

“Determinación de correlaciones para tasa global de transferencia de calor y caída de presión en un determinado relleno de torre de enfriamiento utilizando un equipo experimental”

Santiago Francisco Villa Jadán
svilla@espol.edu.ec

Dirigido por: Ing. Vicente José Adum Gilbert, Msc.
vicenteadum@termpacific.com

Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción
Escuela Superior Politécnica del Litoral
Guayaquil – Ecuador: Campus “Gustavo Galindo V.”
Km 30.5 Vía Perimetral, casilla 09-01-5863
www.espol.edu.ec.

Resumen

La ausencia de rellenos comerciales y económicos para torres de enfriamiento hace que aumente el costo de la construcción y mantenimiento de estos elementos, por este motivo, el objetivo principal de la tesis fue obtener correlaciones experimentales que logren estimar con el menor error posible valores característicos de un determinado tipo relleno económico para torres de enfriamiento. Se efectuó una investigación transferencia de masa y de energía, con lo que se seleccionó el modelo matemático que más se ajusta a la distribución experimental de los valores encontrados, luego se realizó un estudio descriptivo de rangos comerciales de operación y se consideró variables como caudales de agua, aire y capacidades térmicas de las torres de enfriamiento. Con la finalidad de obtener datos reales se procedió al diseño y construcción de un equipo experimental que simule las condiciones internas de una torre de enfriamiento que tiene en su interior el relleno económico seleccionado, de esta manera se obtuvo valores reales de las condiciones de salida de los fluidos involucrados. Finalmente se logró encontrar las correlaciones que mejor se ajustaron a los valores experimentales con los que se pudo encontrar los coeficientes de transferencia de calor y caída de presión en el relleno.

Palabras claves: *Transferencia de calor, caída de presión, correlaciones, capacidades térmicas, relleno.*

Abstract

The absence of economic fill for cooling towers will increase the cost of manufacturing and maintenance of them, in consequence the objective of the thesis was to obtain experimental correlations in order to get the lowest possible error in the characteristic values for a certain type economic fill for cooling towers. This thesis investigates mass transfer and energy. To select the mathematical model that best fits the experimental distribution of the values found, ranks of commercial operation were studied with relationship to variables such as flows of water, flows of air and thermal capacity of the cooling towers. In order to obtain real data it was necessary to build an experimental equipment that simulated the conditions inside a cooling tower which had in its interior the economic fill selected, this could get real values of the conditions output fluids involved. Finally we found the correlation that fitted the best experimental that enable us to find the coefficients of heat transfer and pressure drop in the fill.

Key Words: *Heat transfer, pressure drop, correlations, thermal capacities, fills.*

1. Introducción.

Las Torres de enfriamiento son columnas con rellenos especiales que permiten el óptimo intercambio de masa del líquido hacia el gas y que presenta una baja caída de presión en su interior, el diseño de dirección de flujos de agua y aire estudiados en esta investigación es a contraflujo.

Para el diseño y construcción de una torre de enfriamiento es necesario tener los coeficientes de transferencia de masa de la fase líquida a la fase gaseosa en el relleno, sin embargo, para el relleno que se va a estudiar no existen ecuaciones ya que es un material utilizado generalmente para depositar huevos, conocido en el mercado nacional ecuatoriano como “hueveras plásticas”, por lo tanto, el objetivo de este trabajo de investigación es obtener correlaciones de los parámetros que caracterizan el elemento que se pretende utilizar como relleno de torre de enfriamiento.

Por lo tanto con esta información se logrará estimar la altura necesaria de relleno para que exista una determinada transferencia de masa de líquido al aire y también se podrá calcular la caída de presión en el relleno.

2. Fundamentos teóricos

Generalidades de sistemas de enfriamiento por cambio de fase con transferencia de masa

Las torres de enfriamiento tienen como finalidad enfriar una corriente de agua por vaporización parcial, esto se logra con el consiguiente intercambio de calor sensible y latente entre una corriente de aire seco y frío y una corriente de agua caliente, estas corrientes de aire y agua circulan en contraflujo por la torre de enfriamiento.

Al entrar en contacto el aire con el agua se forma una fina película de aire húmedo saturado sobre la lámina de agua que desciende por el relleno. Esto es debido a que la presión parcial de vapor de agua en la película de aire es superior a la del aire húmedo que circula por la torre, produciéndose una evaporación, la masa de agua evaporada extrae el calor latente de vaporización del propio líquido y el calor latente es cedido al aire, obteniéndose de esta manera un enfriamiento del agua y un aumento en la temperatura del aire.

Otra manera de explicar el funcionamiento de una torre de enfriamiento es la siguiente: Cuando el líquido a una cierta temperatura T_{agua} , entra en contacto con el aire a temperatura T_{aire} , donde la temperatura T_{aire} es menor que T_{agua} , la película del líquido que está en contacto directo con el

líquido se evapora. Para que este líquido pueda cambiar de fase, necesita obtener energía de algún lugar disponible; la fuente más cercana es el seno del líquido, por lo tanto, al tomar esta energía del líquido este disminuye su temperatura.

Cuando se requiere el intercambio de calor del agua al aire, la masa y el calor se transfieren hacia la fase gaseosa, de esta manera la convención de signos utilizada para la realización de los cálculos es positiva cuando tiene esta dirección.

Sobre esta base, para una torre de sección transversal constante un balance global de materia sería.

$$m_{agua1} - m_{agua2} = m_{aire1} - m_{aire2} \quad 2.1$$

Un balance de energía proporciona.

$$m_{agua2} H_{agua2} + m_{aire} H_{air2} = m_{agua1} H_{agua1} + m_{aire} H_{air1} \quad 2.2$$

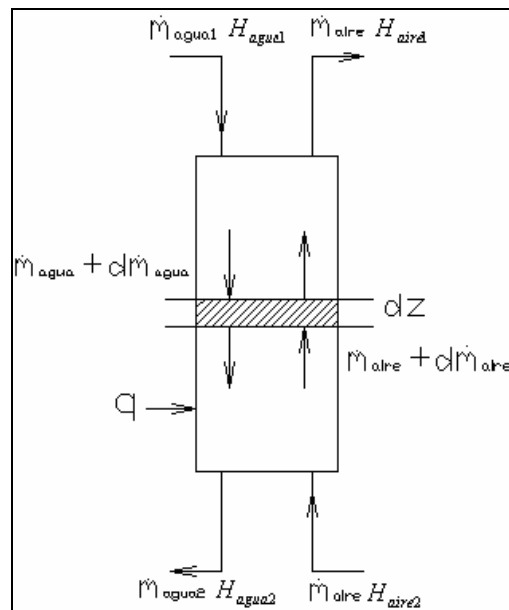


Figura: 2.1 Balance de energía en el interior de una torre de enfriamiento, para una sección transversal determinada.

Generalmente la columna opera sin pérdidas de energía en el relleno, es decir trabaja adiabáticamente, esta sección se encuentra suficientemente alejada de la pared, y la aproximación a la operación adiabática será más grande a medida que el área transversal de la torre sea mayor.

Las entalpías de la fase líquida se las puede representar de la siguiente manera.

$$H_{\text{agua}2} = C_{p_{\text{agua}}} (T_{\text{agua}2} - T_{\text{refr}}) \quad 2.3$$

$$H_{\text{agua}1} = C_{p_{\text{agua}}} (T_{\text{agua}1} - T_{\text{refr}}) \quad 2.4$$

Donde T_{refr} es una temperatura de referencia. Se ha tomado como referencia de muchos autores que en la realización de sus experimentos estos presentan pérdidas de agua, las pérdidas son debido a la evaporación del líquido hacia el aire, recordando que cuando el aire sale de la torre de enfriamiento su humedad absoluta ha aumentado debido a la saturación interna en la relleno, esta pérdidas son menores al 5%, por lo tanto se puede expresar lo siguiente:

$$m_{\text{agua}1} \approx m_{\text{agua}2} = m_{\text{agua}} \quad 2.5$$

Sustituyendo la Ec. (2.3) y Ec. (2.4) en Ec. (2.2) y considerando Ec. (2.5) se obtiene lo siguiente.

$$m_{\text{agua}} C_{p_{\text{agua}}} (T_{\text{agua}2} - T_{\text{agua}1}) = m_{\text{aire}} (H_{\text{aire}2} - H_{\text{aire}1}) \quad 2.6$$

Reagrupando los términos de la EC (2.6)

$$\frac{m_{\text{agua}} C_{p_{\text{agua}}}}{m_{\text{aire}}} = \frac{(H_{\text{aire}2} - H_{\text{aire}1})}{(T_{\text{agua}2} - T_{\text{agua}1})} \quad 2.7$$

La ecuación 2.7 representa la pendiente que existe en el figura H_{aire} versus T_{agua} , figura 2.2 esta curva es la línea de operación de una torre de enfriamiento, la línea recta de H_{aire} versus T_{agua} puede determinarse conociendo las proporciones del flujo de la fase líquida y de la fase del gas, y las condiciones de ambos flujos másicos, esta recta representa la trayectoria de las condiciones de la fase completa a medida que el fluido pasa a través del relleno de la torre de enfriamiento.

Transferencia de calor por difusión y convección simultáneas para el relleno de una torre de enfriamiento.

En una torre de enfriamiento existen dos formas de transferir calor, convección y difusión de masa, ambas del agua al aire

$$q = q_d + q_c \quad 2.8$$

Donde q_d es la transferencia de calor por difusión y q_c es la transferencia de calor por convección,

donde el área de trabajo es el área transversal del relleno en la torre de enfriamiento y no la superficie que se forma en el volumen del relleno, superficie en la que se logra la transferencia de calor.

La difusión se caracteriza por el movimiento de un material entre dos fases debido a una diferencia de concentración, a este proceso también se lo conoce como transferencia de masa.

Recordando la ecuación 2.7, esta se la puede representar en forma diferencial por lo tanto la misma ecuación se la puede apreciar de la siguiente manera.

$$\frac{m_{\text{agua}} C_{p_{\text{agua}}}}{m_{\text{aire}}} = \frac{(dH_{\text{aire}})}{(dT_{\text{agua}})}$$

Que es el valor de la pendiente de la figura 2.2

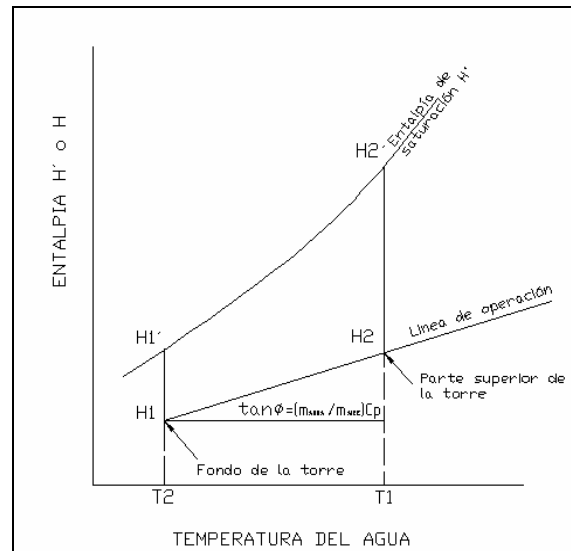


Figura: 2.2 Entalpía VS. Temperatura.

Donde el único valor que es constante es el flujo de aire por unidad de área ya que el flujo de agua tiene una variación debido a la evaporación de este fluido, estas pérdidas se producen ya que el aire seco se satura al pasar por el interior de la torre, en esta existe una lluvia de agua en dirección contraria a la dirección del aire,

El autor del libro Procesos de Transferencia de Calor, Donald Q. Kern, realiza el análisis detallado de la derivación de las ecuaciones termodinámicas y de transferencia de calor, de esta manera, las ecuaciones obtenidas y que utilizaremos son las siguientes:

$$m_{\text{agua}} C_p dT_{\text{agua}} = m_{\text{aire}} dH_{\text{aire}} = Kx(H' - H) a dV \quad 2.9$$

Pero

$$dV = A dZ \quad 2.10$$

$$m_{aire} dH_{aire} = Kxa (H' - H) A dZ \quad 2.11$$

La ecuación 2.11 es la clave para el cálculo del diseño y el análisis para el comportamiento de las torres de enfriamiento. Kx es la tasa de transferencia de masa, análoga a Uc (Coeficiente global de transferencia de calor) en los intercambiadores de calor, debe recordarse que no existe factor de obstrucción para transferencia de calor por contacto directo.

El valor de “unidad de transferencia de masa” es una medida del número de cambios de equilibrio en la interfase requeridos para efectuar una cantidad determinada de difusión, de esta manera se logra la transferencia de masa desde el fluido líquido a un fluido gaseoso.

En las torres de enfriamiento el valor de “ a ”, que es la superficie de contacto entre el agua y el aire, no puede determinarse directamente, ya que está compuesto de disposiciones al azar de gotas y de superficies de película.

La posibilidad de calcular “ a ” se obvia determinado experimentalmente el producto de “ Kxa ” como un solo factor para un tipo particular de relleno a flujos específicos de aire y agua.

Cálculo de altura necesaria para transferencia de calor y masa en relleno seleccionado.

Para encontrar la altura necesaria para la transferencia de masa y calor en una torre de enfriamiento, se necesita encontrar coeficientes característicos de una torre de enfriamiento.

Recordando la ecuación 2.11 y reordenando términos e integrando desde la entrada de la torre hasta la salida, obtenemos que:

$$Z = \frac{m_{aire}}{Kxa A} \int_{H_1}^{H_2} \frac{dH_{aire}}{(H' - H)} \quad 2.12$$

$$Z = (HUT)_G (NUT)_G \quad 2.13$$

Por lo tanto

$$(HUT)_G = \frac{m_{aire}}{Kxa A} \quad 2.14$$

$$(NUT)_G = \int_{H_1}^{H_2} \frac{dH_{aire}}{(H' - H)} \quad 2.15$$

El $(NUT)_G$, es el número de unidades de transferencia, representa el número de veces que la fuerza impulsora promedio $(H' - H)$ se divide entre el cambio de la entalpía. Es una medida de la dificultad de la transferencia de entalpía.

El número de unidades de transferencia calculado está determinado por las condiciones de proceso impuestas a la torre y no por el comportamiento propio de la torre, $(HUT)_G$ es la altura de una unidad de transferencia.

La ecuación 2.12 no es muy conveniente para usarse en el cálculo de torres de enfriamiento donde el interés principal se sitúa en la temperatura del agua producida, por lo tanto, podemos expresar la ecuación 2.12, combinándola con la ecuación 2.7, de esta otra forma.

$$Z = \frac{m_{agua}}{Kxa A} \int_{H_1}^{H_2} \frac{C_{p\ agua} dT}{(H' - H)} \quad 2.16$$

$$Z = (HUT)_L (NUT)_L \quad 2.17$$

Por lo tanto:

$$(HUT)_L = \frac{m_{agua}}{Kxa A} \quad 2.18$$

$$(NUT)_L = \int_{H_1}^{H_2} \frac{C_{p\ agua} dT}{(H' - H)} \quad 2.19$$

Las ecuaciones 2.18 y 2.19 son las ecuaciones de diseño de una torre de humidificación.

En general, para el cálculo de $(HUT)_L$ se deben determinar los caudales y los parámetros de la columna que permiten determinar el coeficiente de transferencia.

3. Descripción del equipo experimental

El equipo experimental posee las siguientes partes:

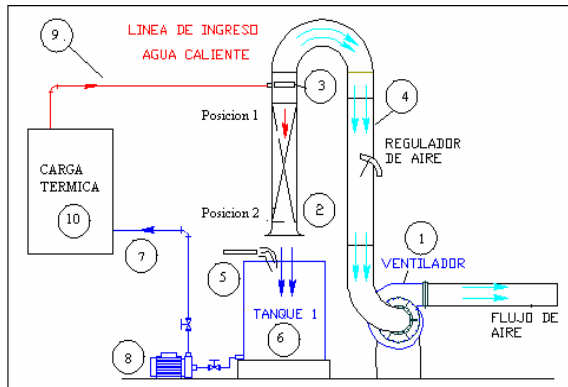


Figura 3.1. Partes del equipo experimental.

- 1) Ventilador: es un elemento mecánico que dirige el aire al interior de la relleno, este elemento es de tipo centrífugo.
- 2) Relleno: es una estructura que se encuentra en el interior de la torre y es de un material plástico, su función es que el agua que cruza en su interior se pueda dividir en gotas mas pequeñas y también que las gotas permanezca la mayor cantidad del tiempo dentro del cuerpo de la torre a fin de garantizar una optima transferencia de calor. De igual manera ayuda a que el flujo de aire se distribuya uniformemente en el interior del cuerpo.
- 3) Sistema de distribución y aspersores: Se encuentran en la parte superior de la torre y permiten que el agua caliente ingrese a la torre en forma de gotas para aumentar su superficie de contacto.
- 4) Cuerpo: esta parte es la estructura que le da forma a la torre, El material con el que esta construida son planchas de acero galvanizado.
- 5) Tubería de restitución de líquido: Conforme se produce la evaporación del agua es necesario ir restituyéndola, para este propósito existe una tubería presurizada que mantiene el nivel del reservorio constante.
- 6) Reservorio: Se encuentra en el fondo de la torre y es un tanque en el que se recoge el agua enfriada para que regrese nuevamente al sistema (carga térmica).
- 7) Tubería de salida de líquido: Esta tubería se encuentra en el nivel inferior del reservorio y su finalidad es extraer el agua que se ha logrado enfriar y enviarla a la carga térmica.
- 8) Bomba de recirculación de agua caliente: se encuentra ubicada en la parte inferior del reservorio de agua enfriada, esta envía el agua hacia la carga térmica.
- 9) Tubería de ingreso de agua caliente: esta tubería se encuentra ubicada entre la carga térmica y la parte superior de la torre de enfriamiento.



Figura 3.2 Relleno utilizado en la torre de enfriamiento, este elemento es construido de PVC y es utilizado normalmente para almacenar huevos.

4. Procedimiento de cálculo.

Para el procedimiento de la obtención de las correlaciones necesarias para el diseño de una torre de enfriamiento es necesaria dividir esta investigación en tres partes:

- Correlación de caída de presión.
- Correlaciona de tasa de transferencia de masa.
- Correlación de número de unidades de transferencia.

Cálculo de correlación de caída de presión.

Para la realización del cálculo de esta correlación es necesario medir: flujos de agua, aire, presión en la posición 1 del relleno (salida de aire) y presión en posición 2 del relleno (ingreso del aire), tomando como referencia la dirección del flujo másico del aire, esta nomenclatura se puede apreciar en la figura 2.2 y figura 3.1.

Como se puede apreciar en el Figura 4.1, la caída de presión varía dependiendo la velocidad del aire en el relleno, el rango de operación del aire con el que se realizó el estudio fue de 0 a 4.5 m/s.

Para encontrar una correlación que se ajuste a los datos experimentales se seleccionó el modelo matemático de Cobb-Douglas, este modelo es capaz de relacionar dos variables que se ajusten con el menor error posible, el modelo matemático se presenta con la siguiente forma:

$$\Delta p = \psi \cdot v^\sigma \cdot m_{agua/area}^\alpha$$

Los valores de los coeficientes se encontraron utilizando el Solver de Excel y buscando el mínimo

error entre los valores experimentales y la tendencia de la curva generada

Finalmente la correlación se la puede representar de la siguiente manera:

$$\Delta p = 4.27 v^{1.648} m_{agua / area}^{0.088} Z \quad 4.1$$

Esta correlación es valida para los siguientes rangos.

- Velocidades de aire: desde 0 hasta 4.5 m/s.
- Flujo másico de agua por unidad de área: desde 0 hasta 10.5 kg/s m².
- Altura de relleno: desde 0.3 hasta 2 m.

El gráfico utilizado en la correlación 4.1 es el siguiente:

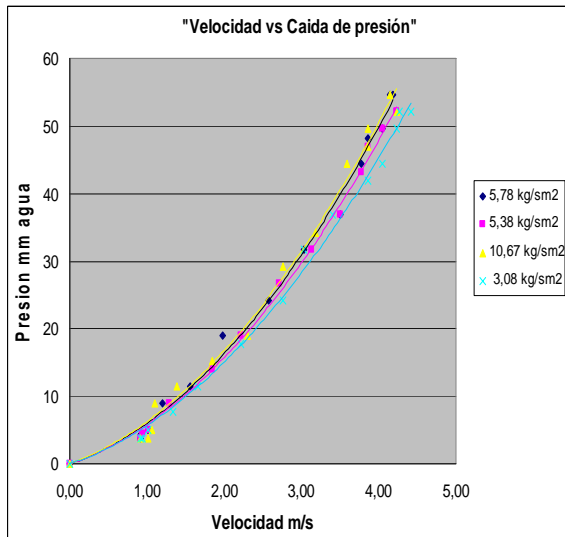


Figura 4.1 Caída de presión en función de la velocidad del aire, flujo de agua y altura de relleno (Z=1m)

Otra forma de representar la curva de caída de presión es con un modelo cuadrático, esta correlación es determinada con todos los puntos sin restricciones de caudal de agua por lo tanto esta correlación se la puede representar de la siguiente manera:

$$\Delta p = (2 v^2 + 4 v) Z \quad 4.2$$

Esta correlación es valida para los mismos parámetros de la correlación anterior de caída de presión.

La diferencia entre ambas correlaciones es que las caídas de presión se encuentran con una diferencia máxima de 10% del valor total a partir de una velocidad de 2 m/s, el gráfico utilizado en la correlación 4.2 es el siguiente:

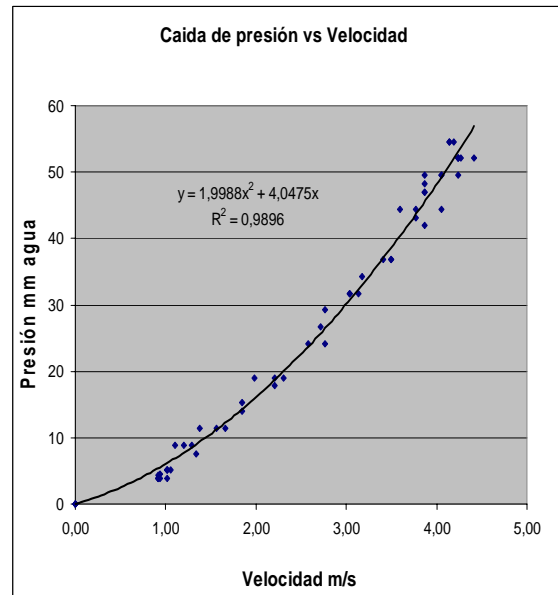


Figura 4.2 Caída de presión en función de la velocidad del aire y altura de relleno (Z=1m), correlación cuadrática

Cálculo de correlación de tasa de transferencia de masa.

Para proceder a la determinación de la tasa de transferencia de masa (Kxa) es necesario utilizar la ecuación 2.12 y obtener este término. Despejando la ecuación obtenemos:

$$Kxa = \frac{m_{agua}}{Z A} \int_{H1}^{H2} \frac{C_{p\ agua} dT}{(H'-H)} \quad 4.3$$

Recordando que

$$(NUT)_L = \int_{H1}^{H2} \frac{C_{p\ agua} dT}{(H'-H)} \quad 2.19$$

Por lo tanto

$$Kxa = \frac{m_{agua}}{Z A} (NUT)_L$$

Donde

$$m_{agua / area} = \frac{m_{agua}}{A}$$

Entonces

$$Kxa = \frac{m_{agua / area}}{Z} (NUT)_L$$

El relleno que se va a estudiar tiene dimensiones físicas de 295 x 295x 50 mm por lo tanto el equipo experimental fue construido con las dimensiones 300 x 300 mm, los valores de la tasa de transferencia serán calculados con el área transversal generada con estas dimensiones, esta área es 0.09 m² y con una altura utilizada de relleno en la recolección de los datos de un metro, la integración del valor de NUT se lo puede apreciar en la figura 2.2.

Un método para resolver la integral es tomar pequeños incrementos de temperatura y dividirlo para la diferencia promedio de H'-H, en el incremento se obtiene el número de unidades de transferencia requerido para el cambio de temperatura del agua. Cuando los incrementos se suman da el valor total de NUT, como ya se mencionó, el punto de partida de la línea de operación H1 se obtiene de la condición de aire atmosférico que entra a la torre por la parte inferior. Una vez encontrado cada valor del número de unidades de transferencia para cada valor térmico recolectado se obtiene la siguiente correlación

$$Kxa = 0.31 \cdot m_{agua / area}^{1.35} \cdot m_{aire / area}^{0.168} \quad 4.4$$

Esta correlación es valida para los siguientes rangos.

- Flujo másico de agua por unidad de área: desde 0 hasta 10.5 kg/s m².
- Flujo másico de aire por unidad de área: desde 0 hasta 5 kg/s m²

Con la anterior correlación se obtiene el siguiente gráfico para varias combinaciones de flujo másico de agua y aire por unidad de área.

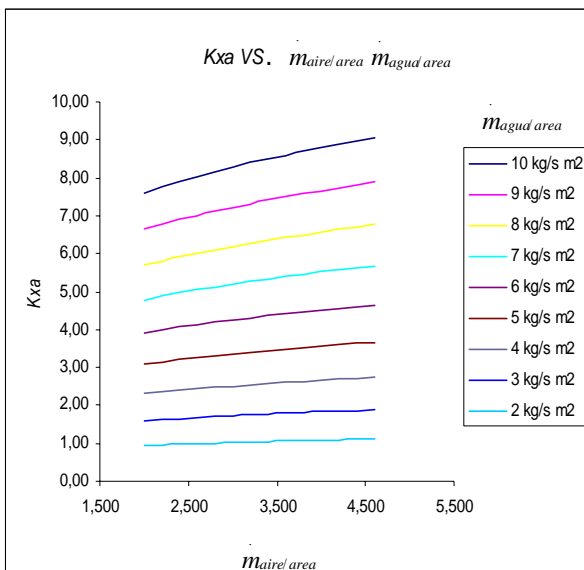


Figura 4.3 Tasa de transferencia de masa en función del flujo másico de agua y aire para una altura de relleno de un metro (Z=1m)

Determinación de correlación adimensional para la selección de altura de relleno necesaria para transferencia de masa.

Las curvas con la que los constructores de equipos diseñan las capacidades de las torres de enfriamiento se encuentran relacionadas con números adimensionales, estos valores se encuentran acotados en rangos de operación, por lo tanto, en esta ecuación el valor del número de unidades de transferencia se encuentra representado de la siguiente manera,

$$(NUT)_L = f \left(\frac{m_{agua / area}}{m_{aire / area}}, Z \right)$$

Debido a que la altura nominal del relleno con el que se realizó el experimento es un metro y que para este gráfico una de las variables debe ser la altura, es necesario calcular nuevos números de unidades de transferencia con la ecuación de tasa de transferencia de masa Kxa.

$$(NUT)_L = \frac{Kxa}{m_{agua / area}} \cdot Z$$

Por lo tanto es necesario obtener una relación de valores de $\frac{Kxa}{m_{agua / area}}$ para luego multiplicarlo para

diferentes alturas, de esta manera se obtiene la siguiente tabla:

$m_{aire / area}$	$m_{agua / area}$	Kxa	$\frac{Kxa}{m_{agua / area}}$
kg/s m ²	kg/s m ²	Kg/s m ³	m ⁻¹
2,39	5,78	3,56	0,617
2,66	5,78	3,59	0,622
2,85	5,78	3,63	0,629
3,03	5,78	3,62	0,627
3,45	5,78	4,12	0,713
3,77	5,78	4,61	0,798
2,39	5,38	3,50	0,650
2,80	5,38	3,44	0,640
3,58	5,38	4,41	0,819

Tabla 4.1: Razón entre el coeficiente de transferencia de masa y el flujo másico de agua por unidad de área, rango

de operación de razón de caudales de agua y aire de 1.5 hasta 2.5 unidades.

Como se puede apreciar claramente en la figura 4.4 los valores del número de unidades de transferencia están en función de la razón de los caudales de agua y aire, el NUT disminuye conforme aumenta el valor de la razón de los caudales, este valor se encuentra relacionado a una determinada altura de relleno.

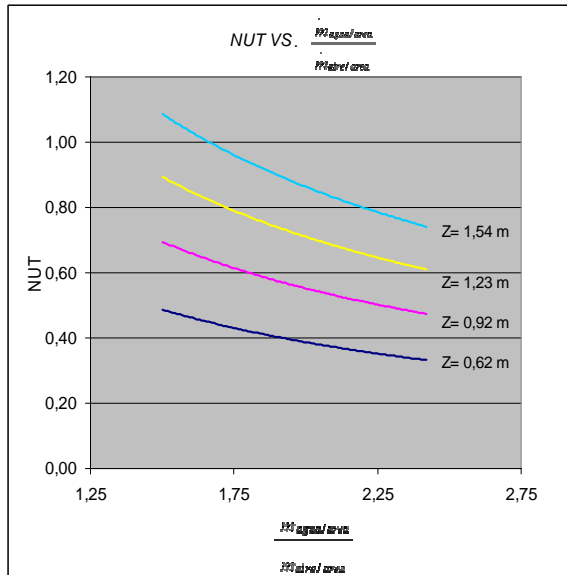


Figura 4.4: Figura de relación del número de unidades de transferencia versus la razón de caudal de aire y caudal de agua ambos por unidad de área, cada curva varía dependiendo la altura de la relleno, $T_{bh}=25$, $T_{amb}=31$, $P=101.3$ kPa.

5. Conclusiones

Se puede concluir que:

1. El modelo matemático de Cobb-douglas se ajusta con el menor error posible a la tendencia de los valores analizados tanto para caída de presión como para tasa de transferencia de masa.
2. La consolidación de todos los puntos en la curva de caída de presión del aire genera una tendencia de forma cuadrática y que a diferencia de la correlación generada con el modelo matemático de cobb-douglas puede presentar, como máximo, un error de 10% a partir de una velocidad de aire de 2 m/s.
3. El número de unidades de transferencia aumenta proporcionalmente al flujo másico de aire para un flujo másico de agua establecido, sin embargo, en cada curva se puede apreciar la tendencia de la pendiente, indiferente de la combinación de caudales que presente, esta presenta un aumento decreciente conforme aumenta el caudal de aire.

4. El número de unidades de transferencia en comparación con el relleno comercial tipo XF-19060-10 de la marca Brentwood presenta un 30% menos en valor para una similar capacidad térmica, por lo tanto, este valor establece que en comparación con alturas con rellenos comerciales, la altura del relleno económico nacional será en promedio un 30% menor, por lo tanto, existe una mejor transferencia de calor en una altura de relleno menor con la misma área transversal.

6. Nomenclatura.

- $m_{agua/area}$..Flujo másico de agua por unidad de área (Kg/s m²)
- $m_{aire/area}$..Flujo másico de aire por unidad de área (Kg/s m²)
- dT_{agua} Diferencial de temperatura del agua (°C)
- C_p Calor específico del agua (kJ/Kg K)
- dH_{aire} Cambio de entalpía del aire (kJ/kg)
- aSuperficie de contacto del agua con el relleno (m²)
- AÁrea transversal de la torre (m²)
- dZ Altura diferencial del relleno de la torre (m)
- dV Volumen diferencial de la torre (m³)
- HEntalpía del aire (kJ/kg)
- H' Entalpía de saturación del aire (kJ/kg)
- $q_{añadido}$ Calor añadido (kJ)
- KxaTasa de transferencia de masa (Kg/s m³)
- (NUT).....Número de unidades de transferencia
- (HUT).....Altura de una unidad de transferencia (m)

7. Referencia

- [1] Luís Miranda, Rufes Martínez “Torres de refrigeración” Grupo Editorial Ceac S.A. Perú, 164-08020 Barcelona.
- [2] Zuleyka Díaz Martínez, M^a Pilar García Pineda José Antonio Núñez del Prado “Las funciones de Cobb-Douglas como base del espacio vectorial de funciones homogéneas” Departamento de Economía Financiera, Campus de Somosaguas 28223 Pozuelo de Alarcón (Madrid).
- [3] Marco Londoño, Mirenchu Contreras “Evaluación de una torre de enfriamiento de tiro inducido” Departament de Ingeniería Química.
- [4] MCCABE, W.S. “Operaciones unitarias en Ingeniería Química” Editorial McGraw-Hill, México, 2002, pag 660.
- [5] Dr. Yunus A. Cengel, Dr. Michael A.Boles “Termodinámica” Grupo editorial Mc GRAW-HILL Interamericana de México Tomo 1
- [6] Frank P. Incropera, David P. Dewitt “Fundamentos de Transferencia de Calor” cuarta edición Grupo editorial PRENTICE HALL, 1999.
- [7] Donald Q. Kern “Procesos de transferencia de calor” Editorial McGRAW – HILL Book Company, INC New York , julio 1973.

