

INTRODUCCIÓN

Las tablas psicrométricas constituyen una herramienta empleada en la práctica para la obtención de las características de la humedad del aire a partir de los valores medidos de la temperatura de éste y de la temperatura del termómetro de bulbo húmedo. Así permiten obtener las siguientes características de la humedad: Tensión parcial del vapor de agua¹, temperatura del punto de rocío, humedad relativa y el déficit de tensión de vapor de agua. Además, estas tablas permiten determinar cualquier característica de la humedad aire a partir de la temperatura del aire y cualquiera de las variables de humedad enumeradas anteriormente.

Como base para el cálculo de las tablas se emplean la dependencia de la tensión de saturación del vapor de agua de la temperatura, así como de la tensión del vapor de agua de la diferencia entre la temperatura del aire y la temperatura del bulbo húmedo. Estas dependencias se expresan a través de una serie de fórmulas, obtenidas empíricamente a partir del análisis físico de estos procesos y pueden adoptar diferentes formas, en dependencia del objetivo que se pretende alcanzar. En este caso se describen los procesos de cambios de fases sobre la superficie del agua.

Para la obtención de las características de la humedad del aire a partir de la lectura de los termómetros para la temperatura del aire y para la del bulbo húmedo, el método más empleado es el método psicrométrico, el cual se basa fundamentalmente en la obtención de la tensión del vapor de agua a partir de la conocida “fórmula psicrométrica”, utilizada para la confección de la presente tabla:

$$e = E' - Ap(t - t')$$

donde:

e – Tensión de vapor de agua (hPa).

E' – Tensión de saturación para la temperatura del bulbo húmedo (hPa).

¹ En lo adelante aparecerá simplemente “tensión del vapor de agua”

p – Presión atmosférica (hPa).

t – Temperatura del aire ($^{\circ}C$)

t' – Temperatura del bulbo húmedo ($^{\circ}C$)

A – Coeficiente psicrométrico ($^{\circ}C^{-1}$)

El coeficiente psicrométrico A para la confección de esta tabla fue determinado experimentalmente y establecido en 0.001021, correspondiente con una velocidad característica del viento en el interior del abrigo meteorológico de 0.3 m/s (Moya A. y Núñez E., 2005). La presión atmosférica se tomó como un valor constante fijado en $1015.5hPa$, correspondiente con el valor medio de esta variable para Cuba (Moya A. y Núñez E., 2005).

La tensión de saturación se calculó a partir de la fórmula de Goff - Gratch, sobre la superficie del agua, adoptada por la OMM (IV CG. Resolución 19, reglamento técnico apéndice C, sección 13). Esta fórmula es exacta para valores positivos de temperatura y muy precisa para valores negativos hasta $-50^{\circ}C$:

$$\lg E = 10.79574\left(1 - \frac{T_1}{T}\right) - 5.028001\lg \frac{T}{T_1} + 1.50475 \bullet 10^{-4} \left[1 - 10^{-8.2969\left(\frac{T}{T_1} - 1\right)}\right] + \\ + 0.42873 \bullet 10^{-3} \left[10^{4.76955\left(1 - \frac{T_1}{T}\right)} - 1\right] + 0.78614$$

donde:

E – Tensión de saturación (hPa).

T – Temperatura del aire (K)

T_1 – Punto triple del agua (273.16 K, $0.01^{\circ}C$)

Una vez conocidos los valores de tensión de saturación y de tensión de vapor de agua se calculó la humedad relativa f (%), utilizando la fórmula $f = \frac{e}{E} \bullet 100$, que ha sido establecida en el Reglamento Técnico de la OMM (Apéndice D-17).

Para el cálculo de la temperatura del punto de rocío, teóricamente la expresión más exacta es la función inversa de la fórmula de Goff - Gratch, sin embargo, debido a la dificultad que presenta la obtención analítica de esta función, en la práctica frecuentemente se emplean fórmulas aproximadas.

Para la confección de esta tabla se empleó la fórmula de Hooper:

$$t_d = n_0 + n_1V + n_2V^2 + \dots + n_6V^6$$

donde:

$$V = \ln E$$

t_d – temperatura del punto de rocío (°C)

$$n_0 = -2.259529963 \times 10$$

$$n_1 = 1.133418988 \times 10$$

$$n_2 = 5.756940348 \times 10^{-1}$$

$$n_3 = 3.025080051 \times 10^{-2}$$

$$n_4 = 1.778276954 \times 10^{-3}$$

$$n_5 = 7.443287646 \times 10^{-5}$$

$$n_6 = 1.129170314 \times 10^{-5}$$

El déficit de tensión de vapor de agua se calculó como la diferencia entre la tensión de saturación y la tensión de vapor de agua:

$$d = E - e$$

donde:

d - Déficit de tensión de vapor de agua.

En la tabla, e y d se expresan en $mmHg$. Para realizar la conversión de hPa a $mmHg$ se utilizaron las siguientes expresiones:

$$e(mmHg) = \frac{e(ePa)}{Kr} \quad \text{y} \quad E(mmHg) = \frac{E(ePa)}{Kr}$$

donde:

$Kr = 1.333224$ – Coeficiente de conversión.

1. FORMATO Y USO DE LA TABLA

La tabla psicrométrica fue calculada para valores de temperatura desde -5.0 hasta 40.0°C y para valores de temperatura del termómetro de bulbo húmedo correspondientes a humedades relativas próximas a 0%. Para facilitar el uso de la misma, seguidamente mostramos el formato en que ha sido confeccionada la tabla (fig. 1):

$t_s = 13.1$				
t'	e	Hr	t_d	d
11.3	8.6	76	9.1	2.7

Fig. 1. Formato en el que fue confeccionada la presente tabla psicrométrica.

donde:

t_s — Temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$).

t' — Temperatura del termómetro de bulbo húmedo ($^{\circ}\text{C}$).

e — Tensión del vapor de agua (mmHg).

Hr — Humedad relativa (%).

t_d — Temperatura del punto de rocío ($^{\circ}\text{C}$).

d — Déficit de tensión del vapor de agua (mmHg).

Para obtener los valores necesarios de las características de la humedad del aire, primeramente se buscará el valor de la temperatura ubicado en la parte superior de la tabla y posteriormente se ubicará el valor de la temperatura del termómetro de bulbo húmedo en la columna (t'). Colocando una regla a nivel del renglón que señala el valor (t') se obtienen a continuación los valores de las variables buscadas.

Ejemplo: Si al realizar la lectura del psicrómetro de la estación, la temperatura del termómetro de bulbo seco resultó de 20°C y la del termómetro de bulbo húmedo de 19.8°C, entonces, al remitirnos a la tabla (Fig. 2.), se obtendrá que

$$e = 17.2mmHg$$

$$Hr = 98\%$$

$$t_d = 19.7^\circ C$$

$$d = 0.4mmHg$$

El valor de la tensión de saturación coincide con el valor de la tensión del vapor de agua para una humedad relativa del 100%.

$t_s = 20.0$				
t'	e	Hr	t_d	d
20.0	17.5	100	20.0	0.0
19.9	17.3	99	19.8	0.2
19.8	17.2	98	19.7	0.4

Fig.2. Fragmento de la tabla psicrométrica (página 299) correspondiente a una temperatura del aire de 20.0°C.

2. DEFINICIONES DE ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE LA HUMEDAD DEL AIRE

Tensión del vapor de agua: La atmósfera está constituida por una mezcla de aire seco y de vapor de agua. Según la ley de Dalton, la presión individual que ejerce cada uno de estos gases es independiente de la presencia del otro y la presión atmosférica no es más que la suma total de estas presiones individuales. La presión individual que ejerce el vapor de agua sobre una superficie unitaria independientemente de la presencia de otros gases se conoce con el nombre de **tensión del vapor de agua**. La **Tensión del vapor de agua** también puede ser definida como el peso del vapor de agua contenido en la atmósfera por unidad de superficie y se expresa en milímetros de mercurio *mmHg* o en hPa.

Tensión de saturación del vapor de agua: Es el valor máximo posible que puede alcanzar la tensión del vapor de agua y a partir del cual el vapor de agua comienza el proceso de condensación. Se puede deducir fácilmente que la tensión de saturación del vapor de agua también se expresa en *mmHg* o en hPa.

Temperatura del punto de rocío: Es la temperatura a la cual el vapor de agua contenido en un volumen de aire a una presión atmosférica y una humedad específica constantes alcanza el estado de saturación. La temperatura del punto de rocío, a pesar de expresarse en °C, es una característica de la humedad del aire y no de su estado térmico.

Humedad relativa: Es la relación entre la tensión del vapor de agua y su tensión de saturación expresada en porcentaje (%).

Conociendo la tensión del vapor de agua, obtenida con ayuda de la tabla psicrométrica, se pueden obtener otras características de la humedad del aire a partir de fórmulas sencillas. A continuación se ofrecen las definiciones de estas características, así como las fórmulas para calcularlas:

Humedad absoluta: Es la masa de vapor de agua expresada en gramos contenida en un metro cúbico de aire húmedo. Conociendo la tensión de vapor de agua a partir de la

presente tabla psicrométrica se puede conocer la humedad absoluta a partir de la siguiente fórmula:

$$a\left(\frac{g}{m^3}\right) = 1.0665792 \frac{e}{1 + \alpha t}$$

donde:

a – Humedad absoluta

e – Tensión del vapor de agua ($mmHg$).

t – Temperatura del aire ($^{\circ}C$).

$$\alpha = \frac{1}{273.15}$$

Relación de mezcla: Es la relación entre la masa de vapor de agua contenida en un determinado volumen de aire y la masa de aire seco contenida en dicho volumen.

$$r = \frac{0.829265328e}{p - 1.333224e}$$

donde:

r – Relación de mezcla.

e – Tensión del vapor de agua ($mmHg$).

p – Presión atmosférica (hPa).

Humedad específica: Es la cantidad de vapor de agua, expresada en gramos, contenida en un kilogramo de aire húmedo. Puede definirse también como la cantidad de vapor de agua expresada en gramos contenida en un gramo de aire húmedo. En la práctica más

frecuentemente se expresa en $\frac{g}{kg}$.

$$q\left(\frac{g}{kg}\right) = 829.265328 \frac{e}{p - 0.504e}$$