

**BORIS KALMAR ALVARADO**

**UB3168SEE7725**

**MECHANICAL ENGINEERING**

**SEGUNDA FASE**

**HEAT TRANSFER**

**ATLANTIC INTERNATIONAL UNIVERSITY**

**Honolulu, Hawaii**

**JULIO 2008**

**TABLA DE CONTENIDOS**

**HEAT TRANSFER**

1.	Introducción	Pág 3
2.	Procesos de transferencia de calor	Pág 3
3.	Conductividad térmica	Pág 10
4.	Convección	Pág 17
5.	Transferencia de calor entre sólidos y fluidos	Pág 18
6.	Análisis dimensional	Pág 20
7.	Radiación	Pág 21
8.	Longitud de onda y frecuencia	Pág 21
9.	Flujo a contracorriente: intercambiadores de doble tubo	Pág 24
10.	Disposición de flujos para aumentar la recuperación de calor	Pág 26
11.	Gases	Pág 27
12.	Cálculos para las condiciones de proceso	Pág 29
13.	Condensación de vapores simples	Pág 29
14.	Evaporación	Pág 32
15.	Conclusiones	Pág 33
16.	Recomendaciones	Pág 33
17.	Bibliografía	Pág 34

## **HEAT TRANSFER**

### **1. INTRODUCCION**

Como lo vimos en la asignación de termodinámica, entendemos que el calor es energía en tránsito y tiene lugar como resultado de las interacciones de sistemas y sus alrededores, cuando tenemos una diferencia de temperatura entendemos que la termodinámica clásica trata con sistemas en equilibrio, entonces podemos predecir la cantidad de energía que se necesita para un sistema dado, y este a su vez cambie de un estado de equilibrio a otro, pero no podemos predecir que tan rápido será ese cambio, porque en el proceso los sistemas no están en equilibrio.

Aquí es donde la transferencia de calor tiene su mayor rol complementando la termodinámica enseñándonos acerca de la naturaleza de las diferentes interacciones entre sistemas y la velocidad con que estas se producen. Como ejemplo, consideremos una barra de acero que se enfría al ser introducida en un recipiente con agua a menor temperatura. La termodinámica puede utilizarse para encontrar la temperatura de equilibrio final pero no puede predecir el tiempo necesario que tomará la barra para enfriarse, o la temperatura que tendrá la barra después del proceso de enfriamiento, la transferencia de calor es utilizada para encontrar la temperatura de la barra y del agua en función del tiempo.

### **2. PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR**

Transferencia de calor. La ciencia de la termodinámica trata de las transiciones cuantitativas y reacomodos de energía como calor en los cuerpos de materia. La ciencia de la transferencia de calor está relacionada con la razón de intercambio de calor entre cuerpos calientes y fríos llamados fuente y receptor. Cuando se vaporiza una libra de agua o se condensa una libra de vapor, el cambio de energía en los dos procesos es idéntico. La velocidad a la que cualquiera de estos procesos puede hacerse progresar con una fuente o receptor

independiente es, sin embargo, inherentemente muy diferente. Generalmente, la vaporización es un fenómeno mucho más rápido que la condensación.

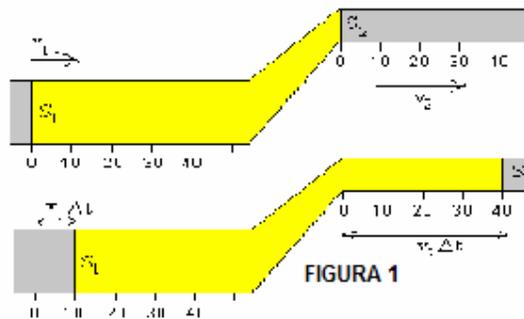
Teorías del calor. El estudio de la transferencia de calor se facilitará grandemente mediante una cabal comprensión de la naturaleza del calor. Sin embargo, esta es una ventaja que no está fácilmente disponible para estudiantes de transferencia de calor o termodinámica, ya que se han descubierto muchas manifestaciones del calor, lo que ha impedido que una teoría simple las cubra a todas ellas. Las leyes que pueden aplicarse a transiciones de masa pueden ser inaplicables a transiciones moleculares o atómicas, y aquéllas que son aplicables a las bajas temperaturas pueden no serlo a las temperaturas altas. Para propósitos de ingeniería es necesario comenzar el estudio con información básica acerca de unos cuantos fenómenos. Las fases de una sustancia simple, sólida, líquida y gaseosa, están asociadas con su contenido de energía. En la fase sólida, las moléculas o átomos están muy cercanos, dando esto rigidez. En la fase líquida existe suficiente energía térmica para extender la distancia de las moléculas adyacentes, de manera que se pierde la rigidez. En la fase de gas, la presencia de energía térmica adicional resulta en una separación relativamente completa de los átomos o moléculas, de manera que pueden permanecer en cualquier lugar de un espacio cerrado. También se ha establecido que, donde quiera que ocurra un cambio de fase fuera de la región crítica, se involucra una gran cantidad de energía en esa transición.

Para una misma sustancia en sus diferentes fases, sus varias propiedades térmicas tienen diferente orden de magnitud. Por ejemplo, el calor específico por unidad de masa es muy bajo para los sólidos, alto para los líquidos y, usualmente, de valores intermedios para los gases. Asimismo, en cualquier cuerpo que absorba o pierda calor, deben guardarse especiales consideraciones respecto a si el cambio es de calor latente, o sensible, o de ambos. Más aún, se conoce también que una fuente caliente es capaz de grandes excitaciones subatómicas, a tal grado que emite energía sin ningún contacto directo con el receptor, y éste es el principio fundamental de la radiación.

Cada tipo de intercambio exhibe sus propias peculiaridades.

Mecanismos de la transferencia de calor. Hay tres formas diferentes en las que el calor puede pasar de la fuente al receptor, aun cuando muchas de las aplicaciones en la ingeniería son combinaciones de dos o tres. Estas son, conducción, convección y radiación.

Conducción. La conducción es la transferencia de calor a través de un material fijo tal como la pared estacionaria mostrada en la figura 1.



Flujo de calor a través de una pared

La dirección del flujo de calor será a ángulos rectos a la pared, si las superficies de las paredes son isotérmicas y el cuerpo es homogéneo e isotrópico. Supóngase que una fuente de calor existe a la izquierda de la pared y que existe un receptor de calor en la superficie derecha. Es conocido y después se confirmará por una derivación, que el flujo de calor por hora es proporcional al cambio de temperatura a través de la pared y al área de la pared  $A$ . Si  $t$  es la temperatura en cualquier punto de la pared y  $x$  es el grueso de la pared en dirección del flujo de calor, la cantidad de flujo de calor  $dQ$  es dada por

$$dQ = kA \left( - \frac{dt}{dx} \right) \quad \text{Btu/hr} \quad (1)$$

El término  $-dt/dx$  se llama gradiente de temperatura y tiene un signo negativo si se supuso una temperatura mayor en la cara de la pared en donde  $x = 0$  y menor en la cara donde  $x = X$ . En otras palabras, la cantidad instantánea de transferencia de calor es proporcional al área y a la diferencia de temperatura  $dt$  que impulsa el calor a través de la pared de espesor  $dx$ . La constante de proporcionalidad  $k$  es peculiar a la conducción de calor por conductividad y se le conoce por conductividad térmica. Esta conductividad se evalúa experimentalmente y está básicamente definida por la EC. (1).

La conductividad térmica de los sólidos tiene un amplio rango de valores numéricos dependiendo de si el sólido es relativamente un buen conductor del calor, tal como un metal, o un mal conductor como el asbesto. Estos últimos sirven como aislantes. Aun cuando la conducción de calor se asocia usualmente con la transferencia de calor a través de los sólidos, también es aplicable a gases y líquidos, con sus limitaciones.

- Convección. La convección es la transferencia de calor entre partes relativamente calientes y frías de un fluido por medio de mezcla. Supóngase que un recipiente con un líquido se coloca sobre una llama caliente. El líquido que se encuentra en el fondo del recipiente se calienta y se vuelve menos denso que antes, debido a su expansión térmica. El líquido adyacente al fondo también es menos denso que la porción superior fría y asciende a través de ella, transmitiendo su calor por medio de mezcla conforme asciende. La transferencia de calor del líquido caliente del fondo del recipiente al resto, es convección natural o convección libre. Si se produce cualquiera otra agitación, tal como la provocada por un agitador, el proceso es de convección forzada. Este tipo de transferencia de calor puede ser descrito en una ecuación que imita la forma de la ecuación de conducción y es dada por

$$dQ = hA dt \quad (2)$$

La constante de proporcionalidad  $h$  es un término sobre el cual tiene influencia la naturaleza del fluido y la forma de agitación, y debe ser evaluado experimentalmente. Se llama coeficiente de transferencia de calor. Cuando la Ec. (2) se escribe en su forma integrada,  $Q = hA At$ , se le conoce como la ley del enfriamiento de Newton.

- Radiación. La radiación involucra la transferencia de energía radiante desde una fuente a un receptor. Cuando la radiación se emite desde una fuente a un receptor, parte de la energía se absorbe por el receptor y parte es reflejada por él. Basándose en la segunda ley de la termodinámica, Boltzmann estableció que la velocidad a la cual una fuente da calor es

$$dQ = \sigma \epsilon dA T^4 \quad (3)$$

Esto se conoce como la ley de la cuarta potencia,  $T$  es la temperatura absoluta.  $\sigma$  es una constante dimensional, pero  $\epsilon$  es un factor peculiar a la radiación y se llama emisividad. La emisividad, igual que la conductividad térmica  $k$  o el coeficiente de transferencia de calor  $h$ , debe también determinarse experimentalmente.

- Procesos de transferencia de calor. Se ha descrito a la transferencia de calor como el estudio de las velocidades a las cuales el calor se intercambia entre fuentes de calor y receptores, tratados usualmente de manera independiente. Los procesos de transferencia de calor se relacionan con las razones de intercambio térmico, tales como los que ocurren en equipo de transferencia de calor, tanto en ingeniería mecánica como en los procesos químicos. Este enfoque realza la importancia de las diferencias de temperatura entre la fuente y el receptor, lo que es, después de todo, el potencial por el cual la transferencia de calor se lleva a efecto. Un problema típico de procesos de transferencia de calor involucra las cantidades de calor que deben transferirse, las razones a las cuales pueden transferirse debido a la naturaleza de los cuerpos, la diferencia de potencial, la extensión y arreglo de las superficies que

separan la fuente y el receptor, y la cantidad de energía mecánica que debe disiparse para facilitar la transferencia de calor. Puesto que la transferencia de calor considera un intercambio en un sistema, la pérdida de calor por un cuerpo deberá ser igual al calor absorbido por otro dentro de los confines del mismo sistema.

El petróleo es una mezcla de gran variedad de compuestos químicos. Algunos se pueden aislar fácilmente y los nombres de los hidrocarburos presentes en el petróleo, se pueden identificar en la siguiente tabla. Muy frecuentemente no hay necesidad de obtener compuestos puros, puesto que el uso último de una mezcla de compuestos similares tendrá el mismo resultado que el uso de compuestos puros. Así, los aceites lubricantes son una mezcla de compuestos de alto peso molecular, todos ellos apropiados como lubricantes. Similarmente, la gasolina, que en última instancia se quema, estará compuesta de cierto número de compuestos volátiles combustibles. Todos estos productos de petróleo que son comunes en él, estaban presentes en el aceite crudo cuando se extrajo de la tierra o se formaron por reacciones subsecuentes y se separaron por destilación. Cuando se habla de ellos en un proceso o se venden como mezclas, estos productos se llaman fracciones o cortes. A éstos se les dan nombres comunes o se denotan por una operación de la refinería por la cual se producen, y su gravedad específica se define por una escala establecida por el American Petroleum Institute, y se les llama ya sea grados API o °API. Los °API se relacionan con la gravedad específica por

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141.5}{\text{gr esp a } 60^{\circ}\text{F}/60^{\circ}\text{F}} \quad (4)$$

Debido a que las fracciones de petróleo son mezclas de compuestos, no hierven isotérmicamente como sucede con los líquidos puros, sino que tienen rangos de ebullición característicos. A presión atmosférica, la temperatura menor a la que empieza la ebullición del líquido, se llama punto de ebullición inicial (*PEI* °F). En

seguida se da una lista de las fracciones más comunes del petróleo derivadas del aceite crudo:

Fracciones del aceite crudo	Aprox. °API	Aprox. PEI, °F
Cabezas ligeras y gases .....	114	
Gasolina .....	<b>75</b>	200
Nafta .....	<b>60</b>	300
Kerosena .....	45	350
Aceite para absorción .....	<b>40</b>	450
Straw oil .....	<b>40</b>	500
Destilado .....	<b>35</b>	550
<b>Gasoil</b> .....	28	600
Aceite lubricante .....	<b>18-30</b>	
Crudo reducido .....		
Parafina .....		
Fuel oil .....	2535	500
Asfalto .....		

Un método para definir el carácter químico del petróleo y correlacionar las propiedades de las mezclas, fue introducido por Watson, Nelson y Murphy. Ellos observaron que, cuando un aceite crudo de característica de destilación uniforme se destila en cortes muy próximos, la razón de la raíz cúbica del promedio de los puntos de ebullición absolutos a las gravedades específicas, es una constante 0.

$$K = \frac{T_B^{1/3}}{s}$$

donde K = factor de caracterización  
 $T_B$  = punto de ebullición promedio, °R  
 $s$  = gravedad específica a 60°/60°

• **NOMENCLATURA UTILIZADA**

<b>A</b>	Superficie de transferencia de calor, <b>pies<sup>2</sup></b>
<b>h</b>	Coefficiente individual de transferencia de calor, <b>Btu/h (pie' ) ( °F )</b>
<b>K</b>	Factor de caracterización
<b>k</b>	Conductividad térmica, <b>Btu/(h)(pie<sup>2</sup>) ( °F/pie)</b>
<b>Q</b>	Flujo de calor, <b>Btu/(h)</b>
<b>s</b>	Gravedad específica, adimensional
<b>T</b>	Temperatura, <b>°R</b>
<b>T<sub>F</sub></b>	Punto de ebullición promedio, <b>°R</b>
<b>t</b>	Temperatura en general, <b>°F</b>
<b>x, X</b>	Distancia, pies
<b>σ</b>	Constante, <b>Btu/(h)(pie<sup>2</sup>)(°R<sup>4</sup>)</b>
<b>ε</b>	Emisividad, adimensional

**3. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA**

La conductividad térmica. Los fundamentos de la conducción de calor se establecieron hace más de un siglo y se atribuyen generalmente a Fourier. En muchos sistemas que involucran flujo, tal como flujo de calor, flujo de fluido o flujo de electricidad, se ha observado que la cantidad que fluye es directamente proporcional a la diferencia de potencial e inversamente proporcional a la resistencia que se aplica al sistema, 0,

$$\text{Flujo} \propto \frac{\text{potencial}}{\text{resistencia}} \quad (5)$$

En un circuito hidráulico simple, la presión en el sistema es la diferencia de potencial, y la rugosidad de la tubería es la resistencia al flujo. En un circuito eléctrico las aplicaciones más simples son expresadas por la ley de Ohm: el voltaje en el circuito es el potencial y la dificultad con la que los electrones emigran por el alambre, es la resistencia. En el flujo de calor a través de una pared, el flujo se lleva a efecto por la diferencia de temperatura entre las superficies calientes y frías. Recíprocamente, de la Ec. (5), cuando dos superficies de una pared están a diferente temperatura, necesariamente existe un

flujo y una resistencia al flujo de calor. La conductancia es la recíproca de la resistencia al flujo de calor, y la Ec. (6) puede expresarse por

$$\text{Flujo} \propto \text{conductancia} \times \text{potencia} \quad (6)$$

Para hacer de la Ec. (6) una igualdad, la conductancia debe evaluarse de tal manera, que ambos lados sean dimensional y numéricamente correctos. Supóngase que una cantidad medida de calor  $Q$  Btu ha sido transmitida por una pared de tamaño desconocido en un intervalo de tiempo  $\theta$  h con una diferencia de temperatura medida  $At$  °F. Escribiendo de nuevo la Ec. (6)

$$Q = \frac{Q'}{\theta} = \text{conductancia} \times At \quad \text{Btu/h} \quad (7)$$

y la conductancia tiene las dimensiones de Btu/(h)(°F). La conductancia es una propiedad ponderable de toda la pared, aún cuando se ha encontrado experimentalmente que el flujo de calor está independientemente influido por el grosor y el área de la misma. Es de desearse diseñar una pared que tenga ciertas características respecto al flujo de calor, la conductancia obtenida anteriormente no es útil, y es aplicable únicamente a la pared experimental. Para permitir un uso más amplio a la información experimental, se ha convenido reportar la conductancia únicamente cuando todas las dimensiones se refieren a valores unitarios. Cuando la conductancia se reporta para una cantidad de material de un pie de grueso con un área de flujo de un pie<sup>2</sup>, la unidad de tiempo 1 h y la diferencia de temperatura 1 °F, se llama conductividad térmica  $k$ . Las correlaciones entre la conductividad térmica y la conductancia de una pared de grueso  $L$  y área  $A$ , están entonces dadas por

$$\text{Conductancia} = k \frac{A}{L}$$

Y

$$Q = k \frac{A}{L} \Delta t \quad (8)$$

donde  $k$  tiene las dimensiones resultantes de la expresión  $QL/At$  o  $Btu/(h)$  (pie<sup>2</sup> de área de flujo) ( °F de diferencia de temperatura)/(pie de grueso de pared).

- Determinación experimental de  $k^*$  Sólidos no metálicos. En la Fig. 2, se muestra un aparato para la determinación de la conductividad térmica de sólidos no metálicos. Consiste de una placa calefactora eléctrica, dos especímenes idénticos de prueba a través de los cuales fluye el calor y dos chaquetas de agua con las cuales el calor se elimina. La temperatura en ambas fases del espécimen y a sus lados se mide por medio de termocuplas. Este aparato está provisto de un anillo protector para asegurar que todo el calor medido que entra a las placas pase a través de los especímenes con una pérdida despreciable por sus lados. Este anillo protector rodea el conjunto de prueba y consiste de un calentador auxiliar intercalado entre las porciones del material que se prueba. Mientras la corriente entra a la placa protectora, la entrada al calentador auxiliar se ajusta hasta que no haya diferencia de temperatura entre el espécimen y los puntos adyacentes en el anillo protector. Las observaciones se hacen cuando la entrada de calor y las temperaturas en ambas fases del espécimen permanecen estables. Ya que la mitad del gasto eléctrico medido fluye a través de cada espécimen y la diferencia de temperaturas y dimensiones del espécimen se conocen,  $k$  se puede computar directamente de la Ec. (8).

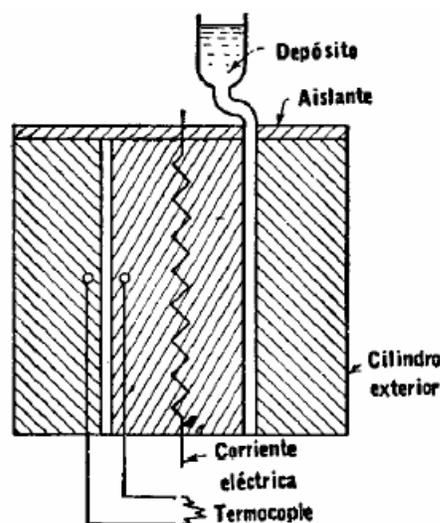


FIGURA 2. Aparatos para conductividad líquida.  
(según J. F. D. Smith)

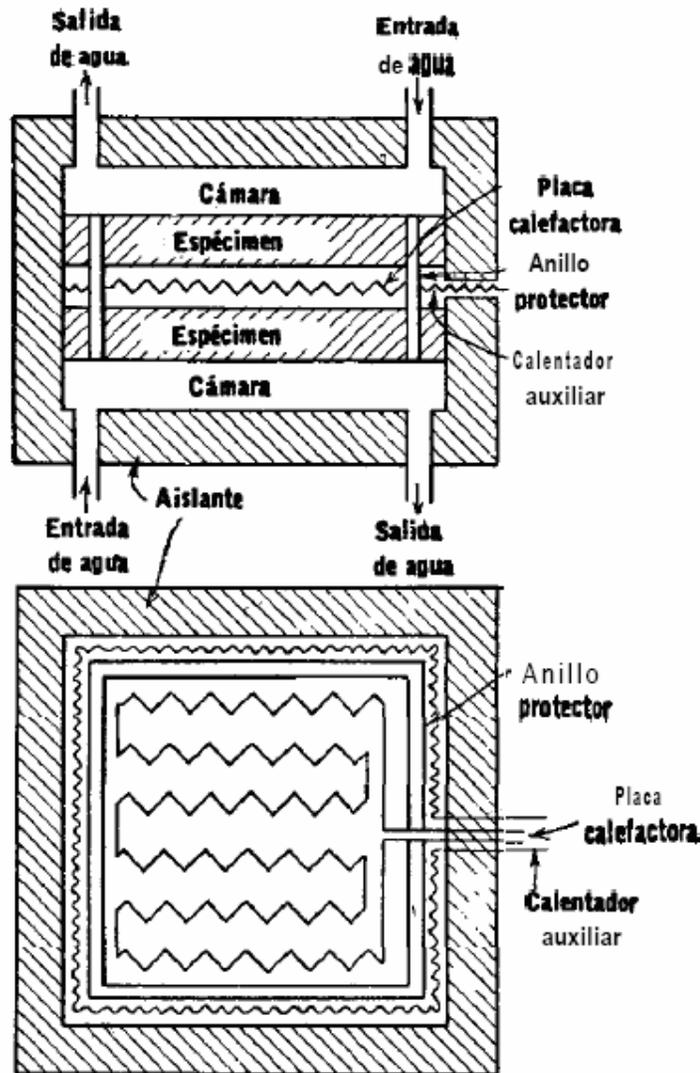


FIGURA 3 Aparato de la conductividad protegido.

- Líquidos y gases. Hay grandes dificultades en la determinación de conductividades de líquidos y gases. Si el calor fluye a través de una película gruesa de líquido o gas, se origina convección libre y la conductividad es decepcionantemente alta. Para reducir la convección es necesario usar películas muy delgadas y diferencia de temperatura muy reducida, con los consiguientes errores en la medición. Un método aplicable a fluidos viscosos consiste de una pequeña barra de conductor eléctrico que pasa a través de un tubo horizontal que se llena con el líquido a probar. El tubo se sumerge en un baño a temperatura constante. La resistencia del alambre se calibra contra su

temperatura. Para cierta razón de entrada de calor y para la temperatura del alambre obtenida de la medida de la resistencia, la conductividad puede calcularse usando ecuaciones apropiadas. Sin embargo, hay un método más exacto, el de Bridgman y Smith, consiste de un anulo de fluido muy pequeño entre dos cilindros de cobre sumergidos en un baño a temperatura constante, como se muestra en la Fig. 2. El calor suministrado al cilindro interior por la resistencia, fluye a través de la película al cilindro exterior, donde se elimina por el baño. Este aparato, a través del uso del deposito, asegura que el anulo esté lleno de líquido y se adapta también a gases. La película es de 1/64 plg de grueso, y la diferencia de temperatura se mantiene muy reducida.

- Influencia de la temperatura y la presión en  $k$ . La conductividad térmica de los sólidos es mayor que la de los líquidos, la que a su vez es mayor que la de los gases. Es más fácil transmitir calor a través de un sólido que a través de un líquido y más fácil por un líquido que por un gas. Algunos sólidos, tales como los metales, tienen altas conductividades térmicas y se llaman conductores. Otros tienen bajas conductividades y son malos conductores del calor. Estos son aislantes. En las determinaciones experimentales descritas arriba, se supuso que la conductividad térmica es independiente de la temperatura en cualquier punto del material de prueba. Consecuentemente, los valores reportados de  $k$  son los promedios del espécimen completo, y el error introducido por esta suposición se puede estimar examinando las Tablas térmicas para este propósito. Las conductividades de los sólidos pueden, ya sea aumentar o disminuir con la temperatura, y en algunos casos pueden hasta invertir su velocidad de cambio de una disminución a un incremento. Para la mayoría de los problemas prácticos no hay necesidad de introducir un factor de corrección para las variaciones de la conductividad térmica con la temperatura. Sin embargo, la variación puede usualmente expresarse por la ecuación lineal siguiente

$$k = k_0 + \gamma t$$

donde  $k_0$ , es la conductividad a  $^{\circ}\text{F}$  y  $\gamma$  es una constante que denota el cambio en la conductividad por grado de cambio en la temperatura. La conductividad para

muchos líquidos decrece con aumento en la temperatura, aunque el agua es una excepción notable. Para todos los gases y vapores comunes, hay un aumento con aumento en la temperatura. Sutherland dedujo una ecuación a partir de la teoría cinética que es aplicable a la variación de la conductividad de los gases con la temperatura

$$k = k_{32} \frac{492 + C_k}{T + C_k} \left( \frac{T}{492} \right)^{3/2}$$

donde  $C_k$  = constante de Sutherland  
 $T$  = temperatura absoluta del gas, °R  
 $k_{32}$  = conductividad del gas a 32°F

Parece ser que la influencia de la presión en la conductividad de los sólidos y líquidos es despreciable, y los datos reportados sobre gases son muy inexactos debido a los efectos de la convección libre y radiación, que no permiten hacer generalizaciones. A partir de la teoría cinética de los gases, se puede concluir que la influencia de la presión deberá ser pequeña, excepto a vacíos muy bajos.

- Resistencia de contacto. Uno de los factores que origina error en la determinación de la conductividad térmica, es la naturaleza de la unión formada entre la fuente de calor y el fluido o espécimen sólido que hace contacto con él y transmite el calor. Si un sólido recibe calor haciendo contacto con un sólido, es casi imposible excluir la presencia de aire u otro fluido en el punto de contacto. Aun cuando un líquido esté en contacto con un metal, la presencia de pequeñas rugosidades puede entrapar permanentemente burbujas infinitesimales de aire, y debe tenerse en cuenta que pueden causar errores considerables.

- Derivación de la ecuación general de la conducción. En las Ecs. (5) a (8) se obtuvo una idea de la conducción de calor por observaciones no calificadas de las relaciones entre el flujo de calor, potencial y resistencia. Ahora es posible desarrollar una ecuación que tenga una aplicación más amplia y a

partir de la cual se Derivación de la ecuación general de la conducción. puedan deducir otras ecuaciones para aplicaciones especiales. La Ec. (8) puede escribirse en forma diferencial

$$\frac{dQ'}{d\theta} = k dA \frac{dt}{dx} \quad (9)$$

En este enunciado  $k$  es la única propiedad de la materia y se supone que es independiente de las otras variables, Refiriéndose a la Fig. 4, un cubo de volumen elemental  $dv = dx dy dz$  recibe una cantidad diferencial de calor  $dQ'_1$  Btu a través de su cara izquierda  $yz$  en un intervalo de tiempo  $d\theta$ . Supóngase que todas las caras, menos la izquierda y derecha  $yz$ , están aisladas. En el mismo intervalo de tiempo, la cantidad de calor  $dQ'_2$  abandona el lado derecho. Es claro que pueden ocurrir cualquiera de estos tres efectos:  $dQ'_1$  puede ser mayor que  $dQ'_2$  de manera que el volumen elemental almacene calor, aumentando la temperatura promedio del cubo;  $dQ'_2$ .

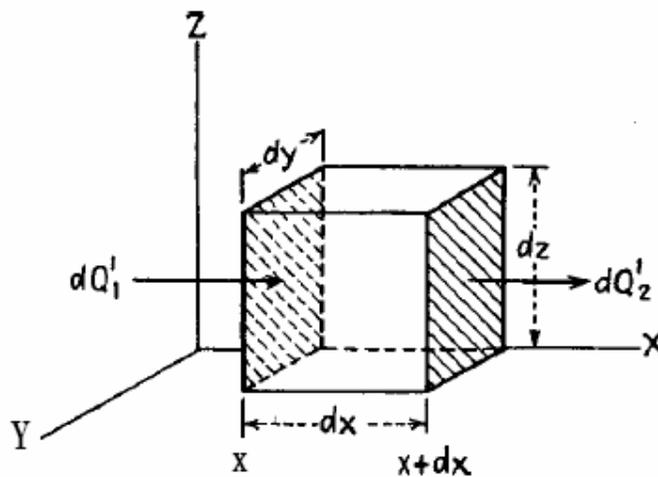


FIGURA 4. Flujo de calor unidireccional

- Conductividad térmica por mediciones de conductividad eléctrica. La relación entre las conductividades térmicas y eléctricas de los metales demuestra una aplicación de la derivación de Fourier incorporada en la Ec. (10) y

es un método muy útil para determinar las conductividades térmicas de los metales. Una barra de metal aislada, como se muestra en la Fig. 5, tiene sus extremos transversales

$$\frac{dQ'}{do} = \frac{dQ'_1}{do} = \frac{dQ'_2}{d\theta} = k \, dy \, dz \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \right) dx \quad (10)$$

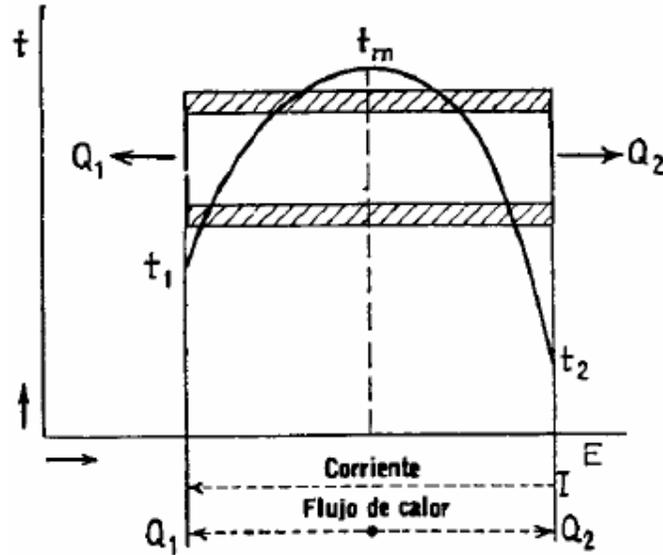


FIGURA 5. Flujo de calor en un metal

expuestos a baños diferentes de temperatura constante \$t\_1\$ y \$t\_2\$. Sujetando terminales eléctricas a las caras izquierda y derecha, respectivamente, se puede pasar una corriente de \$I\$ amperios en la dirección indicada, generando calor a través de la longitud de la barra.

#### 4. CONVECCIÓN

La transferencia de calor por convección se debe al movimiento del fluido. El fluido frío adyacente a superficies calientes recibe calor que luego transfiere al resto del fluido frío mezclándose con él. La convección libre o natural ocurre cuando el movimiento del fluido no se complementa por agitación mecánica. Pero cuando el fluido se agita mecánicamente, el calor se transfiere por convección forzada. La agitación mecánica puede aplicarse por medio de un

agitador, aun cuando en muchas aplicaciones de proceso se induce circulando los fluidos calientes y fríos a velocidades considerables en lados opuestos de tubos. Las convecciones libre y, forzada ocurren a diferentes velocidades, la última es la más rápida y por lo tanto, la más común. Los factores que promueven altas transferencias para la convección forzada, no necesariamente tienen el mismo efecto en la convección libre.

- Coeficientes de película. Se vio que en el flujo de calor de una tubería al aire, el paso de calor hacia el aire no se efectuó solamente por convección, en lugar de esto, el flujo se efectúa parcialmente por radiación y parcialmente por convección libre. Existía una diferencia de temperatura entre la superficie de la tubería y la temperatura promedio del aire. Puesto que la distancia de la superficie del tubo hasta la región del aire a temperatura promedio es indefinida, la resistencia no se puede computar usando  $R_a = L_a/k_aA$ , usando  $k$  para el aire. Sino que la resistencia debe determinarse experimentalmente midiendo apropiadamente la temperatura de la superficie del tubo, la temperatura del aire y el calor transferido desde el tubo, según la cantidad de vapor que se condense en él. La resistencia de la superficie completa se computó entonces de

$$R_a = \frac{\Delta t_a}{Q} \quad (\text{h})(^\circ\text{F})/\text{Btu}$$

## 5. TRANSFERENCIA DE CALOR ENTRE SÓLIDOS Y FLUIDOS

Flujo laminar y flujo turbulento. El número de Reynolds. Cuando un líquido fluye en un tubo horizontal, puede hacerlo en forma de movimiento de torbellino no localizado conocido como flujo turbulento, como se muestra en la Fig. 6 graficando la velocidad local en la tubería vs la distancia de su centro. Si la velocidad del líquido disminuye bajo cierto valor determinado, la naturaleza del flujo cambia y desaparece la turbulencia. Las partículas del fluido fluyen en líneas paralelas a lo largo del eje del tubo, esto se conoce como flujo laminar. Un

experimento usado para la determinación visual del tipo de flujo, consiste de un tubo de vidrio a través del cual fluye agua. Se inyecta una corriente muy fina de anilina en el centro del tubo, y si la tinta permanece en el centro en una distancia razonable, es indicativo de flujo laminar. Son sinónimos de flujo laminar flujo viscoso, o flujo paralelo. Experimentos adicionales han indicado que el flujo laminar procede como el deslizamiento de delgados cilindros concéntricos de líquido, uno dentro del otro, como se muestra en la Fig. 7. También se muestra que la distribución de las velocidades de los cilindros es parabólica con el máximo al centro aproximándose a cero en la pared del tubo.

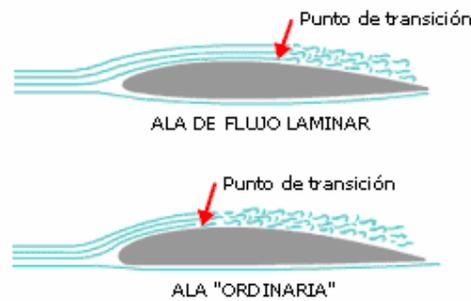


FIGURA 6. Ala ordinaria y de flujo laminar

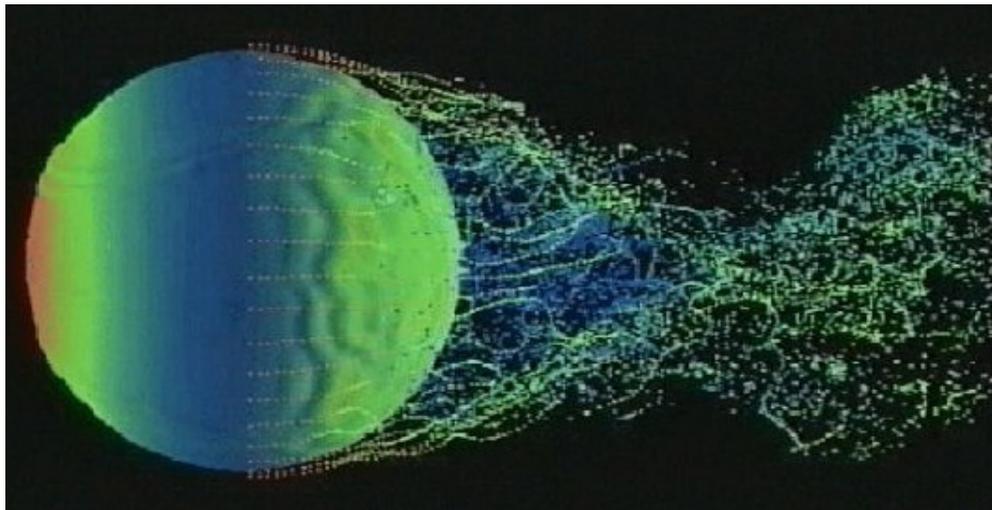


FIGURA 7. Diagrama espectral del flujo turbulento en torno a una esfera

Reynolds” observó que el tipo de flujo adquirido por un líquido que fluya dentro de un tubo, era influido por la velocidad, densidad y viscosidad del líquido, además

del diámetro del tubo. Cuando estas variables se relacionan como el cociente  $Du_p/\mu$ , llamado el número de Reynolds, se encuentra que siempre existe flujo turbulento cuando el valor numérico de  $Du_p/\mu$  excede las cercanías de 2.300 y usualmente cuando excede 2.100. Por definición, la transferencia de calor por convección procede principalmente a resultas de mezcla, y mientras que este requerimiento parece ser satisfecho por el flujo turbulento, no lo es por el flujo laminar, el flujo laminar es, de hecho, una forma de conducción. A velocidad a la que el calor es transferido hacia / o de un líquido a un tubo, es considerablemente menor en el flujo laminar que en el turbulento, y en la práctica industrial es casi siempre deseable evitar condiciones tales como la baja velocidad de un líquido que origina flujo laminar.

## 6. ANÁLISIS DIMENSIONAL

El método de correlacionar cierto número de variables en una sola ecuación, expresando un efecto, se conoce como análisis dimensional. Ciertas ecuaciones que describen fenómenos físicos pueden obtenerse racionalmente de leyes básicas derivadas de experimentos. Un ejemplo de esto es el tiempo de vibración de un péndulo a partir de la segunda ley de Newton y la constante gravitacional. Otros efectos pueden describirse por ecuaciones diferenciales, y el curso o extensión del fenómeno se puede deducir por medio del cálculo. En la física elemental se encuentran numerosos ejemplos de este tipo. Hay otros fenómenos en los que hay insuficiente información para permitir la formulación, ya sea de las ecuaciones diferenciales o de una noción clara del fenómeno al cual se le puedan aplicar leyes fundamentales. Este último grupo debe ser estudiado experimentalmente, y la correlación de las observaciones es un acercamiento empírico a la ecuación. Las ecuaciones que pueden obtenerse teóricamente son también obtenidas de modo empírico, pero lo contrario no es cierto.

## 7. RADIACIÓN

Muy a menudo la radiación se considera como un fenómeno perteneciente sólo a cuerpos calientes luminosos. Ahora se verá que éste no es el caso y que la radiación, como un tercer medio de transferencia de calor, difiere bastante de la conducción y de la convección. En la conducción de calor a través de sólidos, el mecanismo consiste en la transferencia de energía a través de cuerpos cuyas moléculas, excepto por las vibraciones, permanecen continuamente en posiciones fijas. En la convección, el calor es primero absorbido de la fuente por partículas de fluido inmediatamente adyacentes a ella y entonces transferido al interior del fluido mezclándose con él. Ambos mecanismos requieren la presencia de un medio para transportar el calor de la fuente al receptor. La transferencia de calor radiante no requiere la intervención de un medio, y el calor puede ser transmitido por radiación a través del vacío absoluto.

## 8. LONGITUD DE ONDA Y FRECUENCIA

Es conveniente mencionar las características de la energía radiante en tránsito, antes de discutir los orígenes de la energía radiante. La energía radiante es de la misma naturaleza que la luz visible ordinaria. Se considera, de acuerdo con la teoría electromagnética de Maxwell, como consistente de un campo eléctrico oscilante acompañado por un campo magnético también oscilante en fase con él. La variación de la intensidad con el tiempo del campo eléctrico pasando por un punto dado puede ser representada por una onda senoidal que tiene longitud finita de cresta a cresta, que es  $\lambda$ , la longitud de onda. El número de ondas que pasan por un punto dado en la unidad de tiempo, es la frecuencia de la radiación, y el producto de la frecuencia por la longitud de onda es la velocidad de la onda. Para el tránsito en el vacío, la velocidad de propagación de la radiación está muy cercana a las 186 000 millas por segundo. Para el tránsito a través de un medio, la velocidad es algo menor, aun cuando la desviación generalmente se desprecia, la longitud de onda de la radiación puede especificarse en cualquier unidad de longitud, pero el micrón,  $1 \times 10^{-4}$  cm, es común. Todas las ondas conocidas,

incluidas en la teoría electromagnética, están situadas entre las ondas cortas de los rayos cósmicos, menos de  $1 \times 10^{-6}$  micrones, las ondas largas de radio se sitúan arriba de  $1 \times 10^{-7}$  micrones. De éstas, únicamente las ondas en la región entre cerca y un poco después del infrarrojo con longitudes de onda de 3/4 a 400 micrones, son de importancia en la transferencia de calor radiante, tal como se encuentra en el equipo industrial ordinario.

- Los orígenes de la energía radiante. Se cree que la energía radiante se origina dentro de las moléculas del cuerpo radiante, los átomos de cuyas moléculas vibran en un movimiento armónico simple como osciladores lineales. Se cree que la emisión de energía radiante representa una disminución en las amplitudes de vibraciones dentro de las moléculas, mientras que una absorción de energía representa un aumento. En su esencia, la teoría de los cuantos postula que para cada frecuencia de radiación hay una pequeña pulsación mínima de energía que debe emitirse. Este es el cuanto, no pudiendo emitirse una cantidad más pequeña aun cuando sí se puede emitir un múltiplo de esta cantidad mínima. La radiación total de energía de una frecuencia dada emitida por un cuerpo, es un número entero de cuantos a esa frecuencia. Para diferentes frecuencias, el número de cuantos y por ende, de energía total, puede ser diferente. [Planck demostró que la energía asociada con un cuanto es proporcional a la frecuencia de vibración o, si la velocidad de toda la radiación se considera constante, inversamente proporcional a la longitud de onda. Así, la energía radiante de una frecuencia dada se puede representar como consistiendo de sucesivas pulsaciones de energía radiante, teniendo cada pulsación el valor del cuanto para una frecuencia dada.](#)

El esquema atómico propuesto por Bohr es útil para tener una comprensión más clara del posible origen de la energía radiante. Se cree que los electrones viajan alrededor del núcleo de un átomo en órbitas elípticas a distancias variables del núcleo. Los electrones de la órbita exterior poseen energías definidas que comprenden sus energías cinéticas y potenciales, en virtud de su rotación alrededor del núcleo. La energía potencial es la energía requerida para remover

un electrón de su órbita a una distancia infinita del núcleo. Un electrón dado en una órbita a una cierta distancia del núcleo, tendrá determinada energía. Si ocurriera una perturbación, tal como la colisión de un átomo con otro o con un electrón, el electrón en cuestión podría ser desplazado de su órbita y podría ( 1) volver a su órbita original, (2) pasar a otra órbita cuyos electrones poseen diferente energía, o (3) dejar el sistema influido por el núcleo. Si la transición es de una órbita de mayor energía a una de menor, el reajuste se efectúa radiando el exceso de energía. Otro origen de la energía radiante puede atribuirse a los cambios en las energías de átomos y moléculas sin referencia a sus electrones individuales. Si dos o más núcleos de la molécula están vibrando uno con respecto al otro, un cambio en la amplitud o amplitudes de la vibración causará un cambio en el contenido de energía. La energía de la molécula puede cambiarse por una alteración de su energía cinética de traslación o rotación y esto también resultará en emisión de energía radiante. Una disminución en velocidad corresponde a la emisión de energía radiante, mientras que un aumento corresponde a la absorción de energía radiante. Puesto que la temperatura es una medida del promedio de la energía cinética de las moléculas, a mayor temperatura mayor energía cinética promedio, tanto de traslación como de vibración. Puede esperarse, por lo tanto, que a mayor temperatura mayor la cantidad de energía radiante emitida por una sustancia. Puesto que el movimiento molecular cesa completamente sólo en el cero absoluto de temperatura, puede concluirse que todas las sustancias emitirán o absorberán energía radiante siempre que la temperatura de las sustancias esté sobre el cero absoluto.

Para que la energía radiante se emita desde el interior de un sólido, debe penetrar la superficie del sólido sin ser disipada en producir otros cambios de energía dentro de las moléculas. Hay pocas probabilidades de que la energía radiante generada en el interior de un sólido alcance su superficie sin encontrar otras moléculas y, por lo tanto, toda la energía radiante emitida de la superficie de los cuerpos sólidos es generada por cambios en los niveles de energía de las moléculas cercanas o en su superficie. La cantidad de energía radiante emitida

por un sólido es, consecuentemente, función de la superficie del cuerpo, y recíprocamente, la radiación incidente en un cuerpo sólido se absorbe en su superficie. La probabilidad de que la energía interna generada alcance la superficie, es por mucho mayor para los gases calientes radiantes que para los sólidos, y la energía radiante emitida por un gas es función del volumen de él más bien que de la superficie de la forma del gas. En los líquidos la situación es intermedia entre gases y sólidos, y se puede originar radiación un poco por debajo de la superficie, dependiendo de la naturaleza del líquido.

## **9. FLUJO A CONTRACORRIENTE: INTERCAMBIADORES DE DOBLE TUBO**

El equipo de transferencia de calor se define por las funciones que desempeña en un proceso. Los intercambiadores recuperan calor entre dos corrientes en un proceso. El vapor y el agua de enfriamiento son servicios y no se consideran en el mismo sentido que las corrientes de proceso recuperables. Los calentadores se usan primariamente para calentar fluidos de proceso, y generalmente se usa vapor con este fin, aun cuando en las refinerías de petróleo el aceite caliente recirculado tiene el mismo propósito. Los enfriadores se emplean para enfriar fluidos en un proceso, el agua es el medio enfriador principal. Los condensadores son enfriadores cuyo propósito principal es eliminar calor latente en lugar de calor sensible, Los hervidores tienen el propósito de suplir los requerimientos de calor en los procesos de destilación como calor latente. Los evaporadores se emplean para la concentración de soluciones por evaporación de agua. Si además del agua se vaporiza cualquier otro fluido, la unidad es un vaporizador.

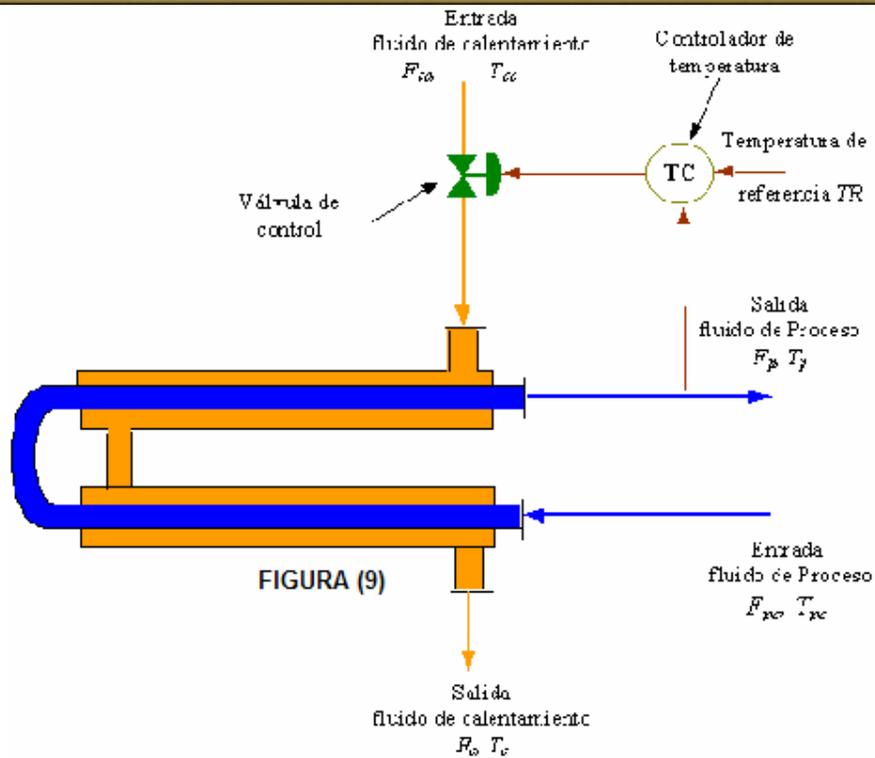
- Intercambiadores de doble tubo. En las secciones anteriores, se usaron aparatos de tubos concéntricos para las derivaciones relacionadas con la transferencia de calor. La imagen industrial de este aparato es el intercambiador de doble tubo, que se muestra en la Fig. 8. Las partes principales son dos juegos de tubos concéntricos, dos tes conectoras, un cabezal de retorno y un codo en U. La tubería interior se soporta en la exterior mediante estoperos y el fluido entra al

tubo interior a través de una conexión roscada localizada en la parte externa del intercambiador. Las tes tienen boquillas o conexiones roscadas que permiten la entrada y salida del fluido del anulo que cruza de una sección a otra a través del cabezal de retorno. La tubería interior se conecta mediante una conexión en U que está generalmente expuesta y que no proporciona superficie de transferencia de calor. Cuando se arregla en dos pasos, como en la Fig. 8, la unidad se llama horquilla.

El intercambiador de doble tubo es extremadamente útil, ya que se puede ensamblar en cualquier laboratorio de mecánica de presión a partir de partes estándar, proporcionando superficies de transferencia de calor a bajo costo. Un gran fabricante de accesorios para tuberías de conexionado de alta presión y temperatura es Swagelok.



FIGURA (8)



## 10. DISPOSICION DE FLUJOS PARA AUMENTAR LA RECUPERACION DE CALOR

Déficit de recuperación de calor en intercambiadores. La limitación más importante de los intercambiadores 1-2 tratados en el tema anterior, es su inherente inhabilidad de efectuar una recuperación de calor efectiva. Las ventajas de los intercambiadores 1-2 ya se han discutido. Cuando en un intercambiador 1-2 ocurre un cruce de temperatura, el valor de  $F_T$  disminuye bruscamente, y el pequeño rango al cual la temperatura de salida de la coraza puede descender abajo de la temperatura de salida de los tubos, los elimina de consideraciones relativas a altos niveles de recuperación de calor. Supónganse condiciones en las cuales el fluido de la coraza se reduce de 200 a 140°F mientras que el fluido en los tubos aumenta de 80 a 160°F. Todo el calor del fluido caliente de 140 a 80°F se pierde necesariamente en un intercambiador 1-2 debido a que se requiere una aproximación muy cercana entre el fluido de los

tubos al final del paso paralelo y la salida del fluido de la coraza  $T_2$  como se muestra en las Figs. 8 y 9.

## 11. GASES

El cálculo del calentamiento y enfriamiento de gases difiere únicamente en aspectos menores de los procedimientos empleados en sistemas líquido-líquido, las relaciones entre coeficientes de película para los gases y las caídas de presión permitidas, dependen críticamente de las presiones de operación del sistema mientras que para fluidos incomprensibles la presión de operación no es importante. Los valores de los coeficientes de película para los gases son, generalmente, menores que aquellos que se obtienen para líquidos a iguales valores de masa-velocidad, las diferencias son inherentes a las propiedades de los gases.

- Propiedades de los gases. Las propiedades de los gases se comparan con aquellas de los líquidos para acentuar las mayores diferencias entre ellos. Las viscosidades de los gases varían desde 0.015 hasta 0.025 centipoises, o cerca de un décimo a un quinto de los valores obtenidos para los líquidos menos viscosos. Las viscosidades de los gases aumentan con la temperatura en contraste con la de los líquidos y el número de Reynolds es correspondientemente mayor aun cuando la masa-velocidad sea menor. Las conductividades térmicas de los gases, con la excepción del hidrógeno, son un quinto de los valores, usualmente obtenidos, para los líquidos orgánicos y cerca de un quinceavo de los valores para el agua y soluciones acuosas. Los calores específicos para gases orgánicos y vapores son ligeramente menores que aquellos de los líquidos orgánicos. Con la excepción del hidrógeno, el calor específico de los gases inorgánicos y vapores de hidrocarburos ligeros varían de 0.2 a 0.5 Btu/(lb)(°F). Aun cuando el calor específico, viscosidad y conductividad térmica de un gas aumenten con la temperatura, el número de Prandtl  $C\mu/k$  tiene poca dependencia de la temperatura, excepto cuando ésta es cercana a la crítica. El valor de  $C\mu/k$  calculado a cualquier temperatura particular sirve

suficientemente bien para soluciones de problemas que envuelvan el mismo gas a otra temperatura dentro de proximidad razonable. Los valores de  $C\mu/k$  están dados en la tabla para gases comunes de Prandtl.

Gas	$\frac{C\mu}{k}$
Aire .....	0.74
Amoniaco .....	0.78
Bióxido de azufre .....	0.80
Bióxido de carbono .....	0.84
Etileno .....	0.83
Hidrógeno .....	0.74
Metano .....	0.79
Monóxido de carbono .....	0.74
Nitrógeno .....	0.74
Oxígeno .....	0.74
Sulfuro de hidrógeno .....	0.77
Vapor de agua .....	0.78

NUMEROS DE PRANDTL PARA GASES  
A 1 ATM Y 212 °F

Mientras que la mayoría de los datos de viscosidad, calor específico y conductividad de los gases se tabulan a presión atmosférica, se pueden hacer correcciones a otras presiones mediante métodos ya establecidos. Las viscosidades pueden corregirse mediante la correlación de Comings y Egly, mediante el empleo del método de Othmer y Josefowitz. Los calores específicos pueden corregirse mediante el método de Watson y Smith. Estas correcciones, sin embargo, no tendrán significado a menos que la presión del gas sea grande. Excepto a vacíos muy altos, las conductividades de los gases no se afectan por la presión. El cálculo de la densidad o volumen específico de un gas mediante el uso de la ley de los gases perfectos es permisible para presiones moderadas, pero puede tener error a altas presiones. Si se dispone de datos de compresión, es preferible su uso a altas presiones, o la ley de los gases perfectos puede reemplazarse por una ecuación de estado más aceptable como la de Van der Waals o Beattie- Bridgman.

## 12. CALCULOS PARA LAS CONDICIONES DE PROCESO

Condiciones óptimas de proceso. La experiencia obtenida en el cálculo de intercambiadores tubulares existentes será aplicada ahora a casos en los que únicamente se conocen condiciones de proceso. Antes de acometer estos cálculos, se debe hacer una investigación para determinar si algunas de las partes del equipo pueden acoplarse de tal manera que las temperaturas de proceso sean las óptimas. Esta es una cuestión económica similar a la temperatura óptima de

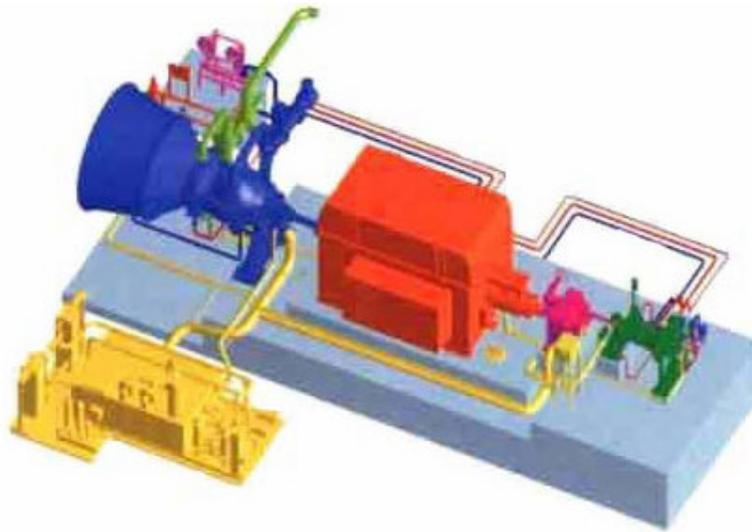


FIGURA 10. Proceso típico empleado en la recuperación de calor

salida del agua y al uso óptimo del vapor de escape.

## 13. CONDENSACION DE VAPORES SIMPLES

Un fluido puede existir como gas, vapor o líquido. El cambio de líquido a vapor es vaporización, y el cambio de vapor a líquido es condensación. Las cantidades de calor involucradas en la condensación o vaporización de una libra de fluido son idénticas. Para fluidos puros a una presión dada, el cambio de líquido a vapor o de vapor a líquido ocurre sólo a una temperatura, que es la temperatura de saturación o de equilibrio. Puesto que los cambios de transferencia de calor

vapor-líquido usualmente ocurren a presión constante o casi constante en la industria, la vaporización o condensación de un compuesto simple normalmente se efectúa isotérmicamente. Cuando un vapor se remueve después de su formación y no se le permiten contactos posteriores con el líquido, la adición de calor al vapor causa sobrecalentamiento, durante el cual se comporta como un gas. Si se condensa una mezcla de vapores en lugar de un vapor puro, a presión constante, en muchos casos los cambios no tienen lugar isotérmicamente. El tratamiento general de mezcla de vapores difiere en ciertos aspectos de aquéllos de los compuestos simples.

La condensación tiene lugar a muy diferentes velocidades de transferencia de calor por cualquiera de los dos siguientes y distintos mecanismos físicos que serán discutidos, en forma de gota y en forma de película. El coeficiente de película en la condensación está influido por la textura de la superficie en la cual tiene lugar la condensación y también si la superficie condensante está montada verticalmente u horizontalmente. A pesar de estas complicaciones aparentes, la condensación, igual que el flujo laminar, es susceptible de un estudio matemático directo.

Condensación en forma de gota y de película. Cuando un vapor puro saturado entra en contacto con una superficie fría tal como un tubo, se condensa y puede formar gotitas en la superficie del tubo. Estas gotitas pueden no exhibir ninguna afinidad por la superficie y en lugar de cubrir el tubo se desprenden de él, dejando metal descubierto en el cual se puede formar sucesivas gotitas de condensado. Cuando la condensación ocurre por este mecanismo se llama condensación en forma de gota. Sin embargo, usualmente puede aparecer una inconfundible película a medida que el vapor se condensa en el tubo cubriéndolo. Se requiere vapor adicional para condensarse en la película del condensado en lugar de hacerlo sobre la pared del tubo directamente. Esta es condensación en forma de película. Los dos mecanismos son distintos e independientes de la cantidad de vapor condensante por pie cuadrado de superficie. La condensación en forma de película no es una transición de la condensación en forma de gota

debido a la rapidez a la cual el condensado se forma sobre el tubo. Debido a la resistencia de la película de condensado al paso de calor a través de ella, los coeficientes de transferencia de calor para la condensación por gotas son de cuatro a ocho veces mayores que para la condensación de película. El vapor de agua es el único vapor puro conocido que se condensa en forma de gota, y se requieren condiciones especiales para que esto ocurra. Estas son descritas por Drew, Nagle y Smith, influyendo principalmente la presencia de polvo en la superficie o el uso de contaminantes que se adhieran a la misma. Nagle ha identificado materiales que promueven la condensación en forma de gota en el vapor, aun cuando estas sustancias introducen impurezas en el vapor de agua. La condensación por gota también tiene lugar cuando varios materiales se condensan simultáneamente como en una mezcla, y donde la mezcla de condensado no es miscible, como en el caso de hidrocarburos y vapor de agua. Sin embargo, durante varios periodos en la operación normal de un condensador normal de vapor de agua, el mecanismo puede ser inicialmente del tipo de película, y cambiar luego a la condensación en forma de gota, y un tiempo más tarde invertir el mecanismo. Debido a la falta de control no es costumbre en los cálculos considerar la ventaja de los altos coeficientes que han sido obtenidos en experimentos con condensación por gotas.

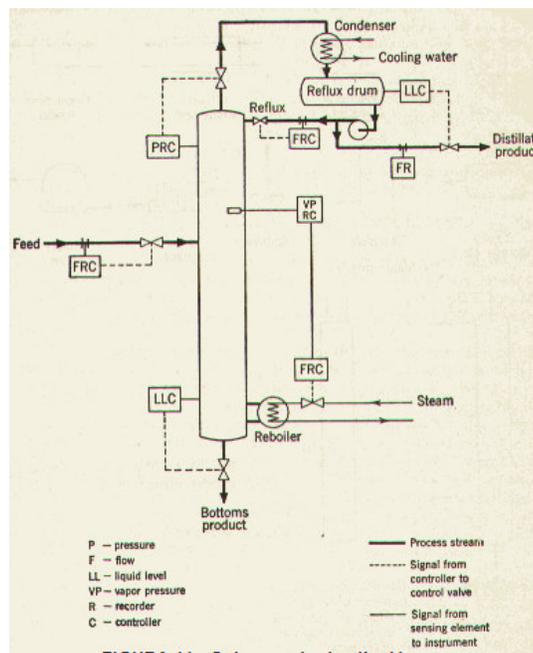


FIGURA 11. Columna de destilación con sus auxiliares.

## 14. EVAPORACION

Mucho de nuestro presente conocimiento del fenómeno de ebullición se obtiene del trabajo de Jacob y Fritz y las investigaciones posteriores de Jakob. Cuando a través de un tubo fluye vapor de agua y aquel se encuentra sumergido en un recipiente con líquido, se forman pequeñas burbujas de vapor de una manera completamente al azar en la superficie del tubo. El calor que pasa a través de la superficie del tubo donde no se forman burbujas, entra por convección al líquido que lo rodea. Algo del calor del líquido fluye entonces hacia la burbuja, provocando evaporación desde su superficie interna hacia el interior de ella misma. Cuando se ha desarrollado suficiente fuerza ascensorial entre la burbuja y el líquido, ésta se libera de las fuerzas que la mantienen adherida al tubo y sube a la superficie del recipiente. Kelvin postuló que, para que esta conducta prevalezca, el líquido debe estar más caliente que su temperatura de saturación en la burbuja incipiente. Esto es posible, ya que la naturaleza esférica de la burbuja establece fuerzas de superficie en el líquido, de manera que la presión de saturación dentro de la burbuja es menor que la del líquido que la rodea. La temperatura de saturación de la burbuja siendo menor que la del líquido que la rodea, permite el flujo de calor dentro de la burbuja. El número de puntos en los que se originan burbujas depende de la textura de la superficie del tubo, aumentando con la rugosidad. Jakob y Fritz han detectado la presencia de líquido sobrecalentado cercano a la superficie de calentamiento y han encontrado que la diferencia entre la temperatura del líquido sobrecalentado y la temperatura de saturación del vapor es menor para superficies rugosas que para aquellas lisas.

## **15. CONCLUSIONES**

Nos hemos podido dar cuenta como el primer principio nos permite realizar balances de energía en los diferentes sistemas, cuantificando la energía acumulada en el mismo a partir del conocimiento de las energías entrantes salientes y de la energía térmica generada por conversión de otras formas de energía, que pueden ser, electromagnética, nuclear, petroquímica. El sentido de la transferencia de calor lo especifica el segundo principio, mostrándonos que el flujo de calor, se produce en el sentido de las temperaturas que tienden a bajar. La transferencia de calor tiene innumerables reglas experimentales, muy simples, que a su vez permiten cuantificar la velocidad con la cual ocurren todas estas transferencias de calor, en términos del grado de desequilibrio térmico.

## **16. RECOMENDACIONES**

La transferencia de calor es una de las asignaturas en donde prima, para su mayor comprensión, la práctica. En todos los libros relacionados con el tema hay muchos métodos que son considerados como empíricos, pero que los autores discutieron con profesionales del área. Todos estos libros y textos deben ser tomados como suplemento, ya que nunca podrán llegar a sustituir una excelente fundamentación en los procesos de ingeniería. Como lo he dicho siempre, la práctica es lo que te dará una mayor comprensión de los temas tratados en este trabajo, existen muchos profesionales que tienen conceptos teóricos muy buenos y piensan que por haber estudiado con libros costosos, esto hace que sean autoridades eminentes de cualquier materia. A su vez, también existen técnicos profesionales con una práctica maravillosa pero con vacíos teóricos bastante importantes. Esto hace que por profesionales; las personas empíricas sean menospreciadas, y a su vez, confundida la ideología autodidacta. Todos somos empíricos, todos aprendemos a caminar sin manuales, sin diplomas, para mí en lo personal, ha resultado mucho mejor llenar estos vacíos a través de combinar la práctica con la teoría.

Nunca debemos cometer el error de menospreciar a alguien, todos los días estamos en un constante aprendizaje, físicos tan sabios como Newton, jamás dejaron a un lado la oportunidad de aprender de la naturaleza, el entorno y las personas. La ingeniería y su, base fundamental, es desarrollar soluciones, plantear iniciativas y hacer posible lo imposible, jamás se concibió como un medio para crear prejuicios adicionales a los que muchos de nosotros nos enfrentamos todos los días.

## 17. BIBLIOGRAFÍA

- a. Tripler, Paul A. Física Preuniversitaria.
- b. Cengel, Yunus. Transferencia de calor y masa.
- c. Kreith. Bohn. Principios de transferencia de calor.
- d. Kern. Q Donald. Procesos de transferencia de calor.