrópico  $n$ . De esta manera se pueden trazar diagramas como los siguientes:



2.6 Para introducir la ecuación de balance, fundamental para el análisis de los sistemas abiertos, se puede recurrir a la experiencia del estudiante, por ejemplo con el balance en una bodega donde se almacenen productos y entren y salgan continuamente. Así resulta intuitivamente que, para un intervalo de tiempo:

$$\begin{array}{ccccccccc}
 \text{Lo que} & & \text{lo que} \\
 \text{entra al} & - & \text{sale del} & + & \text{se genera} & - & \text{se destruye} & = & \text{queda} & - & \text{había en} \\
 \text{sistema} & & \text{sistema} & & \text{en el} & & \text{en el} & & \text{en el} & & \text{en el} \\
 & & & & \text{sistema} & & \text{sistema} & & \text{sistema} & & \text{sistema} \\
 & & & & & & & & \text{al final} & & \text{al principio}
 \end{array}$$

Se puede ver que esta ecuación se aplica naturalmente a las magnitudes que se conservan: masa y energía. Para la energía hay que resaltar que puede entrar o salir de un sistema acompañando al flujo de masa o mediante los mecanismos calor y trabajo. La metodología de resolver problemas se puede presentar si se parte siempre de la ecuación de conservación de la masa y de la ecuación de conservación de la energía y se van particularizando según la situación que se analiza y sus restricciones; es decir, resulta muy útil seguir un método deductivo. Las restricciones más importantes son régimen permanente y estado estacionario. Es digno de notarse que la ecuación de conservación de la energía, al aplicarse a un fluido incompresible a régimen permanente y estado estacionario se transforma en la ecuación de Bernoulli, de suma importancia en la hidráulica, conviene enfatizar que esta última ecuación es un caso particular y sólo es válida para fluidos incompresibles, no viscosos y en estado estacionario.

### 3. Segunda ley de la termodinámica.

3.1 Es conveniente notar que las máquinas térmicas producen trabajo al recibir calor a  $T_{\text{alta}}$  y rechazarlo a  $T_{\text{baja}}$ .

3.2 Es conveniente comentar que las eficiencias de las máquinas térmicas siempre son menores que la unidad. Se debe enfatizar al alumnado que el usuario siempre pierde: si tiene que dar, debe dar más de lo debido, si se trata

de recibir, recibe menos de lo deseable. Lo más recomendable sería que, al analizarse procesos cíclicos, se hiciese hincapié en que la eficiencia

$$\eta = \frac{|\text{trabajo que se produce}|}{|\text{calor que se recibe}|}$$

resulta siempre menor que la unidad.

3.3 No debe dejar de señalarse que los enunciados: el de Clausius y el de Kelvin y de Planck, señalan cómo se comporta la naturaleza, aunque no explican por qué. Se podrían suplir por otros, por ejemplo: *los cuerpos caen hacia abajo*, esto hace que el alumno se sienta más familiarizado con el contenido de la segunda ley.

3.4 La idea de proceso reversible y las causas de irreversibilidad se pueden ilustrar de muchas formas, por ejemplo con la compra y venta de divisas. Puede comentarse al estudiante que en un sistema aislado un proceso reversible es el que una vez que sucede estaría en posibilidades de desarrollarse en sentido inverso sin dejar ningún cambio apreciable.

3.5 Para analizar el efecto que la temperatura tiene en la efectividad del calor para producir trabajo se define el ciclo de Carnot.

3.6 Es muy pedagógico el repetir la secuencia lógica que se usó en el tema 2 para exhibir que debía existir la energía. Se debe reconocer que tiene que existir la propiedad entropía en forma análoga a la energía. De la desigualdad de Clausius se deduce el principio de generación de entropía. Su inclusión en la ecuación de balance es algo natural.

Es conveniente recalcar que la entropía es una cantidad física abstracta ya que no impresiona directamente a nuestros sentidos, como la presión y la temperatura. Sin embargo, resulta muy útil al ingeniero ya que le proporciona los medios para medir la “calidad” (utilidad) de la energía así como para establecer los parámetros para medir las pérdidas en los procesos energéticos.

3.7 Al aplicar la segunda ley al gas ideal se deducen sin dificultad las expresiones del cambio de entropía.

#### **4. Ciclos termodinámicos.**

4.1 Debido a lo denso del temario se deberán analizar los ciclos en su forma más simplificada posible, es decir en el análisis de los ciclos de Brayton, de Diesel y de Otto tanto la expansión como la compresión se analizarán como procesos adiabáticos. También es importante enfatizar que resulta una buena aproximación considerar que la sustancia de trabajo es, en el caso de estos ciclos, aire que se puede analizar como gas ideal.

4.2 Se recomienda analizar únicamente el ciclo de Rankine en su forma básica, es decir el que está compuesto por una turbina, intercambiador de calor, bomba y caldera. Es importante señalar que el análisis de las propiedades de la sustancia, que es de particular utilidad en el ciclo de este subtema y el del siguiente, puede hacerse mediante modelos matemáticos (sustancias idealizadas) o mediante tablas termodinámicas (sustancias reales). Debido a que este curso no pretende alcanzar la profundidad de asignaturas como *Termodinámica*, aquí sólo se tratarán sustancias idealizadas por lo que el uso de las tablas mencionadas no forma parte de este curso. Sin embargo, si el

tiempo lo permite, se puede utilizar algún paquete de cómputo con tablas termodinámicas que ilustre cómo se pueden obtener los valores de diversas propiedades en una forma muy simple. Se sugiere utilizar el programa de cómputo: *Computer-Aided Thermodynamic Tables 2 (John Wiley & Sons, Inc.)*, el cual se encuentra disponible en el laboratorio de cómputo para académicos de la D.C.B.

4.3 Se recomienda analizar únicamente el ciclo de refrigeración en su forma básica, es decir, el que está compuesto por un compresor, intercambiador de calor, tubo capilar y evaporador. Pida al alumnado la comparación con los refrigeradores domésticos.

## **5. Electromagnetismo.**

5.1 Al igual que el concepto de temperatura, el de carga eléctrica es abstracto y difícil de enunciar por lo que es más sencillo hablar de sus efectos; es recomendable que el alumno consulte varias fuentes bibliográficas y a partir de ellas se comenten semejanzas y diferencias en el concepto fundamental denominado carga eléctrica.

5.2 Conviene enfatizar que la ley de Coulomb sólo es válida para cargas eléctricas puntuales. Para la comprensión del concepto de campo eléctrico vale la pena comentar la analogía del campo gravitatorio el cual le es más familiar al estudiante.

En este subtema resulta muy ilustrativo calcular el campo eléctrico debido a una carga puntual. Se sugiere auxiliarse en algún paquete de cómputo que permita obtener la gráfica del modelo matemático que relaciona la magnitud del campo eléctrico que rodea a la carga en función de dicha carga ( $Q$ ) y de la distancia ( $r$ ) de su centro al punto de interés. Se puede utilizar Excel para tabular los valores y visualizar la gráfica al variar tanto el valor de la carga  $Q$  como la distancia  $r$ .

5.3 Para el concepto de energía potencial eléctrica y diferencia de potencial eléctrico es muy útil recordar la definición de trabajo vista en el tema 2 de este curso. Conviene enfatizar en este punto que ahora las fuerzas de interés en electromagnetismo serán las llamadas fuerzas a distancia y no las de contacto como en termodinámica. En este subtema conviene ejemplificar el caso del potencial debido a una carga puntual y al igual que en el subtema anterior, se sugiere apoyarse en un programa de cómputo como Excel para visualizar en una forma muy fácil cómo varía el potencial que genera una carga puntual al modificar el valor de dicha carga ( $Q$ ) o la distancia  $r$ .

5.4 Para el concepto de corriente eléctrica, puede uno recurrir a la analogía del número de automóviles que cruzan una caseta en un determinado intervalo de tiempo.

5.5 Es conveniente recalcar la importancia del experimento de Oersted, ya que pone de manifiesto la relación entre una corriente eléctrica y un campo magnético, por lo que es muy útil empezar este subtema con la definición de campo magnético.

5.6 En el caso del campo magnético producido por un solenoide es recomendable discutir que dentro del mismo el campo es prácticamente uniforme, que en la orilla es la mitad de la magnitud en el centro y que fuera del solenoide es prácticamente nulo. A aquellos alumnos que ya cursaron un curso

de Química en la Facultad, este análisis les permitirá entender el por qué del modelo matemático utilizado en dicho laboratorio.

Resulta muy ilustrativo que el alumno obtenga la gráfica del modelo matemático de la magnitud del campo magnético en función de la ubicación de un punto en el eje del solenoide. Se sugiere apoyarse en un programa de cómputo como Excel para que la obtención de la gráfica resulte sencilla.

5.7 Conviene dejar muy clara la interpretación del signo negativo asociado a la ley de Faraday a partir del principio de Lenz porque de otra manera se tendría una máquina que funcionaría eternamente sin necesidad de darle energía. Enfatice la importancia de la selección del sistema.

## 6. Circuitos eléctricos en C. D.

6.1 Es conveniente discutir el principio de funcionamiento de una pila a partir de los antecedentes que pueda tener el alumno de sus cursos de Química.

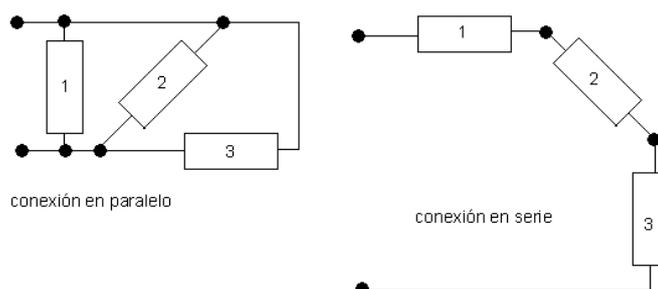
6.2 Se debe enfatizar que la ley de Ohm, en forma escalar, sólo es válida para medios homogéneos.

6.3 Conviene recalcar que la capacitancia no depende ni de la carga eléctrica ni de la diferencia de potencial, sino únicamente de factores geométricos.

6.4 Es importante señalar que la inductancia no depende ni del flujo magnético ni de la corriente eléctrica, sino únicamente de factores geométricos.

6.5 Aquí es conveniente comentar el efecto de la resistencia interna de una fuente, pero debido a lo denso del contenido del curso no conviene profundizar mucho en ello.

6.6 Es necesario enfatizar que el que los elementos estén en serie implica que tienen la misma corriente eléctrica y no que estén acomodados en línea recta; en el caso de la conexión en paralelo implica que tienen la misma diferencia de potencial, independientemente de cómo estén acomodados los elementos. Conviene entonces, apoyarse en esquemas como los siguientes:



6.7 Es conveniente tratar este tipo de conexiones de elementos pasivos (resistores, capacitores e inductores) por separado y con una fuente de fuerza electromotriz, pero no analizar combinaciones de capacitores, resistores e inductores, lo cual resultaría excesivo para el alcance de este curso. Enfatice que el principio para el análisis es muy semejante al del caso de los sistemas termodinámicos abiertos del tema 2. Debido a lo denso de este temario, en el caso de los inductores se recomienda tratar únicamente casos en los que la inductancia mutua sea despreciable, ya que el análisis de la inductancia mutua sería un exceso para la profundidad de este curso.

Para visualizar fácilmente cómo se ve afectado el resistor, capacitor o inductor equivalente al variar alguno de los elementos en conexiones en serie o en paralelo, resulta muy recomendable apoyarse en programas de cómputo como Excel, ya que permiten introducir fórmulas y, de esta manera, variar uno o varios valores para percibir cómo se ve afectado el término equivalente sin necesidad de realizar los cálculos manualmente.

## 7. Circuitos eléctricos en C. A.

7.1 Aquí se puede mencionar que un voltaje y corriente alterno senoidal se obtiene a partir de un dispositivo llamado generador, el cual estaría acoplado a una turbina como la del ciclo de Rankine vista en el tema 4 de este curso.

7.2 Conviene dejar muy claro que la potencia eléctrica recibida por una fuente de voltaje alterno no es cero y es equivalente a la que se recibiría por una fuente de voltaje continuo cuyo valor es el eficaz.

7.3 Los circuitos en serie y en paralelo deberán ser conexiones muy sencillas, por ejemplo las vistas en el tema 6 de este curso y deberán contener únicamente una fuente de corriente alterna.

Resulta conveniente apoyarse en la consulta de páginas electrónicas como bibliografía complementaria, sin embargo es importante señalar que los contenidos de dichas páginas no pueden reemplazar en ningún caso a los libros de texto citados en la bibliografía de la asignatura y no se compararán nunca con la educación que el docente pueda dar a sus alumnos.

También es importante señalar que este tipo de material está en constante actualización por lo que antes de realizar alguna actividad dirigida con sus alumnos es conveniente visitar la página para tener presente qué material presenta en ese momento.

Como la asignatura *Principios de Termodinámica y Electromagnetismo* está conformada por temas que pertenecen a un curso de física clásica general, resulta conveniente apoyarse en las páginas electrónicas que se citan a continuación:

- [http://es.encarta.msn.com/encyclopedia\\_761562117.html](http://es.encarta.msn.com/encyclopedia_761562117.html)  
Es una página en la que se pueden encontrar explicaciones a varios conceptos y definiciones vistos a lo largo del curso. El nivel que maneja es introductorio por lo que se recomienda ampliamente para los inicios de cada tema.
- <http://www.ilustrados.com/secciones/Física-1.html>  
Es una página con artículos de actualidad en física. Pueden dejarse como lectura algunos de los artículos publicados en esta página para que el alumno complemente su formación académica.
- <http://www.monografias.com/Física/index.shtml>  
Contiene diversas explicaciones a varios de los conceptos de física manejados a lo largo del curso.

- <http://www.fisicarecreativa.com/index.htm>  
Se presentan un conjunto de experimentos que pueden estimular la creatividad y curiosidad de los estudiantes y docentes de física. Puede resultar bastante útil para la realización de proyectos experimentales.
- <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/default.htm>  
Presenta un curso de física general interactivo mediante animaciones insertadas en sus páginas.
- <http://es.wikipedia.org>  
Página electrónica compuesta de varios artículos breves sobre física general. Destacan las definiciones que tiene de varios conceptos importantes en física.
- <http://www.electricoweb.com>  
Es un sitio fuertemente orientado al electromagnetismo, por lo que resulta útil únicamente para los últimos temas de la asignatura. En este sitio encontrará varias aplicaciones de los conceptos vistos en electromagnetismo por lo que puede resultar bastante estimulante para que el alumno perciba esta parte de la física desde un punto de vista más aplicado.
- <http://www.universum.unam.mx>  
En el sitio de este museo, destaca la página denominada *Ciencia en línea* en el que se presentan noticias científicas interesantes. Destaca por estar en constante actualización y el contenido puede resultar motivante para alumnos y profesores de física. Podemos subrayar también el contenido de las salas *Energía*, y *Estructura de la materia*.
- <http://www.maloka.org/f2000/>  
Este sitio se apoya intensamente en el uso de animaciones interactivas sobre tópicos de física general.
- <http://www.edu.aytolacoruna.es/aula/fisica/fisicaInteractiva.htm>  
En esta página aparecen una serie de temas con actividades prácticas con el propósito de que se utilicen programas interactivos. En cada actividad se presenta una explicación del funcionamiento así como un poco de teoría sobre el tema que se trata en él.
- <http://Biografiasyvidas.com>  
Se presentan biografías breves de científicos ilustres. Puede utilizarse para situar a los personajes que se mencionan a lo largo del curso en el contexto histórico correspondiente.

Elaboraron:

Ing. Rigel Gámez Leal.

I. Q. Félix Núñez Orozco.

Ing. Elizabeth Aguirre Maldonado.

Ing. Gabriel Alejandro Jaramillo Morales.