



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**ELABORACIÓN DE MATERIAL DIDÁCTICO PARA LA ENSEÑANZA DE LA  
TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN EN ESTADO ESTACIONARIO**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**INGENIERA QUÍMICA**

**PRESENTA:**

**JULIETA GUADALUPE BERNAL CORONA**



**MÉXICO, D.F.**

**2012**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE: ANTONIO VALIENTE BARDERAS**

**VOCAL: JOSÉ AGUSTIN TEXTA MENA**

**SECRETARIO: FRANCISCO LÓPEZ SERRANO RAMOS**

**1er. SUPLENTE: JAVIER GONZÁLEZ CRUZ**

**2° SUPLENTE: NESTOR NOE LÓPEZ CASTILLO**

**EL TEMA SE ELABORO EN EL LABORATORIO DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA  
FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM.**

**ASESOR DEL TEMA:**

**DR. ANTONIO VALIENTE BARDERAS**

**SUSTENTANTE:**

**JULIETA GUADALUPE BERNAL CORONA**

## **Elaboración de material didáctico para la enseñanza de la transferencia de calor por conducción en estado estacionario**

### **Resumen**

Dentro del estudio de la transferencia de energía hay temas que son complicados debido a que se observan fenómenos que ocurren a nivel molecular u atómico y no se perciben a simple vista, uno de éstos es la transferencia de calor por conducción en estado estacionario, por esta razón esta tesis propone material didáctico que ayude a visualizar el fenómeno de la Transferencia de calor por conducción en estado estacionario y contribuir al proceso enseñanza – aprendizaje en los niveles educativos donde se enseñe el tema. El material didáctico se realizó en forma de presentaciones con la ayuda de sistemas audiovisuales que abordan los temas de estudio de manera concreta y explican los fenómenos con ejemplos fáciles de visualizar por lo que se puede utilizar como introducción al tema o como un repaso del mismo. Esta herramienta de apoyo está dirigida a los alumnos de educación superior particularmente para los que deseen estudiar la transferencia de calor por conducción en estado estacionario.

Los temas que se incluyen en las presentaciones abarcan desde la definición de la energía hasta las aplicaciones de la transferencia de calor por conducción en estado estacionario pasando por las definiciones de temperatura, calor, transferencia de calor y mecanismos de transferencia de calor; de esta manera se explican tanto los temas básicos como el tema principal y sus aplicaciones.

Las presentaciones que conforman el material didáctico se evaluaron con un cuestionario que se aplicó ante alumnos y profesores de la Facultad de Química de la UNAM. Como resultado de esta evaluación se obtuvo que el material didáctico es útil para apoyar la enseñanza en este tema.

**CONTENIDO**

**OBJETIVO .....1**

**LISTA DE VARIABLES .....2**

**INTRODUCCIÓN .....3**

**CAPÍTULO 1**

**GENERALIDADES SOBRE EL CALOR Y SU TRANSFERENCIA .....4**

1.1 TEMPERATURA .....4

1.2 ENERGÍA .....5

1.3 TRANSFERENCIA DE ENERGÍA EN FORMA DE TRABAJO.....7

1.4 TRANSFERENCIA DE ENERGÍA EN FORMA DE CALOR .....8

    1.4.1 Tipos de calor.....9

    1.4.2 Capacidad calorífica.....10

**CAPÍTULO 2**

**TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN EN ESTADO ESTACIONARIO .....12**

2.1 CALOR.....12

2.2 LEY DE FOURIER .....13

2.3 PROPIEDADES TERMO FÍSICAS.....15

2.4 CONDUCCIÓN EN ESTADO ESTACIONARIO.....17

2.5 CONDUCCIÓN EN ESTADO NO ESTACIONARIO.....22

**CAPÍTULO 3**

**APLICACIONES DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN EN ESTADO ESTACIONARIO.23**

3.1 PAREDES PLANAS .....23

3.2 CAPAS MÚLTIPLES .....24

3.3 ANALOGÍA ELÉCTRICA DE LA CONDUCCIÓN.....25

3.4 PAREDES EN SERIE .....25

3.5 PAREDES EN PARALELO .....26

3.6 CUERPOS CILÍNDRICOS .....27

3.7 CUERPOS ESFÉRICOS.....28

3.8 AISLANTES TÉRMICOS .....28

    3.8.1 ESPESOR ÓPTIMO DE AISLANTES .....29

3.9 CONDUCTORES TÉRMICOS ..... 34

**CAPÍTULO 4**

**DESARROLLO DE MATERIAL DIDÁCTICO..... 35**

4.1 METODOLOGÍA QUE SE SIGUIÓ PARA LA ELABORACIÓN DEL MATERIAL DIDÁCTICO ..... 35

4.2 PRESENTACIONES ..... 36

    4.2.1 *Presentación 1. Energía*..... 36

    4.2.2 *Presentación 2. Formas de transferencia de la energía* ..... 40

    4.2.3 *Presentación 3. Transferencia de calor* ..... 44

    4.2.4 *Presentación 4. Transferencia de calor por conducción en estado estacionario* ..... 48

    4.2.5 *Presentación 5. Aplicaciones de la transferencia de calor por conducción en estado estacionario* ..... 53

**CAPÍTULO 5**

**ANÁLISIS DE RESULTADOS..... 59**

**CONCLUSIONES ..... 62**

**ANEXO 1..... 63**

**ANEXO 2..... 64**

**APÉNDICE ..... 68**

**BIBLIOGRAFÍA ..... 78**

## Objetivo

Elaborar material didáctico para el tema “*Transferencia de Calor por Conducción en Estado Estacionario*”, con el fin de apoyar la enseñanza de los alumnos de nivel superior que se da en el salón de clases. El material didáctico debe abarcar los temas relacionados con TCCEE<sup>1</sup> de forma general y concreta, utilizando herramientas audiovisuales ya existentes para explicar los fenómenos que ocurren y así, ejemplificar la información recibida en clase.

---

<sup>1</sup> Transferencia de Calor por Conducción en Estado Estacionario.

<sup>2</sup> DEL LIBRO INTRODUCCIÓN A LA TRANSFERENCIA DE CALOR. ANTONIO VALIENTE BARDERAS. FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM. PRIMERA

## Lista de variables

Variable	Dimensiones	Símbolo
energía potencial	J	EP
energía cinética	J	EC
masa	kg	M
aceleración gravitacional	$\frac{m}{s^2}$	G
altura	m	Z
velocidad	$\frac{m}{s}$	V
trabajo	Nm	W
fuerza	N	F
distancia	m	L
volumen	m <sup>3</sup>	V
calor latente	J	Q <sub>λ</sub>
entalpía	J	H
calor sensible	J	Q <sub>s</sub>
calor específico a volumen constante	$\frac{J}{kgK}$	C <sub>v</sub>
calor específico a presión constante	$\frac{J}{kgK}$	C <sub>p</sub>
temperatura	K	T
flujo de calor	$\frac{J}{s}$	Q
conductividad térmica	$\frac{J}{sm^{\circ}C}$	K
área	m	A
radio	m	R
costo de combustible	\$	CQ
costo del calor	\$	Q
número de horas de operación al año	hrs	N



## Introducción

En el estudio de la transferencia de energía se observan fenómenos complejos, que resultan difíciles de entender, ya que ocurren a nivel molecular o atómico y no se pueden observar a simple vista. La utilización de herramientas audiovisuales como material didáctico dentro del salón de clases coadyuva la comprensión de estos fenómenos.

En este trabajo se elaboró material didáctico que sirve como una herramienta de apoyo para el estudio de la Transferencia de calor por conducción en estado estacionario, se seleccionó este tema debido a que estudia un fenómeno complejo que ocurre a nivel molecular.

El material didáctico se elaboró en forma de presentaciones con contenidos audiovisuales que apoyan el proceso de enseñanza-aprendizaje y están dirigidas a los alumnos de nivel superior que estén aprendiendo el tema, o para alumnos que deseen tener una visión general sobre este fenómeno. Estas presentaciones no sustituyen la enseñanza que imparten los profesores debido a que no explican detalladamente los temas ni las ecuaciones que se aplican dentro de la TCCEE, solo abordan la información de manera general y concreta para que sean utilizadas como introducción o como repaso de la enseñanza que se adquiere dentro del salón de clases.

Las presentaciones que conforman el material didáctico se desarrollaron con un estudio teórico previo para elegir los temas que se incluirían, de igual forma se buscaron y analizaron herramientas audiovisuales que hicieran amenas las presentaciones para captar la atención de los alumnos.

El tema principal de este material es la Transferencia de calor por conducción en estado estacionario, sin embargo, para llegar a éste es necesario conocer los conceptos básicos del calor, por este motivo se realizaron tres presentaciones que explican los conceptos básicos y dos que se refieren específicamente al tema principal, todas las presentaciones tienen fundamentos teóricos y se conforman de imágenes y videos que explican los temas de una forma fácil de entender.

Para saber si las presentaciones son útiles como material didáctico y sobre todo si los profesores las utilizarían para impartir sus clases, se diseñó un instrumento de evaluación en forma de cuestionario que se aplicó a los alumnos y profesores de la Facultad de Química de la UNAM.

Estas presentaciones se pueden ver detalladamente en el disco que se encuentra en el anexo 1.

## Capítulo 1

### Generalidades sobre el calor y su transferencia

Para poder elaborar material didáctico sobre la transferencia de calor por conducción, es necesario saber de los temas básicos que nos llevaran al entendimiento del tema y posteriormente del tema de estudio, en este capítulo se explican y definen los temas básicos que se relacionan con la transferencia del calor por conducción.

#### 1.1 Temperatura

Para entender el fenómeno de conducción en la transferencia de calor se debe explicar primero el concepto de la temperatura ya que ésta nos dice si algo se percibe caliente o frío. Existen varias definiciones que van más allá de la sensación de frío y caliente y para efectos de este trabajo se consideró una que se basa en la Ley Cero de la Termodinámica que define a la temperatura como una magnitud que permite saber si un sistema está o no en equilibrio térmico con otros sistemas o con sus alrededores, la única condición para que estén en equilibrio es la igualdad de sus temperaturas. La temperatura también se define como una magnitud que gobierna el paso de la energía<sup>2</sup>.

La temperatura es una propiedad física que determina la dirección del flujo de calor además de su magnitud por lo cual es necesario tener una escala de medición que nos indique que tan caliente o frío se encuentra algo. Para este propósito existe una escala para poder cuantificar la temperatura tomado como referencia el punto fijo de la temperatura de equilibrio del hielo-agua-vapor de agua que arbitrariamente se le atribuyó la temperatura de 273.16 K (Kelvin, escala absoluta internacional), existen tres escalas más de temperatura que toman como referencia a la escala K, la escala Celsius o Centígrados (°C) se fija el grado cero en 273.16 K, las escalas Fahrenheit (°F) y Ranking (°R) tienen como puntos fijos el punto de fusión del hielo en 32°F y el punto de ebullición del agua en 212°F, ambos a una atmósfera de presión. Las equivalencias entre estas escalas se presentan a continuación:

TABLA A. TABLA DEMOSTRATIVA DE LAS ESCALAS DE TEMPERATURAS

ESCALA CELSIUS O CENTÍGRADOS (°C)	ESCALA FAHRENHEIT (°F)	ESCALA RANKING (°R)
$T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273.16$	$T(^{\circ}\text{F}) = \frac{9}{5}(T(\text{K}) - 273 - 16) + 32$	$T(^{\circ}\text{R}) = T(^{\circ}\text{F}) + 459.67$

La escala °F comúnmente se utiliza en Estados Unidos, la escala °R se utiliza internacionalmente para la termodinámica, la K se utiliza generalmente en la ciencia y la escala de temperatura más común utilizada en la °C.

<sup>2</sup> DEL LIBRO INTRODUCCIÓN A LA TRANSFERENCIA DE CALOR. ANTONIO VALIENTE BARDERAS. FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM. PRIMERA EDICIÓN, 2010. PP, 17-19.

## 1.2 Energía

La energía es una propiedad que se asocia a las sustancias, objetos y a los cuerpos que se manifiesta a través de diversas transformaciones que ocurren en la naturaleza, también se puede definir como una cantidad del sistema que describe su estado termodinámico y que cambia cuando se transmite del sistema hacia los alrededores y viceversa. Se presenta en múltiples formas y está asociada con el proceso de cambio del estado físico de la materia, por tanto todo cuerpo es capaz de poseer energía.

La energía tiene diversas representaciones como el calor, la luz o la electricidad.

Existen en la naturaleza varios tipos de energía como la energía que hace que un cuerpo se mueva o la energía que hace un foco se prenda, o la energía que se desprende de una reacción química o la energía que genera requiere para calentar algo, o la que tienen los cuerpos inmóviles, o la energía que emana de una radio encendida, etc., todos estos tipos de energía se relacionan entre sí transformándose de un tipo a otro tipo con base en el principio de conservación de la energía que dice que **“la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma.”**<sup>3</sup>

Tipos de energía.

- Energía potencial. La energía potencial es la energía que tiene un cuerpo debido a su posición con respecto a un punto de referencia, por ejemplo: la energía potencial que tiene una piedra que se encuentra en lo alto de una montaña depende de la altura a la que se encuentra con respecto del piso que es el punto de referencia. Su representación matemática es:

$$EP = mgz$$

Donde:

EP = energía potencial (J)

m = masa del cuerpo (kg)

g = aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

z = altura a cual se encuentra el cuerpo (m)

---

<sup>3</sup> PRINCIPIO POSTULADO POR EL FÍSICO ALEMÁN HERMAN VON HELMHOLTZ.

- Energía cinética. La energía cinética es la energía que tiene un cuerpo debido a su movimiento, por ejemplo: cuando una persona está realizando un ejercicio físico como correr, la persona tiene energía cinética que está relacionada con la velocidad que lleva al realizar dicha actividad. Matemáticamente se puede escribir como:

$$EC = \frac{mv^2}{2}$$

Donde:

EC = energía cinética (J)

m = masa del cuerpo (kg)

v = velocidad que tiene el cuerpo en movimiento (m/s)

- Energía interna. Es la energía cinética interna y energía potencial interna que tiene un cuerpo debido al movimiento de sus moléculas o átomos y a la posición relativa que tienen sus moléculas o átomos, estas alteraciones moleculares dependen de las variables que tiene el sistema como temperatura, presión, volumen, etc. por ejemplo: un compuesto químico que se calienta eleva su temperatura por lo tanto sus moléculas están en movimiento y su energía interna se eleva. Su representación matemática depende del tipo de variables que estén presentes, de manera general se puede escribir como:

$$U (T, P, \mu)$$

Donde:

U = energía interna

T = temperatura

P = presión

$\mu$  = potencial químico

(T,P,  $\mu$ ) son las variables de las cuales depende U

- Energía de presión. Esta energía es la que tiene un cuerpo debido a la presión que posee y con la que puede realizar un trabajo, por ejemplo: al agitar una botella de sidra el tapón sale de la botella debido a la presión que se ejerció dentro de la botella. Su expresión matemática es la siguiente:

$$E_{Pe} = \frac{mP}{\rho}$$

Donde:

E<sub>Pe</sub> = energía de presión

m = masa

P = presión

$\rho$  = densidad

En un sistema aislado donde no hay transferencia de energía ni de masa se puede calcular la energía de este sistema con la siguiente ecuación:

$$E = EC + EP + EPe + U$$

Donde:

EC = energía cinética

EP = energía potencial

EPe = energía de presión

U: energía interna

Cuando un sistema no está aislado tiene interacciones con su entorno y transfiere energía en forma de calor y de trabajo.

### 1.3 Transferencia de energía en forma de trabajo

El trabajo se puede definir como la transferencia de energía de forma organizada que tiene como fin mover una masa, en física, la expresión matemática del trabajo que resulta de mover una masa a lo largo de una distancia L se define con la siguiente ecuación:

$$W = Fd$$

Donde:

W = trabajo

F = fuerza

d = distancia

Debido a que la masa a la cual se le aplica la fuerza F se desplaza de un punto inicial L a un punto final L, la ecuación anterior se convierte en una ecuación diferencial donde la distancia se sustituye por L de longitud:

$$dW = FdL$$

Despejando W por medio de la integración de ambos lados del signo de igualdad se tiene:

$$W = \int FdL$$

Con una trayectoria finita de  $L_1$  a  $L_2$  la integral anterior se convierte en una integral definida:

$$W = \int_{L_1}^{L_2} FdL$$

Donde  $F$  representa la fuerza externa de los alrededores sobre el sistema en la dirección  $L$ .

En termodinámica, desde el punto de vista macroscópico es necesario relacionar la definición de trabajo con los conceptos de sistemas, propiedades y procesos. Termodinámicamente el trabajo se define como el trabajo que realiza un sistema cuyo único efecto es la elevación de un peso. Matemáticamente se escribe de la siguiente forma:

$$W = - \int PdV$$

Donde:

$P$ : es la presión y actúa como la fuerza normal por unidad de área del sistema.

$-dV$ : es el volumen del sistema y actúa en la dirección en que es aplicada la fuerza  $P$ , es negativo porque disminuye al aplicarse una presión sobre él.

Delimitando al sistema del volumen  $V_1$  al volumen  $V_2$ , el trabajo en termodinámica se calcula con la siguiente ecuación:

$$W = \int_{V_1}^{V_2} PdV$$

## 1.4 Transferencia de energía en forma de calor

La otra forma de transferir la energía es la transferencia de calor, ésta ocurre de forma desorganizada que tiene la energía para cruzar una frontera y alterar al sistema por acción de la diferencia de temperaturas que hay entre ambas partes de la frontera, se diferencia del trabajo porque no tiene como fin único el mover una masa.

De lo anterior se puede definir al calor como la energía en tránsito a través del límite que separa un sistema de sus alrededores o al límite que separa dos o más sistemas,<sup>4</sup> el calor fluye de un lugar a otro por la diferencia de temperaturas que hay entre ambos y siempre va desde la temperatura mayor a la temperatura menor.

La transferencia de calor ocurre por tres diferentes mecanismos, convección, radiación y conducción, aunque estos mecanismos se dan de forma simultánea, puede ser que sea uno el que predomine sobre los otros y que debido a este ocurra la transferencia de calor.

Este trabajo se enfocará en la transferencia de calor por conducción en régimen estacionario, sin embargo, se mencionarán las definiciones generales de radiación y convección.

---

<sup>4</sup> DEL LIBRO TEORÍA Y PROBLEMAS DE TERMODINÁMICA. MICHAEL ABBOTT, HENDRICK C. VAN NESS. MC GRAW HILL, 1975. PP, 7.

*Convección:* es la transferencia de calor que va asociada a la velocidad de un fluido en movimiento en presencia de un gradiente de temperatura, este mecanismo ocurre de dos formas una es el movimiento molecular aleatorio y otra es el movimiento macroscópico del fluido.

*Radiación:* es un mecanismo de transferencia mediante el cual la energía se mueve por los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos y la energía es transportada por ondas electromagnéticas, este mecanismo no requiere la presencia de un medio de transporte, de hecho la transferencia se da mejor en el vacío.

### 1.4.1 Tipos de calor

La temperatura además de regir la transferencia de calor determina junto con otras propiedades los estados de físicos de la materia, sólido, líquido y gas. Si se aumenta la temperatura inicial de la un cuerpo sólido, éste puede pasar de su fase sólida a la líquida y se vuelve a aumentar la temperatura de igual forma puede cambiar de su fase líquida a su fase sólida, este proceso es reversible se puede ir de la fase sólida a la fase gaseosa aumentando la temperatura y también se puede ir de la fase gaseosa a la fase sólida disminuyendo la temperatura.

Si se aumenta la temperatura, habrá una transferencia de calor, entonces, el calor que se necesita para aumentar la temperatura de un cuerpo sólido sin que cambie de fase es diferente del calor que necesita el mismo cuerpo para cambiar de sólido a líquido, estos “calores” se llaman de diferente forma y se mencionan a continuación:

- *Calor latente.* Se le llama calor latente al calor que se necesita un cuerpo para cambiar su estado físico. Este calor debe ser suficiente para romper los enlaces físicos de las moléculas sin cambiar sus propiedades químicas y se da a temperatura constante. Se calcula matemáticamente de la siguiente forma:

$$Q_{\lambda} = (\Delta H_f)m$$

El calor latente depende además de la temperatura de la presión.

- *Calor sensible.* Transferencia de energía en forma de calor que no produce un cambio en el estado físico de la materia mientras su temperatura cambia. Se calcula con la siguiente ecuación:

A presión constante:

$$Q_s = mC_p(T_1 - T_2)$$

A volumen constante:

$$Q_s = mC_v(T_1 - T_2)$$

- *Calor latente de fusión.* Es el calor necesario para convertir una sustancia en líquido, es el calor absorbido en la fusión de un gramo de sustancia a temperatura constante. La ecuación matemática que lo describe es:

$$Q_{\lambda} = \lambda_f m$$

- *Calor latente de vaporización.* Es el calor que necesita un líquido para llegar a su temperatura de ebullición y convertirse en vapor, es el calor necesario para romper las fuerzas intermoleculares del líquido. Su ecuación matemática es:

$$Q_{\lambda} = m(\Delta H_v)$$

- *Calor de sublimación.* Es calor que necesita un gramo de sustancia sólida para sublimar a temperatura constante, es la suma del calor de fusión y el calor de vaporización.

Los calores latentes y sensibles de las sustancias para los diferentes cambios de estado están en función de la temperatura y se obtienen por gráficas o con los resultados ya reportados en la bibliografía.

### 1.4.2 Capacidad calorífica

La capacidad calorífica es una propiedad que tienen las sustancias que depende del estado físico en que se encuentra y de la temperatura.

La capacidad calorífica es la cantidad de calor que se le suministra a un sistema cerrado para que realice un cambio de estado, este calor suministrado se relaciona con una propiedad específica del mismo ya sea presión o volumen.

En el estado gaseoso, la capacidad calorífica molar a presión constante se puede calcular con:

$$\overline{C_p} = a + bT + cT^2$$

Donde:

$\overline{C_p}$  = capacidad calorífica molar a presión constante  $\left(\frac{J}{kgK}\right)$

a, b, c = constantes específicas de cada sustancia

T = temperatura (K)

La capacidad calorífica de los líquidos a presión constante se puede calcular con:

$$\overline{C_p} = a + bT$$

Las constantes a y b dependen del líquido en particular.



Para calcular las capacidades caloríficas en sólidos se pueden utilizar las siguientes ecuaciones:

$$\overline{C_p} = a$$

$$\overline{C_p} = a + bT$$

$$\overline{C_p} = a + bT + cT^2$$

El uso de cada una dependerá de las características del sólido.

## Capítulo 2

### Transferencia de calor por conducción en estado estacionario

Una vez que se han explicado los conceptos generales relacionados con el calor, se explicaran en este capítulo detalladamente los fenómenos que ocurren en la transferencia de calor por conducción en estado estacionario, las leyes rigen esta transferencia, las ecuaciones que relacionan y los conceptos que los explican.

#### 2.1 Calor

Como ya se ha explicado, el calor es una transferencia de energía que depende de la temperatura y que fluye de un lugar con mayor energía a otro lugar de menor energía, esta transferencia de calor puede ocurrir de tres maneras y hasta el momento se han explicado de forma general los conceptos de radiación y convección; la otra manera que tiene la energía de transferirse es la conducción que se explicará detalladamente a continuación.

El fenómeno de la conducción tiene sus orígenes hace mucho tiempo, aproximadamente 100 años y se le atribuyen principalmente al físico-matemático francés Joseph Fourier.

Se le llama conducción a la cantidad de energía que fluye de un lugar con una temperatura a otro lugar con una temperatura menor que la primera, es decir, el calor siempre fluye de la temperatura mayor a la temperatura menor, esta transferencia se da a nivel molecular por las interacciones que hay entre las moléculas y se da en cualquier estado de agregación de la materia.

En los sólidos el fenómeno de conducción se propaga por la vibración de las moléculas más energéticas hacia las moléculas menos energéticas, esta agitación ocurre sin que las moléculas se muevan de su lugar.

En los líquidos la conducción se da cuando las moléculas se mueven aleatoriamente y chocan con otras moléculas, es en este choque donde se da el intercambio de energía.

En los gases la transferencia de calor por conducción también se da por el movimiento aleatorio de las moléculas sólo que este movimiento se da en todas direcciones y es más desorganizado que en los líquidos, de igual forma el intercambio de energía se da cuando las moléculas chocan entre sí.

La conducción predomina en los sólidos, en los líquidos y gases además intervienen los otros mecanismos y suelen dominar sobre la conducción.

Matemáticamente la conducción se puede calcular por medio de la ecuación de Fourier que se expresa cómo:

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x}$$

Donde:

q: rapidez de transferencia de calor ( $\frac{J}{s}$ )

$\frac{\partial T}{\partial x}$ : gradiente de temperatura en dirección x (°C)

A: área transversal (m<sup>2</sup>)

k: constante referente a la conductividad térmica del objeto o material ( $\frac{J}{sm^{\circ}C}$ )

## 2.2 Ley de Fourier

La ley de la cual se desprende la ecuación con la que se calcula la conducción es la Ley de Fourier que a diferencia de otras leyes es fenomenológica, es decir, se desarrolla a partir de fenómenos observados en diversos experimentos realizados.

Para poder explicar esta ecuación se utilizará la figura 1:

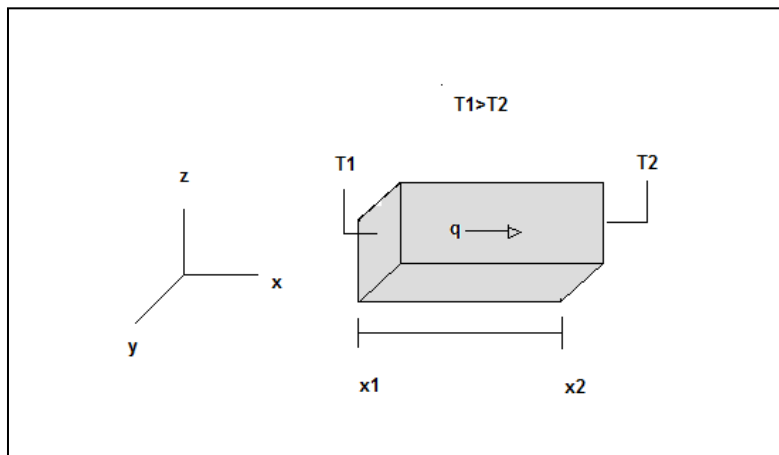


FIGURA 1. TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN A TRAVES DE UNA BARRA DONDE T1 ES MAYOR QUE T2

Debido a la diferencia de temperaturas que se presentan en esta barra cuadrada, ocurre una transferencia de calor de T1 a T2.

El calor que se transfiere a lo largo de esta barra depende de la diferencia de temperaturas  $\Delta T$ , de la longitud de la barra  $\Delta x$  y del área de la sección transversal A y se relacionan de la siguiente forma:

1. Se considera a  $\Delta T$  y  $\Delta x$  constantes, entonces la transferencia de calor q aumenta si el área A aumenta; por lo tanto q es directamente proporcional a A.

2. Ahora se considera a  $\Delta T$  y  $A$  constantes, entonces la transferencia de calor  $q$  aumenta a medida que la longitud de la barra  $\Delta x$  disminuye; por lo tanto  $q$  es inversamente proporcional al  $\Delta x$ .
3. Por último se considera  $A$  y  $\Delta x$  constantes, entonces la transferencia de calor es mayor mientras  $\Delta T$  sea mayor, por lo tanto  $q$  es directamente proporcional a  $\Delta T$ .

Con base en estas tres consideraciones se puede escribir matemáticamente la siguiente proporción:

$$q_x \propto A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Para cambiar esta proporción por una igualdad se debe añadir una constante, esta constante es la conductividad térmica que nos indica si la barra es buena o mal conductora de energía. La ecuación queda como:

$$q_x = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

El signo negativo es debido a que el calor siempre se transfiere en dirección de la temperatura decreciente.

Con la ecuación anterior se puede saber el calor  $q$  que se transfiere a lo largo de la barra en la dirección  $x$ , para saber la cantidad de calor por unidad de tiempo (flujo de calor) es necesario dividir toda la ecuación entre el área transversal  $A$ , dando como resultado:

$$\frac{q_x}{A} = -k \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Si se supone que:

$$q_x^* = \frac{q_x}{A}$$

La ecuación para calcular el flujo de calor en la barra es:

$$q_x^* = -k \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

De forma diferencial la ecuación queda como:

$$q_x^* = -k \frac{dT}{dx}$$

Ahora, si el flujo de calor se transfiere además en las tres direcciones, la ecuación anterior sería vectorial por lo tanto quedaría como:

$$q_x^* = -k\nabla T = -k \left( i \frac{\partial T}{\partial x} + j \frac{\partial T}{\partial y} + k \frac{\partial T}{\partial z} \right)$$

La conductividad térmica es constante, por lo tanto sale del operador  $\nabla$ .

### 2.3 Propiedades termo físicas.

Dentro de la transferencia de calor se utilizan muchas propiedades que tienen que ver con la materia, algunas de ellas son constantes y dependen del material con el que está hecho el objeto o sistema de estudio, a estas propiedades se les llama propiedades termofísicas y son la conductividad térmica o velocidad de difusión, la viscosidad cinemática, la densidad, el calor específico.

La conductividad térmica es una propiedad de la materia que nos dice la velocidad con la que la energía es transferida por difusión y depende de la estructura física, atómica y molecular de la materia y de su estado de agregación. La conductividad térmica es proporcional al flujo de calor que se transfiere.

En los sólidos la conductividad térmica es mayor que en los líquidos que a su vez es mayor que en los gases, esto es debido al espacio que hay entre las moléculas tanto de los líquidos como de los gases y sólidos. “La conductividad térmica de un sólido puede ser más de cuatro órdenes de magnitud mayor que la de un gas”<sup>5</sup>.

Conductividad térmica en sólidos. La composición de los sólidos es de electrones libres y de átomos unidos por un arreglo periódico que se le llama estructura cristalina, entonces, el transporte de energía se debe al movimiento de electrones libres y a los movimientos vibracionales de su estructura, de esta forma la conductividad térmica  $k$  es la suma de  $k_e$  que se refiere a la parte electrónica y de  $k_l$  que se refiere a la parte de su estructura.

La  $k_e$  solo está presente en los sólidos metálicos, en los no metálicos  $k$  está regida por  $k_l$ , sin embargo hay algunos materiales como el diamante que debido a su estructura cristalina son mejores conductores que algunos metales como el aluminio.

Conductividad térmica en gases. Debido al espacio intermolecular que hay entre las moléculas de los gases es mayor que en los sólidos, el transporte de energía es menos efectivo. La conductividad se puede explicar con base en la Teoría Cinética de los Gases.

<sup>5</sup> DEL LIBRO FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR. FRANK P. INCROPERA, DAVID P. DEWITT. PEARSON EDUCATION, CUARTA EDICIÓN, 1999. PP, 46-47.

Con base en esta teoría se tiene que la conductividad térmica es directamente proporcional al número de partículas por unidad de volumen, también es directamente proporcional a la velocidad molecular media y a la distancia promedio que una molécula viaja antes de tener una colisión, la conductividad térmica de un gas aumenta con el incremento de la temperatura y con la disminución del peso molecular.

Conductividad térmica en líquidos. Aunque al igual que en los gases la separación entre las moléculas es mayor que en los sólidos, no hay una forma precisa de explicar la conductividad térmica en los líquidos, solo se sabe que disminuye en los líquidos no metálicos cuando se aumenta la temperatura y con el aumento del peso molecular.

Del producto de la densidad y la capacidad calorífica se desprende la capacidad térmica calorífica la cual mide la capacidad que tiene un material para almacenar energía térmica, la relación entre la capacidad térmica y la conductividad térmica es la difusividad térmica que mide la capacidad que tiene un materia para conducir la energía con respecto a su capacidad para almacenarla.

La mayoría de estas propiedades son constantes y actualmente hay tablas de estas propiedades que se desprendieron de numerosos experimentos.

La difusividad térmica o difusión del calor depende de la distribución de temperaturas que nos dice como varía la temperatura con respecto a la posición dentro del sistema o con respecto al tiempo en un estado no estacionario, para conocer con precisión esta distribución de temperatura es necesario resolver matemáticamente la ecuación de la difusión del calor o la ecuación del calor que se presenta como:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q} = \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t}$$

Explicando físicamente los términos de esta ecuación se tiene:

$\frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right)$  : flujo neto del calor por conducción dentro un volumen para la dirección de la coordenada x

$\frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial T}{\partial y} \right)$  : flujo neto del calor por conducción dentro un volumen para la dirección de la coordenada y

$\frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial T}{\partial z} \right)$  : flujo neto del calor por conducción dentro de un volumen para la dirección de la coordenada z

De estos tres términos se puede decir que *“la rapidez de transferencia de energía por conducción en un volumen unitario más la rapidez de generación volumétrica de energía térmica debe ser igual a la rapidez de cambio de la energía térmica almacenada dentro del volumen”*<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> DEL LIBRO FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR. FRANK P. INCROPERA, DAVID P. DEWITT. PEARSON EDUCATION, CUARTA EDICIÓN, 1999. PP-55.

$\dot{q}$ : rapidez a la que se genera la energía por unidad de volumen del sistema

$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t}$ : rapidez del cambio temporal de la energía sensible y almacenada del sistema por unidad de volumen

### 2.4 Conducción en estado estacionario

En los sistemas abiertos se tienen interacciones con los alrededores que permiten la transferencia de calor por conducción, convección y radiación, para cuantificar esta transferencia de calor se parte de la Ley de la conservación de la energía de donde se desprende el balance general de energía que se presenta a continuación:

ENERGÍA ENTRANTE	-	ENERGÍA SALIENTE	+	ENERGÍA GENERADA	=	ENERGÍA ACUMULADA
---------------------	---	---------------------	---	---------------------	---	----------------------

Suponiendo que se tiene el siguiente sistema abierto de la figura 2:

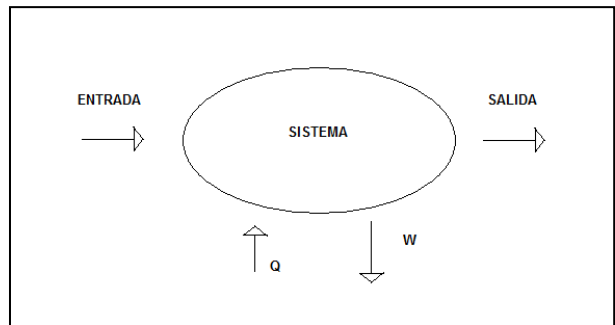


FIGURA 2. EJEMPLO DE UN SISTEMA ABIERTO QUE PERMITE LA ENTRADA DE CALOR Y TRABAJO

El balance de energía matemáticamente se puede escribir como:

$$M_e(EP_e + EC_e + EPe_e + U_e) + Q - M_s(EP_s + EC_s + EPe_e + U_s) - W + Eg = \sum F + EA$$

**ENERGÍA ENTRANTE**

**ENERGÍA SALIENTE**

**ENERGÍA  
GENERADA**

**ENERGÍA  
ACUMULADA**

Donde:

$M_e$ = masa de entrada

$EP_e$ = energía potencial de entrada = gz

- EC<sub>e</sub>= energía cinética de entrada =  $\frac{v^2}{2}$
- EP<sub>e</sub>= energía de presión de entrada = PV
- U<sub>e</sub>= energía interna
- Q = calor
- M<sub>s</sub>= masa de salida
- EP<sub>s</sub>= energía potencial de salida = gz
- EC<sub>s</sub>= energía cinética de salida =  $\frac{v^2}{2}$
- EP<sub>e</sub>= energía de presión de salida = PV
- U<sub>s</sub>= energía interna de salida
- W = trabajo
- Eg = energía generada
- ΣF = pérdidas por fricción
- P = presión
- V = volumen
- EA = energía acumulada =  $\frac{d(UpV)}{dt}$

Sustituyendo los términos por las variables el balance de energía queda como:

$$M_e \left( gZ_e + \frac{v_e^2}{2} + P_e V_e + U_e \right) + Q - M_s \left( gZ_s + \frac{v_s^2}{2} + P_s V_s + U_s \right) - W + Eg = \sum F + \frac{d(UpV)}{dt}$$

Cuando en un sistema no hay cambios de energía cinética, energía potencial se encuentra en estado estacionario, en la figura 3, se representa la transferencia de calor por conducción en estado estacionario:

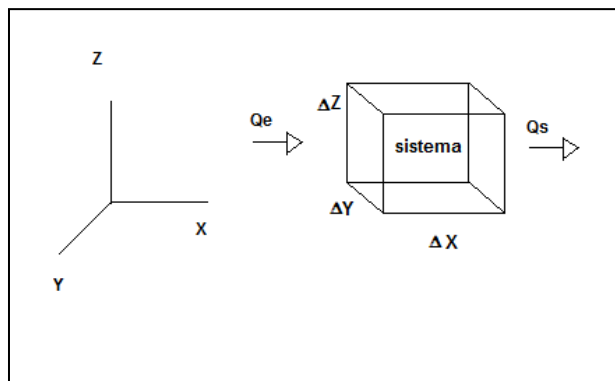


FIGURA 3. EJEMPLO DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN EN ESTADO ESTACIONARIO.



En este sistema se hacen las siguientes suposiciones:

no hay cambios de energía cinética:

$$\frac{v_e^2}{2} = \frac{v_s^2}{2} = 0$$

no hay cambios de energía potencial:

$$gZ_e = gZ_s = 0$$

no hay convección ni radiación

la transferencia de calor solo se lleva a cabo por conducción y es dentro del cubo

la conducción es solo en la dirección x:

$$Q = Q_s - Q_e = q_x$$

el calor que entra solo es en dirección x:

$$Q_e = q_x \Delta y \Delta z$$

el calor que sale solo es en dirección x:

$$Q_s = q_{x+\Delta x} \Delta y \Delta z$$

la energía generada es por unidad de volumen:

$$Eg = Eg \Delta x \Delta y \Delta z$$

la energía acumulada es debida solo al cambio de energía interna por unidad de volumen:

$$U_e = U_s = EA = \frac{\partial}{\partial t} (\rho C_p T) \Delta x \Delta y \Delta z$$

las pérdidas por fricción son despreciables:

$$\sum F \sim 0$$

el sistema no realiza algún trabajo:

$$W = 0$$

el sistema no tiene energía de presión:

$$P_e V_e = P_s V_s = 0$$

la masa del cuerpo no cambia:

$$M_e = M_s = 1$$

Aplicando todas estas suposiciones a la ecuación general de balance queda como:

$$q_x \Delta y \Delta z - q_{x+\Delta x} \Delta y \Delta z + E g \Delta x \Delta y \Delta z = \frac{\partial}{\partial t} (\rho C p T) \Delta x \Delta y \Delta z$$

Igualando a 0 la ecuación de balance:

$$q_{x+\Delta x} \Delta y \Delta z - q_x \Delta y \Delta z - E g \Delta x \Delta y \Delta z + \frac{\partial}{\partial t} (\rho C p T) \Delta x \Delta y \Delta z = 0$$

Si se divide la ecuación anterior entre el volumen  $\Delta x \Delta y \Delta z$

$$\frac{q_{x+\Delta x} - q_x}{\Delta x} - E g + \frac{\partial}{\partial t} (\rho C p T) = 0$$

Si se escribe de manera diferencial:

$$\frac{\partial q}{\partial x} - E g + \frac{\partial}{\partial t} (\rho C p T) = 0$$

Acomodando términos:

$$\frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial t} (\rho C p T) - E g = 0$$

Si se considera que  $q$  fluye en las tres direcciones:

$$\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial t} (\rho C p T) - E g = 0$$

Aplicando el operador nabla  $\nabla = \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z}$

$$\nabla q + \frac{\partial}{\partial t} (\rho C p T) - E g = 0$$

Como ya se explico en las suposiciones, el calor se transmite por conducción  $q = -k\nabla T$ , sustituyendo esta expresión en la ecuación anterior se tiene:

$$\nabla(-k\nabla T) + \frac{\partial}{\partial t}(\rho C_p T) - Eg = 0$$

La  $k$  es constante y sale del operador  $\nabla$ , entonces  $q$  solo depende de  $T$  y la ecuación queda como:

$$-k\nabla^2 T + \frac{\partial}{\partial t}(\rho C_p T) - Eg = 0$$

Ahora en el término  $\frac{\partial}{\partial t}(\rho C_p T)$ ,  $\rho C_p$  son constantes y salen de la derivada que se aplicara solo a  $T$  quedando como:

$$-k\nabla^2 T + \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} - Eg = 0$$

Despejando  $\frac{\partial T}{\partial t}$ :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{\rho C_p} \nabla^2 T + \frac{Eg}{\rho C_p}$$

Sustituyendo la difusividad térmica  $\alpha = \frac{k}{\rho C_p}$ :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \nabla^2 T + \frac{Eg}{\rho C_p}$$

Esta ecuación describe la transferencia de calor por conducción en un sólido en estado estacionario y puede escribirse en diferentes coordenadas:

1. Coordenadas rectangulares:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left[ \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] + \frac{Eg}{\rho C_p}$$

2. Coordenadas cilíndricas:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left[ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] + \frac{Eg}{\rho C_p}$$

### 3. Coordenadas esféricas:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left[ \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \varphi} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left( \sin \varphi \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \varphi} \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} \right] + \frac{Eg}{\rho C p}$$

Si en el sistema no hay generación de calor  $\frac{Eg}{\rho C p} = 0$ , la ecuación en coordenadas rectangulares queda como:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \nabla^2 T$$

## 2.5 Conducción en estado no estacionario

Este trabajo está enfocado únicamente a la transferencia de calor por conducción en estado estacionario, por tal motivo solo se explicara a grandes rasgos el estado transitorio.

La transferencia de calor por conducción en estado transitorio se da cuando las variables del sistema varían respecto al tiempo, estas variaciones se deben principalmente a la acumulación dentro del sistema.

La solución de la ecuación que describe esta transferencia de calor es particular en cada caso y depende de las suposiciones que se hagan y de las condiciones iniciales o de frontera del sistema.

### Capítulo 3

## Aplicaciones de la transferencia de calor por conducción en estado estacionario

La transferencia de calor por conducción tiene varias aplicaciones. En este capítulo se mencionan las características generales de estas aplicaciones, las ecuaciones para la transferencia de calor y se exponen sus usos más comunes.

Todas las ecuaciones de transferencia de calor de las aplicaciones presentadas en este capítulo, provienen del balance de energía que se explicó en el punto “2.4 Conducción en estado estacionario” de esta tesis.

No es objetivo de este trabajo explicar y desarrollar las ecuaciones que se presentan a continuación, sin embargo, en el **APÉNDICE** se explican a detalle.

### 3.1 Paredes planas

Si se tiene una pared plana, como en la figura 4 de área constante en la cual hay una diferencia de temperaturas, la ecuación de Fourier debe integrarse considerando esta geometría.

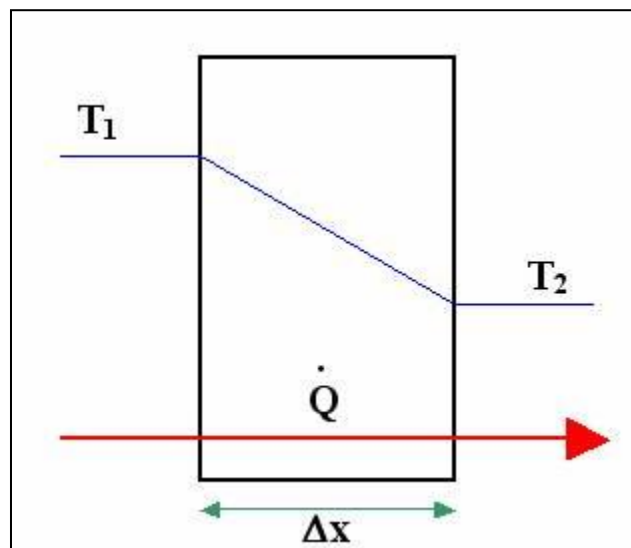


FIGURA 4. TRANSFERENCIA DE CALOR A TRAVÉS DE PAREDES PLANAS T<sub>1</sub> ES MAYOR QUE T<sub>2</sub>.

La ecuación con la que se calcula la transferencia de calor a través de esta placa es:

$$Q = \frac{kA(T_1 - T_2)}{x}$$

Donde:

k = conductividad térmica  $\left(\frac{J}{sm^{\circ}C}\right)$

A = área de transferencia (m<sup>2</sup>)

x = espesor del cuerpo

T = temperatura (°C)

### 3.2 Capas múltiples

Cuando se ponen en contacto varios cuerpos de diferente material uno a continuación de otro con diferente geometría y hay una transferencia de calor debido a una diferencia de temperaturas, el calor que fluye a través de cada cuerpo en estado permanente debe ser el mismo, sin embargo los gradientes de temperatura son distintos la figura 5 que describe esta transferencia de calor es la siguiente:

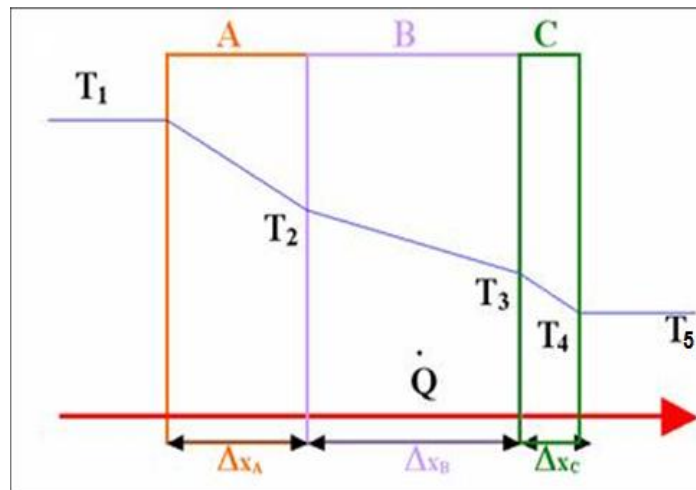


FIGURA 5. TRANSFERENCIA DE CALOR A TRAVES DE PAREDES MULTIPLES T<sub>1</sub> ES MAYOR A T<sub>5</sub>.

El calor transferido lo describe la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{(T_1 - T_5)}{\frac{X_A}{K_A A} + \frac{X_B}{K_B B} + \frac{X_C}{K_C C}}$$

Como el calor que se transfiere del cuerpo A es igual al calor del cuerpo B y es igual al calor que recibe el cuerpo C ya que no hay acumulación de flujo de calor.

### 3.3 Analogía eléctrica de la conducción

La transferencia de calor y la transmisión de la electricidad tienen sus similitudes como que el calor  $Q$  que se transfiere es similar a la intensidad de corriente  $I$ , o como que la diferencia de temperaturas  $\Delta T$  es similar a la diferencia de voltaje  $\Delta V$ . Lo anterior se puede expresar matemáticamente como:

$$Q = \frac{\Delta T}{\frac{x}{kA}}$$

Sustituyendo la resistencia térmica es  $R = \frac{x}{kA}$ , la ecuación queda como:

$$Q = \frac{\Delta T}{R} \leftrightarrow I = \frac{\Delta V}{R}$$

Esta analogía permite ampliar el problema de la conducción a problemas más complejos utilizando la teoría de de circuitos eléctricos. Considerando que la transmisión de calor es análoga al flujo de calor la expresión en calor  $\frac{L}{kA}$  equivale a la de la resistencia en circuitos eléctricos y la diferencia de temperaturas a la diferencia de potencial, entonces la ecuación del calor se puede escribir como la ley de ohm:

$$Q = \frac{\Delta T}{R} \quad \left\{ \begin{array}{l} \Delta T = T_1 - T_2 \text{ potencial térmico} \\ R = \frac{\Delta x}{kA} \text{ resistencia térmica} \end{array} \right.$$

La inversa de la resistencia térmica es la conductividad térmica.

### 3.4 Paredes en serie

El problema de las capas múltiples también se puede resolver con la analogía eléctrica, consideremos también la figura 5.

Eléctricamente se expresa como la figura 6:

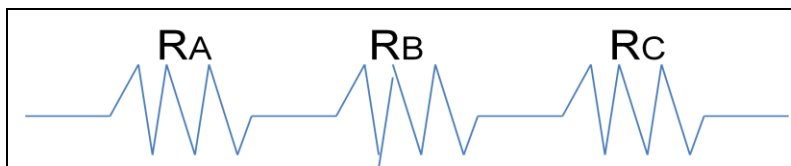


FIGURA 6. EXPRESIÓN ELECTRICA DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR A TRAVÉS DE PAREDES MULTIPLES.

El flujo de calor total se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{T_1 - T_4}{\left(\frac{L}{kA}\right)_A + \left(\frac{L}{kA}\right)_B + \left(\frac{L}{kA}\right)_C}$$

La ecuación análoga es:

$$Q = \frac{\Delta T}{R_A + R_B + R_C}$$

### 3.5 Paredes en paralelo

Cuando se tienen dos cuerpos de igual geometría y material conectados en paralelo se puede utilizar la analogía eléctrica para calcular el calor.

Si se tiene la figura 7:

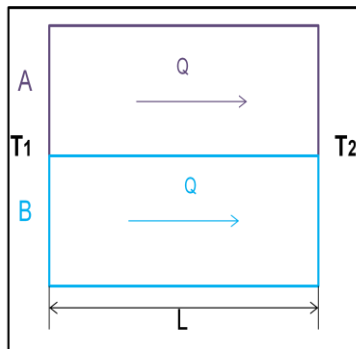


FIGURA 7. TRANSFERENCIA DE CALOR A TRAVES DE PAREDES EN PARALELO.

Analógicamente una resistencia en paralelo se representa gráficamente como en la figura 8:

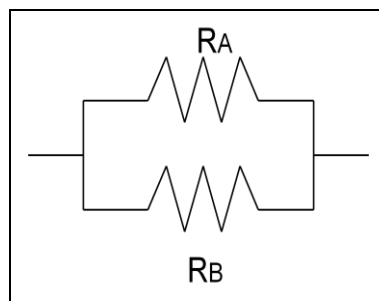


FIGURA 8. EXPRESIÓN ELECTRICA DE LAS PAREDES EN PARALELO.



Como el flujo de calor fluye en trayectorias separadas, el flujo de calor total es la suma de los flujos:

$$Q = Q_A + Q_B$$

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{\left(\frac{L}{kA}\right)_A} + \frac{T_1 - T_2}{\left(\frac{L}{kA}\right)_B}$$

Ahora su ecuación eléctrica es:

$$Q = \Delta T \left( \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} \right)$$

### 3.6 Cuerpos cilíndricos

En los cuerpos con forma cilíndrica la ecuación con la que se calcula la transferencia de calor por conducción depende del radio del cuerpo y de la diferencia de temperaturas. Considerando la siguiente figura 9:

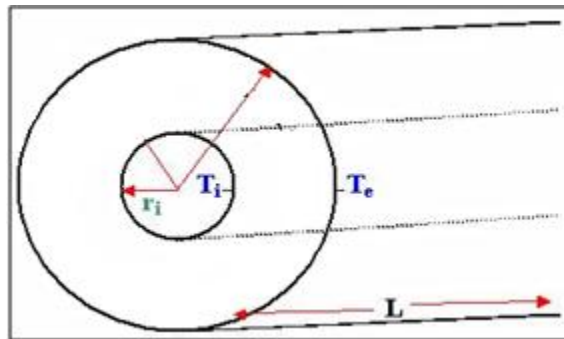


FIGURA 9. TRANSFERENCIA DE CALOR EN CUERPOS CILINDRICOS.  $T_i$  ES MAYOR QUE  $T_e$ .

El flujo de calor se transfiere de en dirección radial de  $T_i$  a  $T_e$ , la ecuación que describe esta transferencia es:

$$Q = \frac{2\pi kL(T_e - T_i)}{\ln \frac{r_e}{r_i}}$$

Si se sustituye la resistencia:

$$R = \frac{1}{\left(\frac{1}{2\pi Lk}\right) \ln \frac{r_2}{r_1}}$$

la ecuación queda como:

$$Q = \frac{\Delta T}{R}$$

### 3.7 Cuerpos esféricos

La transferencia de calor en una esfera ocurre en dirección radial, como se muestra en la figura 10, donde  $T_i$  es mayor que  $T_e$ .

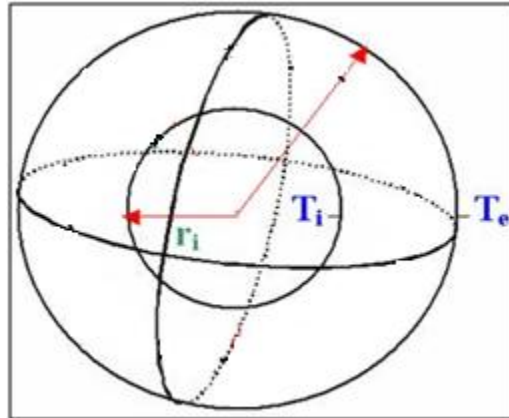


FIGURA 9. TRANSFERENCIA DE CALOR EN CUERPOS ESFERICOS.  $T_i$  ES MAYOR QUE  $T_e$ .

La ecuación para calcular la transferencia de calor para un cuerpo esférico es:

$$Q = 4\pi k r_1 r_2 \frac{(T_1 - T_2)}{r_2 - r_1}$$

Ahora si se sustituye la resistencia  $R = \frac{r_2 - r_1}{(r_2 - r_1) / 4\pi k r_1 r_2}$ , la ecuación anterior queda como:

$$Q = \frac{\Delta T}{R}$$

### 3.8 Aislantes térmicos

Se le llama aislantes a cualquier material que sea mal conductor de la energía y que presenten conductividades térmicas bajas, su uso principal es para contener el calor dentro de un volumen determinado y para no permitir la transferencia del calor del sistema con sus alrededores.

Los materiales aislantes están relacionados con la conductividad térmica porque cuando un material tiene una conductividad térmica baja será también baja su capacidad para transferir la energía. A esta capacidad para transferir la energía también se le puede llamar resistencia y es diferente para cada

material, su valor depende de la conductividad térmica y de la geometría del cuerpo en el que se utilice el aislante.

En la figura 10 se presenta un ejemplo de un aislante térmico donde la espuma es el aislante térmico y no permite el paso del aire caliente a la cámara de refrigeración:

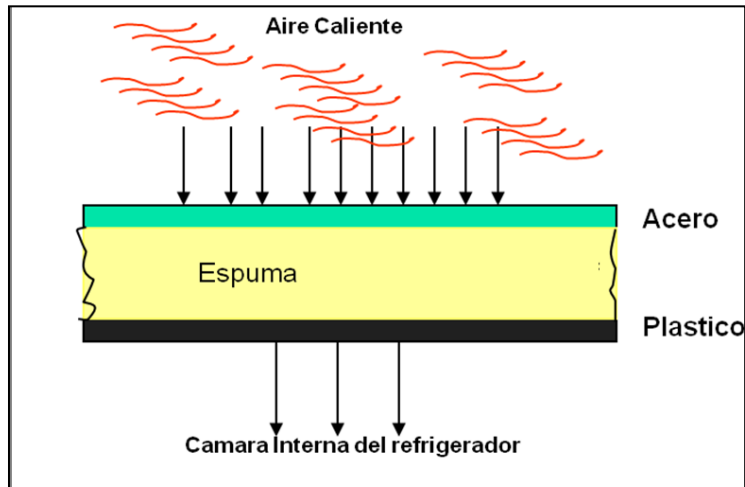


FIGURA 10. AISLANTE TÉRMICO, EN UNA CAMARA DE REFRIGERACIÓN.

### 3.8.1 Espesor óptimo de aislantes

Para saber que espesor del aislante servirá para no perder calor, se considera además del material del aislante, el costo que tendrá el aislamiento, es decir, el espesor óptimo en los aislantes cilíndricos dependerá de un análisis costo-beneficio.

Como el espesor óptimo depende del costo anual del aislante, se debe saber este costo anual que se calcula con la siguiente expresión:

$$\text{COSTO ANUAL} = \text{COSTO AISLANTE} + \text{COSTO COMBUSTIBLE}$$

El costo del combustible es:

$$CQ = QNq$$

Donde:

CQ = costos del combustible

q = costo del calor

N = número de horas de operación al año

Q = calor perdido

Por otro lado se sabe que  $Q = \frac{\Delta T}{\Sigma R}$ , ahora escribiendo esta ecuación en forma desarrollada se tiene:

$$Q = \frac{\Delta T}{\Sigma R}$$

$$Q = \frac{\Delta T}{R_k + R_{r,c}}$$

$$Q = \frac{\Delta T}{\frac{E}{kA} + \frac{1}{h_t A}}$$

Donde:

T = temperatura

$R_k$  = resistencia por conducción

$R_{r,c}$  = resistencia por radiación y convección

E = espesor del aislante

k = conductividad térmica

$h_t$  = coeficiente total de transferencia de calor con convección y radiación

A = área de transferencia

Sustituyendo esta ecuación del calor en la ecuación del costo del combustible se tiene:

$$CQ = \frac{\Delta T N q}{\frac{E}{kA} + \frac{1}{h_t A}}$$

Ahora si el área de transferencia de calor por conducción es la misma que el área de transferencia por radiación y convección, entonces  $A=A$ , y si esta área es igual a uno, la ecuación anterior queda como:

$$CQ = \frac{\Delta T N q}{\frac{E}{k} + \frac{1}{h_t}}$$

Regresando a la ecuación del costo anual del aislante, se tiene que la ecuación para calcular el costo del aislante es:

$$CA = CEA$$

Donde:

CA = costo del aislante

C = costo del aislante

E = espesor

A = fracción amortizada

Sustituyendo esta ecuación y la del costo del combustible en:

$$\mathbf{COSTO\ ANUAL = COSTO\ AISLANTE + COSTO\ COMBUSTIBLE}$$

$$COSTO\ ANUAL = CEA + \frac{\Delta TNq}{\frac{E}{k} + \frac{1}{h_t}}$$

Se sabe que el espesor óptimo debe ser el mínimo, entonces para encontrar este mínimo se debe sacar el mínimo de esta ecuación derivándola con respecto al espesor:

$$\frac{d(COSTO\ ANUAL)}{dE} = \frac{d}{dE}(CEA) + \frac{d}{dE} \left( \frac{\Delta TNq}{\frac{E}{k} + \frac{1}{h_t}} \right)$$

$$\frac{d(COSTO\ ANUAL)}{dE} = CA - \frac{\Delta TNq \left( \frac{1}{k} \right)}{\left( \frac{E}{k} + \frac{1}{h_t} \right)^2}$$

El mínimo es:

$$\frac{d(COSTO\ ANUAL)}{dE} = 0$$

Igualando estas dos ecuaciones:

$$0 = CA - \frac{\Delta TNq \left( \frac{1}{k} \right)}{\left( \frac{E}{k} + \frac{1}{h_t} \right)^2}$$

Ahora si se despeja **E** de esta ecuación se tiene:

$$E = \sqrt{\frac{\Delta TNqk}{CA}} - \frac{k}{h_t}$$

Si se tiene que  $\Delta T = (T_s - T_a)$  donde  $T_s$  es la temperatura de la superficie y  $T_a$  es la temperatura ambiente. Sustituyendo la expresión anterior en la ecuación de espesor óptimo se tiene la ecuación para calcular el espesor óptimo del aislante en superficies planas:

$$E = \sqrt{\frac{Nqk(T_s - T_a)}{CA(10^6)}} - \frac{k}{h_t}$$

Donde:

E = espesor económico del aislante

N = horas por año de operación

q = costo del calor perdido

k = conductividad térmica

$T_s$  = temperatura de la superficie sin aislar

$T_a$  = temperatura del ambiente

A = fracción del costo que debe amortizarse por año

C = costo del aislante en  $\$/m^3$

$h_t$  = coeficiente de convección y radiación

La ecuación para calcular el espesor óptimo para aislantes en cuerpo cilíndricos es:

$$K_1 = \frac{1}{r_1} \left[ \left( \sqrt{\frac{Nqk(T_s - T_a)}{CA(10^6)}} \right) - \frac{k}{h_t} \right]$$

Donde:

$r_1$  = radio interior del aislante

$r_2$  = radio exterior del aislante

N = horas por año de operación

q = costo del calor perdido

k = conductividad térmica

$T_s$  = temperatura de la superficie sin aislar

$T_a$  = temperatura del ambiente

A = fracción del costo que debe amortizarse por año

C = costo del aislante en  $\$/m^3$

$h_t$  = coeficiente de convección y radiación

Actualmente se usan varios tipos de aislantes en la industria de procesos, aplicaciones de calefacción y acondicionamiento de aire como los aislantes de fibra de vidrio que son prácticos por su bajo costo, peso bajo, elasticidad y adaptabilidad, aunque no se recomienda en condiciones de humedad y fuego. También los aislantes se utilizan para la conservación de la energía, para protección como comodidad personal al ser utilizados para no tocar con las manos los recipientes u objetos calientes, para mantenimiento de la temperatura de proceso, prevención de corrosión y condensación, protección contra incendios, etc.

A continuación se presenta una tabla donde se presentan los aislantes más utilizados y sus aplicaciones más comunes<sup>7</sup>.

TABLA B. AISLANTES TÉRMICOS Y APLICACIONES

TIPO DE AISLANTE	INTERVALO DE TEMPERATURA (°C)	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (mW/m°C)	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )	APLICACIONES
espuma de poliuretano	de -180 a 150	de 16 a 20	de 25 a 48	tubería caliente y fría
espuma de poliuretano	de -170 a 110	de 16 a 20	32	Tanques
bloques de vidrio celular	de -200 a 200	de 29 a 108	de 110 a 150	tanques y tubería
hojas de fibra de vidrio para envolver	de -170 a 230	de 25 a 86	de 10 a 50	tanques y equipo
hojas elastoméricas	de -40 a 100	de 36 a 39	de 70 a 100	Tanques
paneles de fibra de vidrio	de 60 a 370	de 30 a 55	de 10 a 50	tubería y accesorios
elastómero premodelado	de -40 a 100	de 36 a 39	de 70 a 100	tubería y accesorios
fibra de vidrio con revestimiento de barrera de vapor	de -5 a 7	de 29 a 45	de 10 a 32	líneas de refrigeración
fibra de vidrio sin chaqueta de vapor	250	de 29 a 45	de 24 a 48	tuberías calientes
bloques y tableros de espuma de poliuretano	de 100 a 150	de 16 a 20	de 24 a 65	Tubería
fibra mineral premoldeada	650	de 35 a 91	de 125 a 160	tubería caliente
hojas de fibra mineral	750	de 37 a 81	125	tubería caliente
bloques de lana mineral	de 450 a 1000	de 52 a 130	de 175 a 290	tubería caliente
bloques y tableros de silicato de calcio	de 230 a 1000	de 32 a 85	de 100 a 160	tubería caliente, calderas, revestimiento de chimeneas
bloques de fibra mineral	1100	de 52 a 130	210	calderas y tanques

<sup>7</sup> DEL LIBRO HEAT TRANSFER. J. PHOLMAN. MC GRAW HILL. BOOK COMPANY INC, 1986. 44-45.

### 3.9 Conductores térmicos

Son los materiales buenos conductores del calor los que se utilizan para transferir calor de un sitio a otro, la facilidad para esta transferencia se mide con el coeficiente de conductividad térmica.

Al igual que los aislantes, los conductores dependen de la conductividad térmica. Generalmente se asocia a los metales como buenos conductores del calor y de electricidad, deben precisamente esta característica a esta propiedad, existen también sólidos no metálicos que debido a su arreglo molecular pueden ser buenos conductores del calor pero no de la electricidad, un ejemplo es el diamante o el silicio que aunque son de precio elevado se usan por su eficacia como conductores del calor y como aislante eléctrico.

Las aleaciones de metales puros tienen conductividades térmicas menores que la de los metales que los conforman, de tal forma que muchas veces conviene un metal puro a una aleación.

La variación de la conductividad térmica sobre ciertos rangos de temperatura es despreciable para algunos materiales, pero significativa para otros. En la figura 11 se muestra una grafica que ejemplifica estas variaciones<sup>8</sup>.

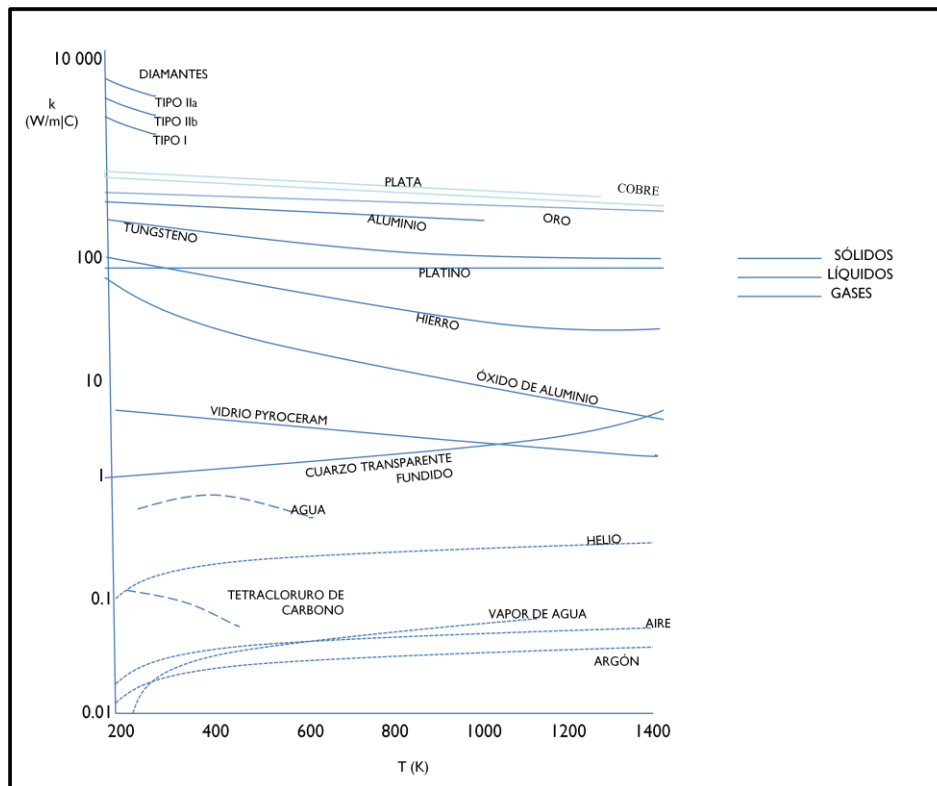


FIGURA 11. GRÁFICA DE CONDUCTORES TÉRMICOS CON BASE EN k.

<sup>8</sup> DEL LIBRO TRANSFERENCIA DE CALOR. YUNOS A. CENGEL. MC GRAW HILL. 2004. PP, 22-23.



## Capítulo 4

### Desarrollo de material didáctico

En este capítulo se explicara la metodología que se siguió para la elaboración del material didáctico y se explican las presentaciones detalladamente.

#### 4.1 Metodología que se siguió para la elaboración del material didáctico

El material didáctico que se desarrollo para este trabajo consta de cinco presentaciones en Power Point que contienen imágenes y videos sustentados con teoría representada por pequeños enunciados que explican de forma general los temas de estudio.

Estas presentaciones están enfocadas a los alumnos y fueron hechas para que los profesores las puedan utilizar como una herramienta de apoyo educativo dentro del salón de clases.

Las presentaciones ayudan a entender los siguientes temas:

- Energía
- Temperatura
- Formas de transferencia de energía
- Mecanismos de la transferencia de energía en forma de calor
- Transferencia de calor por conducción en estado estacionario
- Aplicaciones de la transferencia de calor por conducción en estado estacionario


Para realizar estas presentaciones se realizó la siguiente metodología:

1. Se seleccionó el tema de transferencia de calor por conducción en estado estacionario debido a que éste tema es de difícil entendimiento para los alumnos.
2. Se investigaron las bases teóricas para entender al tema principal, es decir, se investigo sobre energía, calor, temperatura, transferencia de energía, mecanismos de transferencia de energía.
3. Se investigo la teoría sobre la transferencia de calor por conducción en estado estacionario y sus aplicaciones.
4. De toda esta teoría se escogieron los temas que llevaran al estudio de la transferencia de calor por conducción en estado estacionario para exponerlos en las presentaciones, se escribieron definiciones y comentarios generales pero que abarcaran la parte fundamental de cada tema.
5. Se escogieron y realizaron imágenes que representaran los fenómenos de una manera que llamaran la atención de los alumnos, de esta forma les ayudaría a comprender mejor el tema.
6. Se incluyeron videos para demostrar fenómenos, explicar experimentos y contribuir al fácil entendimiento del tema. Estos videos se obtuvieron de la pagina web [www.youtube.com](http://www.youtube.com) debido a que en esta página se encuentra el mayor acervo audiovisual dentro de la internet.



**Diapositiva 3**

En el siguiente video podremos ver cómo es que la energía forma parte de la naturaleza y es fundamental para el hombre.



ENERGÍA


REFERENCIAS:  
<http://www.youtube.com/watch?v=3-88ELX9H0>

**Diapositiva 4**

Existen diferentes tipos de energía, para obtener una determinada energía se debe partir de una anterior ya que la energía no se crea. Empezaremos por explicar la energía potencial que es la que posee un cuerpo debido a la posición que tiene respecto a un punto de referencia, como se muestra en la figura 1: la piedra tiene energía potencial debido a la altura que alcanzo cuando el chico la subió a lo alto de la montaña, para calcularla es necesario considerar la masa del cuerpo, la altura y la aceleración gravitacional.

ENERGÍA POTENCIAL.

Energía que posee un cuerpo debido a la posición que tiene respecto a un punto de referencia



$$EP = mgz$$

Donde:  
 EP = energía potencial  
 m = masa del cuerpo  
 g = aceleración de la gravedad  
 z = altura a cual se encuentra el cuerpo

FIGURA 4. ENERGÍA POTENCIAL

REFERENCIAS:  
[http://2121a.blogspot.com/\\_7uV1oKf2E1c\\_xa2u8p6IAAAAAA4FgE0u\\_qEIVXU5402mehga.jpg](http://2121a.blogspot.com/_7uV1oKf2E1c_xa2u8p6IAAAAAA4FgE0u_qEIVXU5402mehga.jpg)


**Diapositiva 5**

Otro tipo de energía es la cinética y ésta está asociada a la velocidad que tiene un cuerpo en movimiento, por ejemplo: los corredores tienen energía cinética proporcionada por el movimiento que están realizando al correr, se calcula con la ecuación y depende de la masa del cuerpo y de la velocidad que tiene.

ENERGÍA CINÉTICA.

Energía que tiene un cuerpo debido al movimiento que realiza.

$$EC = \frac{mv^2}{2}$$



Donde:  
 EC = energía cinética  
 m = masa del cuerpo  
 v = velocidad que tiene el cuerpo en movimiento

FIGURA 5. ENERGÍA CINÉTICA REPRESENTADA POR CORREDORES

REFERENCIAS:  
<http://www.electrobase.com/wp-content/uploads/2008/11/electra.jpg>




**Diapositiva 9**

Se puede pasar de una energía a otra a través de diversas transformaciones, en el siguiente video apreciaremos estas transformaciones.

ENERGÍA

**TRANSFORMACIÓN DE LA ENERGÍA.**



REFERENCIAS:  
<http://www.youtube.com/watch?v=3-0EELF9H6c>

**Diapositiva 10**

Gracias por su atención y continuamos con las formas que tiene la energía de transferirse.

ENERGÍA

PRESENTA:  
JULIETA GUADALUPE BERNAL CORONA

ASESOR:  
DR. ANTONIO VALIENTE BARDERAS

**CONTINUA CON FORMAS DE TRANSFERENCIA DE ENERGÍA**

PÁGINAS Y TÍTULO:  
<http://www.electrivas.com/wp-content/uploads/2008/11/cinetica.jpg>  
<http://www.youtube.com/watch?v=4Dm7mgziAc>  
<http://www.youtube.com/watch?v=NfJN36WbyRI&feature=related>

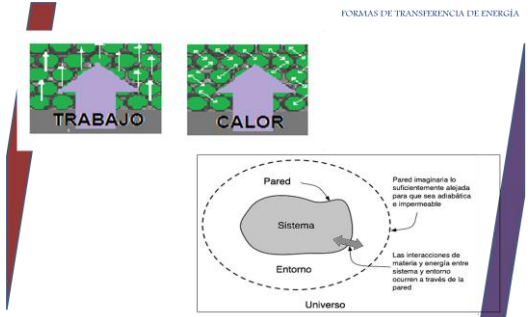
BIBLIOGRAFÍA:  
1. INTRODUCCIÓN A LA TRANSFERENCIA DE CALOR. ANTONIO VALIENTE BARDERAS. FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM. PRIMERA EDICIÓN  
2. TEORÍA Y PROBLEMAS DE TERMODINÁMICA. MICHAEL ABBOTT, HENDRIK C. VAN NESS. MC GRAW HILL

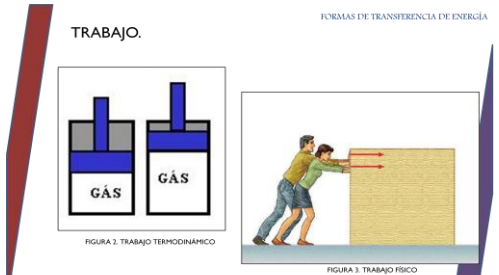
Para ver esta presentación, revisar el archivo *Energía* que se encuentra en el disco incluido en el Anexo 1.

### 4.2.2 Presentación 2. Formas de transferencia de la energía

En esta presentación se exponen las dos formas en que se transfiere la energía que son calor y trabajo, de igual forma se explica la temperatura y algunos conceptos asociados a ésta como el calor sensible y el calor latente. La presentación consta de once diapositivas.

Diapositiva 1	
<p>Esta exposición abarca las dos formas que tiene la energía de transferirse de un lugar a otro: el calor y el trabajo, y es continuación de la presentación Energía.</p>	

Diapositiva 2	
<p>La energía se puede transferir de un lugar a otro a través de calor o de trabajo, estas interacciones se tienen cuando el sistema no está aislado y tiene constante intercambio con su entorno. En los sistemas abiertos también hay intercambio de materia.</p>	 <p style="text-align: right; font-size: small;">FIGURA 1. SISTEMA</p>

Diapositiva 3	
<p>Primero definiremos al trabajo como la manera de transferir energía de forma organizada, el resultado de esta transferencia es el mover una masa de un lugar a otro y puede haber trabajo físico y trabajo termodinámico.</p>	 <p style="text-align: center; font-size: x-small;">REFERENCIAS:  <a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.therm.2014.05.001">http://dx.doi.org/10.1016/j.therm.2014.05.001</a>  <a href="http://www.embnet.com/embnet/embnet/embnet.html">http://www.embnet.com/embnet/embnet/embnet.html</a></p>

Diapositiva 4

En el trabajo físico se aplica una fuerza sobre un objeto para moverlo a lo largo de una distancia, matemáticamente se describe con la siguiente ecuación donde F representa la fuerza y L es la distancia. En la figura se observa que la fuerza la ejercen las personas sobre el bloque para desplazarlo de L1 a L2.

FORMAS DE TRANSFERENCIA DE ENERGÍA

En física la ecuación matemática que describe el trabajo que resulta de mover una masa M de distancia L1 a la distancia L2 es:


$$W = \int_{L_1}^{L_2} F \cdot dL$$


FIGURA 4. TRABAJO FÍSICO

En la FIGURA 4, el trabajo que ejercen las personas, es resultado de la fuerza que desplaza al bloque de L1 a L2.

REFERENCIAS:  
http://www.andbdata.com/Ciencias/tecnologia/fisica.html

Diapositiva 5

En termodinámica, el trabajo se define, de igual forma, como una fuerza que se ejerce sobre un objeto para moverlo, solo que la fuerza que se ejerce es la presión y la distancia por la que se mueve es el volumen de un fluido, se describe matemáticamente como se muestra en la ecuación y el signo es negativo debido a que la presión ocasiona un decrecimiento del volumen del fluido. En la figura 5 se observa como el volumen V1 del fluido disminuye a V2 cuando se ejerce una presión.

FORMAS DE TRANSFERENCIA DE ENERGÍA

El trabajo termodinámico se describe con la presión que se ejerce sobre un volumen, para este caso, en la ecuación matemática del trabajo se cambian las variables de fuerza y distancia por presión y volumen.

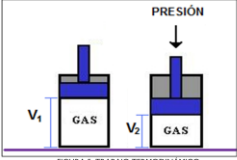
$$W = - \int_{V_1}^{V_2} P dV$$


FIGURA 5. TRABAJO TERMODINÁMICO

En la FIGURA 5, el trabajo es debido a la presión que se ejerce sobre el volumen del gas que disminuye de V1 a V2.

REFERENCIAS:  
http://fisica.teqno2000.com/termodinamica/termodinamica

Diapositiva 6

El calor es la otra forma que tiene la energía de transferirse de un lugar a otro, esta transferencia se rige por la temperatura. La temperatura se define y ejemplifica en el siguiente video.

FORMAS DE TRANSFERENCIA DE ENERGÍA

TEMPERATURA.



Temperatura

REFERENCIAS:  
http://www.youtube.com/watch?v=9Wl8fuoZAP0&feature=related

Diapositiva 7

La transferencia de energía en forma de calor es provocada por una diferencia de temperatura, por ejemplo en la figura 6 se tiene hielo que al calentarlo aumenta su temperatura y se convierte en agua que a su vez al volverse a calentar aumenta su temperatura y se convierte en vapor.



Diapositiva 8

La energía en forma de calor siempre fluye de forma espontánea de un lugar con mayor temperatura a un lugar con menor temperatura, esta transferencia ocurre por tres mecanismos que son la convección, conducción y radiación. En el siguiente video veremos ejemplos de esta definición.



Diapositiva 9

Una vez que se tiene clara la definición del calor, se puede explicar el calor latente que se define como la energía que necesita un cuerpo para que cambie su estado físico sin que cambien sus propiedades químicas, este cambio se da a temperatura constante y matemáticamente se describe con la siguiente ecuación.

CALOR LATENTE

FORMAS DE TRANSFERENCIA DE ENERGÍA

Energía necesaria para que un cuerpo cambie su estado físico, sin cambiar sus propiedades químicas. Es a temperatura constante.

$$Q_{\lambda} = (\Delta H_f)m$$

REFERENCIAS:  
<http://img78.imageshack.us/img78/8178/77a.jpg>  
<http://img78.imageshack.us/img78/8178/77a.jpg>  
<http://img78.imageshack.us/img78/8178/77a.jpg>

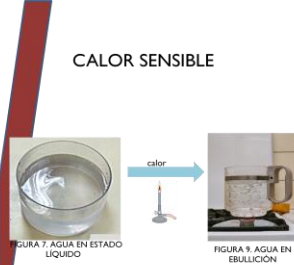


**Diapositiva 10**

Quando se transmite energía en forma de calor a un cuerpo o sustancia y aumenta su temperatura pero no cambia su estado físico se le conoce como calor sensible y puede ocurrir a volumen constante o a presión constante.

FORMAS DE TRANSFERENCIA DE ENERGÍA

**CALOR SENSIBLE**



Calor que se transmite para aumentar la temperatura de un cuerpo pero sin cambiar su estado físico

A presión constante:  
 $Q_s = mC_p(T_1 - T_2)$

A volumen constante:  
 $Q_s = mC_v(T_1 - T_2)$

REFERENCIAS:  
[http://www.educared.org/globallanavegar7?albumno=ftm\\_albumes/guadalupe/Modulo%204/Categor%C3%ADa/2012\\_0844trajda.htm](http://www.educared.org/globallanavegar7?albumno=ftm_albumes/guadalupe/Modulo%204/Categor%C3%ADa/2012_0844trajda.htm)  
<http://khaniz.com/2009/08/08/5C2%20F%20como-funciona-una-olla-a-presion/>

**Diapositiva 11**

Bien, hasta aquí se han explicado las dos formas en que la energía puede transferirse y a continuación sigue la presentación de transferencia de calor. Gracias por su atención.

FORMAS DE TRANSFERENCIA DE ENERGÍA

PRESENTA:  
 JULIETA GUADALUPE BERNAL CORONA

ASESOR:  
 DR. ANTONIO VALIENTE BARDERAS

**PÁGINAS WEB:**

<http://www.derechodigital.com/foro/termodinamica>  
<http://fisica.lasmat.com/foro/termodinamica>  
<http://www.angelfire.com/chara/como-funciona-una-olla-a-presion.html>  
<http://www.infocibara.com/foro/termodinamica>  
<http://fisica.lasmat.com/foro/termodinamica>  
<http://comocuantamente.blogia.com/2009/05/11/01-para-que-el-pelo-no-se-puede-lucio-plp>  
[http://unpoedetoledo.info/setas\\_isagar.html](http://unpoedetoledo.info/setas_isagar.html)  
[http://www.educared.org/globallanavegar7?albumno=ftm\\_albumes/guadalupe/Modulo%204/Categor%C3%ADa/2012\\_0844trajda.htm](http://www.educared.org/globallanavegar7?albumno=ftm_albumes/guadalupe/Modulo%204/Categor%C3%ADa/2012_0844trajda.htm)  
<http://eltamiz.com/2009/08/08/5C2%20F%20como-funciona-una-olla-a-presion/>  
<http://news.directindustry.es/press/netzsch-gratebau-el-horno-de-vapor-de-agua-una-opcion-viable-para-sta-ms-39923440723.html>

**CONTINUA CON TRANSFERENCIA DE CALOR**

[http://lhp.blogspot.com/\\_d89IKR8uSM8/S8MHTWpA4UAAAAAAAAAAN/HHCzsrNy8U/S20/Fundacion](http://lhp.blogspot.com/_d89IKR8uSM8/S8MHTWpA4UAAAAAAAAAAN/HHCzsrNy8U/S20/Fundacion)

**PÁGINAS YOUTUBE:**

<http://www.youtube.com/watch?v=WhiPozZkPsY&feature=related>

**BIBLIOGRAFÍA:**

1. INTRODUCCIÓN A LA TRANSFERENCIA DE CALOR. ANTONIO VALIENTE BARDERAS. FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM. PRIMERA EDICIÓN  
 2. TEORÍA Y PROBLEMAS DE TERMODINÁMICA. MICHAEL ABBOTT, HENDRIK C. VAN NESS. MC GRAW HILL

Esta presentación se encuentra en el disco que se incluye en el Anexo 1.

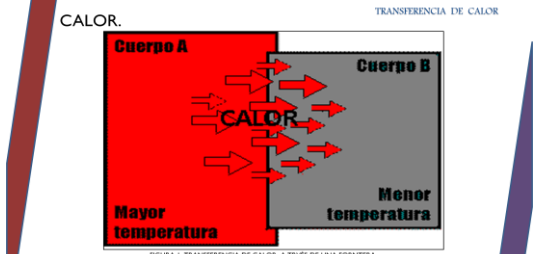
### 4.2.3 Presentación 3. Transferencia de calor

En esta presentación se expone la transferencia de calor detalladamente, se explican los mecanismos que intervienen y se ejemplifican cada uno de ellos. Consta de diez diapositivas.



**Diapositiva 1**

<p>El calor es una forma que tiene la energía de transferirse de un lugar a otro, esta transferencia se da en presencia de un gradiente de temperatura.</p>	
---	--

**Diapositiva 2**

<p>Esta energía en tránsito fluye de un lugar con mayor temperatura a un lugar con menor temperatura, como se puede ver en la figura 1, la parte roja es la que tiene mayor temperatura entonces la energía se transfiere a la parte gris que es la que tiene menor temperatura.</p>	 <p style="font-size: small;">FIGURA 1. TRANSFERENCIA DE CALOR A TRAVÉS DE UNA PONTIERA.</p> <p>Energía en tránsito que siempre fluye de un lugar con mayor temperatura a otro con menor temperatura.</p> <p style="font-size: x-small;">REFERENCIAS: <a href="http://medic55.blogspot.com/">http://medic55.blogspot.com/</a></p>
--	--

**Diapositiva 3**

<p>También en el calor la energía fluye de manera espontánea y se da por tres mecanismos, conducción, convección y radiación.</p>	<p>* El calor siempre fluye de manera espontánea</p>   <p style="font-size: x-small;">FIGURA 2. TRANSFERENCIA DE CALOR ESPONTÁNEA.</p> <p>* La transferencia de calor ocurre por tres diferentes mecanismos: conducción, convección y radiación.</p> <p style="font-size: x-small;">REFERENCIAS: <a href="http://medic55.blogspot.com/">http://medic55.blogspot.com/</a> <a href="http://centrosdeinvestigacion.com/category/actividades-para-ensenar-los-conocimientos-de-matematica-y-quimica/">http://centrosdeinvestigacion.com/category/actividades-para-ensenar-los-conocimientos-de-matematica-y-quimica/</a></p>
---	---

Diapositiva 4

En el siguiente video se explican estos tres mecanismos de la transferencia de calor.

TRANSFERENCIA DE CALOR  
MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.



REFERENCIAS:  
[http://www.youtube.com/watch?v=ur\\_81p1uU7s](http://www.youtube.com/watch?v=ur_81p1uU7s)

Diapositiva 5

Como ya se vio en el video anterior la convección es la forma de transferir la energía que va asociada con la velocidad de un fluido en movimiento y ocurre en presencia de una diferencia de temperatura. Este mecanismo ocurre de dos formas una por el movimiento molecular aleatorio que se puede ver en la figura 5 y otra por el movimiento macroscópico como se puede ver en la figura 4.

TRANSFERENCIA DE CALOR  
CONVECCIÓN.  
Es transferencia de energía que va asociada a la velocidad de un fluido en movimiento en presencia de un gradiente de temperatura.

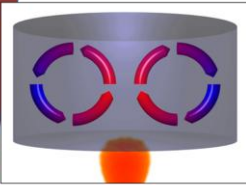


FIGURA 4. RECIENTE CON FLUIDO EN MOVIMIENTO.

FIGURA 5. MOVIMIENTO MOLECULAR Y MACROSCÓPICO DEL FLUIDO.

REFERENCIAS:  
<http://www.dinamicaiberoam.com/estudiante/Fisica/Tema04/Tema04.htm>  
<http://elcubito.blogspot.com/>

Diapositiva 6

A continuación se verá un experimento que realiza un profesor para explicar las corrientes que se crean por el mecanismo de convección.

TRANSFERENCIA DE CALOR



REFERENCIAS:  
<http://www.youtube.com/watch?v=O5m7mg6jAc>

Diapositiva 7

La radiación es otro de los tres mecanismos, y ésta se da por las ondas electromagnéticas, esta transferencia de energía se da en ausencia de un medio, de hecho, ocurre mejor en el vacío.

TRANSFERENCIA DE CALOR

**RADIACIÓN**  
Mecanismo mediante el cual la energía es transportada por ondas electromagnéticas.

FIGURA 6. RADIACIÓN DEL SOL

REFERENCIAS:  
<http://www.ecuamaterials.com/interactivo/conv446p15/continuacion-de-temofisiologia>

Diapositiva 8

En el siguiente video se explica detalladamente la radiación.

TRANSFERENCIA DE CALOR

REFERENCIAS:  
<http://www.youtube.com/watch?v=NfUX36V0yRUS&feature=related>

Diapositiva 9

La conducción es el último mecanismo de transferencia de calor, esta se da a nivel molecular y se da en los sólidos en los líquidos y en los gases.

TRANSFERENCIA DE CALOR

**CONDUCCIÓN.**

Transferencia de energía que se da a nivel molecular. Este mecanismo ocurre en los líquidos, sólidos y gases.

FIGURA 7. CONDUCCIÓN MOLECULAR DE LAS MOLECULAS CALIENTES A LAS FRÍAS.

FIGURA 8. CONDUCCIÓN DEL CALOR A TRAVÉS DE UNA BARRA SÓLIDA.

REFERENCIAS:  
<http://naturafisika.blogspot.com/>

Diapositiva 10

Gracias por su atención, ahora se continua con transferencia de calor por conducción en estado estacionario.

TRANSFERENCIA DE CALOR

PRESENTA:  
JULIETA GUADALUPE BERNAL CORONA

ASESOR:  
DR. ANTONIO VALIENTE BARDERAS

**FIN**  
PÁGINAS WEB:  
<http://cepintrasdelapiedad.com/precios/>  
<http://estd.fis.unam.mx/>  
<http://www.darwin-milennium.com/estudiante/Fisica/Temas6/Tema6.htm>  
<http://naturadela.blogspot.com/>

PÁGINAS YOUTUBE:  
[http://www.youtube.com/watch?v=un\\_S1pUuFis](http://www.youtube.com/watch?v=un_S1pUuFis)  
<http://www.youtube.com/watch?v=0Sm7mgziAc>

**CONTINUA CON TRANSFERENCIA DE CALOR  
POR CONDUCCIÓN EN ESTADO  
ESTACIONARIO.**

1. INTRODUCCIÓN A LA TRANSFERENCIA DE CALOR. ANTONIO VALIENTE BARDERAS. FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM. PRIMERA EDICIÓN

2. TEORÍA Y PROBLEMAS DE TERMODINÁMICA. MICHAEL ABBOTT, HENDRIK C. VAN NISS. MC GRAW HILL

Para ver esta presentación revisar el disco que se encuentra en el Anexo 1.

### 4.2.4 Presentación 4. Transferencia de calor por conducción en estado estacionario

A continuación se expondrá la transferencia de calor por conducción, su representación a nivel molecular, la ley que rige su comportamiento y sus relaciones con los otros mecanismos de transferencia de energía. La presentación tiene quince diapositivas.

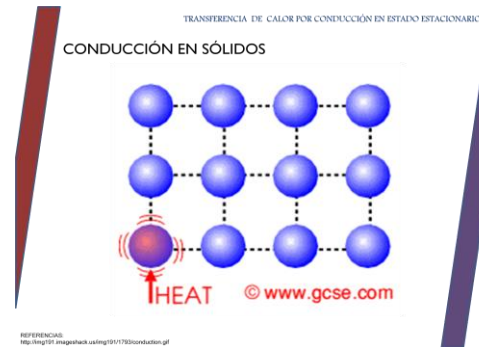
Diapositiva 1	
<p>La conducción es uno de los tres mecanismos que tiene la energía de transferirse de un lugar a otro, esta transferencia de calor se da por una diferencia de temperatura y ocurre a nivel molecular.</p>	<p><b>TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN EN ESTADO ESTACIONARIO</b></p> <p>PRESENTADO POR: JULIETA GUADALUPE BERNAL CORONA</p>

Diapositiva 2	
<p>Esta transferencia de energía se da a nivel molecular debido a la vibración de las moléculas causada por el aumento de temperatura, de esta forma, las moléculas más energéticas vibran más y le transfieren la energía a las moléculas menos energéticas y así sucesivamente. El estado estacionario se da cuando la temperatura no cambia con respecto al tiempo.</p>	<p style="text-align: center;">TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN EN ESTADO ESTACIONARIO</p> <p><b>CONDUCCIÓN.</b></p> <p>Transferencia de energía que se da a nivel molecular por las interacciones que se dan entre las moléculas. El estado estacionario se da cuando la temperatura no cambia respecto al tiempo.</p> <div style="text-align: right;"> <p>FIGURA 1. CONDUCCIÓN MOLECULAR DE LAS MOLÉCULAS CALIENTES A LAS FRÍAS.</p> <p>FIGURA 2. CONDUCCIÓN DEL CALOR A TRAVÉS DE UNA BARRA SÓLIDA.</p> </div> <p><small>REFERENCIAS: <a href="http://naturafisika.blogspot.com/">http://naturafisika.blogspot.com/</a></small></p>

Diapositiva 3	
<p>Para entender mejor como ocurren estas vibraciones moleculares, pongamos atención al siguiente video.</p>	<p style="text-align: center;">TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN EN ESTADO ESTACIONARIO</p> <p><b>CONDUCCIÓN</b></p> <p><small>REFERENCIAS: <a href="http://www.youtube.com/watch?v=1y1yV0R8PFI">http://www.youtube.com/watch?v=1y1yV0R8PFI</a></small></p>

## Diapositiva 4

Después de ver cómo es que la energía se transmite de molécula a molécula se puede entender mejor la conducción que se da en los sólidos, líquidos y los gases. En los sólidos se da de mejor forma debido a que las moléculas permanecen unidas unas con otras y esto favorece la transferencia de la energía por las vibraciones tal y como se muestra en la animación.



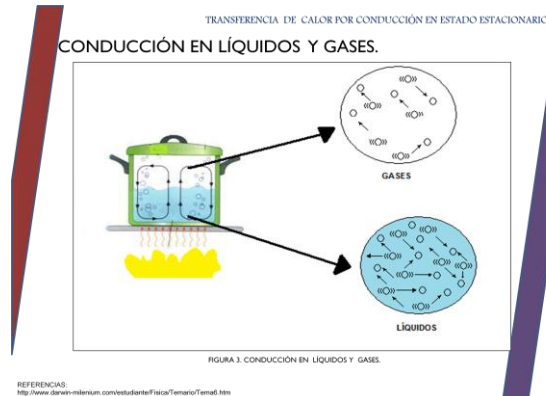
## Diapositiva 5

Como ejemplo de la conducción en sólidos veamos el siguiente experimento que realiza un profesor dentro de un salón de clases.



## Diapositiva 6

En los líquidos y gases, el mecanismo de la conducción también se da cuando las moléculas con mayor energía vibran y chocan con las moléculas con menor energía solo que estos choques moleculares dependen del movimiento de las moléculas que en los gases es mayor que en los líquidos debido a que unas moléculas están más dispersas que en otras. Además en líquidos y en los gases ocurren también los mecanismos de convección y radiación.



Diapositiva 7

El estudio de este fenómeno se le atribuye principalmente al físico-matemático francés Joseph Fourier, de ahí que la ley que describe la transferencia de calor por conducción se llame Ley de Fourier. Ésta es una ley fenomenológica, es decir, la Ley de Fourier se desarrollo a partir de la observación de diversos experimentos y nos dice que la energía transferida es proporcional al área de transferencia del sistema (primera proporción), que la energía que se transfiere es inversamente proporcional a la distancia que recorre (segunda proporción) y que la transferencia de energía es directamente proporcional a la diferencia de temperatura que exista en el sistema (tercera proporción).

TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN EN ESTADO ESTACIONARIO

LEY DE FOURIER.




FIGURA 4 JEAN BAPTISTE JOSEPH FOURIER

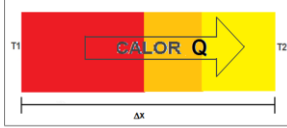


FIGURA 5 REPRESENTACIÓN DE LA LEY DE FOURIER.

- $Q \propto A$
- $Q \propto \frac{1}{\Delta X}$
- $Q \propto \Delta T$

REFERENCIAS:  
<http://www.monocrom.com/blog/tag/jean-baptiste-joseph-fourier/>

Diapositiva 8

Con estas proporciones, podemos escribir la Ley de Fourier como: (primer cuadro) y para convertirla en una igualdad y quitar el símbolo de proporción debemos añadir una constante que será “k” la conductividad térmica, de esta forma la ecuación queda como: (segundo cuadro), ahora, si la energía se transfiere en dirección x, y, z, esta ecuación se puede escribir de forma vectorial: (cuadro tercero).

TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN EN ESTADO ESTACIONARIO

$$Q \propto A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$Q = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$


$$Q = -k\nabla T = -k \left( i \frac{\partial T}{\partial x} + j \frac{\partial T}{\partial y} + k \frac{\partial T}{\partial z} \right)$$

Diapositiva 9

La k es una propiedad de los materiales que nos dice la capacidad que tienen para transferir la energía, varía con la temperatura y su determinación es experimental. Para poder entender mejor la importancia de la conductividad térmica “k” y su sentido físico pongamos atención al siguiente video.

TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN EN ESTADO ESTACIONARIO

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.

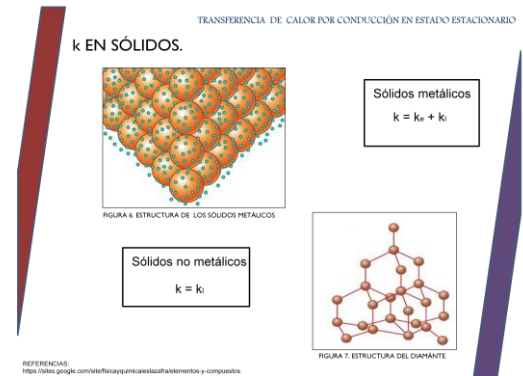


REFERENCIAS:  
[http://www.youtube.com/watch?v=ov\\_31gUd7s](http://www.youtube.com/watch?v=ov_31gUd7s)



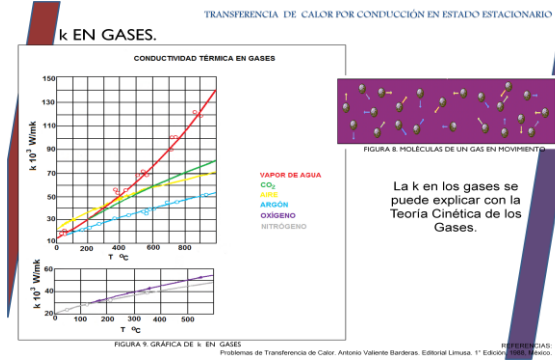
Diapositiva 10

La conductividad térmica es diferente en los sólidos, líquidos y gases. En los sólidos en mayor debido al arreglo molecular de estructura cristalina, en los sólidos metálicos la conductividad térmica depende del transporte de la energía que proporcionan los electrones libres, esta energía se mide con  $k_e$ , y de los movimientos vibracionales de su estructura, esta energía se mide con  $k_l$ , en los sólidos no metálicos la conductividad térmica sólo depende de  $k_l$ . Los valores de la conductividad térmica también se obtienen experimentalmente.



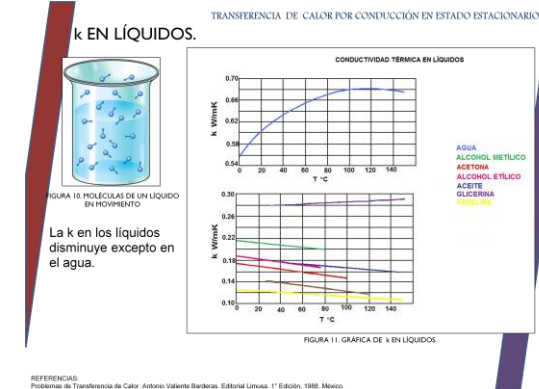
Diapositiva 11

En los gases, la conductividad térmica es directamente proporcional a la velocidad molecular y la distancia promedio que una molécula debe viajar antes de tener una colisión, la conductividad térmica aumenta con el aumento de la temperatura y con la disminución del peso molecular.



Diapositiva 12

La conductividad térmica en los líquidos se sabe que disminuye cuando la temperatura y el peso molecular del líquido aumentan.



Diapositiva 13

El mecanismo de la conducción puede suceder simultáneamente con la convección y la radiación, es por esta razón que la conductividad térmica “k” está presente en diversas correlaciones de números adimensionales, por ejemplo: el número de brinkman se utiliza en la conducción del calor de una pared a un fluido viscoso en movimiento y se utiliza en la fabricación y procesado de polímeros. El número de nusselt describe la transferencia de calor desde una superficie a un fluido que escurre.

TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN EN ESTADO ESTACIONARIO

El fenómeno de la conducción está presente en los otros mecanismos de la transferencia de energía en forma de calor. es por eso que la conductividad térmica k se encuentra en diversos números adimensionales algunos son:

Número de Brinkman:

$$Br = \frac{\rho u^2}{k(T_w - T_o)}$$

$\mu$  = viscosidad del fluido  
 $u$  = velocidad del fluido  
 $k$  = conductividad térmica del fluido  
 $T_w$  = temperatura de la pared  
 $T_o$  = temperatura del fluido

Número de Nusselt:

$$Nu = \frac{hL}{k}$$

$L$  = longitud. Volumen/área  
 $h$  = coeficiente de transferencia de calor  
 $k$  = conductividad térmica del fluido

REFERENCIAS:  
Problemas de Transferencia de Calor. Antonio Valiente Barberas. Editorial Limusa. 1ª Edición, 1988, México.

Diapositiva 14

El número de Prandtl se emplea para la convección natural y forzada, cuando es pequeño la energía se difunde más rápido que la velocidad. El coeficiente de condensación nos dice la resistencia que se tiene a la transferencia de la energía y se da en los fenómenos de convección y radiación y el número de Graetz caracteriza a un flujo laminar dentro de un ducto.

TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN EN ESTADO ESTACIONARIO

Número de Prandtl:

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k}$$

$\mu$  = viscosidad  
 $C_p$  = capacidad calorífica a presión constante  
 $k$  = conductividad térmica

Coefficiente de condensación:

$$\frac{hD_o}{k} = 0.73 \left( \frac{D_o^3 \rho^2 g \lambda}{k \mu \Delta T} \right)^{1/4}$$

$g$  = aceleración de la gravedad  
 $\rho$  = densidad del condensado  
 $k$  = conductividad térmica del condensado  
 $\mu$  = viscosidad del condensado  
 $\lambda$  = calor latente de condensación  
 $D_o$  = diámetro externo del tubo  
 $T$  = temperatura

Número Graetz:

$$Gr = \frac{w C_p}{k L}$$

$C_p$  = capacidad calorífica a presión constante  
 $k$  = conductividad térmica del condensado  
 $L$  = longitud  
 $w$  = gasto másico

REFERENCIAS:  
Problemas de Transferencia de Calor. Antonio Valiente Barberas. Editorial Limusa. 1ª Edición, 1988, México.

Diapositiva 15

Bien, con estas correlaciones de números adimensionales se termina esta presentación que da paso al siguiente tema donde se explican las aplicaciones de la transferencia de calor por conducción en estado estacionario. Muchas gracias por su atención.

TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN EN ESTADO ESTACIONARIO

PRESENTA:  
JULIETA GUADALUPE BERNAL CORONA

ASESOR:  
DR. ANTONIO VALIENTE BARBERAS

PÁGINAS WEB:  
<https://sites.google.com/site/ingenieria-y-compuestos>  
<http://www.monografias.com/biblioteca/tema-joseph-fourier/>  
<http://www.darwin-milieu.com/tema6.html>  
<http://img191.imageshack.us/img191/793/conduction.gif>

PÁGINAS YOUTUBE:  
<http://www.youtube.com/watch?v=icsVki6fP8I>  
[http://www.youtube.com/watch?v=VjC2\\_Tra08&feature=related](http://www.youtube.com/watch?v=VjC2_Tra08&feature=related)


**CONTINUA CON APLICACIONES DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN EN ESTADO ESTACIONARIO**

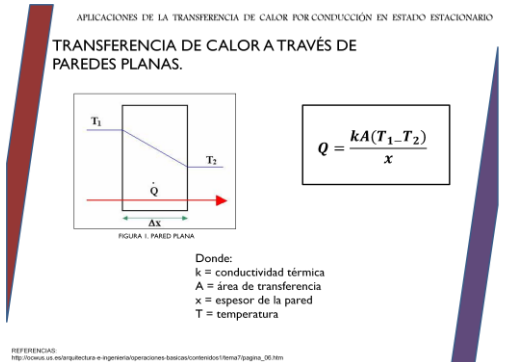
BARBERAS, FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM, PRIMERA EDICIÓN

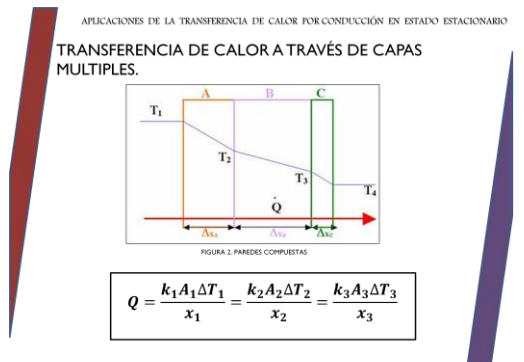
2. TEORÍA Y PROBLEMAS DE TERMODINÁMICA. MICHAEL ABBOTT, HENDRIK C. VAN NESS. MC GRAW HILL.
3. FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR. FRANK P. INCROPERA, DAVID P. DEWITT. PEARSON EDUCATION, CUARTA EDICIÓN
4. PROBLEMAS DE TRANSFERENCIA DE CALOR. ANTONIO VALIENTE BARBERAS. MÉXICO 1988. PRIMERA EDICIÓN. EDITORIAL LIMUSA

#### 4.2.5 Presentación 5. Aplicaciones de la transferencia de calor por conducción en estado estacionario

Esta presentación expone las principales aplicaciones del tema, así como los ejemplos más representativos que ayudan a entender cómo se aplica la teoría expuesta anteriormente y consta de 19 diapositivas.

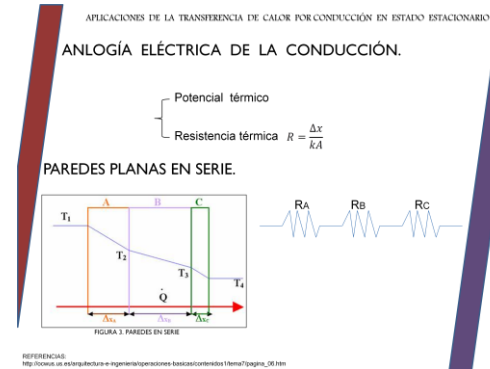
Diapositiva 1	
<p>La transferencia de calor por conducción tiene sus principales aplicaciones en los sólidos aunque también se tienen en los gases y en los líquidos, algunas de estas aplicaciones son de tipo industrial y otras las podemos encontrar en actividades cotidianas de la vida.</p>	 <p>PRESENTADO POR: JULIETA GUADALUPE BERNAL CORONA</p>

Diapositiva 2	
<p>Una de las aplicaciones más conocida y sencilla se da cuando se tiene una pared plana en la cual al calentarse de un lado hace que aumente su temperatura de ese lado, entonces existe una transferencia de energía a través del espesor de la pared. Un ejemplo de este fenómeno lo encontramos en un horno y para calcular la energía en forma de calor que atraviesa la pared se utiliza la siguiente ecuación.</p>	 <p>APLICACIONES DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN EN ESTADO ESTACIONARIO</p> <p>TRANSFERENCIA DE CALOR A TRAVÉS DE PAREDES PLANAS.</p> <p>FIGURA 1. PARED PLANA</p> <p>Donde: k = conductividad térmica A = área de transferencia x = espesor de la pared T = temperatura</p> <p>REFERENCIAS: <a href="http://docs.ua.es/estructura-e-ingenieria/operaciones-basicas/contenidos/tema7/pagina_06.htm">http://docs.ua.es/estructura-e-ingenieria/operaciones-basicas/contenidos/tema7/pagina_06.htm</a></p>

Diapositiva 3	
<p>Ahora, si se ponen en contacto varios cuerpos de diferente material y geometría y se acomodan uno a continuación de otro y se calienta el cuerpo A el flujo de calor que se transfiere del cuerpo A al cuerpo B y al cuerpo C es igual debido a que no hay acumulación de calor. A este acomodo de los cuerpos se le llama capas múltiples y la forma de calcular este calor transferido es con la siguiente ecuación.</p>	 <p>APLICACIONES DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN EN ESTADO ESTACIONARIO</p> <p>TRANSFERENCIA DE CALOR A TRAVÉS DE CAPAS MÚLTIPLES.</p> <p>FIGURA 2. PAREDES COMPUESTAS</p> <p>REFERENCIAS: <a href="http://docs.ua.es/estructura-e-ingenieria/operaciones-basicas/contenidos/tema7/pagina_06.htm">http://docs.ua.es/estructura-e-ingenieria/operaciones-basicas/contenidos/tema7/pagina_06.htm</a></p>

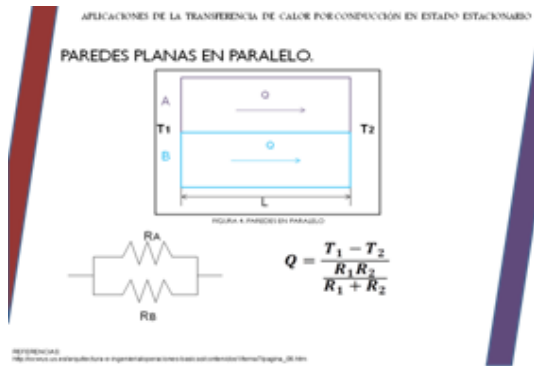
Diapositiva 4

Para entender de mejor manera y más simple la transferencia de calor a través de capas múltiples se hace una analogía eléctrica utilizando los conceptos de la teoría de circuitos eléctricos, de esta forma se considera la transferencia de energía en forma de calor análoga al flujo de electricidad y con esta consideración el potencial térmico equivale a la resistencia térmica, así la ecuación de transferencia de calor por conducción a través de capas múltiples queda como aparece. Con esta analogía se pueden resolver problemas complejos donde se tienen paredes en serie o en paralelo.



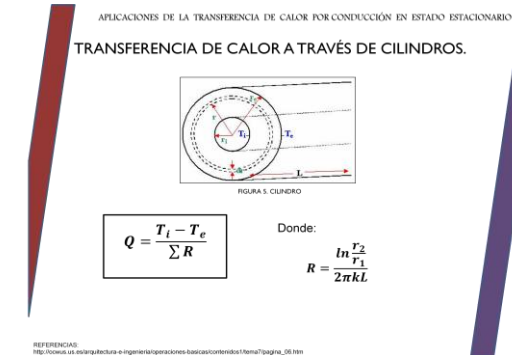
Diapositiva 5

Y aquí está un ejemplo de cómo la analogía eléctrica puede resolver problemas de transferencia de energía a través de paredes compuestas en paralelo, utilizando la siguiente ecuación.



Diapositiva 6

Ahora, cuando la transferencia de calor por conducción se da en sistemas con geometría cilíndrica la energía en forma de calor se transfiere en forma radial y esta transferencia de energía depende del material del cilindro, de igual forma la ecuación que calcula esta transferencia de energía se basa en la analogía eléctrica. Se utiliza principalmente en las tuberías.



Diapositiva 7

En los sistemas con geometrías esféricas también se mide la transferencia de energía en forma de calor con la siguiente ecuación que utiliza la resistencia, esta transferencia también depende del material de la esfera.

APLICACIONES DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN EN ESTADO ESTACIONARIO

TRANSFERENCIA DE CALOR A TRAVÉS DE ESFERAS.

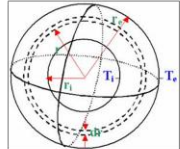


FIGURA 6. ESPERA

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{\sum R}$$

Donde:  $R = \frac{4\pi k r_1 r_2}{r_2 - r_1}$

REFERENCIAS:  
[http://www.iaa.es/ingenieria/temas-basicos/temas/tema7/pagina\\_08.htm](http://www.iaa.es/ingenieria/temas-basicos/temas/tema7/pagina_08.htm)

Diapositiva 8

Otra aplicación, son los aislantes térmicos cuya utilidad es aislar el calor y no dejarlo pasar a través de una frontera que en el siguiente ejemplo es la espuma.

APLICACIONES DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN EN ESTADO ESTACIONARIO

AISLANTES TÉRMICOS.

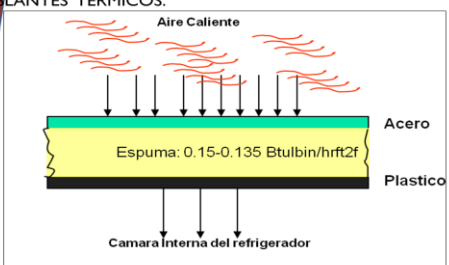


FIGURA 7. AISLANTE TÉRMICO

REFERENCIAS:  
<http://postulacion.com/huahuac.com/lect08a.png>

Diapositiva 9

Para que un material sea buen aislante necesita ser mal conductor del calor y tener una conductividad térmica baja, por ejemplo la madera, la espuma y la fibra de vidrio.

APLICACIONES DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN EN ESTADO ESTACIONARIO



FIGURA 8. AISLANTE DEL CALOR

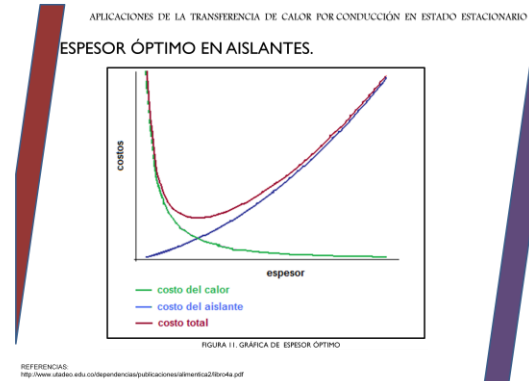
FIGURA 9. MADERA

FIGURA 10. AISLANTE EN CONSTRUCCION

REFERENCIAS:  
[http://3.bp.blogspot.com/\\_vsnF2/7M8M323d4E/AAAAAAAAAABE/1GUB9GZd0h229w/leaves-electricos-gf](http://3.bp.blogspot.com/_vsnF2/7M8M323d4E/AAAAAAAAAABE/1GUB9GZd0h229w/leaves-electricos-gf)  
[http://1.bp.blogspot.com/\\_C6Eanp2/7y8D5F8WKL/AAAAAAAAAAACE/7AW6k5g8a/1908/wave\\_2418811400.jpg](http://1.bp.blogspot.com/_C6Eanp2/7y8D5F8WKL/AAAAAAAAAAACE/7AW6k5g8a/1908/wave_2418811400.jpg)  
<http://www.angeltour.com.ar/rep/control/ligado77pos-de-aislante-PVC376/dmicos.jpg>

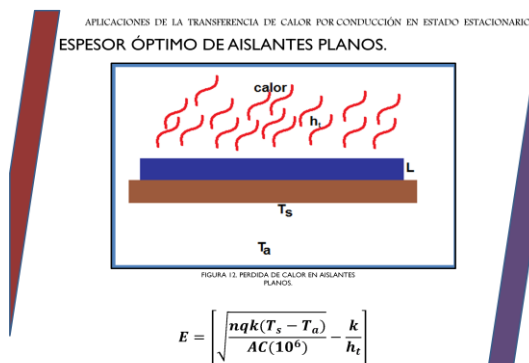
Diapositiva 10

Ahora, para que un aislante sea bueno y cumpla con su función debe tener un espesor mínimo, éste espesor está en función de los costos del calor y del costo del aislante, una manera de determinarlo es con la utilización de la siguiente gráfica.



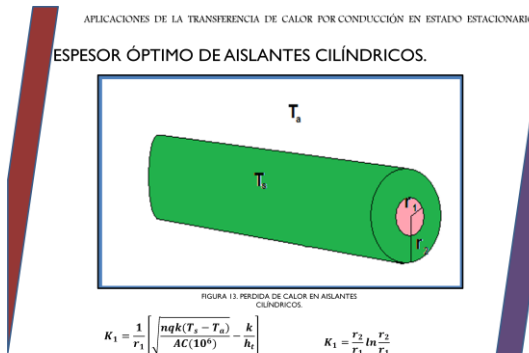
Diapositiva 11

También se puede calcular el mejor espesor de un aislante, la ecuación dependerá además de los costos de la geometría de la superficie. Para aislantes planos se utiliza.



Diapositiva 12

Y para saber el espesor óptimo en los aislantes cilíndricos se utiliza.





**Diapositiva 17**

Otra de las aplicaciones de la transferencia de calor por conducción en estado estacionario es la congelación de las tuberías que se relaciona directamente con el calor, en la ecuación se muestra que lo fundamental es calcular el tiempo que tardara un fluido en congelarse dentro de una tubería, este método se utiliza de respaldo cuando los aislantes no son suficientes.

APLICACIONES DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN EN ESTADO ESTACIONARIO

**CONGELACIÓN DE TUBERÍAS.**

Para prevenir la congelación de las tuberías se utilizan aislantes pero a veces no es suficiente, por lo cual existen dos métodos que pueden ayudar a contrarrestar la congelación.

Tiempo de congelación:

m = masa del fluido estático contenido en la tubería

R = resistencia

To = temperatura de congelación

Este tiempo de congelación nos indica el tiempo en que el fluido dentro de una tubería se congelará. Esta ecuación sirve para cualquier fluido pero es más utilizado en tuberías que transportan el agua.

**Diapositiva 18**

Asociado también al congelamiento que pueden tener las tuberías se puede calcular el flujo mínimo que permitirá que el fluido no se congele aunque este a muy bajas temperaturas. Esto aplica a cualquier líquido pero es más utilizado en agua.

APLICACIONES DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN EN ESTADO ESTACIONARIO

**FLUJO MÍNIMO PARA PREVENIR LA CONGELACIÓN:**

M = flujo mínimo

L = longitud de la tubería

To = temperatura de congelación

Este flujo mínimo permite que el fluido no se congele aunque haya muy bajas temperaturas.

**Diapositiva 19**

Muchas gracias por su atención.

APLICACIONES DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN EN ESTADO ESTACIONARIO

PRESENTA:  
JULIETA GUADALUPE BERNAL CORONA

ASESOR:  
DR. ANTONIO VALENTE BARRERAS

CONTACTO:

**JULIETA G. BERNAL CORONA**

TEL: 52-995-511-1111

EMAIL: jbernal@corona.com

BIBLIOGRAFIA:  
1. TRANSFERENCIA DE CALOR. YUNOS A. GENGEL, MC GRAW HILL

Esta presentación se encuentra en el disco del Anexo 1.



## Capítulo 5

### Análisis de resultados

Para saber si las presentaciones que se realizaron se pueden utilizar como herramienta de apoyo didáctico, se expusieron ante los alumnos y profesores de la asignatura Ingeniería de Calor del semestre 2012-1 que se imparte para la carrera de Ingeniería Química dentro de la Facultad de Química ubicada en Ciudad Universitaria.

Los alumnos de esta asignatura fueron los adecuados para evaluar el trabajo debido a que ya habían estudiado el tema en la asignatura Transferencia de Energía<sup>9</sup>, esto les proporciono el criterio y la objetividad para opinar sobre si estas presentaciones les hubiesen servido de ayuda para comprender el tema o como introducción al mismo.

El material didáctico se evaluó con la aplicación de dos cuestionarios<sup>10</sup>, uno para los alumnos y otro para los profesores. Estos cuestionarios se aplicaron después de la exposición y tanto los alumnos como los profesores escribieron sus opiniones acerca de las imágenes, los videos y la teoría contenida en las presentaciones.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la encuesta aplicada a los alumnos:

- La teoría se represento de forma sencilla con la ayuda de imágenes y videos que permitieron visualizar fenómenos complejos o difíciles de entender como la transferencia de calor por conducción en gases, de igual forma la exposición fue clara y enfocada al tema principal. Como se observa en la GRÁFICA 1, no hubo un alumno que no entendiera las presentaciones y para la mayoría fueron totalmente claras.

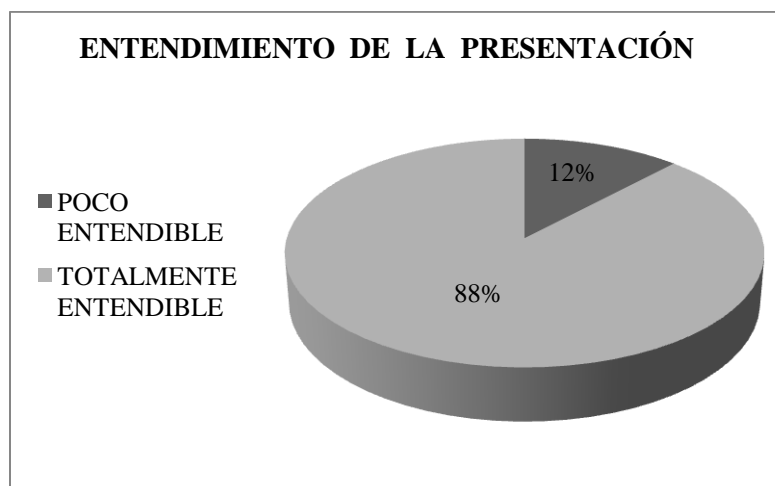


FIGURA 11. ENTENDIMIENTO DE LAS PRESENTACIONES

<sup>9</sup> LA ASIGNATURA DE TRANSFERENCIA DE ENERGÍA ES ANTERIOR A LA INGENIERÍA DE CALOR Y VAN SERIADAS.

<sup>10</sup> PARA VER UN EJEMPLO DE LOS CUESTIONARIOS QUE SE APLICARON VER EL ANEXO 2.

- La siguiente gráfica muestra que para el 91% de los alumnos estas presentaciones les hubiesen sido útiles como herramienta de apoyo para entender el tema o como introducción al mismo.

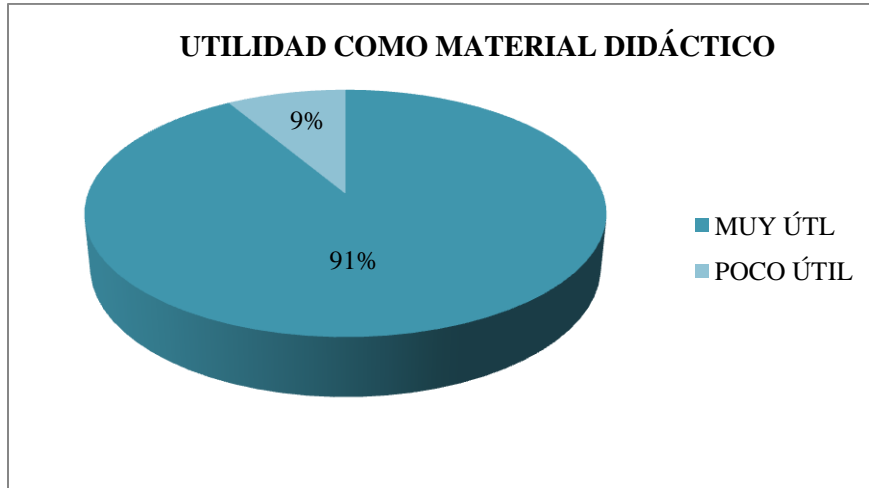


FIGURA 12. UTILIDAD DE LAS PRESENTACIONES

- Para que las presentaciones llamaran la atención se hicieron visualmente atractivas utilizando imágenes y videos que además explicarían los fenómenos, como resultado se puede observar que para el 83% de los alumnos el material didáctico es muy interesante.

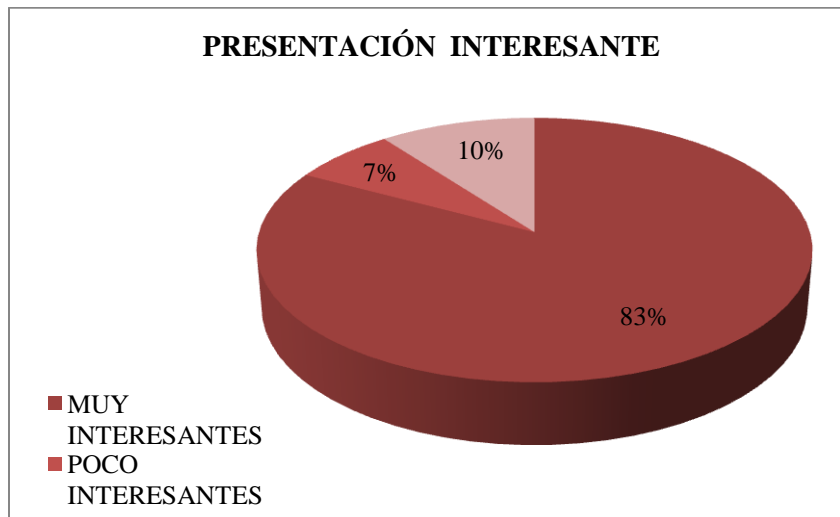


FIGURA 13. PRESENTACIÓN INTERESANTE

- Para hacer las presentaciones amenas y contribuir al fácil entendimiento del tema se utilizaron videos de la página web [www.youtube.com](http://www.youtube.com), el resultado fue que para el 88% de los alumnos estos videos son útiles como una herramienta de aprendizaje.

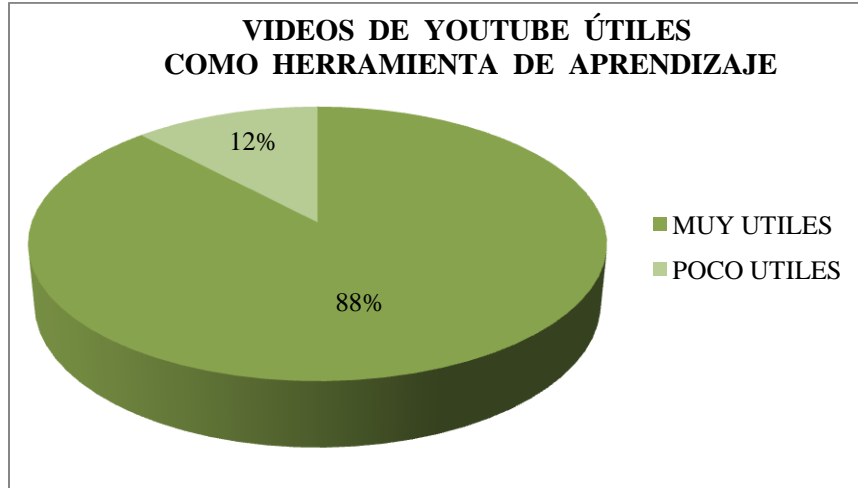


FIGURA 14. UTILIDAD DE LOS VIDEOS.

Los profesores que asistieron a la exposición evaluaron las presentaciones como útiles, entendibles, interesantes y todos concluyeron que la utilizarían como una herramienta de apoyo a la hora de impartir sus clases, además coincidieron en que la selección de imágenes y videos fue la acertada.

Los cuestionarios que se aplicaron a los alumnos y a los profesores contenían una parte para que cada uno sugiriera mejoras a las presentaciones, estas mejoras eran principalmente de formato como tamaño de imágenes y letra, o errores ortográficos. Todas estas correcciones se incluyeron en el trabajo.

## Conclusiones

- Una forma didáctica de explicar los temas complejos de Transferencia de Energía es utilizando herramientas audiovisuales como videos, imágenes o animaciones.
- El uso de presentaciones como herramienta de aprendizaje dentro del salón de clases ayuda a visualizar de una manera fácil los fenómenos complejos que se estudian en la Transferencia de energía.
- Los videos de la página web [www.youtube.com](http://www.youtube.com) se pueden utilizar como una herramienta de aprendizaje.
- Las presentaciones que se realizaron en este trabajo sirven como una herramienta de aprendizaje ya sea para entender mejor el tema de Transferencia de Calor por Conducción en Estado Estacionario o como introducción al mismo.
- Para el 83% de los alumnos que se entrevistaron este material didáctico les hubiese ayudado a comprender mejor el tema debido a que las presentaciones son útiles, interesantes y entendibles.
- Los profesores que evaluaron las presentaciones las utilizarían como una herramienta de apoyo dentro del salón de clases.

## Anexo 1

En este anexo se incluye un disco donde se encuentran las cinco presentaciones que se realizaron, estas presentaciones están organizadas en cinco carpetas, cada carpeta se llama como el tema principal de estudio, por ejemplo, donde se expone todo lo relacionado con la energía se llama *PRESENTACIÓN 1. ENERGÍA*.

Instrucciones de uso:

1. Para ver las presentaciones se debe acceder a la carpeta de tema de interés y dar clic en el archivo **PRESENTACIÓN PARA EXPOSICIÓN**. Se avanza cada diapositiva con un “clic” o presionando “enter”, para ver los videos es necesario dar un “clic” adicional en la imagen del video y para detenerlo dar “clic” fuera de la imagen.
2. Al mismo tiempo de abrir el archivo de la presentación, abrir el archivo **EXPOSICIÓN DE CADA DIAPOSITIVA**, en este archivo se explica cada diapositiva y sirve como guía para la exposición ante los alumnos.

En caso de copiar los archivos, se deben copiar la carpeta completa ya que los videos deben estar en el mismo directorio que la presentación.

## Anexo 2

Cuestionario de evaluación del material didáctico aplicado a los alumnos.

**CUESTIONARIO DE EVALUACIÓN DEL MATERIAL DIDÁCTICO DEL TEMA :  
TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN EN ESTADO  
ESTACIONARIO.**

**Instrucciones.** Lee atentamente cada pregunta y selecciona respuesta que consideres correcta.

**Nota.** Los resultados de este cuestionario se incluirán en la Tesis, te agradezco tu objetividad.

1. Cuando tomaste la asignatura de Transferencia de Energía, ¿Se te complicó el tema de Transferencia de Calor por Conducción en Estado Estacionario?

SI       NO       MÁS o MENOS       OTRO: \_\_\_\_\_

2. ¿Qué utilizaste como herramienta de apoyo para entender mejor la clase de Transferencia de Energía

LIBROS     PREGUNTAR A UN COMPAÑERO     PREGUNTAR A UN MAESTRO  
 VIDEOS     APUNTES     INTERNET     OTRO: \_\_\_\_\_

3. ¿La presentación (texto, imágenes y principalmente los videos) que acabas de recibir fue clara?

SI       NO       MÁS O MENOS       OTRO: \_\_\_\_\_

4. ¿Crees que esta presentación (texto, imágenes y principalmente los videos) hubiera sido una herramienta útil como introducción al tema de Transferencia de Calor por Conducción?

SI       NO       MÁS O MENOS       OTRO: \_\_\_\_\_

5. La presentación (texto, imágenes y principalmente los videos) ¿Te pareció interesante?

SI       NO       MÁS O MENOS       OTRO: \_\_\_\_\_

6. Consideras que los videos de youtube vistos en esta presentación pudieron ser útiles/interesantes como herramienta de aprendizaje del tema de Transferencia de Calor por Conducción en Estado Estacionario?

SI       NO       MÁS O MENOS       OTRO: \_\_\_\_\_

7. ¿Consideras que los videos de la página de youtube podrían ser útiles/interesantes para ser utilizados como herramientas para el aprendizaje del tema de Transferencia de Calor por Conducción en Estado Estacionario?

SI       NO       MÁS o MENOS       OTRO: \_\_\_\_\_

8. ¿Qué utilidad le das generalmente a los videos de youtube?

EDUCATIVO       OCIO/ DIVERSIÓN       OTRO: \_\_\_\_\_

COMENTARIOS: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

¡GRACIAS!

## Cuestionario de evaluación del material didáctico aplicado a los profesores.

**CUESTIONARIO DE EVALUACIÓN DEL MATERIAL DIDÁCTICO DEL TEMA :  
TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN EN ESTADO  
ESTACIONARIO.**

Instrucciones. Lea atentamente cada pregunta y selecciona respuesta que consideres correcta.

Nota. Los resultados de este cuestionario se incluirán en la Tesis, le agradezco su objetividad.

1. ¿La presentación (texto, imágenes y principalmente los videos) que acaba de ver fue clara?

SI       NO       MÁS O MENOS       OTRO: \_\_\_\_\_

2. ¿Cree que esta presentación (texto, imágenes y principalmente los videos) hubiera sido una herramienta útil como "introducción" al tema de Transferencia de Calor por Conducción en Estado Estacionario?

SI       NO       MÁS O MENOS       OTRO: \_\_\_\_\_

3. La presentación (texto, imágenes y principalmente los videos) ¿fue interesante?

SI       NO       MÁS O MENOS       OTRO: \_\_\_\_\_

4. ¿Considera que los videos de youtube vistos en esta presentación pudieran ser útiles/interesantes como herramienta de aprendizaje del tema de Transferencia de Calor por Conducción en Estado Estacionario?

SI       NO       MÁS O MENOS       OTRO: \_\_\_\_\_

5. ¿Considera que los videos de la página de youtube podrían ser útiles/interesantes para ser utilizados como herramientas para el aprendizaje del tema de Transferencia de Calor por Conducción en Estado Estacionario?

SI       NO       MÁS o MENOS       OTRO: \_\_\_\_\_



6. Que utilizó como herramienta de apoyo para explicar mejor las clases.

LIBROS    VIDEOS    APUNTES    PRESENTACIONES

OTRO: \_\_\_\_\_

7. ¿Utilizaría esta presentación como herramienta dentro del salón de clases?

SI    NO    MÁS o MENOS    OTRO: \_\_\_\_\_

8. COMENTARIOS: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

¡GRACIAS!

## APÉNDICE

Las ecuaciones que rigen la transferencia de calor en estado estacionario en los sólidos parten de un balance de energía del sistema de estudio. El balance de energía se plantea de la siguiente forma:

$$\text{Ec. 1.} \quad \underbrace{M_e(EP_e + EC_e + EPe_e + U_e)}_{\text{ENERGÍA ENTRANTE}} + Q - \underbrace{M_s(EP_s + EC_s + EPe_e + U_s)}_{\text{ENERGÍA SALIENTE}} - W + Eg = \underbrace{\Sigma F}_{\text{ENERGÍA GENERADA}} + \underbrace{EA}_{\text{ENERGÍA ACUMULADA}}$$

Donde:

$M_e$  = masa de entrada

$EP_e$  = energía potencial de entrada =  $gz$

$EC_e$  = energía cinética de entrada =  $\frac{v^2}{2}$

$EPe_e$  = energía de presión de entrada =  $PV$

$U_e$  = energía interna

$Q$  = calor

$M_s$  = masa de salida

$EP_s$  = energía potencial de salida =  $gz$

$EC_s$  = energía cinética de salida =  $\frac{v^2}{2}$

$EPe_s$  = energía de presión de salida =  $PV$

$U_s$  = energía interna de salida

$W$  = trabajo

$Eg$  = energía generada

$\Sigma F$  = pérdidas por fricción

$P$  = presión

$V$  = volumen

$EA$  = energía acumulada =  $\frac{d(UpV)}{dt}$

Sustituyendo los términos por las variables el balance de energía queda como:

$$\text{Ec. 2.} \quad M_e \left( gZ_e + \frac{v_e^2}{2} + P_e V_e + U_e \right) + Q - M_s \left( gZ_s + \frac{v_s^2}{2} + P_s V_s + U_s \right) - W + Eg = \Sigma F + \frac{d(UpV)}{dt}$$

Cuando en un sistema no hay cambios de energía cinética, energía potencial y se encuentra en estado estacionario, se considera lo siguiente:

no hay cambios de energía cinética:

$$\frac{v_e^2}{2} = \frac{v_s^2}{2} = 0$$

no hay cambios de energía potencial:

$$gZ_e = gZ_s = 0$$

no hay convección ni radiación

la transferencia de calor solo se lleva a cabo por conducción y es dentro del cubo

la conducción es solo en la dirección x:

$$Q = Q_s - Q_e = q_x$$

el calor que entra solo es en dirección x:

$$Q_e = q_x \Delta y \Delta z$$

el calor que sale solo es en dirección x:

$$Q_s = q_{x+\Delta x} \Delta y \Delta z$$

la energía generada es por unidad de volumen:

$$Eg = Eg \Delta x \Delta y \Delta z$$

la energía acumulada es debida solo al cambio de energía interna por unidad de volumen:

$$U_e = U_s = EA = \frac{\partial}{\partial t} (\rho C_p T) \Delta x \Delta y \Delta z$$

las pérdidas por fricción son despreciables:

$$\sum F \sim 0$$

el sistema no realiza algún trabajo:

$$W = 0$$

el sistema no tiene energía de presión:

$$P_e V_e = P_s V_s = 0$$

la masa del cuerpo no cambia:

$$M_e = M_s = 1$$

Aplicando todas estas suposiciones a la ecuación general de balance queda como:

$$q_x \Delta y \Delta z - q_{x+\Delta x} \Delta y \Delta z + E g \Delta x \Delta y \Delta z = \frac{\partial}{\partial t} (\rho C p T) \Delta x \Delta y \Delta z$$

Igualando a 0 la ecuación de balance:

$$q_{x+\Delta x} \Delta y \Delta z - q_x \Delta y \Delta z - E g \Delta x \Delta y \Delta z + \frac{\partial}{\partial t} (\rho C p T) \Delta x \Delta y \Delta z = 0$$

Si se divide la ecuación anterior entre el volumen  $\Delta x \Delta y \Delta z$

$$\frac{q_{x+\Delta x} - q_x}{\Delta x} - E g + \frac{\partial}{\partial t} (\rho C p T) = 0$$

Si se escribe de manera diferencial:

$$\frac{\partial q}{\partial x} - E g + \frac{\partial}{\partial t} (\rho C p T) = 0$$

Acomodando términos:

$$\frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial t} (\rho C p T) - E g = 0$$

Si se considera que  $q$  fluye en las tres direcciones:

Ec. 3. 
$$\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial t} (\rho C p T) - E g = 0$$

Aplicando el operador nabra  $\nabla = \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z}$

$$\nabla q + \frac{\partial}{\partial t} (\rho C p T) - E g = 0$$

Como ya se explicó, el calor se transmite por conducción  $q = -k \nabla T$ , sustituyendo esta expresión en la ecuación anterior se tiene:

Ec. 4. 
$$\nabla(-k \nabla T) + \frac{\partial}{\partial t} (\rho C p T) - E g = 0$$

La  $k$  es constante y sale del operador  $\nabla$ , entonces  $q$  solo depende de  $T$  y la ecuación queda como:

$$-k\nabla^2 T + \frac{\partial}{\partial t}(\rho C_p T) - Eg = 0$$

Ahora en el término  $\frac{\partial}{\partial t}(\rho C_p T)$ ,  $\rho C_p$  son constantes y salen de la derivada que se aplicara solo a  $T$  quedando como:

$$-k\nabla^2 T + \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} - Eg = 0$$

Despejando  $\frac{\partial T}{\partial t}$ :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{\rho C_p} \nabla^2 T + \frac{Eg}{\rho C_p}$$

Sustituyendo la difusividad térmica  $\alpha = \frac{k}{\rho C_p}$ :

Ec. 5. 
$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \nabla^2 T + \frac{Eg}{\rho C_p}$$

Esta ecuación describe la transferencia de calor por conducción en un sólido en estado estacionario y puede escribirse en diferentes coordenadas:

1. Coordenadas rectangulares:

Ec. 6. 
$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left[ \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] + \frac{Eg}{\rho C_p}$$

2. Coordenadas cilíndricas:

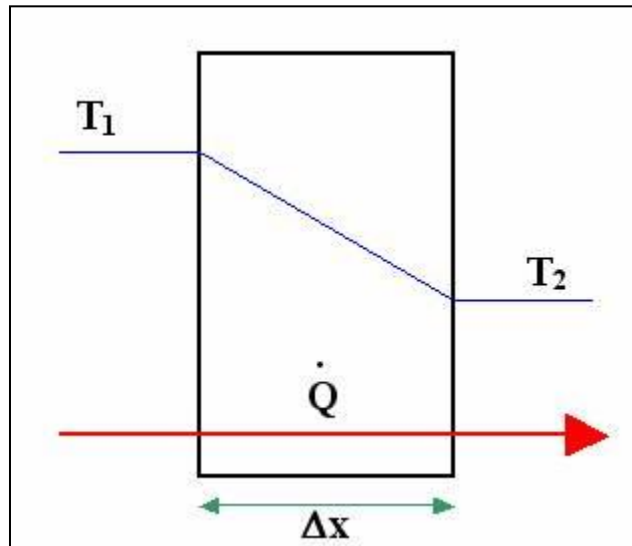
Ec. 7. 
$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left[ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] + \frac{Eg}{\rho C_p}$$

3. Coordenadas esféricas:

Ec. 8. 
$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left[ \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \phi} \frac{\partial}{\partial \phi} \left( \sin \phi \frac{\partial T}{\partial \phi} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \phi} \frac{\partial^2 T}{\partial \phi^2} \right] + \frac{Eg}{\rho C_p}$$

➤ Paredes planas.

Se considera la siguiente figura como una pared plana que está construida de un solo material cuya conductividad térmica es constante, el calor que se transfiere a través de la pared solo se da en la dirección x, debido a que existe una diferencia de entre las temperaturas  $T_1$  y  $T_2$  que se encuentran también en esta dirección. La transferencia de calor no cambia con respecto del tiempo y se da en una sola dirección.



Para saber la ecuación que rige la transferencia de calor a través de paredes planas se utilizará la ecuación de la conducción en coordenadas rectangulares, Ec. 6.:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left[ \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] + \frac{Eg}{\rho Cp}$$

Se hacen las siguientes suposiciones:

- El sistema se encuentra en estado estacionario  $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$
- No hay generación interna de calor  $Eg = 0$
- La transferencia de calor es solo en la dirección x  $\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0$

Aplicando estas suposiciones, la Ec. 6. queda como:

$$\alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{1}{\rho Cp} = 0$$

Simplificando los términos la ecuación anterior queda como:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0$$

Como la temperatura T sólo depende de x la ecuación parcial se convierte en diferencial y queda de la siguiente forma:

Ec. 9. 
$$\frac{d^2 T}{dx^2} = 0$$

Integrando esta ecuación queda como:

$$\frac{dT}{dx} = C_1$$

Integrando por segunda vez la ecuación anterior queda como:

Ec. 10. 
$$T = C_1 x + C_2$$

Ahora, para saber los valores de  $C_1$  y  $C_2$ , sabemos lo siguiente del sistema:

$$\begin{aligned} x = 0, & \quad T = T_1 \\ x = X, & \quad T = T_2 \end{aligned}$$

Sustituyendo estas condiciones de frontera en la Ec. 10, se tiene:

Ec. 11. 
$$T = \frac{T_2 - T_1}{X} x + T_1$$

La Ec. 11., nos muestra la distribución de temperaturas en la pared plana, esta distribución de temperaturas es función de x.

Ahora, para saber como fluye el calor a través de la pared, se utiliza la Ley de Fourier cuya ecuación es:

$$Q = -KA \frac{dT}{dx}$$

Utilizando la Ec. 11 y ley de Fourier se puede escribir lo siguiente:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{X}$$

Sustituyendo esta ecuación en la ley de Fourier se tiene:

$$Q = \frac{-KA(T_2-T_1)}{X}$$

Que acomodando términos queda:

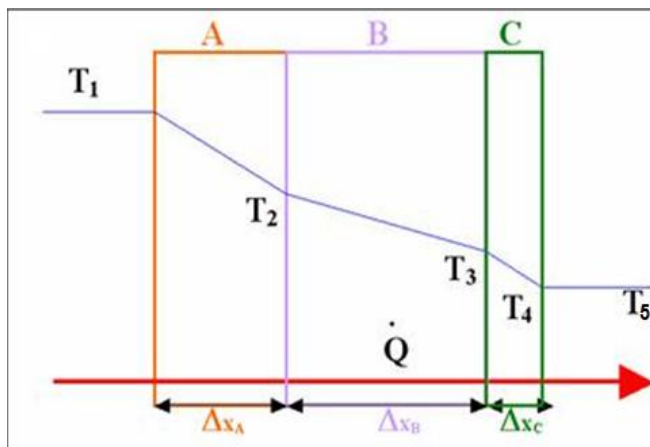
Ec. 12. 
$$Q = \frac{KA(T_1-T_2)}{X}$$

Esta es la ecuación que describe el calor de la pared plana.

➤ Capas múltiples

Cuando se ponen en contacto dos o más paredes, una a continuación de otra, y todas están a diferente temperatura de diferente material y área, existe una transferencia de energía de la temperatura mayor a la temperatura menor.

Para explicar esta transferencia de calor, se tiene la siguiente figura:



De esta figura se sabe lo siguiente:

- T<sub>1</sub> es mayor que T<sub>5</sub>
- Los cuerpos A, B y C, tienen diferente área.
- Hay una transferencia de calor de T<sub>1</sub> a T<sub>5</sub>
- La transferencia de energía se da solo en dirección x

Ahora, de la sección anterior de paredes planas tenemos la Ec. 12:

$$Q = \frac{KA(T_1-T_2)}{X}$$



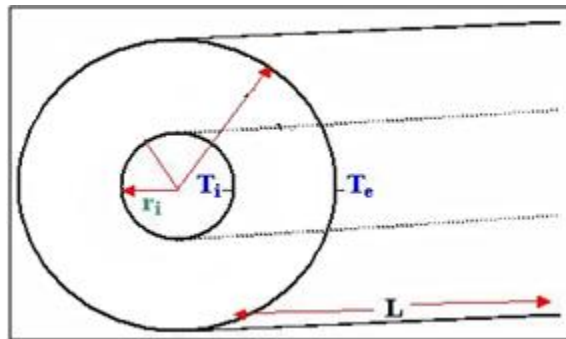
Como este es un problema de paredes compuestas, se puede utilizar la Ec. 12., sumando el área, la conductividad térmica y longitud de cada pared, entonces la ecuación para transferencia de calor de este cuerpo es:

Ec. 13. 
$$Q = \frac{(T_1 - T_5)}{\frac{x_A}{K_{AA}} + \frac{x_B}{K_{BB}} + \frac{x_C}{K_{CC}}}$$

Con esta ecuación se puede calcular el calor a través de paredes múltiples.

➤ Cuerpos cilíndricos

La siguiente figura muestra la transferencia de calor en cilindros en estado estacionario.



Se hacen las siguientes suposiciones:

- $T_i$  es mayor que  $T_e$
- el calor se transfiere en dirección radial
- la temperatura no cambia respecto al tiempo

Para calcular el flujo de calor, se utilizará la ecuación de la Ley de Fourier en coordenadas cilíndricas:

Ec. 14. 
$$Q = -KA_r \frac{dT}{dr}$$

El área de un cilindro es:

$$A = 2\pi rL$$

Ahora, si se sustituye el área en la Ec. 14., se tiene:

Ec. 15. 
$$Q = -K2\pi rL \frac{dT}{dr}$$

Ahora se resolverá la Ec. 15., por separación de variables:

$$Q \frac{dr}{r} = -K2\pi LdT$$

Se integra esta ecuación de ambas partes con las siguientes condiciones de frontera:

$$\begin{aligned} r &= r_i, T = T_i \\ r &= r_e, T = T_e \end{aligned}$$

$$Q \int_{r_i}^{r_e} \frac{dr}{r} = -K2\pi L \int_{T_i}^{T_e} dT$$

Resolviendo estas integrales se tiene:

$$Q \ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right) = -K2\pi L(T_e - T_i)$$

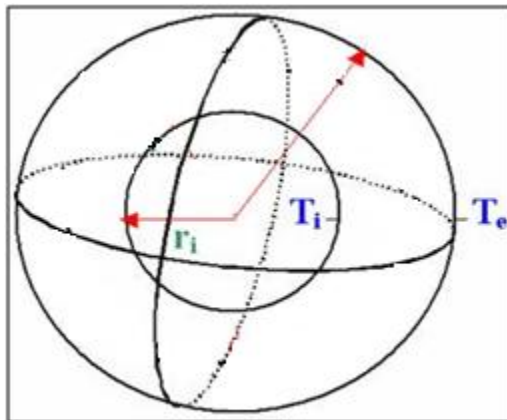
Acomodando términos, se tiene:

Ec. 16. 
$$Q = \frac{K2\pi L(T_i - T_e)}{\ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right)}$$

Con esta ecuación se calcula el calor a través de las paredes de un cilindro.

➤ Cuerpos esféricos

Para saber cómo se transfiere el calor en una esfera, se considerará la siguiente figura:



En esta figura  $T_i$  es mayor que  $T_e$  y la transferencia de calor se da en dirección radial.

Se utilizará la Ley de Fourier en coordenadas esféricas:

$$Q = -KA_r \frac{dT}{dr}$$

El área de una esfera es:

$$A = 4\pi r^2$$

Sustituyendo esta área en la ecuación de la ley de Fourier se tiene:

Ec. 17. 
$$Q = -K4\pi r^2 \frac{dT}{dr}$$

Se separan las variables con las siguientes condiciones de frontera:

$$\begin{aligned} r = r_i, T &= T_i \\ r = r_e, T &= T_e \end{aligned}$$

$$Q \int_{r_i}^{r_e} \frac{dr}{r^2} = -K4\pi \int_{T_i}^{T_e} dT$$

Resolviendo esta ecuación se tiene:

$$-Q \left( \frac{1}{r_e} - \frac{1}{r_i} \right) = -K4\pi(T_e - T_i)$$

Acomodando términos se tiene:

Ec. 18. 
$$Q = \frac{K4\pi r_i r_e (T_i - T_e)}{r_e - r_i}$$

Con esta ecuación se calcula el calor que se transfiere en una esfera.

## Bibliografía

- Fundamentos de la transferencia de calor. Frank P. Incropera, David P. Dewitt. Pearson Educación. Cuarta edición, 1999.
- Principios de Termodinámica para ingeniería. John R Howell, Richard O Buckius. McGraw Hill. 1990.
- Teoría y problemas de termodinámica. Michael Abbott, Hendrick Van Ness. McGraw Hill. 1975.
- Procesos de transferencia de calor. Donald Q. Kern. Cuarta edición, 2000. México D.F.
- Introducción a la transferencia de calor. Antonio Valiente Barderas. Facultad de Química, UNAM, Primera edición 2010.
- Heat Transfer. J. Pholman. McGraw Hill. Book Company. 1986.
- Transferencia de calor. Yunos A. Cengel. McGraw Hill. 2004.
- Termodinámica Técnica. José Segura Clavell. Editorial Reverté, S.A. Barcelona 1988.

## Páginas web

- [http://ocwus.us.es/arquitectura-e-ingenieria/operacionesbasicas/contenidos1/tema7/pagina\\_06.htm](http://ocwus.us.es/arquitectura-e-ingenieria/operacionesbasicas/contenidos1/tema7/pagina_06.htm)
- <http://poliuretancodechihuahua.com/es/tabla.png>
- [http://3.bp.blogspot.com/\\_xonPZj7MjM0/S3SnA61VatI/AAAAAAAAABY/JIZURI6GFd8/s320/aislantes-electricos.gif](http://3.bp.blogspot.com/_xonPZj7MjM0/S3SnA61VatI/AAAAAAAAABY/JIZURI6GFd8/s320/aislantes-electricos.gif)
- [http://1.bp.blogspot.com/\\_GjEamqG7pd0/S8VIXLuNJJ/AAAAAAAAAJM/GE70M6EkSqE/s1600/isover\\_b%5B1%5D.jpg](http://1.bp.blogspot.com/_GjEamqG7pd0/S8VIXLuNJJ/AAAAAAAAAJM/GE70M6EkSqE/s1600/isover_b%5B1%5D.jpg)
- <http://www.arquitectura.com.ar/wp-content/uploads/Tipos-de-aislantes-t%C3%A9rmicos.jpg>
- <http://www.utadeo.edu.co/dependencias/publicaciones/alimentica2/libro4a.pdf>
- [http://florida-aquastore.com/espanol/wp-content/themes/\\_flaq\\_espanol/\\_img/home/liquid.jpg](http://florida-aquastore.com/espanol/wp-content/themes/_flaq_espanol/_img/home/liquid.jpg)
- [http://www.prosumal.com/imagenes\\_fotos/bv\\_4.jpg](http://www.prosumal.com/imagenes_fotos/bv_4.jpg)
- <http://ptssa.com/FotosCFE/Mvc-022s.jpg>

- <http://www.youtube.com/watch?v=csVKkffcPkI>
- <http://energiasrenovadas.com/category/eolica/page/8/>
- [http://3.bp.blogspot.com/G9V8eHijQDM/Tbgb2dqW8zl/AAAAAAAAAA8/QueH08aCbXwg/s1600/electr  
icidad.jpg](http://3.bp.blogspot.com/G9V8eHijQDM/Tbgb2dqW8zl/AAAAAAAAAA8/QueH08aCbXwg/s1600/electr<br/>icidad.jpg)
- <http://trabajoeconomia.com/wp-content/uploads/2009/07/gas-natural-2.jpg>
- [http://newton.cnice.mec.es/materiales\\_didacticos/energia/actividades.htm](http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/energia/actividades.htm)
- <http://www.youtube.com/watch?v=3-60ELKhHio>
- [http://2.bp.blogspot.com/\\_7U-  
V9ccFj2E/S\\_xzubU6p5I/AAAAAAAAAPg/ErOpLqEWvDU/s400/energia.jpg](http://2.bp.blogspot.com/_7U-<br/>V9ccFj2E/S_xzubU6p5I/AAAAAAAAAPg/ErOpLqEWvDU/s400/energia.jpg)
- [http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/3/Usrn/lentiscal/1-cdquimica-  
tic/applets/gasiqyw/images/Energial1Principio.gif](http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/3/Usrn/lentiscal/1-cdquimica-<br/>tic/applets/gasiqyw/images/Energial1Principio.gif)
- <http://www.youtube.com/watch?v=3-60ELKhHio>
- <http://www.textoscientificos.com/fisica/termodinámica>
- <http://fisica.laguia2000.com/termodinamica/termodinamica>
- <http://www.andandara.com/Cienciaytecnologia/fuerza.html>
- <http://www.andandara.com/Cienciaytecnologia/fuerza.html>
- <http://fisica.laguia2000.com/termodinamica/termodinamica>
- <http://comoantiguamente.blogia.com/2009/051101-para-que-el-pelo-no-se-queda-hueco-.php>
- [http://unpocodetodo.info/setas\\_is/agar.html](http://unpocodetodo.info/setas_is/agar.html)
- [http://www.educared.org/global/anavegar7/alumnos/htm\\_alumnes/ganadores/Modalidad%20A/Cate  
goria%201/2\\_984/brujula.htm](http://www.educared.org/global/anavegar7/alumnos/htm_alumnes/ganadores/Modalidad%20A/Cate<br/>goria%201/2_984/brujula.htm)
- <http://eltamiz.com/2009/09/08/%C2%BFcomo-funciona-una-olla-a-presion/>
- [http://news.directindustry.es/press/netzsch-geratebau/el-horno-de-vapor-de-agua-una-opcion-viable-  
para-sta-ms-39926-340725.html](http://news.directindustry.es/press/netzsch-geratebau/el-horno-de-vapor-de-agua-una-opcion-viable-<br/>para-sta-ms-39926-340725.html)
- <http://img178.imageshack.us/img178/8178/37na.jpg>
- [http://4.bp.blogspot.com/\\_dg8JKDRhSM8/St8MHTWpA4I/AAAAAAAAAA8/HHGzsrSyi84/s320/Fundi  
cion.jpg](http://4.bp.blogspot.com/_dg8JKDRhSM8/St8MHTWpA4I/AAAAAAAAAA8/HHGzsrSyi84/s320/Fundi<br/>cion.jpg)
- [http://www.youtube.com/watch?v=uv\\_S1pUuFts](http://www.youtube.com/watch?v=uv_S1pUuFts)

- <http://www.youtube.com/watch?v=OSm7mgyziAc>
- <http://www.youtube.com/watch?v=NRJX36W0yRU&feature=related>
- <https://sites.google.com/site/fisicayquimicaieslazafra/elementos-y-compuestos>
- <http://www.moonmentum.com/blog/tag/jean-baptiste-joseph-fourier/>
- <http://www.darwin-milenium.com/estudiante/Fisica/Temario/Tema6.htm>
- <http://img191.imageshack.us/img191/1793/conduction.gif>