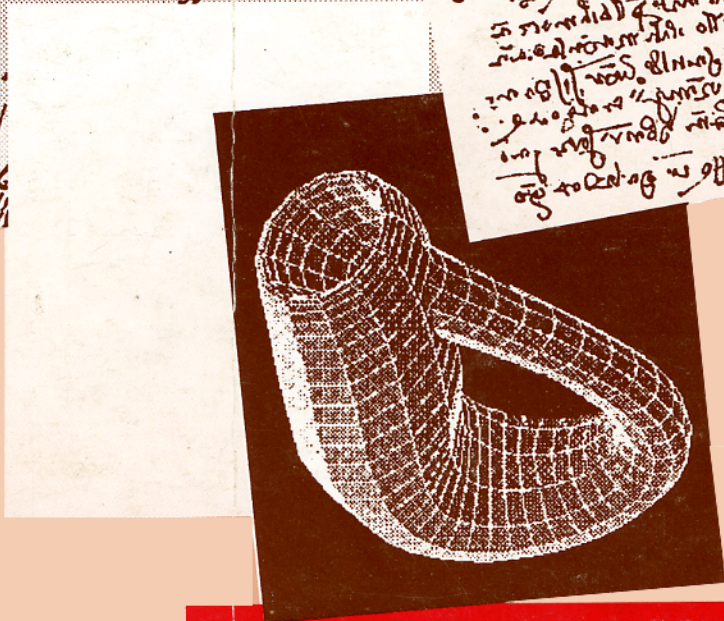
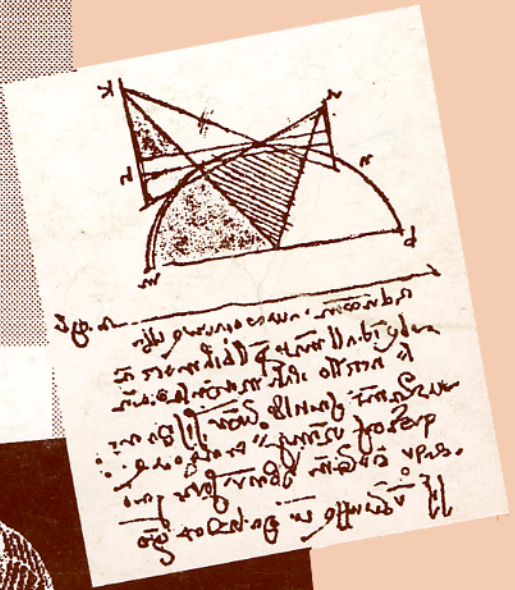
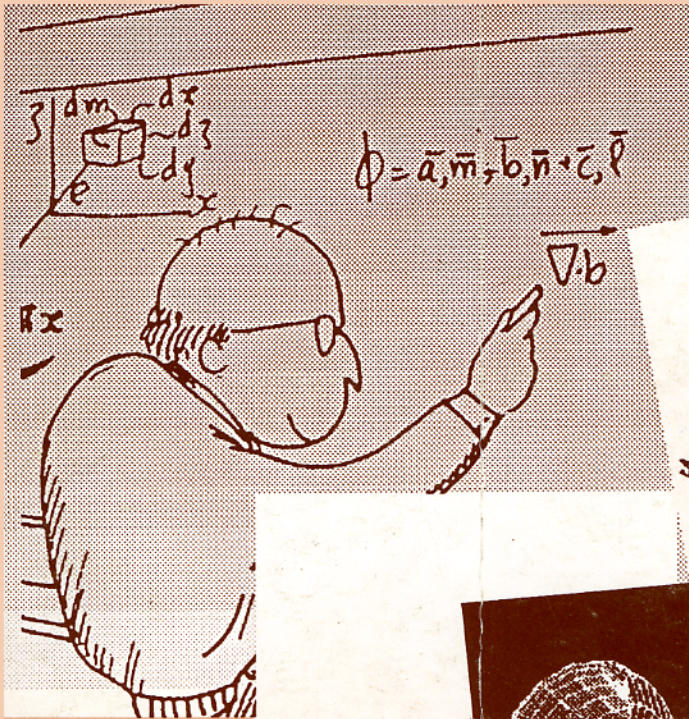


Ingeniería

Revista de la Universidad de Costa Rica
ENERO/JUNIO 1993 VOLUMEN 3 No. 1



MODELO GENERALIZADO PARA EL CALCULO DEL PUNTO DE ROCIO PARA MEZCLAS DE VAPOR DE AGUA NO SATURADAS

G.Rojas M. *
V.R.Vásquez J. *

Resumen

Utilizando datos del punto de rocío y de la temperatura de bulbo seco, a diferentes porcentajes de humedad relativa, generados a partir de datos de la literatura, se obtuvo un modelo generalizado para evaluar el punto de rocío de mezclas no saturadas de aire-vapor de agua, para diferentes condiciones de las variables antes indicadas. Este modelo presenta un alto grado de precisión y puede ser utilizado con facilidad en procedimientos computacionales.

Abstract

Using dew point and dry bulb temperature data obtained from literature with several values of relative saturation; we made a general mathematical model to calculate the dew point of unsaturated vapor-gas mixtures on a air-water system. The model only needs the dry bulb temperature and relative saturation to calculate dew point. This model has a highly precision and it can be used readily in computer methods.

1. ASPECTOS TEORICOS

La psicrometría estudia las propiedades de las mezclas aire-vapor de agua y también, por analogía, los principios que determinan las propiedades y el comportamiento de las mezclas formadas por los llamados "gases permanentes" y los vapores condensables[2].

Si la presión parcial del vapor en una mezcla de vapor-gas es por alguna razón menor que la presión de vapor en el equilibrio del líquido a la misma temperatura, la mezcla no está saturada[2]. Para medir las diferentes propiedades de dicha mezcla, se requiere evaluar previamente dos propiedades siendo dentro de las más comunes la temperatura de bulbo seco (T.B.S) y la de bulbo húmedo (T.B.H). A su vez, con estas temperaturas se puede determinar el porcentaje de humedad relativa (%HR) de la mezcla, de manera usual en una carta psicrométrica, aunque también se puede evaluar en una gráfica de presión de vapor-temperatura.

La humedad relativa expresada como porcentaje se define como :

$$\%HR = 100 * \frac{p_A}{P_A} \quad (1)$$

en donde P_A es la presión de saturación del vapor y p_A la presión parcial del vapor a la misma temperatura de bulbo seco de la mezcla.

Considerando que se cuenta con psicrómetros que permiten evaluar la humedad relativa, es posible utilizar directamente esta propiedad junto con la temperatura de bulbo seco, para caracterizar la mezcla no saturada en cuestión ya que las mismas establecen una condición puntual dentro de las cartas antes mencionadas. Si a partir de este punto, se traza una trayectoria horizontal, de manera que la mezcla no saturada se enfríe a presión constante sin contacto con un líquido, la mezcla se va acercando más a su saturación conforme disminuye la temperatura y se satura completamente al alcanzar un 100 % de humedad relativa. La temperatura correspondiente a esta condición se denomina "punto de rocío", a partir de la cual si se sigue disminuyendo la temperatura, el vapor se condensará en la forma de un rocío líquido. Esto se utiliza como un método de determinación de humedad: una superficie metálica brillante se enfría en la presencia de la mezcla de gas, y la aparición de una niebla que empaña la superficie especular indica que se ha alcanzado el punto de formación de rocío[4].

2. ECUACION DEL PUNTO DE ROCIO (TR)

Para determinar las relaciones apropiadas entre el punto de rocío y la temperatura de bulbo seco para diferentes condiciones de porcentaje de humedad

relativa constante, se utilizaron datos reales que se muestran en la Tabla 1, correspondientes a temperaturas en el ámbito de 283 a 323 K y humedad relativa porcentual de 30 a 90 % [3,5].

Tabla 1 Temperaturas de rocío (K)

T bulbo seco (K)	PORCENTAJE DE HUMEDAD RELATIVA						
	30	40	50	60	70	80	90
283.15	266.44	270.22	273.24	275.77	277.95	279.87	281.59
288.15	270.78	274.70	277.84	280.47	282.74	284.74	286.53
293.15	275.10	279.17	282.43	285.16	287.52	289.60	291.46
298.15	279.41	283.63	287.02	289.85	292.30	294.46	296.39
303.15	283.70	288.08	291.59	294.53	297.07	299.32	301.33
308.15	287.99	292.53	296.16	299.21	301.85	304.17	306.26
313.15	292.26	296.96	300.72	303.88	306.61	309.02	311.19
318.15	296.52	301.38	305.27	308.55	311.37	313.87	316.11
323.15	300.77	305.79	309.82	313.20	316.13	318.72	321.04

En la figura 1 se ilustra la representación gráfica de los datos anteriores, observándose una relación lineal a los diferentes porcentajes de humedad relativa.

Las ecuaciones de las relaciones lineales mostradas en la Figura 1, son las siguientes :

$$TR = 0.858 (TBS) + 23.499 ; (\%HR = 30) \quad (2)$$

$$TR = 0.889 (TBS) + 18.491 ; (\%HR = 40) \quad (3)$$

$$TR = 0.914 (TBS) + 14.361 ; (\%HR = 50) \quad (4)$$

$$TR = 0.936 (TBS) + 10.817 ; (\%HR = 60) \quad (5)$$

$$TR = 0.955 (TBS) + 7.695 ; (\%HR = 70) \quad (6)$$

$$TR = 0.971 (TBS) + 4.893 ; (\%HR = 80) \quad (7)$$

$$TR = 0.986 (TBS) + 2.344 ; (\%HR = 90) \quad (9)$$

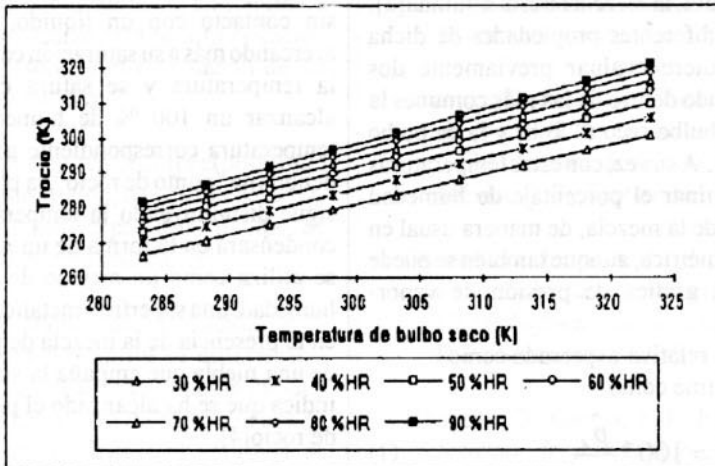


Figura 1 Variación del punto de rocío con la temperatura de bulbo seco, para humedades relativas constantes

Dichas ecuaciones presentan un índice de correlación superior a 0.999996 y a la vez se nota un aumento promedio de 2.3 % en el valor de la pendiente conforme se incrementa el (%HR) en diez unidades, lo cual se puede considerar como un leve efecto de ésta variable en la relación entre las temperaturas estudiadas. Por lo tanto, despreciando en primera instancia el efecto antes mencionado, se puede establecer en términos generales la siguiente ecuación con A y B como constantes:

$$TR = A + B(TBS) \quad (9)$$

Para el análisis de la relación entre la temperatura de rocío y el porcentaje de humedad

relativa, se procedió a construir la Figura 2, utilizando los mismos datos de la Tabla 1.

En dicha figura se observa una relación no lineal entre las variables estudiadas. Con el objeto de obtener una relación lineal, se probaron diferentes modelos, tomando en consideración la forma de las curvas previamente mostradas[1,6].

El modelo que permite la linealidad de los datos, con C y D como constantes es de la forma:

$$\frac{1}{TR} = C \ln(\%HR / 100) + D \quad (10)$$

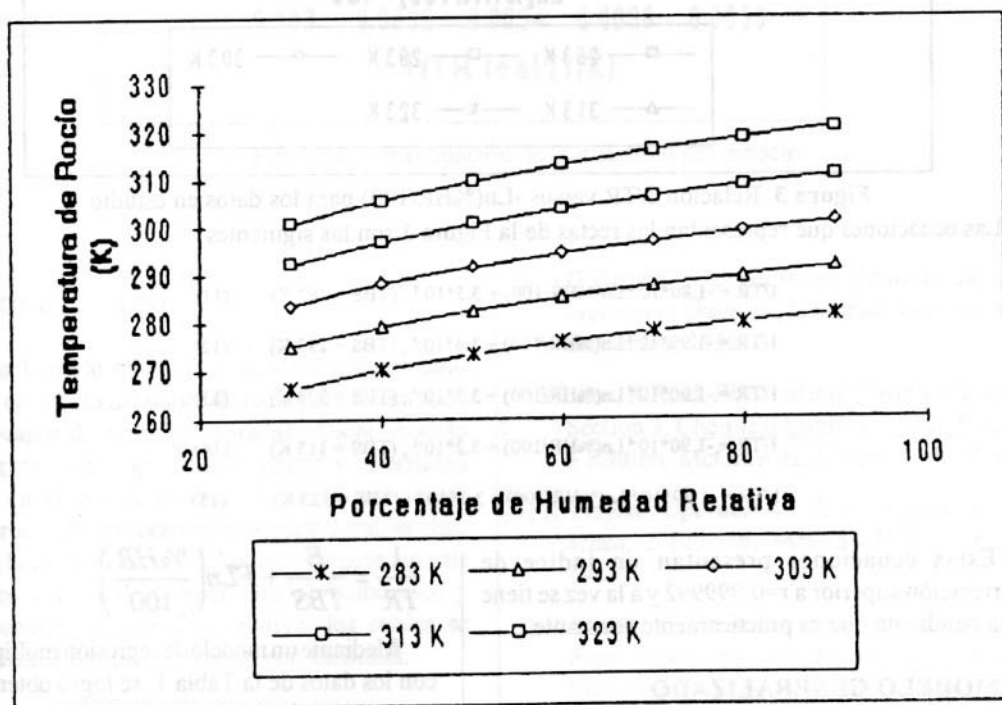


Figura 2 Variación de la temperatura de rocío con la humedad relativa a temperaturas de bulbo seco constantes

La ecuación (10) sugiere entonces que planteando $1/TR$ versus $\ln(\%HR/100)$ se obtenga una serie de líneas rectas a las diversas temperaturas de bulbo seco; esto se puede observar en la Figura 3.

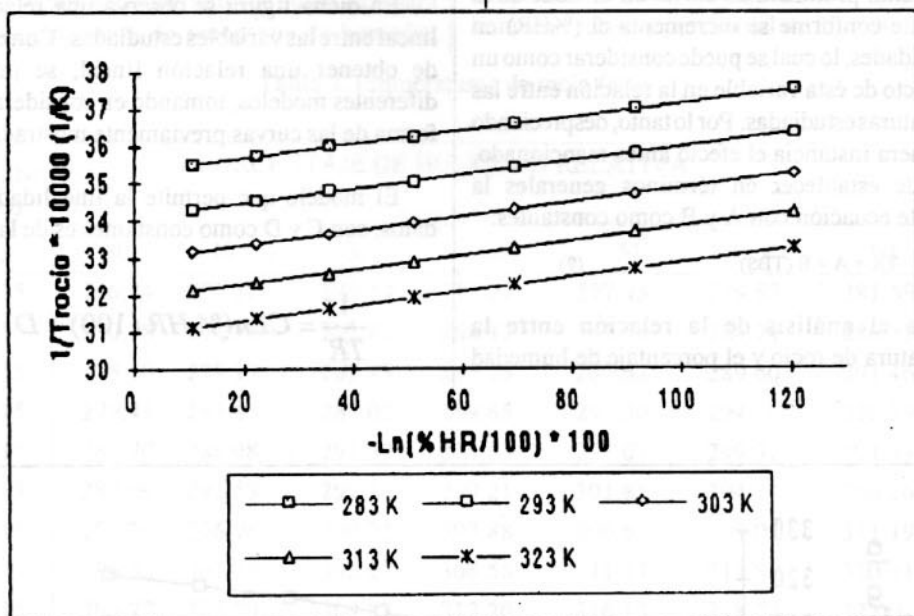


Figura 3 Relación $1/TR$ versus $-\ln(\%HR/100)$ para los datos en estudio

Las ecuaciones que representan las rectas de la Figura 3 son las siguientes :

$$1/TR = -1.80 \cdot 10^{-4} \ln(\%HR/100) + 3.5 \cdot 10^{-3}; (TBS = 283 K) \quad (11)$$

$$1/TR = -1.90 \cdot 10^{-4} \ln(\%HR/100) + 3.4 \cdot 10^{-3}; (TBS = 293 K) \quad (12)$$

$$1/TR = -1.90 \cdot 10^{-4} \ln(\%HR/100) + 3.3 \cdot 10^{-3}; (TBS = 303 K) \quad (13)$$

$$1/TR = -1.90 \cdot 10^{-4} \ln(\%HR/100) + 3.2 \cdot 10^{-3}; (TBS = 313 K) \quad (14)$$

$$1/TR = -1.90 \cdot 10^{-4} \ln(\%HR/100) + 3.1 \cdot 10^{-3}; (TBS = 323 K) \quad (15)$$

Estas ecuaciones presentan un índice de correlación superior a $r=0.999992$ y a la vez se tiene una pendiente que es prácticamente constante.

3. MODELO GENERALIZADO

Con el fin de obtener un modelo generalizado para el cálculo del punto de rocío, basado en el comportamiento mostrado en las Figuras 1 y 3, y válido para cualquier condición de temperatura de bulbo seco y humedad relativa dentro del ámbito estudiado, se propuso la siguiente ecuación que se obtiene de la combinación de las ecuaciones 9 y 10, siendo E y F constantes :

$$\frac{1}{TR} = \frac{E}{TBS} + FL \ln \left(\frac{\%HR}{100} \right) \quad (16)$$

Mediante un modelo de regresión múltiple[6], con los datos de la Tabla 1, se logró obtener las constantes de la ecuación (16), quedando expresada la misma como :

$$\frac{1}{TR} = \frac{1.001}{TBS} - 1.8784 \cdot 10^{-4} \ln \left(\frac{\%HR}{100} \right) \quad (17)$$

Para la evaluación de esta ecuación se procedió a construir la Figura 4, utilizando todos los datos de la Tabla 1, mediante la cual se determinó un error máximo absoluto de 0.1316 % en el modelo planteado.

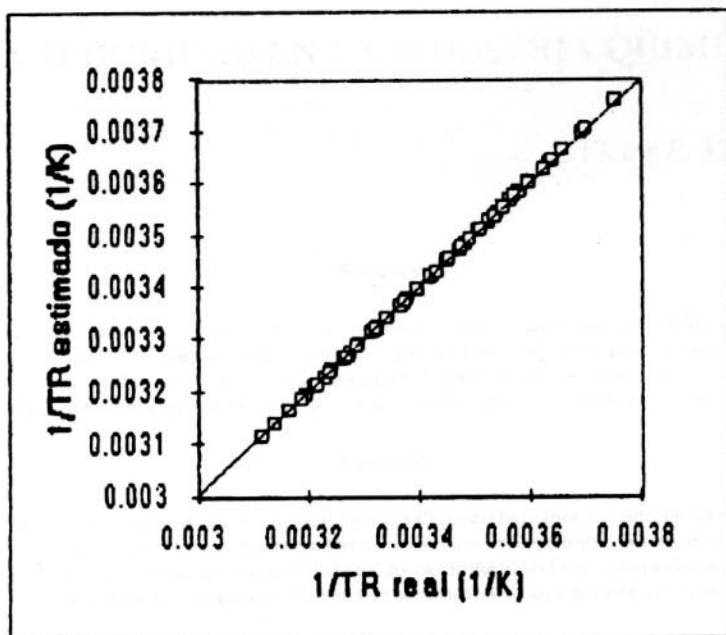


Figura 4 Comprobación de la exactitud del modelo

4. CONCLUSIONES

Se ha logrado obtener un modelo generalizado para el cálculo del punto de rocío para mezclas de aire-vapor de agua no saturadas. Dicho modelo presenta un alto grado de exactitud y su utilidad está en el hecho de que el mismo puede ser incorporado en procedimientos computacionales, para la determinación del punto de rocío a partir de los valores de temperatura de bulbo seco y porcentaje de humedad relativa, los cuales se obtienen experimentalmente con facilidad.

5. BIBLIOGRAFIA

- 1) J. Brosen. *Correlating the hyperbolic function*, Chemical Engineering, April 7, No 7, Vol. 87, McGraw-Hill, 1980.
- 2) G. Brown. *Operaciones básicas de la Ingeniería Química*, Editorial Marín S.A., Barcelona, 1955.
- 3) P. Liley, R. Reid. *Physical and Chemical Data*, Section 3, Chemical Engineer's Handbook, 6 Edition, McGraw-Hill, New York, 1984.
- 4) R. Treybal. *Operaciones de Transferencia de Masa*, 2 Edición, McGraw-Hill, México, 1989.
- 5) R. Wilsak, G. Thodos. *Critical Assessment of Four Vapor Pressure Functions over the Complete Vapor-Liquid Coexistence Region*, Ind. Eng. Chem. Fundam., 1984, 23, 75-82.
- 6) F. Wood, C. Daniel. *Fitting Equations to Data*, 2 Edition, John Wiley & Sons, New York, 1980.