



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

| **uma.es**



CC BY-NC-ND
4.0 DEED



TERMODINÁMICA APLICADA

Grado en Ingeniería de la Energía (GIE)

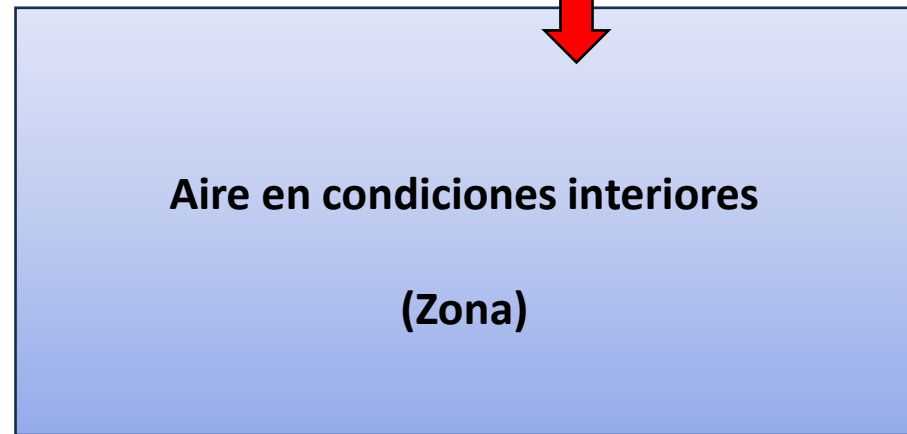
Psicrometría. Ecuaciones

Dr. Antonio Atienza Márquez (atiENZA-marquez@uma.es)

- Definición
- Diagrama psicrométrico
- Variables psicrométricas del aire húmedo
- Procesos con aire húmedo

Aire húmedo. Definición

Aire (húmedo) a tratar → Unidad de tratamiento de aire (UTA)



El comportamiento del **aire seco** a la P y T a la que se encuentra en climatización (entre -15°C y 45°C y 101 325 Pa) se puede considerar como el de un **gas ideal**. En este caso, se cumple que la fracción volumétrica y la fracción molar coinciden.

Aire húmedo _(g) = aire seco _(g) + vapor de agua _(g)

El **vapor de agua** se encuentra en el aire húmedo a presiones muy bajas, por lo que su comportamiento es el de un **gas ideal**

Psicrometría: parte de la física que estudia el aire húmedo, es decir, la mezcla de vapor de agua y aire seco

Variables psicrométricas del aire húmedo. Presiones

Presión total (P_T) a se obtiene de aplicar la ley de Dalton (presión total igual a la suma de las presiones parciales a la mezcla)

$$\begin{aligned} P_T &= P_{\text{aire húmedo}} = P_{\text{vapor agua}} + P_{\text{aire seco}} = \\ &= P_v + P_{as} = y_v \cdot P_T + y_{as} \cdot P_T \end{aligned}$$

Presión (parcial) del aire seco (P_{as}) a partir de EoS los gases ideales

$$P_{as} \cdot V = n_{as} \cdot R \cdot T_s = \frac{m_{as}}{M_{as}} \cdot R \cdot T_s \Rightarrow P_{as} = \frac{m_{as} \cdot R \cdot T_s}{V \cdot M_{as}}$$

Presión (parcial) del vapor de agua (P_v) de nuevo, a partir de la EoS del gas ideal

$$P_v \cdot V = n_v \cdot R \cdot T_s = \frac{m_v}{M_v} \cdot R \cdot T_s \Rightarrow P_v = \frac{m_v \cdot R \cdot T_s}{V \cdot M_v}$$

P_{as} : Presión del aire seco (Pa)

P_v : Presión del vapor de agua (Pa), presión de vapor

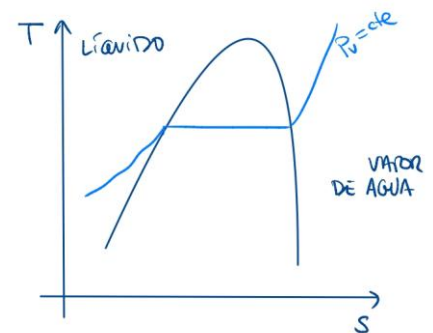
V : Volumen de la zona que ocupa el aire húmedo (m^3)

m_{as} : Masa de aire seco en la zona (kg)

M_{as} : Masa molecular del aire seco (g/mol)

T_s : Temperatura del aire seco (K), igual a la temperatura seca del aire

R : Constante universal de los gases ideales, 8.314472 (J/(mol·K))



Variables psicrométricas del aire húmedo. Contenido en agua

Contenido de Humedad o humedad específica (W , kg-vapor/kg-aire seco): Masa de vapor de agua por unidad de masa de aire seco a una temperatura T dada:

$$\begin{aligned} W &= \frac{m_v}{m_{as}} = \frac{M_v \cdot P_v}{M_{as} \cdot P_{as}} = \frac{M_v \cdot P_v}{M_{as} \cdot (P_T - P_v)} = \frac{18.015268}{28.9651} \cdot \frac{P_v}{P_T - P_v} \\ &= 0.621945 \cdot \frac{P_v}{P_T - P_v} \quad \left[\frac{\text{kg vapor}}{\text{kg aire seco}} \right] \end{aligned}$$

Contenido de Humedad en Saturación (W_s): Masa de vapor de agua por unidad de masa de aire seco cuando dicho vapor de agua está en equilibrio con su fase condensada (líquida o sólida) a la temperatura (T) y presión de la mezcla (p_0). Es la máxima cantidad de vapor de agua que admite el aire a esa T y p_0 .

$$W_s = 0.621945 \cdot \frac{P_{vs}(T)}{P_T - P_{vs}(T)} \quad \left[\frac{\text{kg vapor}}{\text{kg aire seco}} \right]$$

Ejemplo: $T=25^\circ\text{C}$, $p_0=101,325 \text{ kPa} \rightarrow P_{\text{sat}}(25^\circ\text{C})=3,1693\text{kPa}$, $W_s=0.020 \text{ kg-w/kg-as}$

P_{vs} : Presión del vapor saturado/ presión de saturación/ presión de vapor (Pa)

Variables psicrométricas del aire húmedo

Presión de vapor saturado (P_{vs} , Pa): Presión del agua en equilibrio líquido-vapor (saturación) a una temperatura determinada. Esta será la presión máxima que puede tener el agua en el aire húmedo. Se puede calcular de varias formas:

- A partir de expresiones logarítmicas (Formato de ecuación de Antoine):

Antoine Equation Parameters

$$\log_{10}(P) = A - (B / (T + C))$$

P = vapor pressure (bar)

T = temperature (K)

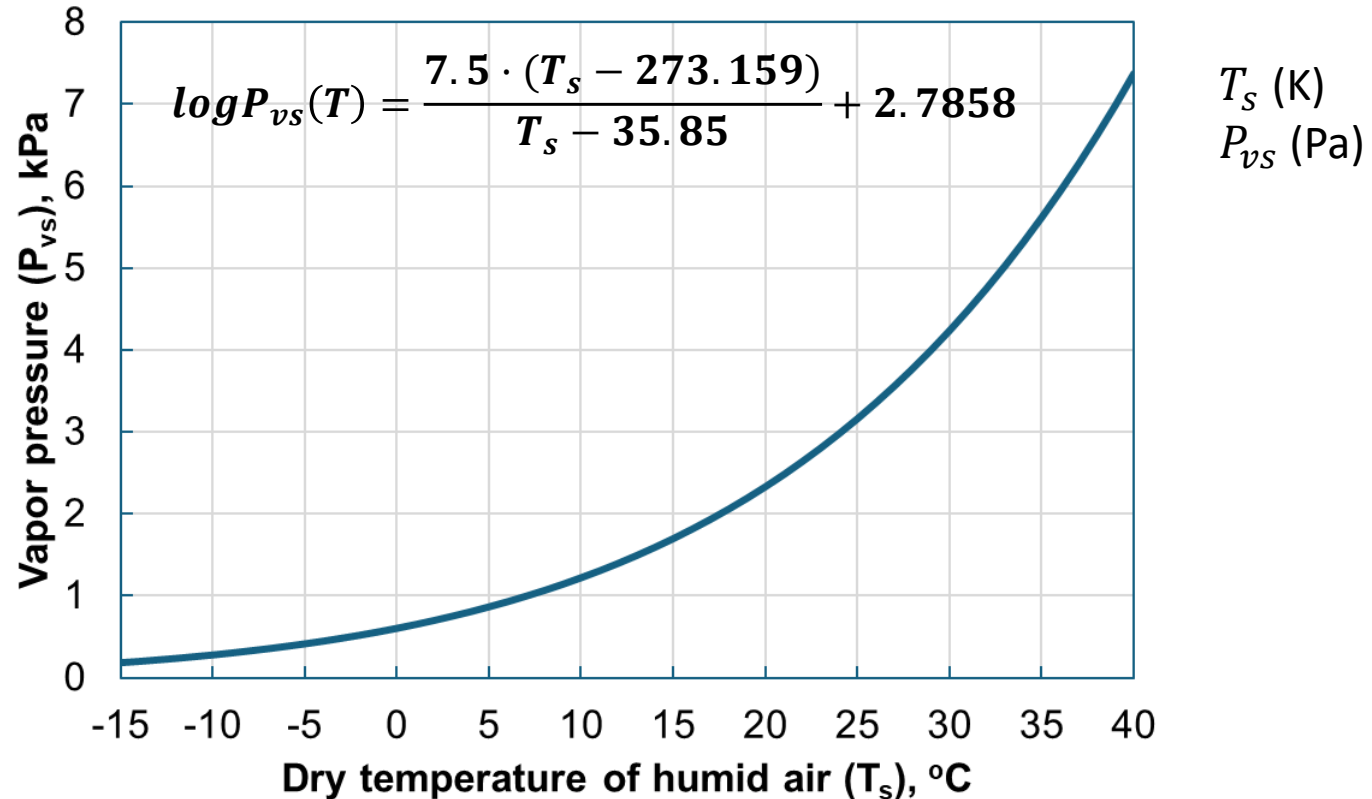
[View plot](#) Requires a JavaScript / HTML 5 canvas capable browser.

Temperature (K)	A	B	C	Reference	Comment
379. to 573.	3.55959	643.748	-198.043	Liu and Lindsay, 1970	Coefficients calculated by NIST from author's data.
273. to 303.	5.40221	1838.675	-31.737	Bridgeman and Aldrich, 1964	Coefficients calculated by NIST from author's data.
304. to 333.	5.20389	1733.926	-39.485	Bridgeman and Aldrich, 1964	Coefficients calculated by NIST from author's data.
334. to 363.	5.0768	1659.793	-45.854	Bridgeman and Aldrich, 1964	Coefficients calculated by NIST from author's data.
344. to 373.	5.08354	1663.125	-45.622	Bridgeman and Aldrich, 1964	Coefficients calculated by NIST from author's data.
293. to 343.	6.20963	2354.731	7.559	Gubkov, Fermor, et al., 1964	Coefficients calculated by NIST from author's data.
255.9 to 373.	4.6543	1435.264	-64.848	Stull, 1947	Coefficients calculated by NIST from author's data.

Variables psicrométricas del aire húmedo

Presión de vapor saturado (P_{vs} , Pa): Presión del agua en equilibrio líquido-vapor (saturación) a una temperatura determinada. Esta será la presión máxima que puede tener el agua en el aire húmedo. Se puede calcular de varias formas:

- A partir de expresiones logarítmicas:



Variables psicrométricas del aire húmedo

Humedad relativa (ϕ , %): Relación entre la fracción molar del vapor de agua en el aire (y_v) respecto de la fracción molar del vapor de agua en un aire saturado en vapor de agua (y_{vs}) a la misma temperatura:

$$\phi = \left(\frac{y_v}{y_{vs}} \right) \cdot 100\% = \left(\frac{n_v/n}{n_{vs}/n} \right) \cdot 100\% = \left(\frac{n_v}{n_{vs}} \right) \cdot 100\%$$

Asumiendo **gas ideal**, la humedad relativa puede definirse también como el porcentaje de la presión de vapor existente en el aire húmedo respecto a la máxima que puede existir a una temperatura dada:

$$\phi = 100\% \cdot \left[\frac{P_v \cdot \frac{V}{R \cdot T_s}}{P_{vs} \cdot \frac{V}{R \cdot T_s}} \right]_{T_s} = \left(\frac{P_v}{P_{vs}} \right) \cdot 100\%$$

Variables psicrométricas del aire húmedo

Grado de saturación húmedo ($GS, \%$): Cociente entre la cantidad de vapor de agua que existe en el aire a una temperatura T respecto a la cantidad máxima que podría tener a esa misma temperatura:

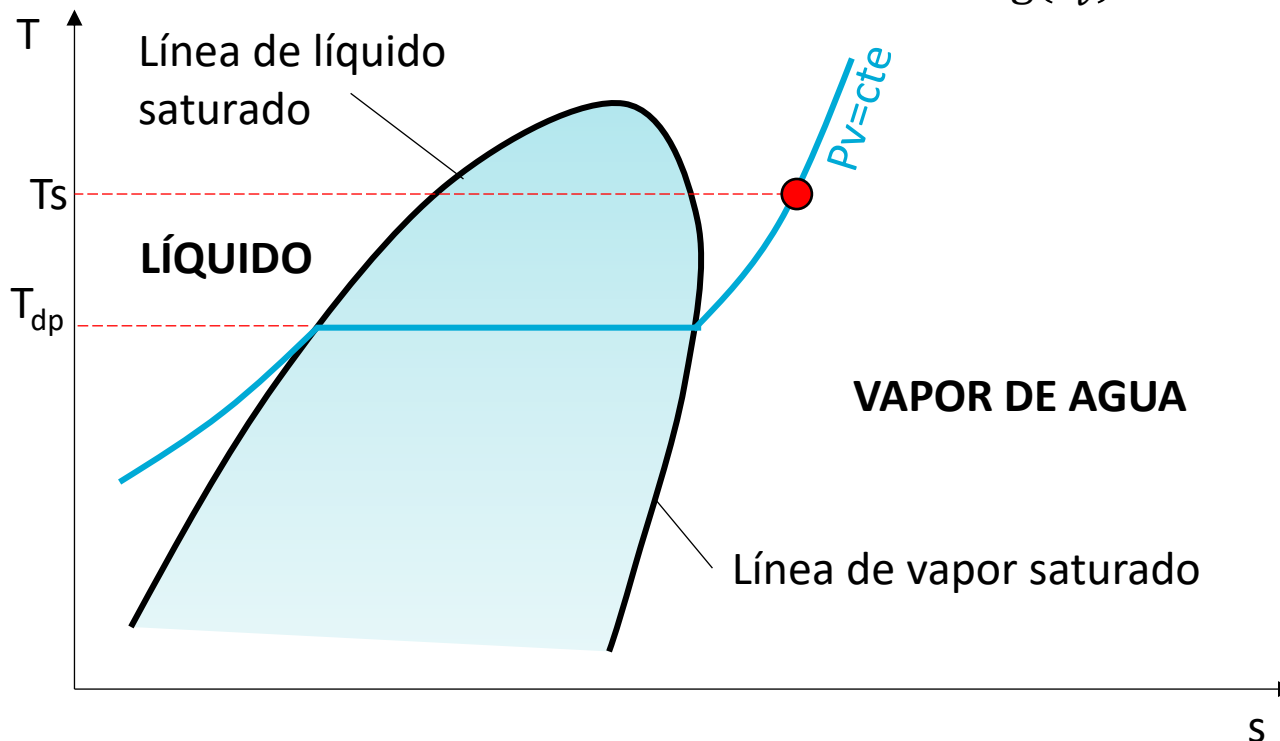
$$GS = \left(\frac{W}{W_s} \right)_{T_s} = \left(\frac{0.621945 \cdot \frac{P_v}{P_T - P_v}}{0.621945 \cdot \frac{P_{vs}}{P_T - P_{vs}}} \right) = \frac{P_v(P_T - P_{vs})}{P_{vs}(P_T - P_v)}$$

Variables psicrométricas del aire húmedo. Temperatura de rocío

Temperatura seca (T_s , °C): Temperatura del aire húmedo y, por tanto, la de sus componentes (aire seco y vapor de agua).

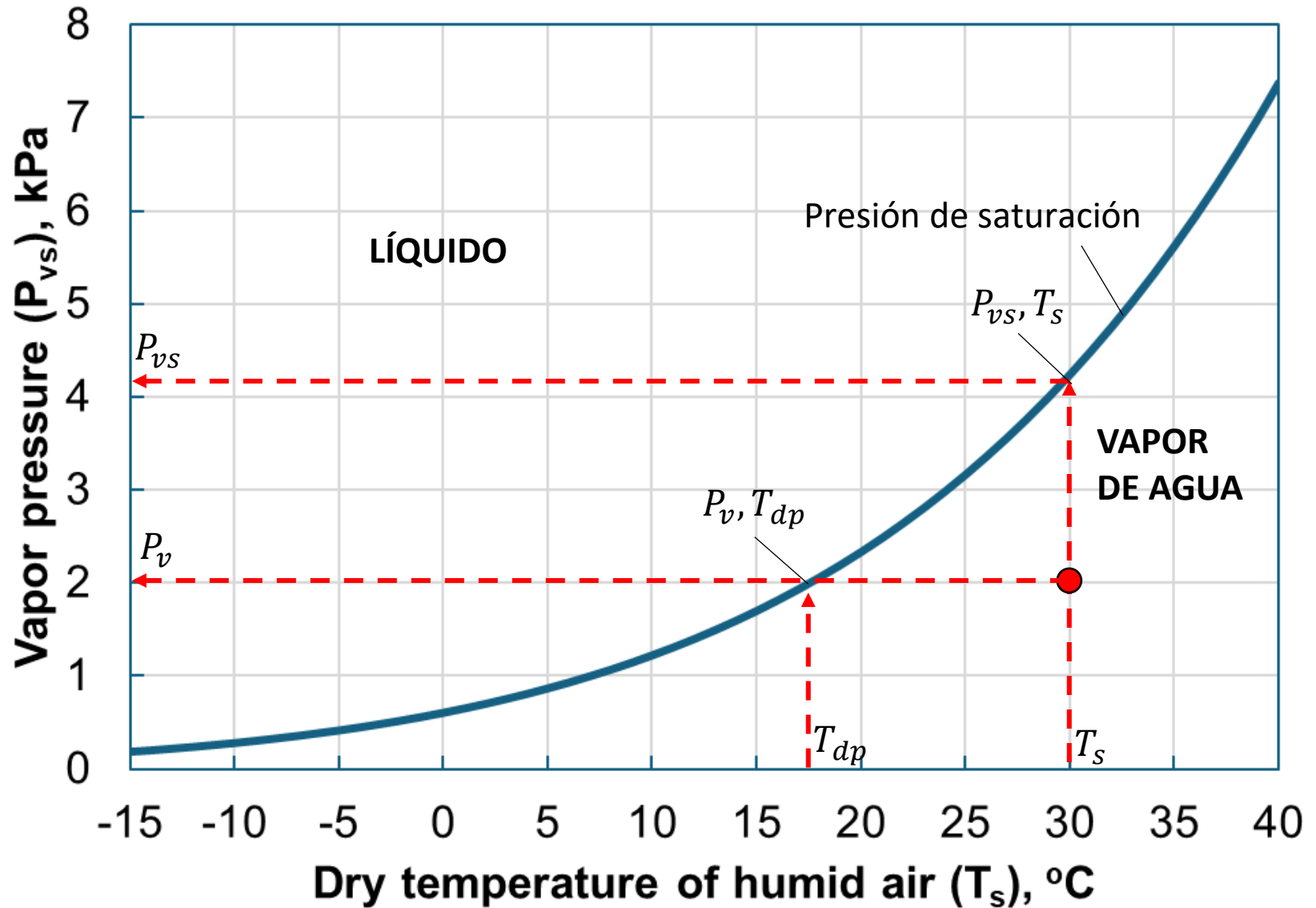
Temperatura de rocío “dew-point” (T_{dp} , °C): Temperatura a la que se produciría la saturación del vapor de agua para un aire húmedo a una composición y una presión P dadas

$$T_{dp}(\text{°C}) = \frac{35.85 \cdot \log(P_v) - 2148.496}{\log(P_v) - 10.2858} - 273.15$$



Si la humedad relativa de un ambiente es del 100%: $T_{dp} = T_s$

Variables psicrométricas del aire húmedo



Variables psicrométricas del aire húmedo. EES free plugin



 [home](#)

EES
Engineering Equation Solver

EESyGrader
Automated Grading System

FEHT
Finite Element Analysis

Learn
YouTube Tutorials and Examples

Distributables

The Professional version of EES provides the capability to create distributable programs from EES files. These programs can be run without EES and they can be freely distributed to persons that do not own EES. Several useful distributable programs are provided here. Simply click on the name of the file to download to your local machine. Check back often as new files are routinely added.

File	Date Added	File Size	Description
Sizing Program for Valves	Dec. 12, 2024	6.04 MB	This distributable program provides a valve sizing program that uses the ISA-75.01.01-2007 flow equations for sizing control valves. Simple sizing equations are also provided.
Internal Combustion Engines	Sept. 2, 2019	12.3 MB	This distributable program provides animations of 2-stroke, 4-stroke and Diesel internal combustions engines. T-s, P-v, and plots showing pressure and temperature as a function of crank angle are included.
Property Calculator	Feb. 25, 2025	13.9 MB	EES distributable program that calculates the thermodynamic properties of selected real fluids (in SI and Eng units) given any two independent properties.
Psychrometric Property Calculator	Feb. 25, 2024	13.9 MB	EES distributable program that calculates the psychrometric properties and displays a psychrometric chart.

<https://fchartsoftware.com/ees/distributables.php>

Variables psicrométricas del aire húmedo. EES free plugin

The image shows a screenshot of the F-Chart Software website and a window from the EES software. The website header includes the F-Chart Software logo and navigation links for EES (Engineering Equation Solver), EESyGrader (Automated Grading System), FEHT (Finite Element Analysis), and Learn (YouTube Tutorials and Examples). The main content area is titled "Distributables" and contains a table of downloadable programs. The "Psychrometric Property Calculator" is highlighted with a red box. The EES Diagram Window is open, displaying the "Properties of Moist Air and the Psychrometric Chart" dialog. It shows the unit system set to SI, atmospheric pressure at 101.3 kPa, and two input variables: Dry-bulb Temperature at 25 °C and Wet-bulb Temperature at 10 °C. The solution results are displayed in a yellow box at the bottom of the window.

File	Date Added	File Size	Description
Sizing Program for Valves	Dec. 12, 2024	6.04 MB	This distributable sizing program the flow equations for sizing equations a
Internal Combustion Engines	Sept. 2, 2019	12.3 MB	This distributable of 2-stroke, 4-stro combustions engi showing pressure of crank angle are
Property Calculator	Feb. 25, 2025	13.9 MB	EES distributable p thermodynamic pr fluids (in SI and En independent prop
Psychrometric Property Calculator	Feb. 25, 2024	13.9 MB	EES distributable p psychrometric pro psychrometric cha

Diagram Window

Properties of Moist Air and the Psychrometric Chart

(Reasonable values must be supplied)

Unit System: **SI**

Atmospheric Pressure: **101.3 [kPa]**

Select the first input variable:
Dry-bulb Temperature = **25 [°C]**

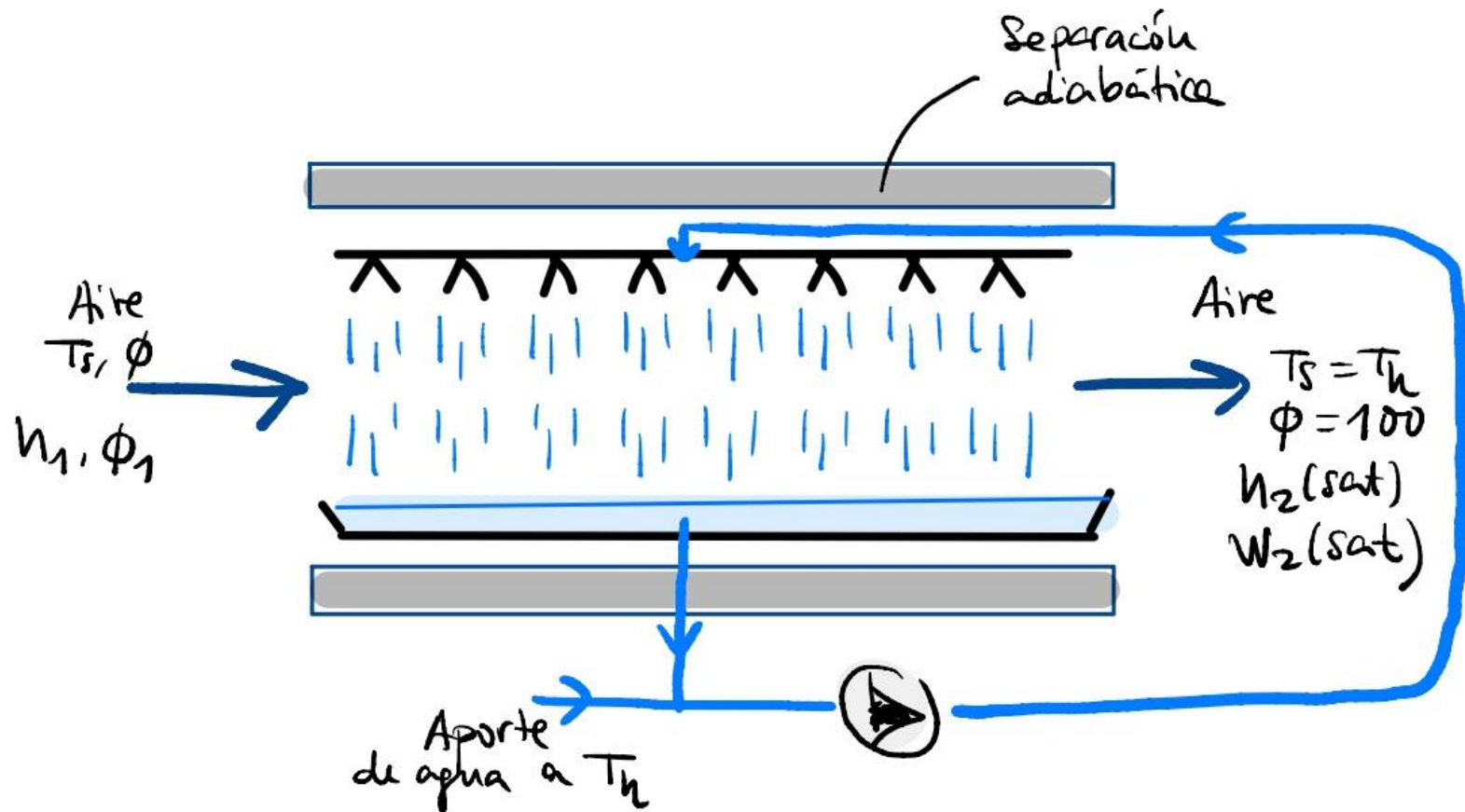
Select the second input variable:
Wet-bulb Temperature = **10 [°C]**

Solution

Tdb = 25.0 [°C]	P = 101.3 [kPa]	w = 0.00
Twb = 10.0 [°C]	Rh = 0.07869	v = 0.846

Variables psicrométricas del aire húmedo. *Temperatura de saturación adiabática*

Temperatura de saturación adiabática (h_{as} , kJ/kg-aire seco): temperatura que alcanza el aire húmedo al atravesar un túnel adiabático y lo suficientemente largo como para que, a la salida, el aire alcance condiciones de saturación





UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

| uma.es