

# Modelación de la transferencia de calor y masa en el absorbedor de una máquina de refrigeración por absorción.

**C. Cisneros Ramírez.**

Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría". CUJAE.

Facultad de Ingeniería Mecánica.

Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER).

Calle 127 s/n. CUJAE. Marianao 15. Ciudad de la Habana. Cuba.

Teléfono: 260-2267.

(Recibido el 27 de Septiembre del 2001, aceptado el 12 de Julio del 2002).

## Resumen.

En este artículo se dan las expresiones que caracterizan el comportamiento de la temperatura y del producto coeficiente global de traspaso de calor ( $U$ ) por el área de traspaso de calor ( $A$ ), de un absorbedor de una máquina de refrigeración por absorción que trabaja con la solución amoníaco – agua.

**Palabras claves:** Modelación, absorbedores, refrigeración por absorción.

## 1. Introducción.

Una máquina de refrigeración por absorción está formada por los siguientes equipos: generador, condensador, evaporador, absorbedor, dos intercambiadores regenerativos y una bomba. En el generador la solución es calentada (mediante vapor, el sol, o cualquier otro medio de calentamiento) y el elemento más volátil (absorbato) se desprende de dicha solución en forma de vapor, pasando seguidamente al condensador, donde condensa. Este líquido saturado pasa al evaporador a través de la válvula de expansión. Los vapores producidos en el evaporador debido a la ganancia de calor, pasan al *absorbedor*, donde serán absorbidos por la solución débil (con menor contenido de absorbato) proveniente del generador, para con ello formar la solución fuerte (con mayor contenido de absorbato). Esta solución fuerte es bombeada de nuevo hacia el generador a través de uno de los intercambiadores regenerativos, con lo cual se completa el ciclo.

Dentro de las investigaciones que se desarrollan en el campo de la refrigeración por absorción está la de la *modelación de los procesos de transporte que ocurren en los diferentes equipos que componen la instalación, en lo fundamental el generador y el Absorbedor*. En este trabajo se tiene como objetivo la presentación de un

modelo matemático que caracteriza el comportamiento del absorbedor.

## 2. Desarrollo

### Por qué el absorbedor?

Dos razones fundamentales llevan al estudio del absorbedor. La primera es debida a la gran sensibilidad del funcionamiento de este equipo sobre el comportamiento (capacidad) de la máquina. La capacidad de enfriamiento de una máquina de refrigeración por absorción, aumentará a medida que aumente la razón a la cual el vapor es extraído del evaporador. De lo que se deriva que la principal función del absorbedor en el ciclo es absorber totalmente los vapores refrigerantes. De todos los componentes del ciclo, son el absorbedor y el generador los más voluminosos, lo cual contribuye a la elevada masa metálica de la instalación. Esta característica entre otras, ha conllevado a un bajo empleo de estos sistemas. Una forma de poder incidir en la reducción del tamaño de estos equipos es conociendo las características de los procesos que ocurren en ellos las cuales no son totalmente conocidas.

La modelación del absorbedor precisa de la solución de un problema complicado en cuanto a la simultaneidad de la ocurrencia de los procesos de

transporte de cantidad de movimiento, calor y masa, los cuales están presentes durante la absorción de un vapor por un líquido. Los resultados que se requieren del modelo son los cambios en concentración, temperatura y calor intercambiado a medida que la solución pasa por este equipo [3]. Para este trabajo solo se tendrán las ecuaciones que caracterizan al producto UA y la temperatura de la solución a la salida del mismo.

Como el objetivo de este trabajo es la modelación de la transferencia de calor y masa en el absorbedor de la máquina de refrigeración, se tomaron entonces los parámetros de trabajo variando en un rango que coincida con los encontrados en las máquinas en operación. Este rango de parámetros escogido es el siguiente:

- Presión 1 : 5 bar.
- Temp. de solución entrando al absorbedor 35-45 °C
- Concentración de solución entrando al absorbedor 0.15 : 0.35
- Temp. del medio de enfriamiento. 28 : 35 °C
- Densidad del flujo de solución entrando al absorbedor 0.01 : 0.2 Kg/ms
- Diámetro de los tubos 0.0127 : 0.0254 m

El producto del área y el coeficiente global de traspaso de calor (UA), da una medida del tamaño del equipo. El empleo de este parámetro en los componentes de una instalación de absorción trabajando con amoníaco - agua, presenta algunos inconvenientes, los cuales están dados porque la ecuación  $Q=UA\Delta t_{\log}$ , es estrictamente precisa solo cuando los fluidos que intervienen en el intercambio térmico tienen capacidad calorífica constante, o están a una temperatura fija como es el caso del cambio de fase. Estas condiciones no se cumplen en los sistemas de amoníaco - agua, debiéndose utilizar la anterior ecuación solo como una aproximación. El empleo de esta ecuación puede conducir a significativos errores, fundamentalmente en los componentes que emplean mezcla con una sustancia predominante, o sea, en el condensador y el evaporador, debido a la no linealidad de la relación entre la entalpía y la temperatura. Esta dificultad se ve reducida en el caso del generador y el absorbedor [8]. Según [4] este parámetro en la generalidad de los casos se comporta conforme a la relación  $UA=a m^b$ , donde  $a$  y  $b$  son coeficientes constantes y  $m$  es el flujo de líquido que controla el proceso de traspaso de calor.

A partir de los datos obtenidos de los trabajos de [6] y [8] y de los resultados del modelo, para la variación de los parámetros establecida con anterioridad, resultó que esta relación se comporta según la forma  $UA=a m+b$

(ecuación 1), donde  $a$  y  $b$  no son parámetros constantes, sino que dependen de la diferencia de temperatura entre la entrada de la solución y la entrada del medio de enfriamiento. Esta expresión presenta un coeficiente de correlación de 0.89.

$$UA=(a m + b)10^3 \quad (1)$$

Donde:

$$a = a_1\Delta t^2 - a_2\Delta t + a_3 \quad (2)$$

$$b = b_1\Delta t^2 - b_2\Delta t + b_3 \quad (3)$$

Los coeficientes  $a_i$  y  $b_i$  se pueden encontrar en [3].

La expresión del producto UA es útil para la predicción del comportamiento del absorbedor ante cambios de las condiciones de operación. La misma fue obtenida para diferentes condiciones de entrada de la solución, pero se mantuvieron fijas las condiciones de salida. Estas condiciones de salida se tomaron en función de las características del medio de enfriamiento (agua) en Cuba, o sea, una temperatura de este de 30°C [5] y presión en el absorbedor de 2 bar. Esta presión se fijó considerando que el vapor refrigerante tiene una concentración que oscila entre 0.98 y 0.995, valor característico obtenido en la destilación de las máquinas de este tipo [2]. Con la presión y la temperatura fijadas y considerando condición de saturación, queda fijada la concentración de salida.

La temperatura de la solución a la salida del absorbedor es un parámetro necesario a conocer ante una variación de los parámetros de operación tales como: flujo de solución, temperatura y concentración de entrada de la solución al absorbedor, temperatura del medio de enfriamiento y la presión en el absorbedor. Además, esta temperatura está influenciada por la intensidad del proceso de transporte, lo cual está representado en el coeficiente global de traspaso de calor del equipo.

Para la determinación de una relación que posibilite pronosticar la temperatura de salida de la solución, en función de los parámetros antes mencionados, se llegó a la siguiente expresión:

$$t_{\text{sal}} = \prod_{i=1}^7 t_i + t_{\text{me}} \quad (4)$$

Donde:

$$t_1 = 0.1127 \ln(m) + 1.428$$

$$t_2 = 0.0086t_{\text{ent}} + 0.6732$$

$$t_3 = -3e - 13C_{ent}^2 + 6.177C_{ent} + 2.707$$

$$t_4 = 0.029t_{me}^{1.0415}$$

$$t_5 = 1.1117 \exp(-2.624d^2)$$

$$t_6 = 9e - 7U^2 - 0.0017U + 2.0861$$

$$t_7 = 0.81P^{0.2}$$

En [1] se presentó una expresión teniendo en cuenta estos mismos parámetros pero para el caso de la solución de bromuro de litio - agua.

Para la verificación experimental se utilizaron los resultados facilitados por [7] sobre dos instalaciones que actualmente trabajan y que sirven de base experimental. Una de ellas es de simple efecto (denominada instalación #1) por lo que posee un solo absorbedor y la otra es de dos efectos (denominada instalación #2) con dos absorbedores. Los resultados de la comprobación aparecen en la tabla 1 y tabla 2.

**Tabla 1:** Resultados para la instalación #1

	$t_{ent}$ [°C]	$t_{sal}$ [°C]	$t_{ent} - t_{sal}$ [°C]	$C_{ent}$	$C_{sal}$	$C_{ent} - C_{sal}$	$d$ [mm]	$U$ [W/m <sup>2</sup> K]	Cantidad de tubos
Instalación #1	50	37.4	12.6	0.25	0.31	0.06	25.4	625	10
Modelo	50	36.3	13.7	0.25	0.325	0.063	25.4	670	10
Error %	-	2.9	8.7	-	4.8	5	-	7.2	-

**Tabla 2:** Resultados para la instalación #2

	$T_{ent}$ [°C]	$T_{sal}$ [°C]	$T_{ent} - T_{sal}$ [°C]	$C_{ent}$	$C_{sal}$	$C_{sal} - C_{ent}$	$D$ [mm]	$U$ [W/m <sup>2</sup> K]	Cantidad de tubos
Absorbedor #1	38	36	2	0.3	0.392	0.092	25.4	833	12
Modelo	38	37.2	0.8	0.3	0.4	0.1	25.4	734	12
Error %	-	3.3	60	-	2.3	9.7	-	11.9	-
Absorbedor #2	41.5	38	3.5	0.25	0.311	0.061	25.4	752	14
Modelo	41.5	35.6	5.9	0.25	0.306	0.056	25.4	653	14
Error %	-	6.3	68	-	1.6	8.1	25.4	13.2	-

En dichas tablas se presentan los parámetros reales de entrada y salida del absorbedor, junto a los valores pronosticados por el modelo. Además aparecen la cantidad de tubos en la vertical, el diámetro de los tubos y el coeficiente global de traspaso de calor, tanto real como pronosticado. Por último están reflejados los errores entre los valores reales y los obtenidos por el modelo.

De las tablas se observa la buena concordancia de los valores de interés (temperatura, concentración y coeficiente global de traspaso de calor) entre los pronosticados por el modelo y los experimentales. Es importante destacar que las comprobaciones experimentales están realizadas contra resultados globales de las instalaciones. En todos los casos, los valores experimentales presentados, son valores medios de las mediciones realizadas.

### 3 Conclusiones.

La obtención de un modelo que caracterice el funcionamiento de un equipo, es uno de los objetivos fundamentales en el campo de la ingeniería. En este trabajo se presentan dos ecuaciones las cuales

caracterizan el comportamiento del parámetro UA y de la temperatura de salida de la solución, respectivamente.

A partir de los resultados obtenidos en las instalaciones patrones y los obtenidos por las ecuaciones propuestas, se puede concluir que hay buena correspondencia entre ellos.

#### Nomenclatura:

- $\Delta t$ : Diferencia de temperatura (°C).
- $U$ : Coeficiente global de traspaso de calor (W/m<sup>2</sup>K).
- $A$ : Area de traspaso de calor (m<sup>2</sup>).
- $T$ : Temperatura (°C).

### 4. Referencias.

Andberg J. W. (1986). Absorption of vapor into liquid films flowing over cooled horizontal tubes. Ph. D thesis; The University of Texas at Austin.

Bogart, M. (1981). Ammonia absorption refrigeration in industrial processes. Gulf Publishing Co.

Cisneros Ramírez, C. (1999). Modelación de la transferencia de calor y masa en el absorbedor de una

máquina de refrigeración por absorción. Tesis de grado de doctor en ciencias.

Ercan Ataer, O. y Gogus, Y. (1991). Comparative study of irreversibilities in aqua - ammonia absorption refrigeration systems. Int. Journal of Refrigeration. Vol. 14, marzo, p. 86 - 92.

Fernández Conde, E. (1983) Comunicación personal.

Kahn, C.; Hugo, H. y Alefeld, D. (1996). Results and perspectives of an ammonia water cycle with high temperature lift using reverse rectification. Ab Sorption

Heat Pump Conference'96. Canada. Proceeding . Canada. Proceeding.

Rodríguez S., R. (1997) Comunicación personal.

Zaltash, A. y Grossman, G. (1996). Simulation and performance analysis of Basic GAX and advanced GAX cycles with  $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$  and  $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-Li Br}$  absorption fluids. Ab Sorption Heat Pump Conference'96. Canada. Proceeding . Canada. Proceeding.

---

## Heat and mass transference modeling in the absorveter of an absorption cooling device.

### Abstract.

In this article the expressions that characterize the temperature performance and the global heat exchange (U) by the heat exchange area (A) of the absorveter of an absorption refrigerating equipment with aqua-ammonia solution are given.

**Key words: Model, absorber, absorption refrigeration.**