

Proyectos teóricos de investigación de verano 2020. DCNE. UGTO.

Propuesta por: Zeferino Gamiño Arroyo, Departamento de Ingeniería Química.

Título: Propuesta de un método para la obtención de curvas de operación de una torre de enfriamiento.

Descripción general.

Los procesos de enfriamiento del agua se encuentran entre los más antiguos que se conocen, ya que siempre hay una necesidad de recuperar el agua después que ha sido utilizada en sistemas de condensación o enfriamiento. En general, el agua se puede enfriar exponiéndola en una superficie al aire, como el agua en un tanque sin embargo este proceso puede ser muy lento, una forma más rápida es el rociado del agua hacia el aire. En este sistema agua-aire, el proceso de transferencia de calor comprende: 1) la transferencia de calor latente debido a la evaporación de una fracción de agua y 2) la transferencia de calor sensible debido a la diferencia de temperatura entre el agua y el aire. Se estima que el 80 % de esta transferencia de calor es por calor latente y el 20 % por calor sensible. Entre los dispositivos industriales mas utilizados para realizar esta operación son las torres de enfriamiento que pueden ser de varios tipos: de tiro forzado, de tiro inducido, de tiro natural. La cantidad de calor que es posible eliminar por unidad de masa de aire que circula en la torre depende de la temperatura y el contenido de humedad del aire. La temperatura de bulbo húmedo es un indicador del contenido de humedad del aire, y de forma ideal es la temperatura teórica a la que se podría enfriar el agua, sin embargo, en la práctica esto no se logra debido a la dificultad de que toda el agua que va descendiendo en la torres se logre poner en contacto con el aire fresco que entra a la torre y esto depende del diseño de la torre, otros factores son el tiempo de contacto, la cantidad de superficie disponible y la dispersión del agua en gotitas. La teoría del proceso de transferencia de calor en una torre de enfriamiento es más aceptada es la desarrollada por Merkel [1], y se basa en la diferencia del potencial de entalpía como fuerza impulsora, considera que cada partícula esta rodeada por una película de aire y que la diferencia de entalpía entre la misma y el aire circundante proporciona la fuerza impulsora para el proceso de enfriamiento. La figura 1 [1], presenta las relaciones del agua y aire y el potencial impulsor que hay en una torre de enfriamiento donde el agua y aire van en un flujo en contracorriente.

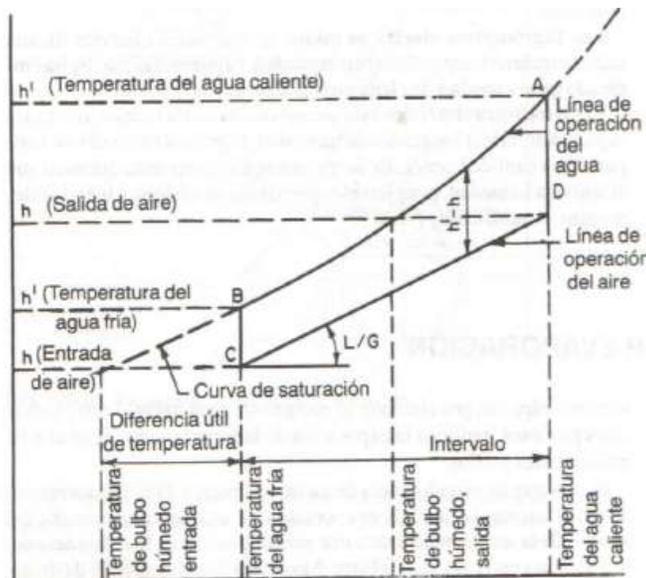


Figura 1. Balance de energía y curvas de operación de una torre de enfriamiento.

En este diagrama la línea de operación del agua se representa por la línea AB y se especifica por las temperaturas del agua a la entrada y a la salida, la línea de operación del aire inicia en C, verticalmente debajo de B, en un

punto que tiene una entalpía correspondiente a la temperatura de bulbo húmedo. La línea BC representa la fuerza impulsora inicial ($h'-h$) para enfriar el agua. La relación líquido/gas (L/G, agua/aire) es la pendiente de la línea de operación. El aire que sale de la torre se representa por medio del punto D y la gama de enfriamiento es la longitud proyectada de la línea CD sobre la escala de temperaturas. La diferencia útil de temperaturas en la torre de enfriamiento se muestra en el diagrama como la diferencia entre la temperatura del agua fría que sale de la torre y la temperatura de bulbo húmedo del ambiente. Las coordenadas se refieren directamente a la temperatura y la entalpía de cualquier punto en la línea de operación del agua; pero, en la línea de operación del aire la referencia se hace sólo a la entalpía de un punto. La temperatura de bulbo húmedo correspondiente a cualquier punto de CD se encuentra proyectando dicho punto en sentido horizontal a la curva de saturación y luego en sentido vertical a la coordina de temperatura. El área que se forma por la sección: ABCD es característica para las condiciones en que se opera la torre de enfriamiento [1]. La ecuación (1), relaciona esta sección ABCD por medio de la integral, la altura de la torre (Z), la altura global de una unidad de transferencia de gas (H_{tOG}), K_y (Coeficiente global de transferencia de masa para la fase gaseosa), superficie interfacial específica (a), masa superficial del gas seco (G'_s), entalpía de saturación (H'^*), entalpía de mezcla gas aire (H') [2].

$$N_{tOG} = \int_{H'_1}^{H'_2} \frac{dH'}{H'^* - H'} = \frac{K_y a Z}{G'_s} = \frac{Z}{H_{tOG}} \quad (1)$$

Como se puede apreciar la resolución de la integral no es analítica y requiere de un método como el de Chebyshev para su resolución, por lo que en este proyecto se buscar proponer un método para la resolución de esta integral, y otras propiedades termodinámicas requeridas, por ejemplo, en Excel y que permita determinar las condiciones operación de la torre de enfriamiento del Laboratorio de Ingeniería Química a partir de datos experimentales ya reportados.

Objetivos

Proponer un algoritmo o algoritmos que determinen propiedades termodinámicas, por ejemplo: entalpía del agua y de la mezcla agua-aire, en función de las temperaturas y presión de operación (propiedades de los diagramas psicométricos) y otras que se requieran en función de la geometría de la torre de enfriamiento como los gastos máxicos del agua y aire.

Presentar un algoritmo que determine el coeficiente global de transferencia de masa, y la altura teórica de una torre de enfriamiento a diferentes condiciones de operación.

Plan de trabajo

Se propone realizar las siguientes etapas:

- 1.- Revisión de las operaciones de humidificación, específicamente el enfriamiento de agua con aire, y su aplicación en las torres de enfriamiento, referencia: [1-3].
- 2.- Recolección y clasificación de datos experimentales de reportes de la práctica de: Operación de una Torre de Enfriamiento de la materia de Laboratorio de Ingeniería Química IV. La figura 2 muestra la Torre de Enfriamiento.
- 3.- Propuesta de algoritmo (programa) que permita obtener las propiedades termodinámicas requeridas en la Figura 1., y que permita la resolución de la ecuación 1 para diferentes condiciones de operación de una torre de enfriamiento.
- 4.- Análisis y validación de los resultados obtenidos entre el programa y los datos experimentales.



Figura 2. Torre de enfriamiento del Laboratorio de Ingeniería Química.

Resultados esperados.

La meta principal de este proyecto es obtener un programa (algoritmo) que facilite realizar los cálculos requeridos para la práctica de Operación de una Torre de Enfriamiento, además que puede servir para el dimensionamiento preliminar de una torre de enfriamiento a escala mayor. Para el estudiante permite aplicar conocimientos teóricos y contrastar los resultados con datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Ingeniería Química.

Referencias.

- [1] Perry, R.H., Green D.W., Maloney J.O., Manual del Ingeniero Químico, Sexta Edición, Tomo I, Capítulo 12, México 1996. McGraw-Hill.
- [2] Treybal R.E., Operaciones d Transferencia de Masa, Segunda Edición, México 2003, McGraw-Hill.
- [3] Ocón García J., Tojo Barreiro G., Problemas de Ingeniería Química, España 1970, Aguilar.

Firma del profesor

Zeferino Gamiño Arroyo