

# AISLAMIENTO TÉRMICO EN COLUMNAS DE DESTILACIÓN Y SUS LÍNEAS AUXILIARES

## THERMAL INSULATION IN DISTILLATION COLUMNS AND THEIR AUXILIARY LINES

*Daniel Arellano<sup>1</sup>, Luis Bonilla<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química, Av. Delta y Av. Kennedy, Guayaquil-Ecuador Teléfono: 0991628924, 0997554990*

*Correo Electrónico: daniel05areor@gmail.com; luisbonillaa@yahoo.com*

### RESUMEN

Un gran número de industrias utilizan un caldero para la producción del vapor de agua que se utiliza en numerosos procesos. El calor que transmite el vapor se pierde a través de las tuberías y de las paredes de los equipos por lo que en esta investigación se seleccionaron las columnas de destilación de la Facultad de Ingeniería Química como proceso de interés. Para producir vapor es necesario quemar combustibles por lo que resulta muy importante aislar térmicamente las paredes de las columnas y sus líneas auxiliares con el objetivo de reducir las pérdidas de energía calórica a través de las superficies calientes, evitar riesgos laborales por quemaduras, mejorar la eficiencia del proceso en cuanto a volumen y grado de pureza del producto final, ahorro económico disminuyendo el consumo de combustible y lo más importante que es la protección del medio ambiente al reducir la cantidad de gases efecto invernadero producto de la combustión de derivados de petróleo.

A través de la metodología que enseña la transferencia de calor y la operación unitaria de destilación se determinará cuál será el espesor óptimo y tipo de aislamiento térmico que se debe utilizar para revestir este sistema y obtener su eficiencia térmica.

**Palabras clave:** Aislamiento térmico, Columnas de destilación, Medio ambiente, Transferencia de calor.

### SUMMARY

A large number of industries use a boiler for the steam production that is used in many processes, the heat transfer by the steam is lost through the pipes and

walls of the devices, so in this investigation was selected the distillation columns of the Faculty of Chemical Engineering as a process of interest. To produce steam is necessary to burn fuels, which is very important to thermally insulate the column's walls and its auxiliary lines in order to reduce the heat energy loss through hot surfaces, avoid risks by burns, improving the process efficiency in terms of the final product volume and purity, economics savings reducing the fuel consumption and the most important thing, the environment protection, reducing the amount of greenhouse gases from the combustion of petroleum derivatives.

Through the methodology that shows the heat transfer and distillation unit operation will be determined the optimum thickness and type of insulation to be used for this system and obtain its thermal efficiency.

**Key words:** Distillation columns, environment, heat transfer, Thermal insulation.

## INTRODUCCIÓN

La destilación es la operación unitaria que explica el proceso de separación de líquidos miscibles por calentamiento con vapor de agua. Uno de los problemas que se presentan durante el proceso es la pérdida de energía calórica a través de las paredes de la columna y de las líneas auxiliares debido a que no se encuentran aisladas térmicamente. Debido a estas pérdidas de carga calórica se produce un empobrecimiento de la calidad del vapor que se inyecta, reducción de la eficiencia térmica del sistema, menor radio de penetración y menor volumen y grado de pureza del producto final, así como también existen riesgos laborales.

El método con el cual se pretende solucionar estos problemas es recubrir con material aislante los equipos teniendo como resultado la reducción de pérdidas energéticas aumentando la rentabilidad de los proyectos a causa de la mejorada tasa de producción, como la reducción en costos de combustible asociados con la generación de vapor. Se determinará el tipo de material aislante y espesor óptimo que se debe utilizar en el cuerpo de la columna y en sus líneas auxiliares para que las pérdidas sean mínimas. Para esto es necesario estudiar los fenómenos de transferencia de calor que tienen lugar en este proceso y determinar los modelos o ecuaciones apropiadas que nos permitirán determinar las pérdidas de energía a través de las paredes de la columna, también se aplican los balances de materia y energía de la operación unitaria de destilación. Es necesario conocer una información general sobre los aislamientos térmicos y el papel fundamental que desempeñan a nivel industrial. El alimento que se utiliza en la destilación es una mezcla de alcohol etílico con agua entre 6 y 10% grados Gay-Lussac, se

requiere separar esta mezcla por medio de calentamiento con vapor de agua. El método de calentamiento puede ser de dos maneras, la primera es utilizando un “reboiler”, que es un pequeño contenedor que se llena con la mezcla alcohol-agua y se pone en contacto con un serpentín por donde circula vapor en su interior y sale condensado, el segundo método es por vapor abierto en el cual la mezcla se pone en contacto directo con el vapor.

## MÉTODOS

### Transferencia de calor

Cuando existe un gradiente de temperatura en un medio estacionario que puede ser un sólido o un fluido se utiliza el término **conducción** para referirse a la transferencia de calor que se producirá a través del medio. En cambio el término **convección** se refiere a la transferencia de calor que ocurrirá entre la superficie y un fluido en movimiento cuando están a diferentes temperaturas. El tercer modo de transferencia de calor se denomina **radiación térmica**, todas las superficies con temperatura finita emiten energía en forma de ondas electromagnéticas entre dos superficies a diferentes temperaturas. La transferencia de calor siempre se produce del sistema de temperatura más elevada hacia el de temperatura más baja.

### Conducción

Se habla de la transferencia neta de energía debida al movimiento molecular aleatorio como una *difusión* de energía. Para la conducción de calor, la ecuación o modelo se conoce como *Ley de Fourier*:

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

El flujo de calor por unidad de área  $q_x^n$  (W/m<sup>2</sup>) es la velocidad con la que se transfiere el calor en la dirección x por área unitaria *perpendicular* a la dirección de transferencia, y es proporcional al gradiente de temperatura,  $dT/dx$  en esta dirección. La constante de proporcionalidad, k, es una propiedad de transporte conocida como *conductividad térmica* (W/m K) y es una característica del material de la pared.

## Convección

Además de la difusión, la energía también se transfiere mediante el movimiento global del fluido. Una consecuencia de la interacción fluido-superficie es el desarrollo de una *capa límite de velocidad* y una *capa límite térmica*. La transferencia de calor por convección se clasifica en *convección forzada* cuando el flujo es causado por medios externos y *convección libre* cuando el flujo es inducido por fuerzas de empuje. La ecuación se denomina *Ley de Enfriamiento de Newton*,

$$q^n = h(T_s - T_\infty)$$

Donde,  $q^n$ , es el flujo de calor por convección ( $W/m^2$ ), es proporcional a la diferencia entre las temperaturas de la superficie y del fluido.  $T_s$  y  $T_\infty$ , respectivamente, la constante de proporcionalidad  $h$  ( $W/m^2 \cdot K$ ) se denomina *coeficiente de transferencia de calor por convección*. Un primer paso esencial en el tratamiento de cualquier problema de convección es determinar si la capa límite es *laminar (flujo altamente ordenado)* o *turbulenta (flujo altamente irregular)*.

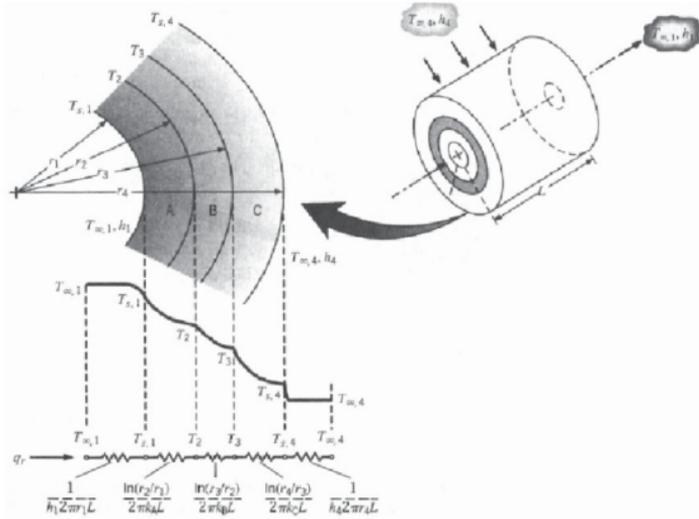
## Conducción unidimensional en sistemas cilíndricos

Los sistemas cilíndricos experimentan gradientes de temperatura en la dirección radial ( $r$ ) y, por consiguiente, se tratan como unidimensionales. De la misma manera que se asocia una resistencia eléctrica con la conducción de electricidad se asocia una resistencia térmica con la conducción de calor. La *resistencia térmica para la conducción y convección* es:

$$R_{t,cond} = \frac{T_{s,1} - T_{s,2}}{q_r} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k L} \quad ; \quad R_{t,conv} \equiv \frac{T_s - T_\infty}{q} = \frac{1}{hA}$$

Considerando ahora el sistema compuesto de la figura 1, la transferencia de calor se expresa como:

$$q_r = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,4}}{\frac{1}{2\pi r_1 L h_1} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_A L} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi k_B L} + \frac{\ln(r_4/r_3)}{2\pi k_C L} + \frac{1}{2\pi r_4 L h_4}}$$



**Figura 1.** Distribución de temperaturas para una pared cilíndrica compuesta  
**Fuente:** Fundamentos de Transferencia de Calor, Incropera & DeWitt.

### Espesor óptimo de aislamiento térmico

Aunque la resistencia de conducción aumenta al agregar aislante, la resistencia de convección disminuye con el aumento del área de la superficie exterior. La resistencia térmica total por unidad de longitud del cuerpo cilíndrico y la transferencia de calor por unidad de longitud son,

$$R'_{tot} = \frac{\ln(r/r_i)}{2\pi k} + \frac{1}{2\pi h} \qquad q' = \frac{T_\infty - T_i}{R'_{tot}}$$

Un espesor óptimo de aislamiento estaría asociado con el valor de  $r$  que minimiza  $q'$  o maximiza  $R'_{tot}$ . Este valor se obtiene del requerimiento que

$$\frac{dR'_{tot}}{dr} = 0 \quad \cdot \cdot \quad \frac{1}{2\pi k r} - \frac{1}{2\pi r^2 h} = 0 \quad \cdot \cdot \quad r = \frac{k}{h}$$

Si el resultado es positivo, se sigue que  $r = k/h$  es el radio de aislamiento para el que la resistencia total es un mínimo, no un máximo. Por ello *no existe* un espesor de aislamiento *óptimo*. Tiene más sentido pensar en términos de un *radio de aislamiento crítico*.

## **Aislamiento térmico**

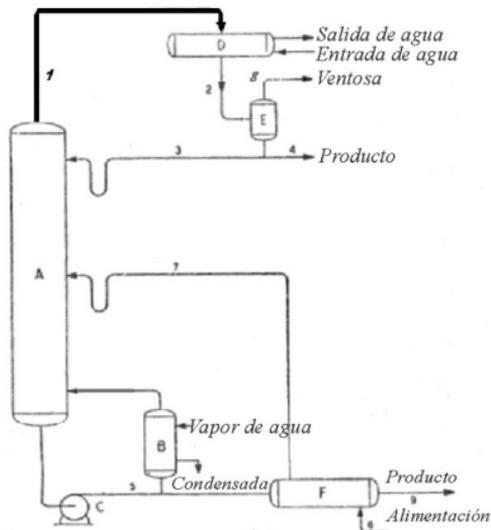
Los aislamientos térmicos se usan para suministrar resistencia actuando como barreras que retardan el flujo de calor entre dos medios a diferente temperatura, reducen la pérdida de calor ahorrando combustible y dinero. El aislamiento se paga por sí mismo gracias al ahorro de energía.

### **Tipos de aislamiento térmico**

1. Materias minerales fibrosas, como vidrio, sílice, rocas, escorias o el asbesto (ya en desuso).
2. Materiales orgánicos fibrosos o celulares, como caña, algodón, caucho, madera y corcho.
3. Plásticos orgánicos celulares, como el poliestireno o poliuretano.
4. Materiales que reflejan el calor (que deben dar a espacios vacíos o llenos de aire o gas).

## **Destilación**

La figura 2 representa un aparato de destilación altamente esquematizado, la columna de rectificación está representada en *A* y está servida por el calentador *B*. El líquido que sale por la parte inferior de la columna *A*, circula por medio de una bomba *C* exterior a la torre. El hervidor va provisto de una entrada para el vapor y una salida para condensado. El vapor que asciende por la torre, se enriquece continuamente en los componentes de punto de ebullición más bajos, sale por la cúspide de la columna a través de la tubería 1, y se marcha al condensador *D*, donde se condensa completamente. El condensador *D* debe enfriarse por circulación de agua fría. El condensado pasa por la tubería 2 al interior del depósito *E* o recipiente acumulador, desde el cual el producto marcha por dos caminos: una parte a través de la tubería 3 se devuelve a la columna como reflujo y el resto a través de la tubería 4 se extrae como producto destilado. La bomba *C* está conectada para descargar parte del fondo de la torre a través de la tubería 9, como residuo de la destilación. Se puede aprovechar el calor del residuo para precalentar el alimento que entra por la tubería 6 en el cambiador de calor *F* y sale por la tubería 7 para entrar en la columna por algún punto intermedio. Cualquier gas incondensable se elimina por el tubo de aireación 8.



**Figura 2.** Diagrama de una columna de rectificación y elementos auxiliares.

**Fuente:** Introducción a la Ingeniería Química, Badger & Banchero.

### Balances de materia y energía

Balance de materia global

$$F = D + W$$

Balance de materia por composición

$$F x_F = D x_D + W x_W$$

Balance de pérdidas de energía

$$F h_F + q_r = D h_D + W h_W + q_c + q_s$$

Donde

F = Kg/hr de Alimento

D = Kg/hr de Destilado

W = Kg/hr de Residuo

$x_F$  = Fracción en peso del Alimento

$x_D$  = Fracción en peso del Destilado

$x_W$  = Fracción en peso del Residuo

$h_F$  = Entalpía del Alimento

$h_D$  = Entalpía del Destilado

$h_W$  = Entalpía del Residuo

$q_r$  = Calor cedido en el reboiler

$q_c$  = Calor retirado del condensador

$q_h$  = Calor perdido

## Especificaciones de las columnas

### Columna 1

Diámetro nominal: 6 pulg

Diámetro interior: 155 mm

Altura: 3.20 m

Número de cuerpos: 6

Número de platos: 13 platos perforados

### Columna 2

Diámetro nominal: 6 pulg

Diámetro interior: 155 mm

Altura: 2.74 m

Número de cuerpos: 6

Número de platos: 17 platos perforados

## Cálculo del espesor óptimo

Las columnas se recubrirán con *fibra de vidrio*; material orgánico fibroso y flexible diseñado para resistir temperaturas de hasta 450 °C. El mismo viene organizado sobre un laminado de foil de aluminio en forma de bucles que brinda la facilidad de arropar y cubrir la superficie de cuerpos cilíndricos aportando la rigidez necesaria para mantener el espesor de aislamiento uniforme y la resistencia mecánica para hacerlo durable.

$$r_{cr} = \frac{k}{h} = \frac{0,035}{5,18} = 0,00675m = 6,75mm \quad \text{Columna 1}$$

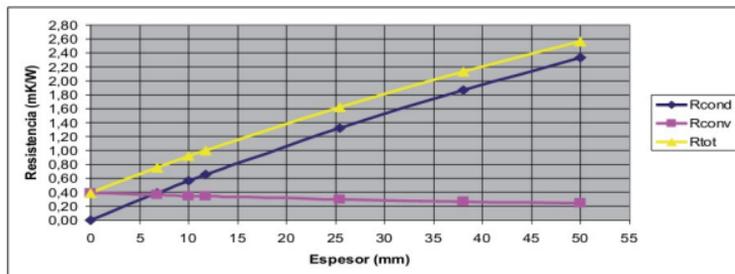
$$r_{cr} = \frac{k}{h} = \frac{0,035}{5,21} = 0,00672m = 6,72mm \quad \text{Columna 2}$$

Hay que recordar que el radio crítico corresponde al valor mínimo de la resistencia total, lo que significa que será el punto de partida para calcular las distintas posibilidades de aumentar la resistencia térmica total conforme se aumenta el espesor.

**Cuadro 1. Comportamiento de la resistencia térmica con el espesor.**

| Espesor (mm) | $r_{ext}$ (mm) | $r_{int}$ (mm) | $R_{cond}$ (m K/W) | $R_{conv}$ (m K/W) | $R_{tot}$ (m K/W) |
|--------------|----------------|----------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| 0            | 77,5           | 77,5           | 0,0000             | 0,3942             | 0,3942            |
| 6,75         | 84,25          |                | 0,3909             | 0,3626             | 0,7535            |
| 10           | 87,5           |                | 0,5681             | 0,3491             | 0,9172            |
| 11,7         | 89,2           |                | 0,6582             | 0,3425             | 1,0006            |
| 25,4         | 102,9          |                | 1,3270             | 0,2969             | 1,6238            |
| 38           | 115,5          |                | 1,8677             | 0,2645             | 2,1322            |
| 50           | 127,5          |                | 2,3304             | 0,2396             | 2,5700            |
| 100          | 177,5          |                | 3,8791             | 0,1721             | 4,0512            |
| 200          | 277,5          |                | 5,9708             | 0,1101             | 6,0809            |
| 400          | 477,5          |                | 8,5114             | 0,0640             | 8,5754            |
| 500          | 577,5          |                | 9,4015             | 0,0529             | 9,4544            |
| 600          | 677,5          |                | 10,1491            | 0,0451             | 10,1941           |
| 700          | 777,5          |                | 10,7935            | 0,0393             | 10,8328           |
| 800          | 877,5          |                | 11,3599            | 0,0348             | 11,3947           |
| 1000         | 1077,5         | 12,3210        | 0,0284             | 12,3494            |                   |

De aquí se selecciona un espesor de 50 mm, debido a que la resistencia total disminuirá el calor perdido en un factor de 2.5 veces aproximadamente y realizando un análisis económico del costo de instalación se concluye que es posible recuperar la inversión en un año o menos.



**Figura 3.** Variación de la resistencia térmica conforme aumenta el espesor.

La figura 3 representa gráficamente como varían las resistencias por conducción, convección y total en comparación con el aumento del espesor desde 0 hasta 50 mm que es nuestro valor seleccionado.

## RESULTADOS

**Cuadro 2. Comparación de variables con y sin aplicación de aislamiento térmico**

|                 |               | Columna # 1            |               | Columna # 2   |                        |          |
|-----------------|---------------|------------------------|---------------|---------------|------------------------|----------|
| Sin Aislamiento | Vapor Abierto | Consumo de combustible | 1,54 GPH      | Vapor Abierto | Consumo de combustible | 3,35 GPH |
|                 |               | Presión de trabajo     | 1 psig        |               | Presión de trabajo     | 5 psig   |
|                 | Reboiler      | Consumo de combustible | 2,09 GPH      | Reboiler      | Consumo de combustible | 1,4 GPH  |
|                 |               | Presión de trabajo     | 40 psig       |               | Presión de trabajo     | 14 psig  |
| Calor Perdido   | -597,2 W/h    |                        | Calor Perdido | -514,4 W/h    |                        |          |
| Con Aislamiento | Vapor Abierto | Consumo de combustible | 0,84 GPH      | Vapor Abierto | Consumo de combustible | 1,26 GPH |
|                 |               | Presión de trabajo     | 1 psig        |               | Presión de trabajo     | 3 psig   |
|                 | Reboiler      | Consumo de combustible | 1,05 GPH      | Reboiler      | Consumo de combustible | 1,12 GPH |
|                 |               | Presión de trabajo     | 50 psig       |               | Presión de trabajo     | 20 psig  |
|                 | Calor Perdido | -23,7 W/h              |               | Calor Perdido | -17 W/h                |          |

GPH=Galones por hora

## DISCUSIÓN

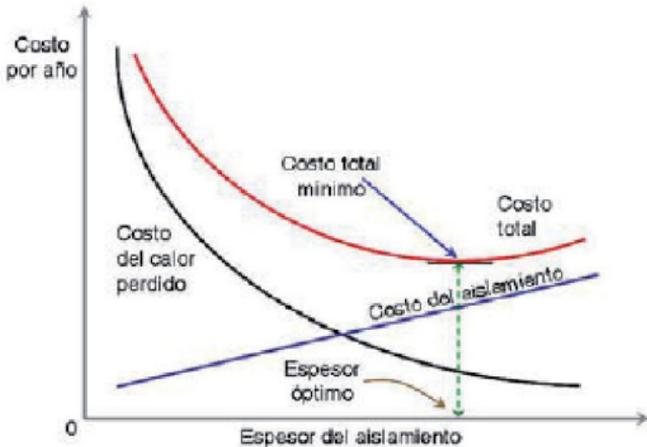
Del Cuadro 2 se puede apreciar que el calor perdido se ha reducido a un mínimo y esto garantiza que se escogió el espesor adecuado de material aislante. Adicional se tiene una ventaja que tiene que ver con la estética y presentación de las columnas antes y después del aislamiento.



**Figura 4.** Columnas de destilación antes y después del aislamiento. Junio 2013

## CONCLUSIONES

El aislamiento no elimina la transferencia de calor; simplemente la reduce. En la Figura 4 se observa que entre más grueso sea el aislamiento, menor será la transferencia de calor, pero también más elevado el costo del aislamiento. La máxima transferencia de calor de un sistema al ambiente se deriva de establecer un balance económico con respecto al espesor del aislante.



**Figura 5.** Balance económico para un sistema de aislamiento.

**Fuente:** México. Secretaría de Energía.2009

Con el aislamiento térmico se lograron reducir las pérdidas de calor en un 96%, de combustible en un 50% cuando se trabaja con vapor abierto y un 35% cuando se utiliza el serpentín o reboiler. Los tiempos de trabajo se redujeron un 40% y se eliminaron riesgos de quemaduras. El costo de aislar todas las líneas de vapor y equipos no será mayor al costo de no realizarlo y consumir más combustible. El aislamiento puede durar hasta 10 años y por lo general se recupera la inversión en un año. No existe un espesor óptimo para sistemas de calentamiento ya que mientras mayor sea el espesor menor es la pérdida de calor, pero sí existe un espesor razonable y conveniente para que el trabajo sea una inversión y no un gasto. Al disminuir el consumo de combustibles se ayuda al medio ambiente al producir menor cantidad de gases de invernadero.

## BIBLIOGRAFÍA

- BADGER, Walter y BANCHERO, Julius. Introducción a la Ingeniería Química. Atlacomulco: Libros McGraw-Hill de México, S.A, 1964. [776] p.  
ISBN: 968451957
- BONILLA Bermeo, Stefanie y ÁLVAREZ Macías, Desiré. Diseño, construcción y puesta en marcha de una columna didáctica de destilación de platos perforados con alimentación dual. Tesis (Ingeniería Química). Guayaquil: Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química, 2010. [80] p.
- CENGEL, Yunus. Transferencia de calor. 2a ed. México D.F.: McGraw-Hill/ Interamericana editores, S.A., 2003. 853 p.  
ISBN: 9701044843
- INCROPERA, Frank y DEWITT, David. Fundamentos de transferencia de calor. 4a ed. Atlacomulco : Prentice Hall Hispanoamericana. S.A., 1996. 886 p.  
ISBN9701701704
- MÉXICO. Comisión Nacional para el uso eficiente de la energía. Beneficios del aislamiento térmico en la industria [en línea]. Versión 1.1. México D.F. : Secretaría de energía, 2009 [fecha de consulta: 10 Agosto 2011]. Disponible en : <http://www.conuee.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/3856/10/aislamiento.pdf>