

Apuntes de Humedad

Introducción - Conceptos previos: presión parcial y Ley de Dalton (si ya sabés esto, pasá a leer presión de vapor)

Consideremos una habitación con aire, y supongamos que el aire se puede considerar como un gas ideal.

El aire tiene varios componentes; es una mezcla de gases: hay N_2 , O_2 , CO_2 , etc. Supongamos (¡imaginemos!) que extraemos de la habitación a todos los gases (N_2 , CO_2 , etc.) excepto a uno (O_2 , por ejemplo). El O_2 quedaría entonces ocupando todo el recinto, y ejerciendo cierta presión sobre las paredes \rightarrow esta presión será la presión parcial de O_2 (la llamaríamos p_{O_2}). Esta presión parcial verifica la ecuación de gases ideales:

$$p_{O_2} \cdot V = n_{O_2} \cdot R \cdot T$$

donde n_{O_2} es el número de moles de O_2 , V es el volumen del recinto y T la temperatura ambiente dentro del mismo. Es decir que: *la presión parcial de un componente es la presión que ejercería ese componente en ausencia de los otros.*

Como se mencionó, para cada componente se cumple la ecuación de los gases ideales:

$$p_{O_2} \cdot V = n_{O_2} \cdot R \cdot T \rightarrow \text{para el oxígeno}$$

$$p_{N_2} \cdot V = n_{N_2} \cdot R \cdot T \rightarrow \text{para el nitrógeno} \rightarrow \text{Ecuación de los gases ideales para cada componente}$$

etc.... = etc....

$$\rightarrow (p_{O_2} + p_{N_2} + \dots) \cdot V = (n_{O_2} + n_{N_2} + \dots) \cdot R \cdot T \rightarrow \text{donde sumamos miembro a miembro todas las igualdades.}$$
$$(p_{O_2} + p_{N_2} + \dots) \cdot V = (\text{nro. Total de moles de aire}) \cdot R \cdot T$$

La ecuación que obtenemos es la ecuación de los gases ideales para el aire (total) del recinto: $p_{total} \cdot V = n_{total} \cdot R \cdot T$, es decir, llegamos a que la presión total del aire quedó expresada como una suma de presiones parciales de los componentes:

$$p_{total} = p_{O_2} + p_{N_2} + \dots + (\text{todas las presiones parciales de los componentes que haya})$$

Esta es la Ley de Dalton: *“La suma de presiones parciales es igual a la presión total”.*

Fracción molar de un componente i

Definimos a la fracción molar de un componente i (i = podría ser oxígeno, nitrógeno, etc.) del aire, como el cociente entre el número de moles de dicho componente (n_i) y el número total de moles de aire (n_{total}). Es decir:

$$\chi_i = \frac{n_i}{n_{total}}$$

n_i = número de moles del componente i

n_{total} = número de moles total del aire

Usando la ecuación de gases ideales:

$$p_i \cdot V = n_i \cdot R \cdot T \rightarrow \text{donde } p_i \text{ es la presión parcial del componente } i$$

$$p_{total} \cdot V = n_{total} \cdot R \cdot T \rightarrow \text{donde } p_{total} \text{ es la presión del aire}$$

Dividiendo miembro a miembro, se simplifican V , T y R , y se ve que la fracción molar también puede expresarse con presiones:

$$\frac{p_i}{p_{total}} = \frac{n_i}{n_{total}} \rightarrow \boxed{\chi_i = \frac{n_i}{n_{total}} = \frac{p_i}{p_{total}}}$$

Ejemplo: Sabiendo que, en condiciones normales, en 1 mol de aire seco hay 0,21 mol de oxígeno, calcular la presión parcial de oxígeno si la presión atmosférica es de 1 atm.

Solución: sabemos que $n_{total} = 1$ mol (de aire) y que $n_{O_2} = 0,21$ mol (nro. de moles de oxígeno), entonces primero calculamos la fracción molar de oxígeno:

$$\rightarrow X_{O_2} = 0,21 \text{ mol} / 1 \text{ mol} = 0,21 \rightarrow \text{ésta es la fracción molar de oxígeno}$$

Entonces, como también se cumple $p_i/p_{total} = X_i$, y como $p_{total} = 1$ atm, queda:

$$p_{O_2} / 1 \text{ atm} = X_{O_2} = 0,21 \rightarrow \text{y despejando la presión parcial de oxígeno, queda: } p_{O_2} = 0,21 \text{ atm.}$$

Ahora sí, ¡entremos en tema!

Concepto de presión de vapor

El aire, además de oxígeno, nitrógeno, etc., también puede contener agua en estado de vapor. Este vapor también ejerce una cierta presión parcial p_v . Es decir que:

$$p_{total} = p_{O_2} + p_{N_2} + p_{CO_2} + \dots + p_v$$

presión total
presión de vapor de agua
del aire

La presión de vapor (que es una presión parcial) verifica también la ecuación de los gases ideales:

$$p_v \cdot V = n_v \cdot R \cdot T_{amb}$$

Notación:

p_v = presión de vapor medida / presente (la presión de vapor que hay en el aire en cierto momento)

n_v = número de moles de vapor que hay presentes en el aire

V = volumen del recinto considerado

T_{amb} = temperatura ambiente en Kelvin ($T = t(^{\circ}C) + 273$ K)

La fracción molar de vapor será:

$$\boxed{\chi_v = \frac{n_v}{n_{total}} = \frac{p_v}{p_{total}}}$$

donde p_{total} es la presión total del aire y n_{total} es el número total de moles de aire en el recinto analizado.

Concepto de presión de vapor saturado

Se puede comprobar que, para cada temperatura, hay una máxima masa de vapor que puede haber, en estado gaseoso, dentro de cierta masa de aire.

Hagamos una analogía: si tenemos un recipiente con agua, y le agregamos algo de sal, ésta se disuelve; si agregamos un poco más, también se disuelve... pero llega a un punto en que, si seguimos agregando sal, no se disuelve más. En ese momento la solución está saturada, y a partir de ese momento, si agregamos más sal, se va al fondo del recipiente.

En nuestro caso tenemos AIRE (en vez del recipiente con agua), y tenemos VAPOR DE AGUA (en vez de sal - tener en cuenta que lo anterior fue solamente una analogía). El vapor de agua está disuelto en el aire... y si por alguna razón, aumenta la cantidad de vapor en el aire, solamente podrá aumentar hasta cierta cantidad máxima.

Un experimento imaginario: Supongamos que tenemos un recipiente cerrado, a temperatura T, que contiene cierta cantidad de agua líquida que ocupa parte del recipiente. Si dejamos transcurrir el tiempo, va a comenzar a evaporarse agua, pero solamente va a evaporarse hasta que la presión de vapor p_v llegue a un máximo valor llamado p_{vs} :

p_{vs} = presión de vapor saturado

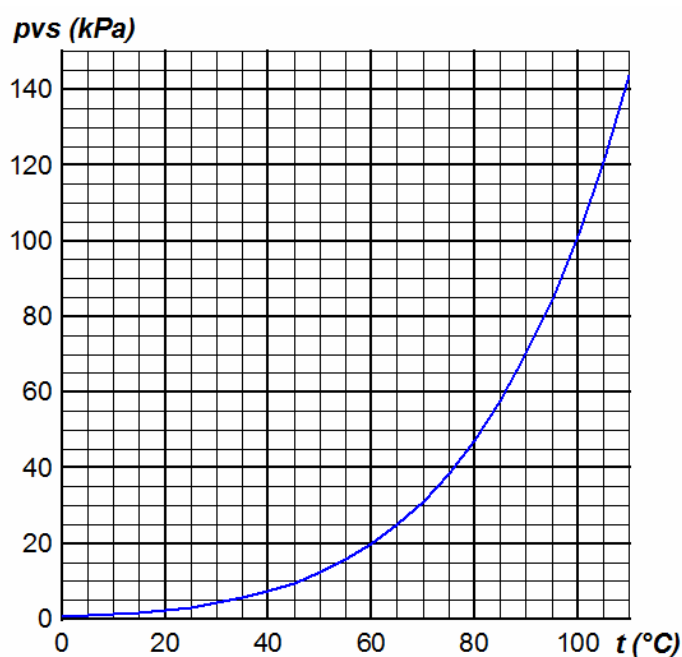
En esta situación hay equilibrio líquido-vapor. A partir de ese momento, la cantidad de vapor en el aire será la misma (seguirá habiendo evaporación y condensación, pero el flujo neto de agua a vapor será nulo). En ese momento, decimos que el vapor está saturado.

Si, después, se nos ocurre aumentar la temperatura del recipiente, el aire va a admitir más vapor, y entonces se evaporará más agua, hasta llegar a un nuevo valor de p_{vs} , mayor que el anterior. Así que, p_{vs} depende de la temperatura, por lo cual muchas veces lo expresamos: $p_{vs}(t)$

Entonces: $p_{vs}(t)$ *significa la máxima presión de vapor que puede haber a cierta temperatura t*. Aclaremos que el vapor del aire puede tener menor presión que p_{vs} (de hecho: lo habitual es que p_v sea bastante menor que p_{vs}). Recordemos que llamamos p_v a la presión de vapor que efectivamente hay en el aire en un momento dado, y p_{vs} es el máximo valor que podría tomar p_v , a cierta temperatura t.

Tabla y gráfico de presión de vapor saturado vs. temperatura

La variación de $p_{vs}(t)$ con la temperatura, está medida, y se muestra en el siguiente gráfico, y en la tabla. Los valores de la misma, suelen usarse en la resolución de problemas, así que es importante saber manejar la tabla.



t(°C)	p_{vs} (kPa)
0,01	0,612
5	0,871
10	1,226
15	1,70
20	2,33
25	3,17
30	4,24
35	5,62
40	7,38
45	9,59
50	12,35
55	15,76
60	19,94
65	25,03
70	31,18
75	38,55
80	47,35
85	57,77
90	70,04
95	84,42
100	101,3
105	120,8
110	143,3

Ejemplo de uso de la tabla: hallar la presión de vapor saturado si la temperatura ambiente es de 20°C. Consultando la tabla, vemos que para t = 20°C, le corresponde el valor p_{vs} = 2,33 kPa; ésta es la máxima presión que podría ejercer el vapor a esa temperatura... notar que este valor de presión es un porcentaje pequeño de la presión atmosférica habitual.

Notar que, para t = 100°C, la presión es de 101,3 kPa.... eso quiere decir que, si la temperatura fuera de 100°C, toda la masa de agua podría pasar al estado de vapor → esto es algo que ya sabíamos, es el punto de ebullición del agua. Volveremos sobre esto más adelante.

Humedad relativa

Habitualmente, el aire no está saturado de vapor de agua, sino que la presión de vapor presente p_v suele ser bastante menor que la presión de vapor saturado p_{vs}. Entonces, es útil definir una expresión que nos permita cuantificar el grado de humedad del aire. Por eso, definimos humedad relativa de la siguiente manera:

$$Hr = \frac{p_v}{p_{vs}(t_{amb})}$$

donde:

p_v = presión de vapor presente (la que hay realmente en el aire)

p_{vs}(t_{amb}) = la presión de vapor saturado, es decir, la máxima presión de vapor posible a temperatura ambiente. Es el valor de tabla para la temperatura ambiente correspondiente.

Esta expresión nos dice cuán cerca o lejos está el valor p_v del máximo valor p_{vs} (a cierta temperatura dada), es decir: a mayor humedad relativa, más cerca está el vapor de la saturación, y viceversa.

Nota: Muchas veces la humedad relativa se expresa en forma porcentual: **Hr(%) = Hr . 100**

Ejemplo: un día el informe meteorológico dice que la temperatura es de 20°C y que hay 80% de humedad relativa. Hallar la presión de vapor presente en el aire.

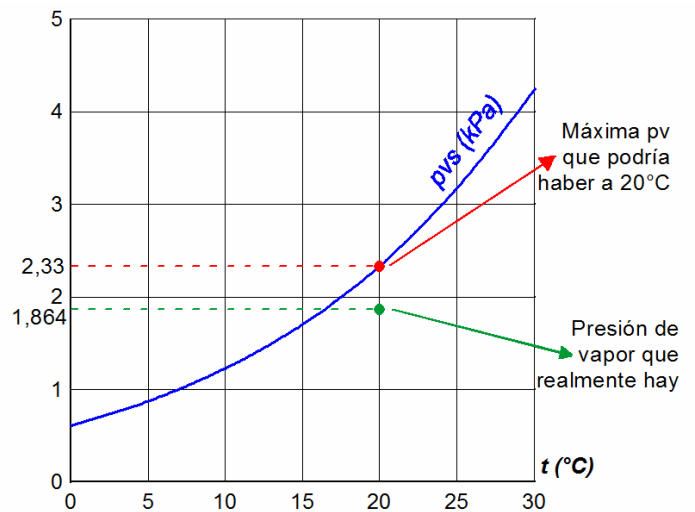
Solución:

$$Hr = \frac{p_v}{p_{vs}(20^\circ C)} \Rightarrow p_v = Hr \cdot p_{vs}(20^\circ C)$$

Usando Hr=80/100 = 0,8 y el valor de tabla para p_{vs}:

$$\Rightarrow p_v = 0,8 \cdot 2,33 \text{ kPa} \Rightarrow p_v = 1,864 \text{ kPa}$$

Podemos visualizar esto en el gráfico:



Ejemplo un poco más elaborado: veamos el ejercicio 34 de la página 41 de la guía:

Una masa de aire está a 5°C y tiene una humedad relativa del 25%. ¿Cuál es la humedad relativa de la misma masa de aire si se la calienta hasta una temperatura de 20°C? (usaremos los datos de la tabla dada anteriormente)

Solución:

- Primero planteamos la humedad relativa en la situación inicial, es decir, cuando el aire está a 5°C:

$$Hr = \frac{p_v}{p_{vs}(5^\circ C)} \Rightarrow p_v = Hr \cdot p_{vs}(5^\circ C)$$

Usando $Hr=25/100 = 0,25$ y el valor de tabla para p_{vs} a $5^\circ C$: $\Rightarrow p_v = 0,25 \cdot 0,871 \text{ kPa} \Rightarrow p_v = 0,21775 \text{ kPa}$

El valor que obtuvimos es la presión de vapor que hay en el aire al principio.

- Después, se calienta esta masa de aire, ¿cambiará este valor de p_v , o seguirá siendo el mismo? En realidad, eso depende de la forma en que se caliente el aire: podría calentarse a presión constante, o a volumen constante, o tal vez de alguna manera intermedia. Para esta resolución, por simplicidad **supondremos que la presión de vapor no cambia**. Entonces, planteamos la expresión de humedad relativa en la situación final, es decir, cuando el aire está a $20^\circ C$:

$$Hr' = \frac{p_v}{p_{vs}(20^\circ C)}$$

Tal como se aclaró, usaremos $p_v = 0,21775 \text{ kPa}$. Y buscamos el valor de tabla para $p_{vs}(20^\circ C) = 2,33 \text{ kPa}$. Reemplazando, obtenemos la nueva humedad relativa Hr' :

$$Hr' = \frac{0,21775 \text{ kPa}}{2,33 \text{ kPa}} = 0,093 \Rightarrow Hr'(\%) = 9,3\%$$

Formas equivalentes de calcular Hr

De acuerdo a la conveniencia, puede usarse una de estas tres maneras de calcular Hr, que son equivalentes:

1)
$$Hr = \frac{p_v}{p_{vs}(t_{amb})}$$
 (ésta es la que ya vimos)

2) Se pueden comparar masas en vez de presiones:

$$Hr = \frac{m_v}{m_{vs}}$$
 donde:

m_v = masa de vapor presente en la masa de aire analizada

m_{vs} = máxima masa de vapor que podría haber (en la misma masa de aire analizada) a temperatura ambiente

3)
$$Hr = \frac{n_v}{n_{vs}}$$
 (es similar a 2) pero usando números de moles)

donde:

n_v = número de moles de vapor presentes en la masa de aire analizada

n_{vs} = máximo número de moles de vapor que podría haber (en la misma masa de aire analizada) a temperatura ambiente

Deducción de 2) y 3) a partir de 1)

A partir de 1), se pueden derivar fácilmente 2) y 3), usando la ecuación de gases ideales para la presión parcial de vapor:

- Partimos de la ecuación que verifica p_v (la presión de vapor presente):

$$p_v \cdot V = n_v \cdot R \cdot T_{amb} \quad (\text{donde } T_{amb} \text{ debe estar en Kelvin)}$$

- También expresamos una ecuación similar, pero para la presión de vapor saturado:

$$p_{vs} \cdot V = n_{vs} \cdot R \cdot T_{amb}$$

Dividiendo miembro a miembro ambas ecuaciones llegamos a:

$$\frac{p_v}{p_{vs}} = \frac{n_v}{n_{vs}}$$

de donde se deduce que 3) es válida. Si, además, expresamos a la masa de vapor (a la presente y a la máxima posible), como: masa = número de moles · 18 g/mol, se llega fácilmente a 2).

Cómo puede cambiar Hr

Supongamos que estamos estudiando una masa de aire que no cambia su composición: es decir, que no se está condensando vapor, ni tampoco existen recipientes con agua en el recinto de los cuales pudiera evaporarse agua. Así que, se estudia una cierta cantidad de moles de aire, n_{total} , dentro de los cuales hay una cierta cantidad fija de moles de vapor, n_v . Veamos cómo podría cambiar la *humedad relativa* de esta masa:

Cómo cambia Hr al cambiar la presión total del aire (suponiendo temperatura constante)

Supongamos que la presión total del aire (la presión atmosférica) aumenta. ¿Qué va a suceder entonces con la humedad relativa? Sabemos que la fracción molar de vapor cumple:

$$\chi_v = \frac{n_v}{n_{total}} = \frac{p_v}{p_{total}}$$

Pero si se mantiene constante la composición de la masa de aire, entonces el cociente n_v/n_{total} no cambiará, y por lo tanto: **un aumento de la presión total tendrá como consecuencia un aumento de la presión de vapor presente p_v** . Y si la temperatura ambiente no cambia, entonces no cambia p_{vs} . **La humedad relativa, por lo tanto, va a aumentar**, por aumentar el numerador (p_v).

Por supuesto, si la presión atmosférica disminuye, y se mantiene la temperatura ambiente constante, ocurre lo contrario: la humedad relativa disminuirá.

Cómo cambia Hr al cambiar la temperatura

Notar que la tabla de valores de p_{vs} vs temperatura ambiente, indica que al aumentar la temperatura, p_{vs} aumenta. Y como en la expresión de Hr, p_{vs} está en el denominador, en caso de que la presión de vapor no cambie, entonces si p_{vs} aumenta, Hr disminuirá. En caso de que la presión de vapor p_v sí cambie: es posible comprobar que, en caso de que p_v aumente, aumenta menos que el aumento de p_{vs} , o sea que de todas maneras, **al aumentar la temperatura, Hr disminuye**. De la misma manera, es posible verificar que **al disminuir la temperatura, Hr aumenta**.

Otra manera de verlo: recordar que, a mayor temperatura, el aire admite más moléculas de vapor como máximo... entonces el grado de humedad relativa ("el vapor que hay, dividido el máximo vapor que podría haber") será menor.

Humedad absoluta

Se define humedad absoluta de la siguiente manera:

$$Habs = \frac{m_v}{V}$$

donde:

m_v = masa de vapor presente en la masa de aire estudiada

V = volumen que ocupa dicha masa de aire

Notar que en este caso, no tendría ningún sentido expresar *Habs* como porcentaje. Es una cantidad que tiene unidades de masa sobre volumen.

Relación entre la humedad absoluta y la relativa

Vamos a ver que, usando la ecuación de gases ideales, es posible relacionar a ambas:

- Podemos expresar a la masa de vapor presente en términos de su número de moles (recordar que la masa molar del agua es de 18 g/mol):

$$m_v = n_v \cdot 18 \text{ g/mol}$$

Reemplazamos la expresión anterior en la definición de humedad absoluta:

$$Habs = \frac{m_v}{V} = \frac{n_v \cdot 18 \text{ g/mol}}{V}$$

Por otra parte, planteamos la ecuación de gases ideales para el vapor presente: $p_v \cdot V = n_v \cdot R \cdot T_{amb}$ → y de aquí despejamos el cociente n_v/V :

$$\frac{n_v}{V} = \frac{p_v}{R \cdot T_{amb}} \rightarrow \text{reemplazamos esto en la expresión de Habs:}$$

$$Habs = \frac{18 \text{ g/mol} \cdot p_v}{R \cdot T_{amb}} \rightarrow \text{relación entre Habs y } p_v \text{ que puede ser útil}$$

Ahora podemos despejar p_v de la expresión de humedad relativa: $p_v = Hr \cdot p_{vs}(t_{amb})$, y reemplazar esto en la ecuación anterior:

$$Habs = \frac{18 \text{ g/mol} \cdot p_{vs}(t_{amb}) \cdot Hr}{R \cdot T_{amb}}$$

Finalmente obtenemos una expresión que relaciona *Habs*, con *Hr* y con la temperatura ambiente. Notar que la temperatura ambiente en el denominador debe expresarse en Kelvin. Notar también que en el numerador, figura la presión de vapor saturado a temperatura ambiente, que es un valor de tabla.

Ejemplo: resolvamos el ejercicio 33 de la página 41 de la guía

En una habitación de 60 m^3 y que contiene aire seco a 25°C , se introducen 300 g de vapor de agua a la misma temperatura. a) ¿Cuál es la humedad absoluta? b) ¿Cuánto vale la humedad relativa? c) ¿Qué masa máxima de vapor de agua admite ese ambiente, si se mantiene constante la temperatura? (Usar la tabla para el o los valores necesarios)

a) Por definición: $Habs = \frac{m_v}{V}$, donde m_v es la masa de vapor y V el volumen. Como el aire estaba seco antes de agregar el vapor, entonces la única masa de vapor son los 300 g introducidos, o sea: $m_v = 300\text{g}$. Y el volumen de la habitación es $V = 60 \text{ m}^3$. Reemplazando:

$$Habs = \frac{300 \text{ g}}{60 \text{ m}^3} = \frac{0,3 \text{ kg}}{60 \text{ m}^3} = 0,005 \text{ kg} / \text{m}^3 \quad \text{Respuesta a)}$$

b) Sabemos que $Hr = \frac{p_v}{p_{vs}(t_{amb})}$. Como la temperatura ambiente es dato: 25°C, entonces de la tabla obtenemos $p_{vs} = 3,17 \text{ kPa}$. Para hallar p_v , usamos la siguiente relación entre p_v y $Habs$, que se dedujo más arriba:

$$Habs = \frac{18 \text{ g} / \text{mol} \cdot p_v}{R \cdot T_{amb}}$$

De aquí despejamos p_v :

$$p_v = \frac{Habs \cdot R \cdot T_{amb}}{18 \text{ g} / \text{mol}} = \frac{0,005 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot 8,314 \text{ J} / (\text{mol K}) \cdot 298 \text{ K}}{0,018 \text{ kg} / \text{mol}} \Rightarrow p_v = 688,214 \text{ Pa} = 0,688 \text{ kPa}$$

Reemplazando en la humedad relativa:

$$Hr = \frac{p_v}{p_{vs}(t_{amb})} = \frac{0,688 \text{ kPa}}{3,17 \text{ kPa}} = 0,217 \Rightarrow Hr(\%) = 21,7\% \quad \text{Respuesta b)}$$

c) Ya que sabemos cuál es la presión de vapor saturado a 25°C (de tablas), y el volumen del recinto, podemos calcular el número máximo de moles de vapor que puede haber, a esa temperatura, usando la ecuación de gases ideales para la situación de saturación:

$$p_{vs} \cdot V = n_{vs} \cdot R \cdot T_{amb} \Rightarrow n_{vs} = \frac{p_{vs} \cdot V}{R \cdot T_{amb}} = \frac{3170 \text{ Pa} \cdot 60 \text{ m}^3}{8,314 \text{ (J} / \text{mol K}) \cdot 298 \text{ K}} = 76,7687 \text{ mol}$$

Este valor es el número máximo de moles de vapor a la temperatura ambiente (n_{vs}). Ahora sólo falta calcular la correspondiente masa máxima de vapor m_{vs} :

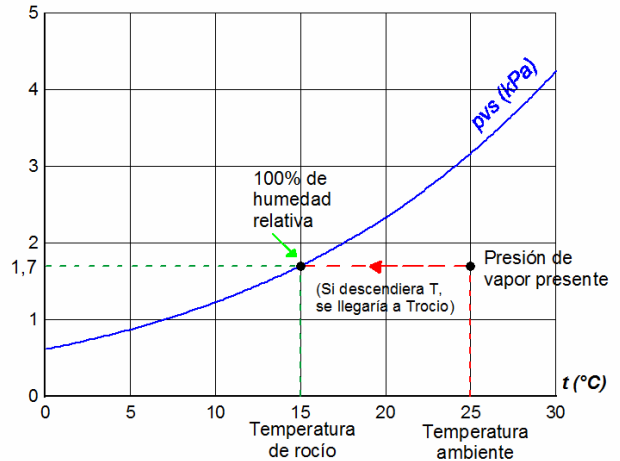
$$m_{vs} = n_{vs} \cdot 18 \text{ g} / \text{mol} = 1382 \text{ g} \quad \text{Respuesta c)}$$

Temperatura de rocío

Supongamos que una masa de aire con cierta humedad relativa, disminuye su temperatura... entonces, por lo dicho anteriormente, Hr comenzará a aumentar. Podría suceder que la temperatura baje lo suficiente como para que Hr llegue al 100%, es decir: hasta que el valor de la presión de vapor sea el de saturación. A partir de que la temperatura alcanza este valor crítico, el vapor comienza a condensar.

A esta temperatura, es decir: **a la temperatura para la cual la humedad relativa es del 100%, se la llama Temperatura de rocío**. Este es el fenómeno que observamos a la mañana muy temprano cuando aparecen gotitas sobre el césped y sobre los objetos a la intemperie... durante la noche bajó la temperatura, la humedad relativa llegó al 100% y se produjo la condensación de vapor (rocío).

Es importante aclarar que **el valor de la temperatura de rocío depende de la presión de vapor presente p_v** . Por ejemplo, supongamos que en cierto momento la presión de vapor presente es de 1,7 kPa, y la temperatura es de 25°C. Esto significa que, si la temperatura bajara manteniéndose presión de vapor presente, cuando la temperatura llegue a 15°C (ver tabla), la presión de vapor saturado va a coincidir con la presión de vapor presente, es decir: que a los 15°C, $H_r(\%) = 100\%$. Esta temperatura de 15°C no depende de la temperatura inicial desde la cual comenzó a bajar.... el valor que da para Trocio depende solamente de la p_v en el aire. Gráficamente:



Entonces, más formalmente podemos definir temperatura de rocío de esta manera:

Dado un valor de presión de vapor presente p_v , la temperatura de rocío es aquella temperatura para la cual la presión de vapor saturado coincide con la presión de vapor presente p_v . Es decir, es aquella temperatura que cumple:

$$p_{vs}(t_{\text{rocío}}) = p_v$$

Algo importante para destacar: es que, de acuerdo a la definición de temperatura de rocío, la única manera de que cambie la misma, es cambiando la presión de vapor presente.

$t_{\text{rocío}} (°C)$	p_v (kPa)
0,01	0,612
5	0,871
10	1,226
15	1,70
20	2,33
25	3,17
30	4,24
35	5,62
40	7,38
45	9,59
50	12,35
55	15,76
60	19,94
65	25,03
70	31,18
75	38,55
80	47,35
85	57,77
90	70,04
95	84,42
100	101,3
105	120,8
110	143,3

Consecuencia de todo lo anterior: Un segundo uso de la tabla p_{vs} - t ; puede usarse para leer la temperatura de rocío

Por todo lo dicho, podemos usar la misma tabla que usamos antes (la tabla de presiones de vapor saturado en función de la temperatura ambiente), "leyéndola" de otra manera: cambiando el encabezado por: temperatura de rocío - presión de vapor presente, pero usando los mismos valores numéricos. Es decir, quedaría la siguiente tabla:

Observar que los valores son los mismos que antes, sólo que ahora, en vez de "leer" la temperatura ambiente, leemos la temperatura de rocío, y el valor de presión que le corresponde es la presión de vapor presente, y no la saturada.

Ejemplo: si en cierto momento la presión de vapor presente es 2,33 kPa, eso implica que habría rocío a trocio = 20°C (ver tabla).

Ejercicio: resolvamos el siguiente problema de final: Un día en que la temperatura es de 30°C y la temperatura de rocío es de 10°C, la humedad relativa será aproximadamente: (se da una tabla abreviada como dato)

- 29 % 90 % 15 % 53 % 20 % 3 %

Solución:

- Como $T_{amb} = 30^{\circ}\text{C}$, si leemos la tabla en la forma " $t_{amb} - p_{vs}$ ", encontramos que:
 $p_{vs} = 4,24 \text{ kPa}$ (presión de vapor saturado a la temperatura ambiente)

- Como $T_{rocio} = 10^{\circ}\text{C}$, si ahora leemos la misma tabla, pero en la forma " $t_{rocio} - p_v$ ", encontramos que:
 $p_v = 1,226 \text{ kPa}$ (esta es la presión de vapor presente, medida)

- Por último, usamos la primera expresión dada de humedad relativa:

$$Hr = \frac{p_v}{p_{vs}(t_{amb})} = \frac{1,226 \text{ kPa}}{4,24 \text{ kPa}} = 0,289$$

Por lo tanto, la humedad relativa porcentual será del 28,9%, es decir, aproximadamente el **29%**.

Un tercer uso de la tabla: punto de ebullición del agua, y su relación con la presión atmosférica

Recordemos el comentario hecho en la sección que trataba la presión de vapor saturado: *en la tabla se observa que para $t = 100^{\circ}\text{C}$, la presión es de 101,3 kPa... eso quiere decir que, si la temperatura fuera de 100°C , toda la masa de agua podría pasar al estado de vapor \rightarrow éste es el punto de ebullición del agua.*

En general se cumple que:

Si en cierto momento la presión atmosférica tiene un cierto valor p_{total} , el punto de ebullición del agua será la temperatura $t_{ebullicion}$ para la cual $p_{vs}(t_{ebullicion}) = p_{total}$.

En otras palabras, la misma tabla anterior puede "leerse" de otra manera: cambiando el encabezado por: *temperatura de ebullición - presión total (del aire)*, pero con los mismos valores numéricos:

Ejemplos prácticos:

1) El caso "habitual": si $p_{total} = 1 \text{ atm} = 101,3 \text{ kPa}$. Si buscamos este valor en la columna derecha vemos que cuando $p_{vs} = 101,3 \text{ kPa}$, $t = 100^{\circ}\text{C}$, eso significa que $T_{ebullicion}$ del agua = 100°C , para presión atmosférica normal.

2) Supongamos que estamos en una región del mundo donde la presión es más baja que la habitual; por ejemplo: $p_{total} = 80 \text{ kPa}$. Si buscamos este valor en la columna derecha, vemos que está entre 70,04 kPa y 84,42 kPa, por lo tanto, le corresponde una temperatura de ebullición entre 90°C y 95°C . Es decir que si $p_{total} = 80 \text{ kPa}$, el agua va a hervir a una temperatura entre 90°C y 95°C .

$t_{ebullicion} (^{\circ}\text{C})$	$p_{total} (\text{kPa})$
0,01	0,612
5	0,871
10	1,226
15	1,70
20	2,33
25	3,17
30	4,24
35	5,62
40	7,38
45	9,59
50	12,35
55	15,76
60	19,94
65	25,03
70	31,18
75	38,55
80	47,35
85	57,77
90	70,04
95	84,42
100	101,3
105	120,8
110	143,3