

- 13.- Formular la Primera ley de la Termodinámica, destacando su papel como ley de la conservación de la energía.
- 14.- Formular la Segunda ley de la Termodinámica, destacando su importancia para la determinación de la eficiencia de las máquinas térmicas.

**CONTENIDO:**

## INTRODUCCIÓN

## EQUILIBRIO TÉRMICO. CONCEPTO DE TEMPERATURA

## TERMOMETRÍA. TERMÓMETROS Y ESCALAS

## DILATACIÓN [EXPANSIÓN] TÉRMICA

## CALOR

EQUIVALENTE MECÁNICO DEL CALOR

CAPACIDAD CALORÍFICA ESPECÍFICA

CALORIMETRÍA

CALOR LATENTE DE CAMBIO DE FASE

## TRANSFERENCIA DE CALOR

CONDUCCIÓN

CONVECCIÓN

RADIACIÓN

## GAS IDEAL

## ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LA TEORÍA CINÉTICO MOLECULAR.

MODELO CINÉTICO DE UN GAS

INTERPRETACIÓN CINÉTICA DE LA PRESIÓN

INTERPRETACIÓN CINÉTICA DE LA TEMPERATURA

## TERMODINÁMICA

## PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA

PROCESOS TERMODINÁMICOS: ISOBÁRICO, ISOCÓRICO, ISOTÉRMICO Y ADIABÁTICO

## SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA

MÁQUINAS DE CALOR

## LECTURA COMPLEMENTARIA: LA ESCALA DE TEMPERATURA KELVIN

## PREGUNTAS Y PROBLEMAS

**CALOR****INTRODUCCIÓN**

En nuestra vida diaria nos relacionamos con muchos conceptos que tienen que ver con el tema que comenzamos a estudiar en este capítulo. Por ejemplo continuamente escuchamos y decimos frases como "qué calor hace" o "está muy frío". Cuando enfermamos y el médico nos dice: "Ud. tiene alta temperatura" o "tiene fiebre", de nuevo estamos en una situación donde se manejan conceptos de este tipo. El parte meteorológico, que escuchamos cada mañana, nos indica qué temperatura hay ese día, o habrá en los siguientes, y de esa forma podemos elegir qué ropa usar. A la hora de elegir la ropa a usar, intuitivamente, sabemos que en días de altas temperaturas, muy frecuentes en nuestra ciudad, es preferible usar ropa ligera, de colores claros, y en días de bajas temperaturas, ropa gruesa, de colores más oscuros; ¿por qué hacemos esto?, no siempre podemos explicarlo, pero de todas formas lo hacemos. A veces nos sorprendemos, cuando al oír una transmisión de un partido de beisbol, desde los Estados Unidos, nos dicen que la temperatura en el estadio es de 70 grados; ¿cómo pueden resistir esa temperatura, tan alta, según nuestro criterio?, cuando debemos tener en cuenta la escala de temperaturas que se está utilizando.

Utilizamos equipos de aire acondicionado, estufas, hornos de microondas, calentadores de agua, en base a gas, y otros, todos asociados a la transferencia de calor. ¿Cuál es el principio de funcionamiento de estos equipos?

Muchos fenómenos están asociados a los conceptos de calor y temperatura, y a la transformación del calor en otras formas de energía o a los mecanismos de transferencia de un cuerpo a otro. El planeo de las aves en el cielo, la ebullición del agua, al preparar el café, el uso de los termos, para mantener las sodas frías, los termómetros, usados para medir la

13.- Formular la Primera ley de la Termodinámica, destacando su papel como ley de la

SECRETARÍA ACADÉMICA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

14.- temperatura, el efecto invernadero y su relación con la contaminación ambiental, son sólo algunos ejemplos de esos fenómenos.

Durante el estudio de este tema podremos asimilar los conocimientos necesarios para analizar éstos y otros fenómenos del mismo tipo.

## EQUILIBRIO TÉRMICO. CONCEPTO DE TEMPERATURA.

En el capítulo de fluidos nos referimos al hecho de que todas las sustancias están compuestas por un gran número de partículas: átomos y moléculas. Como ya se ha visto el estado en que se encuentra la sustancia determina, en cierto grado, la distancia y la interacción entre estas partículas.

Si queremos describir las características de un cuerpo podemos elegir dos formas de hacerlo:

1. Podemos intentar describir las características de cada una de las partículas que conforman el cuerpo, o sea expresar la posición, velocidad o energía de cada una de las partículas, y a partir de ellas calcular ciertas magnitudes promedios, que se puedan medir, del sistema. A esta forma de descripción le llamaremos microscópica y las magnitudes que se utilizan se llaman magnitudes microscópicas.
2. Otra forma de descripción es a través de magnitudes que reflejen el estado del cuerpo como un todo, o sea magnitudes que se relacionen con el estado medio de todas las partículas que forman el cuerpo y que podamos medir en forma sencilla. A esta descripción se la llama macroscópica y las magnitudes que se utilizan se llaman magnitudes macroscópicas. Ejemplos de magnitudes macroscópicas pueden ser: la presión, la temperatura, el volumen, etc.

Puedes imaginar la descripción de los alumnos de tu escuela por edades. La forma microscópica sería dar la edad de cada alumno y la forma macroscópica sería, por ejemplo dar el promedio de las edades.

Ambas formas de descripción deben ser equivalentes, ya que se está describiendo un mismo sistema, pero podemos imaginar que la descripción microscópica es más compleja pues la cantidad de partículas que componen un cuerpo puede ser muy grande (recordar que en un centímetro cúbico de un sólido existen alrededor de  $10^{23}$  átomos y un litro de gas contiene unas  $10^{22}$  moléculas). De todas formas pueden obtenerse expresiones que relacionen las magnitudes microscópicas y las macroscópicas.

La magnitud macroscópica que más nos interesa es la temperatura. Todos tenemos hemos utilizado alguna vez la magnitud temperatura, ya sea porque hemos medido la temperatura

de algún cuerpo o porque hemos escuchado el valor de la temperatura atmosférica. Sin embargo podremos preguntarnos ¿qué significado tiene esta magnitud?

La idea más común de la temperatura de un cuerpo la obtenemos cuando lo tocamos con nuestras manos. Así decimos "este cuerpo está más caliente" o "más frío" que éste. Sin embargo la sensación que obtenemos a través de nuestro sentido del tacto no es exacta, pues está influenciada por otros factores. Así las partes metálicas de un cuerpo nos parecen más frías que las partes compuestas por tejidos o madera, a pesar que tengan iguales temperaturas.

Para definir la temperatura vamos a partir del concepto de equilibrio térmico. Todos hemos comprobado que cuando tenemos un cuerpo a determinada temperatura, por ejemplo una soda fría, y lo ponemos en contacto con otro cuerpo a diferente temperatura, o sea ponemos la soda al aire fuera del refrigerador, al cabo de un tiempo ambos tendrán la misma temperatura, la soda se calienta. Precisamente decimos que cuando los dos cuerpos están a igual temperatura están en equilibrio térmico. El equilibrio térmico se define como el estado cuando las magnitudes macroscópicas de ambos cuerpos no varían con el tiempo. Cuando los cuerpos están en equilibrio térmico tienen igual temperatura. Cuando ponemos en contacto dos cuerpos con diferentes temperaturas, podemos predecir la temperatura de equilibrio que alcanzará este sistema, si conocemos las características de cada cuerpo y las condiciones en que se realiza el contacto térmico.

Está claro que para que dos cuerpos alcancen el equilibrio térmico debe pasar un tiempo, lo suficientemente largo y además deben tener un buen contacto térmico, que permita el intercambio de energía entre ellos.

De manera que podemos definir la temperatura como:

*La temperatura es la propiedad macroscópica de los sistemas que tiene la característica que cuando dos sistemas están en equilibrio térmico, la temperatura tiene el mismo valor en ambos.*

Recordar que identificamos el equilibrio térmico como el estado cuando las magnitudes macroscópicas de los sistemas no cambian con el tiempo. El hecho de que no cambien no quiere decir que en los dos sistemas tengan el mismo valor. La única magnitud macroscópica que toma el mismo valor en los dos sistemas es la temperatura. La presión o el volumen de los dos sistemas pueden ser diferente, pero la temperatura tiene que ser la misma.

Analícemos un sistema de 3 cuerpos A, B y C. Supongamos que ponemos el cuerpo A en contacto con el B y comprobamos que están en equilibrio térmico. Luego ponemos en contacto el cuerpo B y el C y comprobamos que también están en equilibrio térmico. Entonces podemos afirmar que A y C están en equilibrio térmico y aún cuando no hayamos puesto en contacto los cuerpos A y C podemos asegurar que ambos tienen la misma temperatura. Este procedimiento es el que utilizamos con los termómetros. El termómetro, en este caso, sería el cuerpo B, que se pone en contacto con los demás cuerpos de forma que si se establece el

equilibrio térmico con los dos cuerpos, A y C, por separado, podemos afirmar que estos cuerpos tienen la misma temperatura.

Pudiera parecer que este análisis es obvio, sin embargo no es así, pensemos en otros ejemplos. Supongamos 3 personas: Juan, Pedro y Pablo. Pedro conoce a Juan y a Pablo, sin embargo esto no implica que Juan conozca a Pablo. Así se pueden pensar en otros ejemplos que no cumplan esta condición del equilibrio térmico entre 3 cuerpos.

Hemos definido la temperatura de una forma sencilla. Posteriormente daremos una descripción más detallada de los fenómenos relacionados con este concepto y definiremos la temperatura desde el punto de vista microscópico.

**Pregunta:** ¿Es correcta la expresión "este cuerpo está muy caliente"?

En realidad lo más correcto sería decir "este cuerpo tiene una alta temperatura".

Una vez conocidos los conceptos de temperatura y de equilibrio térmico, veamos las técnicas que empleamos para su medición.

## TERMOMETRÍA. TERMÓMETROS Y ESCALAS.

La termometría se ocupa de los métodos y técnicas de medición de la temperatura.

Hay muchas propiedades de la materia que cambian al cambiar su temperatura, por ejemplo la mayoría de los materiales aumentan su tamaño al aumentarle la temperatura; la resistencia eléctrica de muchas sustancias varía también con la temperatura; también lo hace el color de los objetos, a altas temperaturas, lo cual puede comprobarse al observar el color de una hornilla eléctrica. A una propiedad física, de un cuerpo, que cambie con la temperatura, de una manera conocida, se le llama propiedad termométrica.

Se le llama termómetro al instrumento que se utiliza para medir la temperatura. Hay muchos tipos de termómetros, pero su principio es el mismo: se basan en una propiedad termométrica, de alguna sustancia.

El primer termómetro fue propuesto por Galileo, basándose en la propiedad de expansión de un gas que se encuentra dentro de un recipiente de volumen constante, que se ponía en contacto con el cuerpo cuya temperatura se deseaba medir.

El termómetro más común es el de líquido y vidrio. El líquido (generalmente mercurio o alcohol teñido con un colorante rojo o azul) se encuentra dentro de un bulbo de vidrio, conectado a un tubo capilar cerrado. El bulbo se pone en contacto con el medio, cuya temperatura se desea medir, por lo cual la temperatura del líquido varía lo que provoca que se dilate o se contraiga, de acuerdo a si la temperatura aumentó o disminuyó (en realidad el vidrio también se dilata o se contrae, pero mucho menos que el líquido, por lo cual no se toma en consideración). Esta contracción o dilatación del líquido se refleja en las variaciones que

sufre su nivel en el capilar, conectado al bulbo, por lo cual el nivel del líquido en el capilar es una indicación de la temperatura.

Para lograr una medición objetiva es necesario tener una escala numérica. En principio cualquier escala numérica pegada al tubo capilar serviría, pero en este caso cada termómetro daría un valor de temperatura diferente y sería muy difícil la comparación entre valores.

Para tener uniformidad entre los valores y poder todos asignarle valores iguales a temperaturas iguales, aún cuando se midan con termómetros diferentes, se establecen escalas internacionales. Estas escalas se construyen en base a otorgarle valores determinados de temperaturas a 2 puntos, que puedan ser reproducidos por todos, y así establecer el número de divisiones que tendrá la escala entre esos 2 puntos, llamados puntos fijos.

Una de las primeras escalas introducidas fue la escala Fahrenheit, propuesta en 1714 por el físico alemán Gabriel Daniel Fahrenheit (1686-1736). Para su escala Fahrenheit tomó como puntos fijos los siguientes:

- 1) Punto inferior: la temperatura de una solución congelada de agua y sal, a la cual le asignó el valor cero (0°F).
- 2) Punto superior: la temperatura del cuerpo humano, a la cual le asignó el valor de 96 (96°F). [En realidad la temperatura del cuerpo humano es de 98.6°F].

En los Estados Unidos y algunos países europeos es utilizada esta escala para medir la temperatura, por lo cual los valores de la temperatura ambiente pueden ser de 70°F.

La escala más utilizada internacionalmente es la escala Celsius, propuesta por el astrónomo sueco Anders Celsius (1701-1744) en el año 1742. En esta escala como punto inferior se tomó el punto donde coexisten el agua y el hielo, en equilibrio térmico, a una presión de 1 atm, y se le asigna el valor cero (0°C) y como punto superior se tomó el punto donde coexisten el agua y el vapor de agua, en equilibrio térmico, a una presión de 1 atm, y se le asignó el valor de cien grados (100°C). O sea que entre los 2 puntos fijos hay un total de 100 grados, por lo cual en un inicio esta escala fue conocida como centígrada, pero en 1948 fue oficialmente denominada escala Celsius, en honor a su creador, por lo que debemos decir grados Celsius y no grados centígrados.

Para efectuar la conversión de una escala a otra debemos tener en cuenta que según la escala Fahrenheit el punto de congelación del agua corresponde a una temperatura de 32°F y el punto de ebullición del agua a una temperatura de 212°F, o sea que entre estas temperaturas hay un total de 180°F. Teniendo en cuenta que entre estas mismas temperaturas existe una diferencia de 100°C, podemos establecer una relación entre los intervalos de temperaturas:

$$\Delta(180^\circ\text{F}) = \Delta(100^\circ\text{C}) \quad \text{por lo que podemos decir que un intervalo de } 1^\circ\text{F} \text{ equivale a un intervalo de } 5/9^\circ\text{C}.$$

De aquí podemos establecer la relación para convertir de una temperatura en grados Fahrenheit a grados Celsius:

$$t(^{\circ}\text{C}) = 5/9[t(^{\circ}\text{F}) - 32]$$

La otra escala de temperaturas reconocida es la escala Kelvin o absoluta, nombrada así por William Thomson (lord Kelvin) (1824-1907), físico, matemático e ingeniero inglés. Esta escala es la unidad oficial del sistema internacional de unidades para la temperatura, independientemente que es más común utilizar la escala Celsius. La escala Kelvin se establece a partir de que se conoce que existe un límite inferior de temperatura que pueden alcanzar los cuerpos y que es igual a  $-273^{\circ}\text{C}$ . O sea ningún cuerpo puede alcanzar una temperatura igual a ésta o inferior. A este límite inferior de temperatura se le asignó el valor de cero, en la escala Kelvin (0 K). Por otra parte se establece que el intervalo de una unidad en la escala Kelvin es igual a la unidad en la escala Celsius, o sea  $\Delta(1 \text{ K}) = \Delta(1^{\circ}\text{C})$ , por lo que la temperatura de congelación del agua ( $0^{\circ}\text{C}$ ) corresponde a 273 K y la temperatura de ebullición del agua ( $100^{\circ}\text{C}$ ) a 373 K. Para la conversión entre estas 2 escalas utilizamos las expresiones:

$$\begin{aligned} \text{TK} &= \text{TC} + 273 \\ \text{TC} &= \text{TK} - 273 \end{aligned}$$

Note que en la escala Kelvin no existen temperaturas negativas. En 1967 se estableció que la unidad de temperatura fuera llamada Kelvin y no "grados" Kelvin, por lo que debe escribirse la unidad con una K solamente.

**NOTA:** En realidad la escala absoluta o Kelvin de temperaturas se basa en consideraciones termodinámicas, algunas de las cuales se darán en los siguientes puntos. El punto patrón fijo es el punto triple del agua (estado donde coexisten el hielo, el agua y el vapor de agua, en equilibrio) cuya temperatura se seleccionó como 273.16 K.

En el uso práctico, como en la calibración de termómetros ha sido adoptada la Escala Internacional de Temperatura, que consta de un grupo de procedimientos que permiten, en la práctica, las mejores aproximaciones posibles a la escala Kelvin. La escala adoptada consta de un conjunto de puntos fijos, además de los instrumentos que deben utilizarse para interpolar entre estos puntos fijos y extrapolarlos más allá del punto fijo más alto. En la tabla se muestran algunos de los puntos fijos adoptados por el Comité Internacional de Pesas y Medidas en el 1990.

**TABLA:** Algunos puntos fijos de la Escala Internacional de Temperaturas (1990).

SUSTANCIA	ESTADO	TEMPERATURA (K)
Hidrógeno	Punto triple	13.8033
Neón	Punto triple	24.5561
Agua	Punto triple	273.16
Estaño	Punto de congelación	505.078
Aluminio	Punto de congelación	933.473
Oro	Punto de congelación	1 337.33
Cobre	Punto de congelación	1 357.77

Además de los termómetros ya descritos de vidrio y líquido, existen otros dispositivos que permiten medir temperaturas, como por ejemplo los termopares y termómetros de resistencia eléctrica. Estos dispositivos (que también pueden ser llamados termómetros pues permiten medir la temperatura) tienen algunas ventajas sobre los termómetros de vidrio como que son más pequeños por lo que registran los cambios de temperatura más rápidamente, pueden medir un rango de variación de temperatura mayor que el rango para el mercurio ( $-50^{\circ}\text{C}$  a  $450^{\circ}\text{C}$ ), su señal de salida es eléctrica lo cual facilita su control y procesamiento electrónico, entre otras.

Los termopares basan su funcionamiento en el hecho que cuando una juntura de unión, entre 2 materiales diferentes, se coloca a diferentes temperaturas, aparece una diferencia de potencial entre sus extremos. Por ello se han construido tablas de calibración, para junturas de materiales específicos, de diferencia de potencial generada para cada valor de temperatura. Así resultan muy utilizados, en la industria, los termopares de platino-rodio (se dan los nombres de los 2 materiales que componen la juntura), que permiten medir muy altas temperaturas, del orden de  $2\,000^{\circ}\text{C}$ , o los de cobre y constantán, caracterizados por su gran exactitud.

Los termómetros de resistencia, también llamados termoresistores, se basan en materiales que cambian marcadamente el valor de sus resistencia a la corriente eléctrica cuando cambia su temperatura.

Observe el hecho que la medición de temperaturas utilizando termómetros se hace teniendo en cuenta el fenómeno del equilibrio térmico, del que ya hablamos anteriormente. Esto se debe al hecho de que cuando queremos conocer la temperatura de un cuerpo, ponemos en contacto con él un termómetro y leemos la temperatura que nos indica el termómetro que asumimos igual a la del cuerpo. La igualdad de estas temperaturas solo se logra cuando el cuerpo y el termómetro están en equilibrio térmico; el equilibrio se alcanza cuando el cuerpo y el termómetro han estado en contacto un tiempo suficientemente largo; por ello en los dispositivos para medir temperaturas es importante el tiempo que demoran en indicar la temperatura del cuerpo con el que están en contacto. Es típico el caso de los termómetros clínicos, usados para medir la temperaturas del cuerpo humano, que producto de que están fabricados de forma que mantengan la indicación de la temperatura un tiempo largo (para ello en el capilar, a la salida del bulbo tienen un estrechamiento), se demoran en adquirir la temperatura del cuerpo, por lo cual los médicos nos indican que esperemos un tiempo entre 1 y 3 minutos para realizar la lecturas y garantizar que ésta sea correcta. Por otra parte es importante que exista un buen contacto entre el cuerpo y el termómetro, para que puedan alcanzar el equilibrio térmico. Es común el caso, que cuando queremos medir la temperatura de un sólido con un termómetro de vidrio, sólo una pequeña parte del bulbo está en contacto con el sólido y la mayor parte del bulbo está en contacto con el aire, por lo que la temperatura que indica el termómetro no es exactamente igual a la del sólido y deben introducirse factores de corrección.