



Universidad Nacional
SAN LUIS GONZAGA



Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial, siempre y cuando den crédito y licencia a nuevas creaciones bajo los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>



INFORME DE REVISIÓN

Se ha realizado el análisis con el software antiplagio de la Universidad Nacional "San Luis Gonzaga", por parte de los docentes reponsables, al documento cuyo título es:

PÉRDIDAS DE CALOR POR CONVECCIÓN EN LA PLANTA PILOTO DE CONSERVAS Y ALCOHOLES

presentado por:

ROSA ALMENDRA BEATRIZ López Zegarra

del nivel **PREGRADO** de la facultad de **INGENIERIA QUIMICA Y PETROQUIMICA** obteniéndose como resultado una coincidencia de **27.93%** otorgándosele el calificativo de:

APROBADO

Se adjunta al presenta el reporte de evaluación del software antiplagio.

Observaciones:

El trabajo fue **APROBADO** con un 27.9 % de coincidencias.

Ica, 15 de Agosto de 2020



SANTOS HUMBERTO OLIVERA MACHADO
COORDINADOR
SOFTWARE ANTIPLAGIO
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y
PETROQUIMICA



RAUL GERARDO AVILA MEZA
ASESOR
SOFTWARE ANTIPLAGIO
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y
PETROQUIMICA

UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA” DE ICA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA



Trabajo Monográfico para Optar el Título de Ingeniero Químico:

“PERDIDAS DE CALOR POR CONVECCION EN LA
PLANTA PILOTO DE CONSERVAS Y ALCOHOLES”

PRESENTADO POR:

ROSA ALMENDRA BEATRIZ LOPEZ ZEGARRA

ICA - PERÚ

2018

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 NOMENCLATURA	7
1.2 OBJETIVOS	9
1.3 RESUMEN	10
1.4 INTRODUCCIÓN	10

CAPÍTULO II: PRINCIPIOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

2.1 Calor	11
2.2 Transferencia de calor y termodinámica	11
2.3 Entalpía	11
2.4 Transferencia de calor	12
2.5 Comportamiento de las moléculas en las fases de la materia	12
2.5.1 Fase sólida	12
2.5.2 Fase líquida	13
2.5.3 Fase gaseosa	13
2.6 Mecanismos de transferencia de calor	13
2.6.1 Conducción	13
2.6.2 Convección	13
2.6.2.1 Convección libre o natural	14
2.6.2.2 Convección forzada	14
2.6.3 Radiación	14
2.7 Conductividad térmica	15
2.7.1 Conductividad térmica en gases	16
2.7.2 Conductividad térmica en líquidos	16
2.7.3 Conductividad térmica en sólidos	16

2.8 Tipos de materiales	17
2.8.1 Materiales conductores	17
2.8.2 Materiales aislantes	17
2.9 Resistencia de contacto	17
CAPÍTULO III: TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN	19
3.1 Estados de conducción	19
3.1.1 Estado estacionario	19
3.1.2 Estado no estacionario	19
3.2 Ley de Fourier	19
3.3 Conducción a través de una placa plana o pared	20
3.4 Conducción de calor a través de un cilindro hueco	21
3.5 Conducción de calor a través de una esfera hueca	23
3.5.1 Conducción de calor a través de sólidos en serie	23
3.6 Conducción de calor a través de materiales en paralelo	24
3.7 Conducción con generación interna de calor	25
3.8 Pérdida de calor en una tubería	25
3.9 Grosor óptimo del aislante	26
3.10 Grosor crítico del aislante para un cilindro	26
CAPÍTULO IV: CALCULOS EXPERIMENTALES	28
4.1 Cálculos de pérdida de calor en la planta de alcoholes	28
4.2 Cálculos de pérdida de calor en la planta de Conservas	38
CONCLUSIONES	43
RECOMENDACIONES	43
BIBLIOGRAFIA	44

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 NOMENCLATURA

A Área de flujo (m^2)

A_i Área interna de flujo (m^2)

A_{lm} Área logarítmica media (m^2)

A_o Área externa de flujo (m^2)

C_p Capacidad calorífica a presión constante ($J/kg \cdot K$)

d_i Diámetro interno del tubo (m)

d_o Diámetro externo del tubo (m)

d_q Diferencial de la velocidad de transferencia de calor (W)

D_r Diferencial del radio (m)

d_x Diferencial de distancia (m)

dA Diferencial del área de corte transversal normal a la dirección del flujo de calor (m^2)

dT Diferencial de temperatura (K)

D Diámetro (m)

D_v Difusividad volumétrica (m^2/s)

E Energía de radiación emitida (W / m^2)

F Flujo másico (kg/h)

F_A Factor geométrico (adimensional)

F_T Factor de corrección de temperaturas (adimensional)

F_ε Factor de emisividad o transferencia (adimensional)

G Aceleración de la gravedad (m/s^2)

H Coeficiente convectivo de transferencia de calor ($W/m^2 \cdot K$)

h_L Coeficiente de transferencia de calor basado en la media logarítmica de la fuerza impulsora ΔT_{lm} ($W / m^2 \cdot K$)

H Entalpía (J / kg)

I Intensidad (A)

K Conductividad térmica ($W/m \cdot K$)

L Longitud (m)

M Velocidad de flujo másico (kg/s)

N_{Nu} Número de Nusselt (adimensional)

N_{Pr} Número de Prandtl (adimensional)

N_{Re} Número de Reynolds (adimensional)

P Presión absoluta (N / m^2)

Q Velocidad de transferencia de calor (W)

\dot{q} Velocidad volumétrica de generación de calor (W/m^3)

R Radio (m)

r_i Radio interno (m)

r_o Radio externo (m)

R Resistencia (Ohm)

R_c Resistencia de contacto, (K/W)

T Tiempo (s)

T Temperatura absoluta (K)

T_b Temperatura del volumen promedio del fluido (K)

T_{bi} Temperatura en el volumen de entrada del fluido (K)

T_{bo} Temperatura en el volumen de salida del fluido (K)

T_w Temperatura superficial o de pared (K)

U Coeficiente total de transferencia de calor ($W / m^2 \cdot K$)

U Energía interna (J / kg)

- V** Velocidad (m/s)
- V** Voltaje (V)
- V** Volumen (m³)
- V** Velocidad volumétrica media del fluido (m/s)
- X** Distancia (m)
- α** Difusividad térmica (m²/s)
- α** Absorbancia (adimensional)
- β** Coeficiente de expansión volumétrica (1/K)
- Δ** Diferencia (adimensional)
- ΔH** Cambio de entalpía (J/kg)
- ΔT** Diferencia de temperatura (K)
- ε** Emisividad (adimensional)
- μ** Viscosidad absoluta (kg/m · s)
- ρ** Densidad (kg/m³)
- ρ** Reflectividad (adimensional)
- σ** Constante de Boltzmann (5.676 x 10⁻⁸ W / m² · K⁴)
- τ** Transmisividad (adimensional)

1.2 OBJETIVOS

- Decidir la cantidad exacta de calor que se ha desvaído en la tubería que conduce el vaho hacia la planta de conservas.
- Calcular la perdida de calor.
- Determinar los efectos beneficios del uso de un aislante térmico en este caso como el asbesto.

1.3 RESUMEN

Para una descripción cuantitativa de los fenómenos térmicos, es necesaria una definición cuidadosa de conceptos como: temperatura, calor y energía interna. Para entender el concepto de temperatura es útil deslindar dos frases usadas con frecuencia, contacto térmico y equilibrio térmico. Para entender el significado de contacto térmico, basta imaginar dos objetos situados en un receptaculo aislado de manera que interactúen entre sí pero no con el resto de la orbe. Si los objetos están en distintas temples, entre ellos se intercambia energía, aun cuando no estén en contacto físico. El calor es la transferencia de energía de un objeto a otro como resultado de una diferencia de temperatura entre los dos. El equilibrio térmico es una situación en la que dos objetos en contacto térmico dejan de intercambiar energía por el proceso de calor ya que los dos alcanzaron la misma temperatura. Los termómetros son instrumentos que se usan para medir temperaturas, todos están basados en el principio de que alguna propiedad física de un sistema cambia conforme cambia la temperatura del sistema; algunas de esas propiedades son: el volumen de un líquido, la longitud de un sólido, la presión de un gas, la resistencia eléctrica de

un conductor, entre otras. Los termómetros más comunes constan de una masa de líquido (mercurio o alcohol) que se expande dentro de un tubo de vidrio capilar cuando se calienta. La energía interna es toda aquella energía de un sistema que está asociada con sus componentes microscópicos (átomos y moléculas) y que se relaciona con la temperatura de un objeto.

1.4 INTRODUCCIÓN

Los medios visuales son una herramienta importante en el proceso de enseñanza-aprendizaje, ya que permite al docente transmitir en forma fácil, motivante y participativa los conocimientos a los estudiantes. Esto no implica la sustitución del catedrático, por el contrario, la utilización y uso adecuado de dichos medios ampliará la calidad docente.

El curso Transferencia de Calor es vital en la carrera de Ingeniería

Química debido a que es un proceso fundamental, el cual se presenta en una gran variedad de operaciones unitarias y por lo tanto en muchos tipos de industrias. Por esta razón es importante que el estudiante comprenda los conceptos básicos, sus aplicaciones y además conozca los equipos utilizados en este fenómeno.

CAPÍTULO II

PRINCIPIOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

2.1 Calor

Energía en movimiento que se provoca debido a que existe una diferencia de temperatura.

2.2 Transferencia de calor y termodinámica

La termodinámica es la parte de la física que describe y relaciona las propiedades físicas de la materia de los sistemas macroscópicos, así como sus intercambios de energía.

La termodinámica fue planteada como una ciencia que ayuda a establecer las relaciones entre las distintas formas de energía, estudia los procesos en los que hay transferencia de energía como calor y trabajo, y las relaciones que se dan entre los fenómenos dinámicos y caloríficos.

2.3 Entalpía

La entalpía, una propiedad extensiva, es la cantidad de energía de un sistema termodinámico que éste puede intercambiar con su entorno.

Por ejemplo, en una reacción química a presión constante, el cambio de entalpía del sistema es el calor absorbido o desprendido en la reacción.

Para cualquier sistema, la entalpía está definida explícitamente por la siguiente expresión matemática:

Ecuación 1: $H = U + PV$

Donde:

H : Entalpía (J / kg)

U : Energía interna (J / kg)

P : Presión absoluta (N / m²)

V : Volumen (m³)

Puesto que U, P y V son todas funciones de estado, H, tal y como está definida por la ecuación 1, también debe ser una función de estado.

2.4 Transferencia de calor

La transferencia de calor es una disciplina, complemento de la termodinámica y tiene como variable fundamental el tiempo. El flujo de calor se verifica debido a la fuerza impulsora de una diferencia de temperatura por la cual el calor fluye de la región de alta temperatura a la de temperatura más baja.

2.5 Comportamiento de las moléculas en las fases de la materia

2.5.1 Fase sólida

En la fase sólida, las moléculas o átomos están muy cercanos, dando rigidez a los cuerpos.

2.5.2 Fase líquida

En la fase líquida existe suficiente energía térmica para extender la distancia de las moléculas adyacentes, de manera que se pierde la rigidez.

2.5.3 Fase gaseosa

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.

2.6 Mecanismos de transferencia de calor

Existen tres mecanismos de transferencia de calor, aun cuando muchas de las aplicaciones en la ingeniería son combinaciones de dos o tres.

- a. Conducción
- b. Convección
- c. Radiación

2.6.1 Conducción

Por este mecanismo, el calor puede ser conducido a través de sólidos, líquidos y gases. La conducción se verifica mediante la transferencia de energía cinética entre moléculas adyacentes.

2.6.2 Convección

Este mecanismo implica el transporte de calor en un volumen dado, produciéndose una mezcla de elementos macroscópicos de porciones calientes y frías de un gas o un líquido. Además, con frecuencia incluye también el intercambio de energía entre una superficie sólida y un fluido.

Las fuerzas utilizadas para crear las corrientes de convección en los fluidos son de dos tipos:

- a. Convección libre o natural
- b. Convección forzada

2.6.2.1 Convección libre o natural

Es aquella en la cual las porciones de un fluido a diferentes temperaturas sufren un desplazamiento debido a la diferencia de densidades que resulta del gradiente de temperaturas en el fluido.

2.6.2.2 Convección forzada

Es aquella en la que se provoca el flujo de un fluido por medio de un dispositivo mecánico (bomba, ventilador, etc.).

Tanto la convección natural como la forzada, pueden ser activas simultáneamente en el mismo fluido.

2.6.3 Radiación

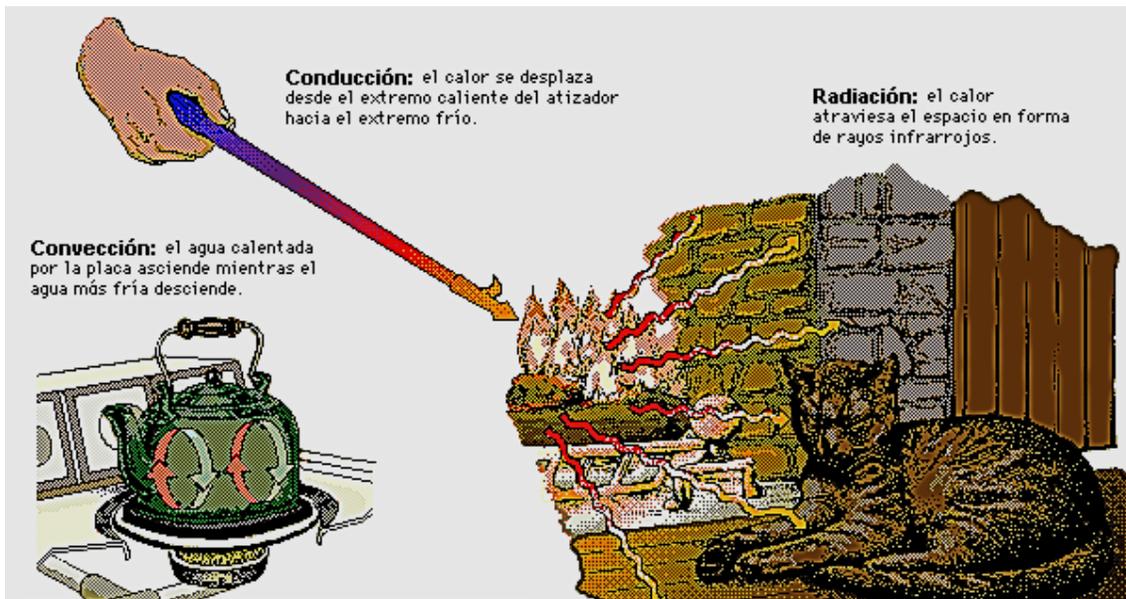
La radiación es la transferencia de energía a través del espacio por medio de ondas electromagnéticas, de manera similar a las ondas electromagnéticas que propagan y transfieren la luz.

Si la radiación pasa a través de un espacio vacío, no se transforma en calor ni en otra forma de energía. Sin embargo, si en su camino encuentra material, la radiación se transmitirá, reflejará o absorberá.

En la siguiente Figura 1 se muestran y explican estos tres tipos de transferencia de calor:

- Por Conducción
- Por Convección
- Por Radiación

Figura 1: Tipos de Transferencia de Calor



2.7 Conductividad térmica

La conductividad térmica es una propiedad de la sustancia, llamada propiedad de transporte. La experiencia confirma la independencia de la conductividad térmica en un amplio intervalo de gradientes de temperatura, excepto para sólidos, donde la radiación entre las partículas, que no sigue una ley lineal con la temperatura, es responsable de una parte importante del flujo total de calor. Por otra parte la conductividad térmica es una función de la temperatura, pero la variación es relativamente pequeña, de forma que, para pequeños intervalos de temperatura, ésta puede considerarse constante.

2.7.1 Conductividad térmica en gases

Si una molécula se desplaza de una región de temperatura elevada a otra de temperatura inferior, transporta energía cinética a esa región y la cede al chocar con moléculas de baja energía.

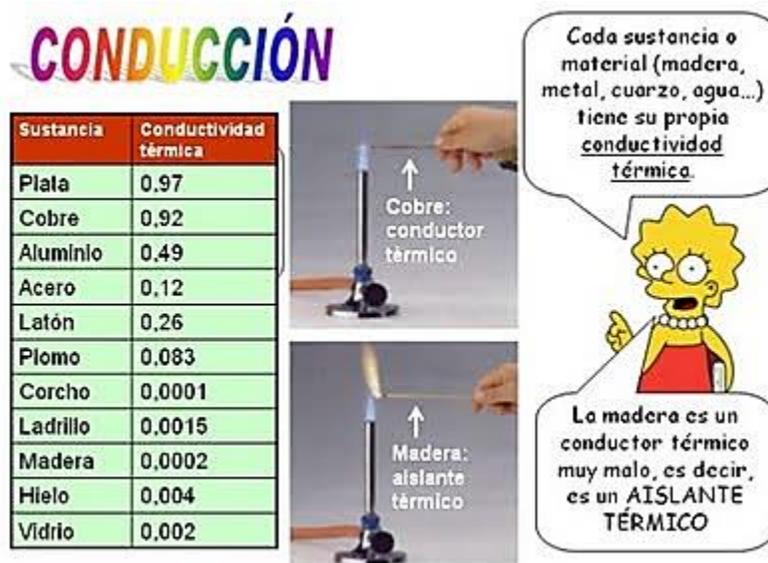
2.7.2 Conductividad térmica en líquidos

Las moléculas de los líquidos están mucho más juntas entre sí que la de los gases y los campos de fuerza moleculares ejercen un efecto considerable sobre el intercambio de energía..

2.7.3 Conductividad térmica en sólidos

La conducción de calor o energía a través de los sólidos metálicos se da por los electrones libres que se mueven en la red estructural del metal y en el resto de sólidos, el calor es conducido por la transmisión de energía vibracional entre átomos adyacentes.

Figura 2 Conductividad Térmica



2.8 Tipos de materiales

Según sus propiedades térmicas los materiales se dividen en materiales conductores y materiales aislantes.

2.8.1 Materiales conductores

Se les llaman a algunos sólidos, tales como los metales, que tienen altas conductividades térmicas.

2.8.2 Materiales aislantes

Se les llaman a los que tienen bajas conductividades térmicas y son malos conductores de calor.

2.9 Resistencia de contacto

Uno de los factores que originan errores considerables 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 otro sólido, es casi imposible excluir la presencia de aire u otro fluido en el punto de contacto.

CAPÍTULO III

TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN

3.1 Estados de conducción

3.1.1 Estado estacionario

En la conducción de calor en estado estacionario la distribución de temperatura en el interior del sólido no varía con el tiempo.

3.1.2 Estado no estacionario

En la conducción de calor en estado no estacionario la distribución de temperatura en el interior del sólido sí varía con el tiempo.

3.2 Ley de Fourier

Los tres tipos principales de procesos de velocidad de transferencia (transferencia de momentum, calor y masa) están caracterizados por el principio que establece que: para que se pueda transferir una propiedad como el calor o la masa, es necesario que exista una fuerza impulsora que contrarreste la resistencia.

La ecuación fundamental de la Ley de Fourier para la transferencia de calor por conducción es la siguiente:

$$\text{Ecuación 2: } dq = -kdA \, dT/dx$$

Donde:

dq : Diferencial de la velocidad de transferencia de calor (W)

k : Conductividad térmica (W / m K)

dA : Diferencial del área de corte transversal normal a la dirección del flujo de calor (m²)

dT : Diferencial de temperatura (K)

dx : Diferencial de distancia (m)

El signo negativo se incluye debido a que si el flujo de calor es positivo en determinado sentido, la temperatura disminuye en ese mismo sentido.

3.3 Conducción a través de una placa plana o pared

Integrando la Ley de Fourier, para el caso de transferencia de calor en estado estacionario a través de una pared plana con área de corte transversal, suponiendo que k es constante, no varía con la temperatura y tomando en cuenta que el flujo de calor se da en una sola dirección, ésta se obtiene con la siguiente ecuación:

Ecuación 3:

$$q = kA \frac{(T_1 - T_2)}{x_2 - x_1} = kA \left(\frac{\Delta T}{\Delta x} \right)$$

Donde:

q: Velocidad de transferencia de calor (W)

k : Conductividad térmica (W / m K)

A: Área de flujo, perpendicular a la dirección de flujo (m²)

T₁: Temperatura en el punto 1 (K)

T₂: Temperatura en el punto 2 (K)

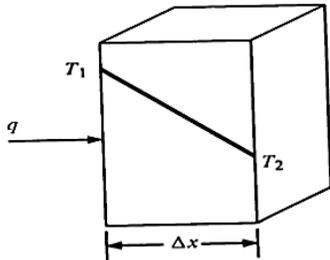
x₁: Distancia del punto 1 (m)

x₂: Distancia del punto 2 (m)

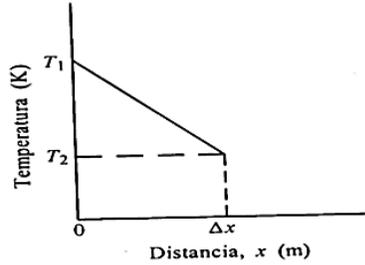
ΔT: Diferencia de temperatura entre dos puntos extremos (K)

Δx: Grosor del sólido (m)

Figura 3. Conducción de calor en una pared plana: a) geometría de la pared y b) gráfica de la temperatura



(a)



(b)

Fuente: Geankoplis, Christie. **Procesos de transporte y operaciones unitarias**. Pag. 248.

3.4 Conducción de calor a través de un cilindro hueco

En muchos casos en las industrias de proceso, el calor se transfiere a través de las paredes de un cilindro de paredes gruesas en forma unidireccional, esto es, una tubería que puede estar aislada

Ecuación 4:

$$q / A = - k dT/dr$$

Donde:

q : Velocidad de transferencia de calor (W)

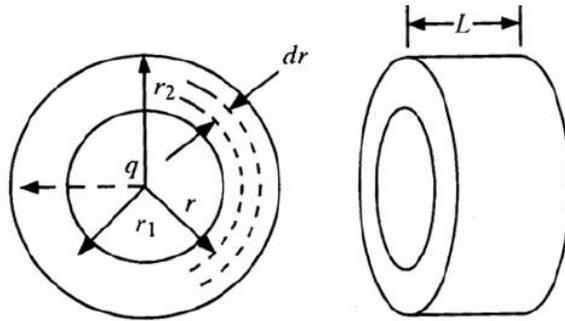
A : Área de flujo, perpendicular a la dirección de flujo (m²)

k : Conductividad térmica (W / m K)

dT : Diferencial de temperatura (K)

dr : Diferencial del radio (m)

Figura 4. Conducción de calor en un cilindro



Fuente: Geankoplis, Christie. **Procesos de transporte y operaciones unitarias**. Pag. 248.

Después de realizar diversas sustituciones, reordenando e integrando se obtiene la siguiente ecuación:

Ecuación 5:

$$q = \frac{kA_{lm}T_1 - T_2}{r_0 - r_1} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{r_0 - r_1}{kA_{lm}}} = \frac{T_1 - T_2}{R}$$

Donde:

q: Velocidad de transferencia de calor (W)

k : Conductividad térmica (W / m K)

A_{lm} : Área logarítmica media (m^2)

T_1 : Temperatura en el punto 1 (K)

T_2 : Temperatura en el punto 2 (K)

r_o : Radio externo (m)

r_i : Radio interno (m)

R: Resistencia (W / m K)

3.5 Conducción de calor a través de una esfera hueca

La conducción de calor a través de una esfera hueca es otro caso de conducción unidimensional. El área de corte transversal normal al flujo de calor es:

$$\text{Ecuación 6: } A = 4\pi r^2$$

Donde

A: Área de la esfera (m²)

r : Radio de la esfera (m)

Al sustituir la ecuación 5 en la ecuación 3, reordenar e integrar, se obtiene la siguiente ecuación:

Ecuación 7:

$$q = 4\pi k \frac{T_1 - T_2}{\frac{1}{r_i} - \frac{1}{r_o}}$$

Donde:

q: Velocidad de transferencia de calor (W)

k : Conductividad térmica (W / m K)

T₁: Temperatura en el punto 1 (K)

T₂: Temperatura en el punto 2 (K)

r_o: Radio externo (m)

r_i : Radio interno (m)

3.5.1 Conducción de calor a través de sólidos en serie

En el flujo de fluidos se observa que cuando se tiene una tubería con una serie de accesorios, éstos provocan una caída de presión.

En aquellos casos en los que hay una pared de planchas múltiples constituidas por más de un material, es útil determinar los perfiles de temperaturas en todos los materiales, puesto que el flujo de calor debe ser el mismo en cada plancha, es posible aplicar la ecuación de Fourier a cada una de ellas.

Ecuación 8:

$$q = k_A A \frac{T_1 - T_2}{\Delta x_A} = k_B A \frac{T_2 - T_3}{\Delta x_B} = k_C A \frac{T_3 - T_4}{\Delta x_C} = \frac{T_1 - T_4}{R_A + R_B + R_C}$$

Don

de:

q:

Velo

cidad de transferencia de calor (W)

k: Conductividad térmica en los puntos A, B y C (W / m K)

A: Área de flujo, perpendicular a la dirección de flujo (m²)

T₁: Temperatura en el punto 1 (K)

T₂: Temperatura en el punto 2 (K)

T₃: Temperatura en el punto 3 (K)

T₄: Temperatura en el punto 4 (K)

Δx: Grosor del sólido en los puntos A, B y C (m)

3.6 Conducción de calor a través de materiales en paralelo

Considérese dos placas colocadas en paralelo, el flujo total de calor es la suma del flujo de calor a través del sólido A más el que pasa por B. La diferencia de temperaturas es igual en ambas paredes.

Escribiendo la ecuación de Fourier para cada sólido y sumando, obtenemos el flujo de calor total, el cual se representa con la siguiente ecuación:

Ecuación 9:

$$q = q_A + q_B = \frac{\Delta T_{total}}{\frac{\Delta x_A}{k_A A_A}} + \frac{\Delta T_{total}}{\frac{\Delta x_B}{k_B A_B}} = \Delta T \left(\frac{1}{\frac{\Delta x_A}{k_A A_A}} + \frac{1}{\frac{\Delta x_B}{k_B A_B}} \right)$$

Donde:

q : Velocidad de transferencia de calor (W)

qA : Velocidad de transferencia de calor en pared A (W)

qB : Velocidad de transferencia de calor en pared B (W)

ΔT : Diferencia de temperatura (K)

Δx : Grosor de la pared A y B (m)

k : Conductividad térmica en las paredes A y B (W / m K)

A : Área de flujo de las paredes A y B (m²)

3.7 Conducción con generación interna de calor

En algunos sistemas se genera calor en el interior del medio conductor; esto es, hay una fuente de calor distribuida uniformemente. Algunos casos de este tipo son los calentadores de resistencia eléctrica y las varillas de combustible nuclear. Además, cuando se verifica en el medio una reacción química de manera uniforme, hay un desprendimiento de calor de reacción.

3.8 Pérdida de calor en una tubería

Se ha supuesto que la superficie externa fría puede mantenerse a una temperatura definida. En realidad, las temperaturas asignadas a la pared exterior dependen no sólo de las resistencias entre las superficies calientes y frías, sino también en la habilidad de la atmósfera más fría que lo rodea para remover el calor que llega a la superficie externa, por medio de convección natural del aire ambiente; y tiene como origen la diferencia de temperatura entre la superficie exterior y el aire frío.

3.9 Grosor óptimo del aislante

El grueso óptimo de un aislante se puede determinar por consideraciones puramente económicas. Si un tubo descubierto fuera a conducir un fluido caliente, habría cierta pérdida de calor por hora cuyo valor podría determinarse del costo de producir Btu en la planta generadora. A menor pérdida de calor, mayor grueso del aislante y mayor costo inicial, y mayores cargos fijos anuales (mantenimiento y depreciación), los que deben añadirse a la pérdida anual de calor.

3.10 Grosor crítico del aislante para un cilindro

No es evidente que al añadir más aislante con una conductividad térmica de k disminuya la velocidad de transferencia de calor.

La velocidad de transferencia de calor a través del cilindro es:

Ecuación 10:

$$q = h_o A (T_2 - T_0)$$

Donde:

q : Velocidad de transferencia de calor (W)

h_o : Coeficiente convectivo de transferencia de calor (W / m² K)

A : Área de flujo, perpendicular a la dirección de flujo (m²)

T_2 : Temperatura en el punto 2 (K)

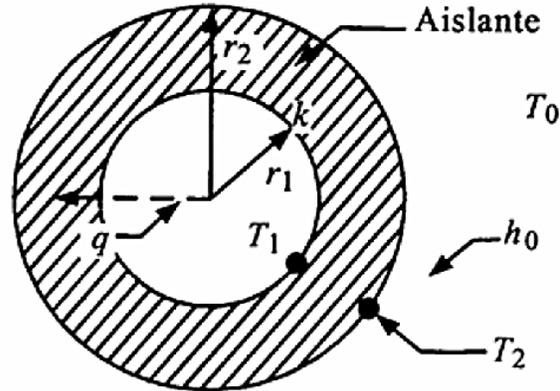
T_0 : Temperatura en el punto O (K)

A medida que se agrega más aislante, el área exterior, que es $A = 2\pi r^2$

L , aumenta, pero T_2 disminuye. Sin embargo, no es evidente si q aumenta o disminuye.

Por consiguiente, si el radio exterior es menor que el valor crítico, al agregar más aislante aumentará la velocidad de transferencia de calor q . Del mismo modo, si el radio exterior es mayor que el crítico, al agregar más aislante disminuirá la velocidad de transferencia de calor.

Figura 5. Radio crítico del aislante de un cilindro o tubería



Fuente: Geankoplis, Christie. **Procesos de transporte y operaciones unitarias**. Pag. 261.

CAPITULO IV: CALCULOS EXPERIMENTALES

4.3 Cálculos de pérdida de calor en la planta de alcoholes

$$qr = \frac{T_1 - T_2}{\frac{\ln(R_2/R_1)}{2\pi k_1 L} + \frac{\ln(R_3/R_2)}{2\pi k_2 L}}$$

Datos generales para los cálculos:

$$T_1 = 125^\circ\text{C} + 273 = 398^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 25^\circ\text{C} + 273 = 298^\circ\text{K}$$

$$K_1 (\text{asbestos}) = 0.111$$

$$K_2 (\text{fierro fundido}) = 27.6$$

$$R_1 = 2.54 \text{ cm}$$

$$R_2 = 3.14 \text{ cm}$$

$$R_3 = 5.68 \text{ cm}$$

I. Caldero hasta la planta de alcoholes:

Parte de adentro de la planta donde se ubican el caldero donde empiezan las tuberías:

✓ $L_1 = 60 \text{ cm}$

$$q_1 = \frac{398 - 298}{\frac{\ln(3.14/2.54)}{2\pi(0.111)(60)} + \frac{\ln(5.68/3.14)}{2\pi(27.6)(60)}}$$

$$q_1 = 19513.9261$$

✓ $L_2 = 90 \text{ cm}$

$$q_2 = \frac{398 - 298}{\frac{\ln(3.14/2.54)}{2\pi(0.111)(90)} + \frac{\ln(5.68/3.14)}{2\pi(27.6)(90)}}$$

$$q_2 = 29270.7812$$

✓ $L_3 = 20 \text{ cm}$

$$q_3 = \frac{398 - 298}{\frac{\ln(3.14/2.54)}{2\pi(0.111)(20)} + \frac{\ln(5.68/3.14)}{2\pi(27.6)(20)}}$$

$$q_3 = 1.9198$$

✓ $L_4 = 1635$ cm

$$q_4 = \frac{398 - 298}{\frac{\ln(3.14/2.54)}{2\pi(0.111)(1635)} + \frac{\ln(5.68/3.14)}{2\pi(27.6)(1635)}}$$

$$q_4 = 0.2346$$

✓ $L_5 = 2100$ cm

$$q_5 = \frac{398 - 298}{\frac{\ln(3.14/2.54)}{2\pi(0.111)(2100)} + \frac{\ln(5.68/3.14)}{2\pi(27.6)(2100)}}$$

$$q_5 = 0.0183$$

✓ $L_6 = 268$ cm

$$q_6 = \frac{398 - 298}{\frac{\ln(3.14/2.54)}{2\pi(0.111)(268)} + \frac{\ln(5.68/3.14)}{2\pi(27.6)(2100)}}$$

$$q_6 = 0.1431$$

✓ $L_7 = 634 \text{ cm}$

$$q_7 = \frac{398 - 298}{\frac{\ln(3.14/2.54)}{2\pi(0.111)(634)} + \frac{\ln(5.68/3.14)}{2\pi(27.6)(634)}}$$

$$q_7 = 0.0605$$

Parte de adentro donde se ubica la planta alcoholes:

$$q_r = \frac{2\pi kL(T_1 - T_2)}{\ln(R_2/R_1)}$$

$$T_1 = 125^\circ\text{C} + 273 = 398^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 25^\circ\text{C} + 273 = 298^\circ\text{K}$$

$$K_2 \text{ (fierro fundido)} = 27.6$$

$$R_1 \text{ (interno)} = 1.905 \text{ cm}$$

$$R_2 \text{ (externo)} = 2.205 \text{ cm}$$

✓ $L_1 = 2100 \text{ cm}$

$$q_1 = \frac{2\pi(27.6)(2100)(398 - 298)}{\ln(2.205/1.905)}$$

$$q1 = 249015980.3$$

✓ $L_2 = 274 \text{ cm}$

$$q2 = \frac{2\pi(27.6)(274)(398 - 298)}{\ln(2.205/1.905)}$$

$$q2 = 32490545.33$$

✓ $L_3 = 140 \text{ cm}$

$$q3 = \frac{2\pi(27.6)(140)(398 - 298)}{\ln(2.205/1.905)}$$

$$q3 = 16601008.56$$

✓ $L_4 = 124 \text{ cm}$

$$q4 = \frac{2\pi(27.6)(124)(398 - 298)}{\ln(2.205/1.905)}$$

$$q4 = 14703750.44$$

✓ $L_5 = 216 \text{ cm}$

$$q5 = \frac{2\pi(27.6)(216)(398 - 298)}{\ln(2.205/1.905)}$$

$$q5 = 25612984.64$$

✓ $L_6 = 310$ cm

$$q_6 = \frac{2\pi(27.6)(310)(398 - 298)}{\ln(2.205/1.905)}$$

$$q_6 = 36759376.1$$

Olla de cocción Henze:

✓ $L_7 = 390$ cm

$$q_7 = \frac{2\pi(27.6)(390)(398 - 298)}{\ln(2.205/1.905)}$$

$$q_7 = 46245666.71$$

✓ $L_8 = 20$ cm

$$q_8 = \frac{2\pi(27.6)(20)(398 - 298)}{\ln(2.205/1.905)}$$

$$q_8 = 2371572.652$$

✓ $L_9 = 100$ cm

$$q_9 = \frac{2\pi(27.6)(100)(398 - 298)}{\ln(2.205/1.905)}$$

$$q_9 = 11857863.26$$

✓ $L_{10} = 240$ cm

$$q_{10} = \frac{2\pi(27.6)(240)(398 - 298)}{\ln(2.205/1.905)}$$

$$q_{10} = 28458871.82$$

✓ $L_{11} = 180$ cm

$$q_{11} = \frac{2\pi(27.6)(180)(398 - 298)}{\ln(2.205/1.905)}$$

$$q_{11} = 21344153.87$$

✓ $L_{12} = 48$ cm

$$q_{12} = \frac{2\pi(27.6)(48)(398 - 298)}{\ln(2.205/1.905)}$$

$$q_{12} = 5691774.364$$

✓ $L_{13} = 74$ cm

$$q_{13} = \frac{2\pi(27.6)(74)(398 - 298)}{\ln(2.205/1.905)}$$

$$q_{13} = 8774818.812$$

✓ $L_{14} = 40$ cm

$$q_{14} = \frac{2\pi(27.6)(40)(398 - 298)}{\ln(2.205/1.905)}$$

$$q_{14} = 4743145.304$$

✓ $L_{15} = 48 \text{ cm}$

$$q_{15} = \frac{2\pi(27.6)(48)(398 - 298)}{\ln(2.205/1.905)}$$

$$q_{15} = 5691774.364$$

II. Caldero hasta la planta de conserva

Parte de adentro de la planta donde se ubican el caldero donde empiezan las tuberías:

$$q_r = \frac{T_1 - T_2}{\frac{\ln(R_2/R_1)}{2\pi k_1 L} + \frac{\ln(R_3/R_2)}{2\pi k_2 L}}$$

$$T_1 = 125^\circ\text{C} + 273 = 398^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 25^\circ\text{C} + 273 = 298^\circ\text{K}$$

$$K_1 (\text{asbesto}) = 0.111$$

$$K_2 (\text{fierro fundido}) = 27.6$$

$$R_1 = 2.5464 \text{ cm}$$

$$R_2 = 0.9549 \text{ cm}$$

$$R_3 = 0.6366$$

$$\checkmark L_1 = 60 \text{ cm}$$

$$q_1 = \frac{398 - 298}{\frac{\ln(0.9549/2.5464)}{2\pi(0.111)(60)} + \frac{\ln(0.6366/0.9549)}{2\pi(27.6)(60)}}$$

$$q_1 = -0.9267$$

$$\checkmark L_2 = 20 \text{ cm}$$

$$q_2 = \frac{398 - 298}{\frac{\ln(0.9549/2.5464)}{2\pi(0.111)(20)} + \frac{\ln(0.6366/0.9549)}{2\pi(27.6)(20)}}$$

$$q_2 = -35.2559$$

$$\checkmark L_3 = 90 \text{ cm}$$

$$q_3 = \frac{398 - 298}{\frac{\ln(0.9549/2.5464)}{2\pi(0.111)(90)} + \frac{\ln(0.6366/0.9549)}{2\pi(27.6)(90)}}$$

$$q_3 = -0.6178$$

$$\checkmark L_4 = 25 \text{ cm}$$

$$q_4 = \frac{398 - 298}{\frac{\ln(0.9549/2.5464)}{2\pi(0.111)(25)} + \frac{\ln(0.6366/0.9549)}{2\pi(27.6)(25)}}$$

$$q_4 = -2.2242$$

✓ $L_5 = 45 \text{ cm}$

$$q_5 = \frac{398 - 298}{\frac{\ln(0.9549/2.5464)}{2\pi(0.111)(45)} + \frac{\ln(0.6366/0.9549)}{2\pi(27.6)(45)}}$$

$$q_5 = -1.2356$$

✓ $L_6 = 75 \text{ cm}$

$$q_6 = \frac{398 - 298}{\frac{\ln(0.9549/2.5464)}{2\pi(0.111)(75)} + \frac{\ln(0.6366/0.9549)}{2\pi(27.6)(75)}}$$

$$q_6 = -0.7414$$

✓ $L_7 = 28 \text{ cm}$

$$q_7 = \frac{398 - 298}{\frac{\ln(0.9549/2.5464)}{2\pi(0.111)(28)} + \frac{\ln(0.6366/0.9549)}{2\pi(27.6)(28)}}$$

$$q_7 = -1.9858$$

✓ $L_8 = 38 \text{ cm}$

$$q_8 = \frac{398 - 298}{\frac{\ln(0.9549/2.5464)}{2\pi(0.111)(38)} + \frac{\ln(0.6366/0.9549)}{2\pi(27.6)(38)}}$$

$$q_8 = -1.4633$$

✓ $L_9 = 2300 \text{ cm}$

$$q_9 = \frac{398 - 298}{\frac{\ln(0.9549/2.5464)}{2\pi(0.111)(2300)} + \frac{\ln(0.6366/0.9549)}{2\pi(27.6)(2300)}}$$

$$q_9 = -6.0696$$

✓ $L_{10} = 60 \text{ cm}$

$$q_{10} = \frac{398 - 298}{\frac{\ln(0.9549/2.5464)}{2\pi(0.111)(60)} + \frac{\ln(0.6366/0.9549)}{2\pi(27.6)(60)}}$$

$$q_{10} = -0.9267$$

✓ $L_{11} = 40 \text{ cm}$

$$q_{11} = \frac{398 - 298}{\frac{\ln(0.9549/2.5464)}{2\pi(0.111)(40)} + \frac{\ln(0.6366/0.9549)}{2\pi(27.6)(40)}}$$

$$q_{11} = -1.3901$$

4.2 Cálculos de pérdida de calor en la planta de Conservas:

$$q_r = \frac{T_1 - T_2}{\frac{\ln(R_2/R_1)}{2\pi kL}}$$

$$T_1 = 125^\circ\text{C} + 273 = 398^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 25^\circ\text{C} + 273 = 298^\circ\text{K}$$

$$K_2 \text{ (fierro fundido)} = 27.6$$

$$R_1 = 2.5464 \text{ cm}$$

$$R_2 = 0.9549 \text{ cm}$$

$$\checkmark L_1 = 40 \text{ cm}$$

$$q_1 = \frac{398 - 298}{\frac{\ln(0.9454/2.5464)}{2\pi(27.6)(40)}}$$

$$q_1 = -0.5802$$

$$\checkmark L_2 = 105 \text{ cm}$$

$$q_2 = \frac{398 - 298}{\frac{\ln(0.9454/2.5464)}{2\pi(27.6)(105)}}$$

$$q_2 = -0.2210$$

$$\checkmark L_3 = 150 \text{ cm}$$

$$q_3 = \frac{398 - 298}{\frac{\ln(0.9454/2.5464)}{2\pi(27.6)(150)}}$$

$$q_3 = -0.1547$$

✓ $L_4 = 32$ cm

$$q_4 = \frac{398 - 298}{\frac{\ln(0.9454/2.5464)}{2\pi(27.6)(32)}}$$

$$q_4 = -0.7253$$

✓ $L_5 = 162$ cm

$$q_5 = \frac{398 - 298}{\frac{\ln(0.9454/2.5464)}{2\pi(27.6)(162)}}$$

$$q_5 = -0.1433$$

✓ $L_6 = 145$ cm

$$q_6 = \frac{398 - 298}{\frac{\ln(0.9454/2.5464)}{2\pi(27.6)(145)}}$$

$$q_6 = -1601$$

✓ $L_7 = 15$ cm

$$q_7 = \frac{398 - 298}{\frac{\ln(0.9454/2.5464)}{2\pi(27.6)(15)}}$$

$$q_7 = -1.5473$$

✓ $L_8 = 190$ cm

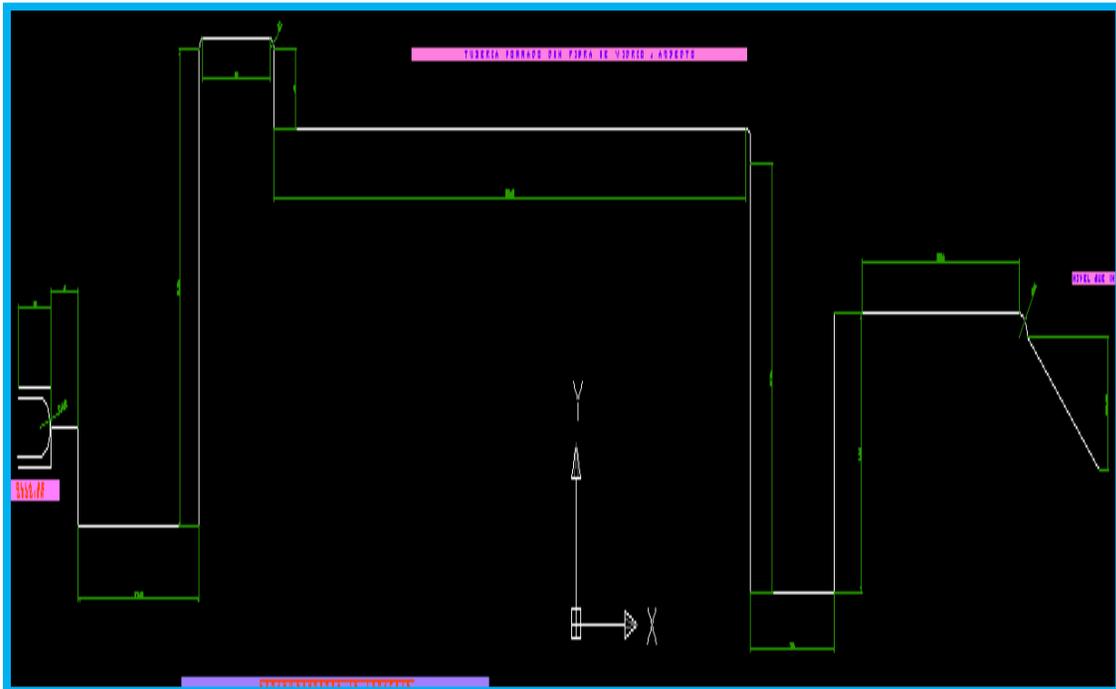
$$q_8 = \frac{398 - 298}{\frac{\ln(0.9454/2.5464)}{2\pi(27.6)(190)}}$$

$$q_8 = -0.1222$$

✓ $L_9 = 35$ cm

$$q_9 = \frac{398 - 298}{\frac{\ln(0.9454/2.5464)}{2\pi(27.6)(35)}}$$

$$q_9 = -0.6631$$



1. primera parte del tubo sin aislante:

part 1	distancia(pie)	tuberia	pies
tramo 1	1.96848		
tramo 2	2.95272	radio (R1)	0.08333232
tramo 3	1.47636	radio (R2)	0.098424
tramo 4	0.65616		
tramo 5	2.4606		
total	9.51432		

temperatura	248	perdida de calor(q)
1 °F		
temperatura	77	1695054.6
2 °F		

K1

27.6

2. parte 2 tuberías con aislante de asbesto

part 1	distancia(pie)	tuberia	pies
tramo 1	8.69412	radio (R1)	0.08333232

tramo 2	20.800272	radio (R2)	0.098424
tramo 3	0.885816	radio (R3)	0.196848
tramo 4	53.64108		
tramo5	68.8968		
tramo 6	8.989392		
total	161.90748		

temperatura 248 perdida de calor(q)
1 °F
27830.5116

temperatura 77
2 °F

k1 k2
27.6 0.111

Parte 3 tuberías sin recubrimiento:

part 3	distancia(pie)	tuberia	pies
tramo 1	4.59312	radio (R1)	0.03124962
tramo 2	4.068192	radio (R2)	0.0393696
tramo 3	7.086528		
tramo 4	10.17048		
tramo 5	12.79512		
tramo 6	60561.6		
tramo 7	0.032808		
tramo 8	0.0787392		
tramo 9	0.0590544		
tramo 10	1.574784		
tramo 11	0.02427792		
total	60602.0831		

k1

perdida de calor(q)

27.6

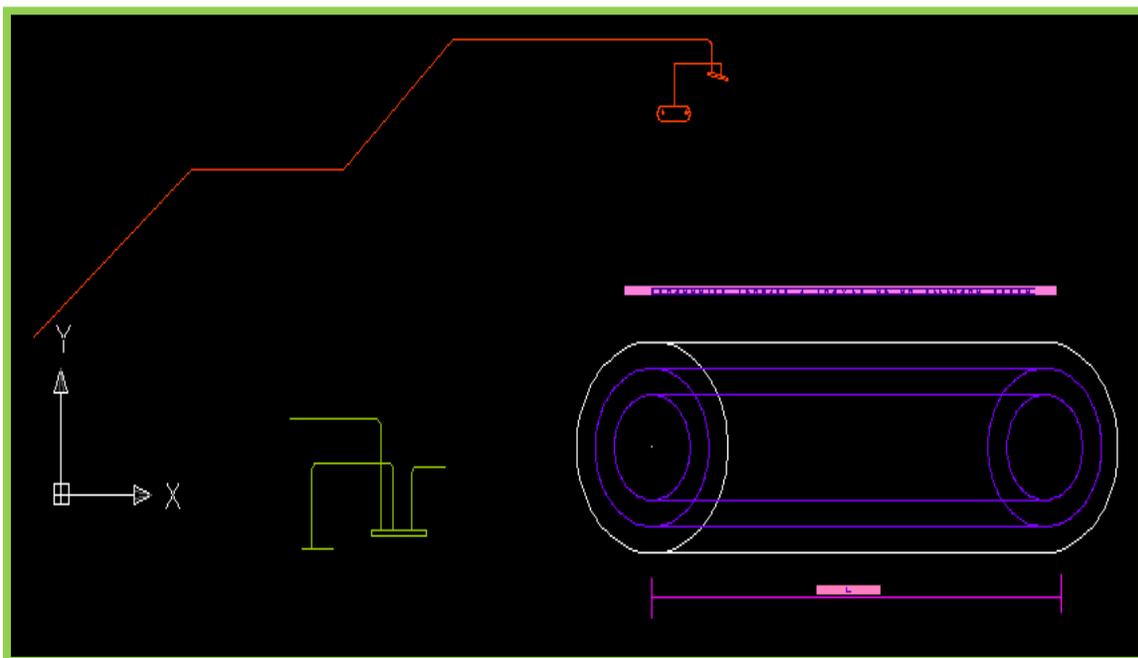
7780107271

temperatura 248

1 °F

temperatura 77

2 °F



CONCLUSIONES

- El calor se transfiere en forma de energía
- El calor se transfiere de un cuerpo de mayor temperatura a uno de menor temperatura
- La energía se transfiere por tres mecanismos: conducción, convección y radiación
- La temperatura es la medida de la energía interna de un sistema.
- La temperatura se puede medir con los termómetros y no con sensaciones térmicas.

RECOMENDACIONES

Recomendaciones para evitar el recalentamiento de artefactos eléctricos aplicando los principios de transferencia de calor:

- Utilizar placas (preferiblemente de aluminio) que estén en contacto con los circuitos eléctricos de manera que pueda ocurrir una transferencia por conducción.
- Utilizar un extractor de manera que haya una transferencia por conducción debido a que el calor va a ser transferido de los componentes electrónicos hacia el aire y este será extraído por el extractor.

- Con respecto a la transferencia por radiación no es posible hacerla en este tipo de mecanismo.

BIBLIOGRAFÍA

1. G., Brown., (1965), "Ingeniería Química", Editorial Marín. Primera edición, México, pág.499.
2. C. J. Geankoplis1.,(1998),"proceso de transporte y operaciones unitarias", Tercera edición, México, Pág.546
3. Warren I Mc Cabe Julian C. Smith, (1979),"Unit Operations of Chemical Engineering", Mc Graw Hill, Third Edition
4. L P. Fellows. "Evaporation". En Food Processing Tecmology. Principies and Practice, Chicbester. Reino Unido: Ellis Horwood Ltd.
5. R. P. Singh y D. It Heldman. "Evaporation". En Introducion 10 Food Engineering, Nueva York: Academic Press.
6. M. Orozco Flores (1998) "Operaciones Unitarias" Editorial Limusa – México.
7. Charles D. Holland (1981) "Fundamentos y Modelos de Procesos de Separación" Editorial Pretince – México.
8. J. G. Brennan, J. R. Butters, N. D. Cowell, A. E. V. Lilly "Las Operaciones de la Ingeniería de los Alimentos" Editorial Acribia – España.
9. R. H. Perry – D. W. Green (2001) "Manual del Ingeniero Quimico Vol II" Editorial Mc Graw – Hill.
10. Rodríguez, F. (Ed.) y cols."Ingeniería de la industria alimentaria", Vol III. Síntesis, 2002. (Cap. 6)
11. Singh, R.P., Heldman,D.R. "Introducción a la ingeniería de los alimentos", 2ª ed., Acribia, 1998. (Cap. 9).
12. Brennan y cols. "Las operaciones en la Ingeniería de los alimentos", 3ª ed., Acribia, 1998. (Cap. 12)

13. Coulson y cols. "Ingeniería Química, vol II y V, 3ª ed., Reverté, 1981 y 1982. (Cap. 14)
14. Ibarz, A. "Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos", Mundi Prensa, 2005 (Cap. 19)
15. Procesos de transporte y operaciones unitarias C. J. Geankoplis

PÁGINAS WEB:

- www.incauca.com/ncauca
- www.fmcitalia.it/cgi/bin/images/photo/area_1
- www.tecnoconsult-sa.com.ar/productos_ingrossi.htm
- www.ingcontreras.com.ar/evaporadores.html
- www.gea-niro.com.mx/lo-que-suministros/evapor.

