

Ingeniería Energética General

Aire y Vapor de Agua. Propiedades de las mezclas. Psicometría

Si necesita calcular rápidamente los parámetros psicométricos de una mezcla aire- vapor de agua, este es el [procesador](#) de cálculo que necesitas.

El Calculador Aire_Vapor de agua que se publica en nuestra web, reporta los principales parámetros de la mezcla aire - agua, conocida la presión barométrica o ambiente, la temperatura del bulbo seco, la humedad relativa o la temperatura del bulbo húmedo.

Otros Calculadores_Energéticos sobre temas energéticos publicados en nuestra web:

[Aire requerido por el proceso de Combustión.](#)

[Volumen de humos generados en la combustión.](#)

[Poder calórico de los combustibles fósiles, en función de su composición química.](#)

[Temperatura de llama teórico de los combustibles.](#)

Calculadores que identifican y cuantifican las pérdidas que ocurren en el sistema:

[Pérdidas en humos](#)

[Pérdidas por purgas o extracciones](#)

[Pérdidas de calor a través de las superficies calientes](#)

Aire y Vapor de Agua. Propiedades de la mezcla. Relaciones Psicométricas.

Objetivos del Calculador_Energético:

El [Calculador Aire Vapor de agua](#) que se publica en nuestra web, reporta los principales parámetros de la mezcla aire – vapor de agua bajo condiciones ambientes, conocida la presión barométrica, la temperatura del bulbo seco, la humedad relativa o la temperatura del bulbo húmedo. Se encuentra online y se puede acceder desde el móvil, iPad o computadora.

Se tratan en este documento los siguientes contenidos:

- 1-Sobre el Procesador o Calculador_Energético y el modo de empleo.
- 2-Descripción técnica.
- 3- Fundamento técnico de los procesos que comúnmente se presentan con las mezclas aire_vapor.
- 4-¿En qué operaciones se emplea la información que reporta este Calculador Energético Psicométrico?
- 5-¿Cuántos kWh se consumen y emiten a la atmosfera...¿Y hay soluciones prácticas?
- 6-Análisis de los 4 puntos claves en el diagrama psicométrico.

Sobre el Procesador o Calculador_Energético y el modo de empleo.

Para complementar esta información y ejercitar los ejemplos que aquí se relacionan, le recomendamos que acceda a nuestro [Calculador Energético Aire y Vapor de Agua. Psicometría. Propiedades de las mezclas](#) disponible en Libre Acceso.

El procesador podrá asimilar tres variantes u opciones:

Opción 1: Si el usuario dispone de la temperatura ambiente o bulbo seco (tbs), la presión barométrica, (psia) y la temperatura del bulbo húmedo (tbh)

Opción 2: Si el usuario dispone y registra en el Formulario de Entrada la temperatura ambiente o bulbo seco (tbs), la presión barométrica, (psia) y la humedad relativa (hr).

Opción 3: Si el usuario dispone y registra en el Formulario de Entrada la temperatura ambiente o bulbo seco (tbs), la presión barométrica, (psia) y la temperatura de rocío(tr).

En todas opciones se requiere registrar la presión barométrica, en psia.

Opción 1.

Se conoce la temperatura ambiente, tbs, la presión barométrica, psia, y la temperatura del bulbo húmedo, tbh.

Realizando un balance de energía considerando un proceso de saturación adiabático, se puede calcular la cantidad de agua que contiene cada unidad de masa de aire. Para ello primero se calcularan las densidades del vapor de agua (ρ_{vap}) y del aire (ρ_{aire})

bajo condiciones de saturación a la t_{bh} y su cociente es la humedad absoluta a esa temperatura.

Con este dato se realizará un balance de calor y se calculará a la humedad absoluta a la t_{bs} .

$$Ww * hg_w - 0.24 * (t_{bs} - t_{bh}) / (h_{gt_{bs}} - h_{lt_{bh}})$$

Conocida la humedad absoluta se podrá calcular la presión parcial del vapor de agua en la mezcla a la t_{bs} (zona de recalentamiento) que al compararla con la presión del vapor a la t_{bs} (zona de saturación sobre la curva) nos demuestra cuán lejos está la mezcla aire - vapor en estado real del estado saturado, que es el punto en que la mezcla no admite absorber más agua. Ese cociente es igual a su humedad relativa y se expresa en por ciento.

Determinando la presión parcial del vapor de agua en la mezcla a la t_{bs} (zona de recalentamiento), se calcula la temperatura de rocío, que es donde condensaría el vapor de agua contenido en la mezcla si comenzamos a reducir su temperatura bajo las condiciones atmosféricas. La temperatura donde aparezca la primera gota, se corresponderá con el punto o temperatura de rocío. Completa la información el cálculo del calor específico y el calor total de la mezcla aire_vapor, que no es más que el calor o entalpía del aire más la del vapor de agua, afectado por sus fracciones en peso respectivas. Seguidamente se presenta la lista de parámetros que el procesador resuelve.

1- Parámetros Psicométricos

Densidad aire, lb/pe3

Densidad del aire a t_{bs} en zona recalentada, lb/pe3

Humedad absoluta, lbH₂O/lb aire seco

Humedad absoluta aire saturado a t_{bs} , lbH₂O/lb aire seco

Humedad relativa, %

Temperatura de rocío °F

Cp del aire_vapor a la t_{bs} , Btu/lb -

Vol. aire a la t_{bs} , pe3/lb

Entalpía del aire a la t_{bs} , Btu/lb

2- Parámetros Auxiliares

Presión del vapor a la t_{bh} , psia

Volumen específico vapor, pe3

Densidad vapor a t_{bh} , lb/pe3

Densidad del vapor a t_{bs} y sobre la curva de saturación, lb/pe3

Densidad del vapor a t_{bs} en zona de mezcla, lb/pe3

Entalpía del vapor a t_{bs} , Btu/lb

Entalpía del vapor a t_{bh} , Btu/lb

Entalpía del agua liq. a t_{bh} , Btu/lb

Entalpía mezcla en la zona equilibrio liq._vap. a t_{bh} , Btu/lb

Presión de vapor agua a t_{bs} en zona de equilibrio

Presión de vapor agua a t_{bs} a condiciones saturado

Presión parcial aire a t_{bs} en zona recalentada

INGENIERÍA ENERGÉTICA GENERAL

IEG: 23032012

www.energianow.net

ieg Panel de Salida		
Datos y resultados	Bulbo seco	Bulbo húm.
Presión atmosférica (barométrica)	14.70	
Temperatura Bulbo Seco y Bulbo Húmedo, °F	75	65
Parámetros Psicométricos		
Densidad aire, lb/pie3	0.0730	0.0741
Densidad del aire a tbs en zona recalentada, lb/pie3	0.0737	---
Humedad absoluta, lbH2O/lb aire seco	0.0107	0.0130
Humedad absoluta aire saturado a tbs, lbH2O/lb aire seco	0.0190	---
Humedad relativa, %	57.17	
Temperatura de rocío °F	59.03	
Cp del aire_vapor a la tbs, Btu/lb - °F	0.25	--
Vol. aire a la tbs, pie3/lb	13.70	--
Entalpía del aire a la tbs, Btu/lb	29.70	--
Parámetros Auxiliares		
Presión del vapor a la tbh, psia	---	0.3097
volumen específico vapor, pie3	750.50	1037.30
Densidad vapor a tbh, lb/pie3	---	0.0010
Densidad del vapor a tbs y sobre la curva de saturación, lb/pie3	0.0013	---
Densidad del vapor a tbs en zona de mezcla, lb/pie3	0.0008	---
Entalpía del vapor a tbs, Btu/lb	1094.45	---
Entalpía del vapor a tbh, Btu/lb	---	1090.15
Entalpía del agua liq. a tbh, Btu/lb	---	33.05
Entalpía mezcla en la zona equilibrio liq._vap. a tbh, Btu/lb	---	1057.10
Presión de vapor agua a tbs en zona de equilibrio, psia	0.2487	---
Presión de vapor agua a tbs a condiciones saturado, psia	0.4350	---
Presión parcial aire a tbs en zona recalentada, psia	14.4513	---

Opción 2.

Conocida la temperatura ambiente o tbs, la presión barométrica, psia y la humedad relativa, hr, se calculará la presión parcial del vapor recalentado ppvaptbs a la temperatura ambiente tbs, reportándolo en unidades psia. Con el valor de la presión barométrica psia y la presión parcial del vapor recalentado ppvaptbs, se podrá calcular la humedad absoluta en las condiciones de temperatura ambiente tbs. En esta opción se podrá determinar la temperatura de rocío del vapor de agua, trocio, la densidad de la mezcla aire-vapor, densmezclatbs, y la densidad del aire seco, densairetbs.

Al no disponer del dato primario de la t_{bh} , no se pueden calcular las propiedades del aire bajo las condiciones de saturación. Para determinar la t_{bh} de una mezcla aire_vapor, se requeriría conocer la presión de vapor de agua sobre la curva de saturación (p_{vaptbs_sat}), considerando que la mezcla aire_vapor en ese estado contiene toda el agua en forma de vapor capaz de transportar o absorber a esa temperatura.

El procedimiento común que se sigue para determinar la t_{bh} es mediante el psicómetro, instrumento que mediante dos termómetros, uno en contacto con un medio húmedo, se le hace pasar una corriente de aire ambiente a alta velocidad, buscando la transferencia de la masa de agua al aire. Ese proceso de transferencia resta calor del aire para evaporar el agua en dependencia de su capacidad de absorberla y disminuye la temperatura del bulbo del termómetro hasta que el aire no admite evaporar más agua, manteniéndose constante la temperatura. Ese valor constante se corresponde con la temperatura húmeda o del bulbo húmedo.

Otro método, es a través de cálculo y realizando un algoritmo de iteración, si se conocen previamente algunas variables psicométricas.

a) Conociendo la presión barométrica, la t_{bs} y la presión parcial del vapor bajo condiciones reales, zona recalentada (pp_{vaptbs_rec}) a la que se encuentra la mezcla aire_vapor, se puede obtener el valor de la p_{vaptbs_sat} a la temperatura del bulbo húmedo, si asumimos un valor de t_{bh} . Con el valor asumido se va a la Tabla de Vapor Saturado y se determina p_{vaptbs_sat} .

b) Sustituyendo los valores conocidos en la siguiente expresión, obtenemos el valor de la variable resultado.

$$\text{resultado} = p_{vaptbs_sat} - ((psia - p_{vaptbs_sat}) * (t_{bs} - t_{bh_sat}) / (2830 - 1.44 * t_{bh_sat}))$$

NOTA: Termodinámica, Virgil M. Faires, Temperatura de la ampolla húmeda, pag. 555

Esta expresión generalmente se utiliza para determinar la presión del vapor de agua presente en una mezcla aire_vapor en cualquier estado.

La solución se satisface cuando el valor de resultado alcanza el valor pp_{vaptbs_rec} y en ese punto el valor de la t_{bh} es la buscada.

En esta opción se completa la información calculando el calor específico y la entalpía de la mezcla aire_vapor. En esta opción el Panel de Salida muestra:

1- Parámetros Psicométricos

Temperatura del Bulbo Húmedo, t_{bh} , °F

Densidad aire, lb/ft³

Densidad del aire a t_{bs} en zona recalentada, lb/ft³

Humedad absoluta, lbH₂O/lb aire seco

Humedad absoluta aire saturado a t_{bs} , lbH₂O/lb aire seco

Humedad relativa, %

Temperatura de rocío °F

C_p del aire_vapor a la t_{bs} , Btu/lb - °F

Vol. aire a la t_{bs} , ft³/lb

Entalpía del aire a la t_{bs} , Btu/lb (*)

2- Parámetros Auxiliares

Densidad del vapor a tbs y sobre la curva de saturación, lb/pie3

Densidad del vapor a tbs en zona de mezcla, lb/pie3

Entalpía del vapor a tbs, Btu/lb

Presión de vapor agua a tbs en zona de equilibrio, psia

Presión de vapor agua a tbs a condiciones saturado, psia

Presión parcial aire a tbs en zona recalentada, psia

ieg Panel de Salida	
Datos y resultados	Datos
Presión atmosférica (barométrica)	14.70
Temperatura Bulbo Seco °F	75
Parámetros Psicométricos	Resultados
Temperatura del Bulbo Húmedo, °F	64.3
Densidad aire a tbs, lb/pie3	0.0730
Densidad del aire a tbs en zona recalentada, lb/pie3	0.0737
Humedad absoluta a tbs, lbH2O/lb aire seco	0.0105
Humedad absoluta aire saturado a tbs, lbH2O/lb aire seco	0.0190
Humedad relativa, %	57.20
Temperatura de rocío °F	59.04
Cp del aire_vapor a la tbs, Btu/lb - °F	0.25
Vol. aire a la tbs, pie3/lb	13.70
Entalpía del aire a la tbs, Btu/lb	29.50
Parámetros Auxiliares	
Densidad del vapor a tbs y sobre la curva de saturación, lb/pie3	0.0013
Densidad del vapor a tbs en zona de mezcla, lb/pie3	0.0008
Entalpía del vapor a tbs, Btu/lb	1094.45
Presión de vapor agua a tbs en zona recalentada, psia	0.2488
Presión del vapor a la tbs, psia	0.3033
Presión de vapor agua a tbs a condiciones saturado, psia	0.4350
Presión parcial aire a tbs en zona recalentada, psia	14.4512

Opción 3.

En ocasiones se requiere determinar las propiedades de la mezcla aire_vapor al final de un proceso de calentamiento o enfriamiento manteniendo la humedad absoluta constante. La condición de humedad absoluta constante es equivalente a temperatura de rocío constante. Para ello el punto inicial del proceso ha sido caracterizado y se conocen sus parámetros psicométricos, entre ellos la humedad absoluta y el punto o temperatura de rocío de la mezcla aire_vapor.

Conocida la temperatura ambiente o tbs, la presión barométrica, psia y la temperatura de rocío, tr, se calculará la presión parcial del vapor recalentado ppvaptbs a la temperatura ambiente tbs, reportándolo en unidades psia. Con el valor de la presión barométrica psia y la presión parcial del vapor recalentado ppvaptbs, se podrá calcular la humedad absoluta en las condiciones de temperatura ambiente tbs. En esta opción se podrá determinar la humedad relativa de la mezcla aire_vapor, hr, la densidad de la

INGENIERÍA ENERGÉTICA GENERAL

IEG: 23032012

www.energianow.net

mezcla aire-vapor, densmezclatbs, y la densidad del aire seco, densairetbs. Completa la información calculando el calor específico y la entalpía de la mezcla aire_vapor. En esta opción 3 el Panel de Salida muestra los mismos parámetros que en la Opción 2 anterior.

ieg Panel de Salida	
Datos y resultados	Datos
Presión atmosférica (barométrica)	14.70
Temperatura Bulbo Seco °F	75
Parámetros Psicométricos	Resultados
Temperatura del Bulbo Húmedo, °F	64.3
Densidad aire, lb/pie3	0.0730
Densidad del aire a tbs en zona recalentada, lb/pie3	0.0737
Humedad absoluta, lbH2O/lb aire seco	0.0105
Humedad absoluta aire saturado a tbs, lbH2O/lb aire seco	0.0190
Humedad relativa, %	57.13
Temperatura de rocío °F	59.00
Cp del aire_vapor a la tbs, Btu/lb - °F	0.25
Vol. aire a la tbs, pie3/lb	13.70
Entalpía del aire a la tbs, Btu/lb	29.50
Parámetros Auxiliares	
Densidad del vapor a tbs y sobre la curva de saturación, lb/pie3	0.0013
Densidad del vapor a tbs en zona de mezcla, lb/pie3	0.0008
Entalpía del vapor a tbs, Btu/lb	1094.45
Presión de vapor agua a tbs en zona recalentada, psia	0.2485
Presión del vapor a la tbs, psia	0.3033
Presión de vapor agua a tbs a condiciones saturado, psia	0.4350
Presión parcial aire a tbs en zona recalentada, psia	14.4515

Opción extra

Si se quiere determinar las propiedades de la mezcla aire_vapor sobre la curva de saturación a una temperatura dada, pues en el Formulario general se puede seleccionar para la temperatura del bulbo húmedo, la misma temperatura del bulbo seco. O también se selecciona el 100% de humedad relativa y se omite la tbs. El procesador reportará las variables para el punto de la Carta Psicométrica donde la vertical de la temperatura del bulbo seco corta la curva de saturación.

Bases del procesador:

- El procesador no admite valores de presión barométrica inferiores a 10 psia ya que no son condiciones atmosféricas frecuentes.
- El procesador no admite temperaturas inferiores a 32 °F y superiores a 110 °F. El primero se corresponde con el límite de las propiedades termodinámicas del vapor saturado reportado en las datos reconocidas de Keenan y de amplio uso mundial. El procedimiento utilizado para calcular los parámetros psicométricos de la mezcla aire_vapor se basa en que el vapor de agua en el aire a la condición ambiente o

El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General
La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como

© Derechos Reservados Ingeniería Energética General.- 2013

info@energianow.net

próxima a este, se encuentra en un estado que se aproxima al gas ideal y por lo tanto se pueden utilizar sus relaciones. Se considera que se cumplen esas relaciones cuando la presión del vapor es alrededor de 1 psia (0.07 kg/cm²) o menor. Para asegurar el estado próximo al ideal, el límite superior se fija en 110 °F (43.3 °C) o 1.2748 psia (0.08672 kg/cm²) y como antes explicamos, el inferior en 32°F (0°C) ó 0.08854 psia (6 E-03 kg/cm²).

c) Es práctica norteamericana en los cálculos de aire acondicionado considerar la entalpía del aire seco a partir de 0°F (-17.7 °C) y la entalpía del vapor a partir de la referencia de 32 °F (ó 0°C). El procesador reporta la información basado en estas referencias.

Registre la información que dispone y realice su procesamiento. Se mostrará el Panel de Resultados con el resto de la información de la página. En todas las opciones es obligatorio registrar el valor de la presión atmosférica y de la temperatura del bulbo seco o ambiente.

Descripción técnica.

De una manera sencilla este Calculador determina los parámetros y variables de estado principales de una mezcla aire atmosférico – vapor de agua. Dicho así, para los que desconocen sobre este tema, no tiene significación alguna y menos práctica. Pues, no es así tan de simple.

El agua contenida en el aire es un buen problema energético a resolver, tanto en aquellos procesos que se afectan por la humedad del aire y se requiere extraer el agua vaporizada y presente en él, cómo en aquellos procesos que ocurre lo contrario, se requiere humidificar el aire. En ambos sentidos, el problema energético está presente e inducidamente las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Todo está en conocer esa vinculación.

Revisaremos brevemente el fundamento técnico en que se basará el Calculador_Energético Aire_Vapor de agua.

Términos empleados en las operaciones de humidificación y de-humidificación.

Gas y Vapor: Se define con el término Gas a la sustancia que está presente solamente en la fase gaseosa y Vapor el componente que está presente tanto en la fase líquida cómo en la gaseosa.

También se denomina Gas a toda sustancia que esté por encima de su temperatura crítica y Vapor a la que se encuentra por debajo de ella, debido a que el vapor puede condensarse si se reduce la temperatura, o se aumenta su presión a temperatura constante.

La condensación y vaporización de sustancias puras a temperatura y presión constante son procesos de equilibrio y a la presión de equilibrio se denomina presión de vapor. A una temperatura dada hay una sola presión de vapor, en la cual existen las dos fases y el líquido está en equilibrio con su vapor.

Diagrama p-t: Si para cada valor de temperatura hay una presión de vapor, cada sustancia pura describirá una curva en un diagrama p-t. La curva p-t indica la separación entre la fase vapor y la fase líquida. Los puntos de coordenadas presión - temperatura que trazan, o sobre la curva, pertenecen a la zona de equilibrio y se

conocen como puntos de saturación, donde la temperatura y la presión es la de saturación.

Punto de Rocío: Cuándo el vapor de agua se encuentra a una temperatura y presión tal que está listo para comenzar a condensarse y aparecer la primera gota de líquido, se conoce como punto de rocío o dew point y la temperatura en este punto, como temperatura de rocío, tr.

Punto de ebullición: Cuándo ocurre lo contrario y el agua está a punto de ebullicir y generar la primera burbuja de vapor, se conoce como punto de ebullición o bubble point.

Gas saturado: Es aquel que está en equilibrio con el líquido a la temperatura del gas.

Vapor saturado: En la zona que existe presencia de líquido y vapor, el vapor es húmedo y la zona se define como saturada a esas condiciones.

La temperatura de recalentamiento es la diferencia que existe entre la temperatura de vapor recalentado y la de saturación, a esa misma presión.

La temperatura de subenfriamiento es la diferencia entre la temperatura del líquido subenfriado y la temperatura de saturación manteniendo la presión constante.

La calidad de un vapor se mide como la fracción en peso entre las moléculas de vapor y el total de la mezcla vapor - gas.

Las propiedades exactas del vapor saturado y el vapor recalentado se pueden encontrar en las Tablas de Vapor de Keenan y Keyes. En nuestra web estas tablas están digitalizadas y automatizadas, y pueden consultarse en los Calculadores_Energéticos [Propiedades del Vapor Saturado](#) y [Propiedades del Vapor Recalentado](#).

Humedad absoluta es el número de las libras de vapor de agua contenidas en un libra de gas libre de vapor. La humedad absoluta depende exclusivamente de la presión parcial del vapor de agua en la mezcla, cuando la presión total es fijada.

La relación molar de vapor a gas, para la presión de una atm, es $p_a/(1-p_a)$ dónde p_a es la presión parcial del vapor de agua en la mezcla y $(1-p_a)$ la del aire, siendo M_a y M_b = pesos moleculares de los componentes A y B, respectivamente.

La humedad absoluta está relacionada con la fracción molar en la fase gaseosa M_b .

Humedad relativa: Es la relación entre la presión parcial del vapor de agua contenido en el gas a una temperatura dada y la presión de saturación a esa misma temperatura. Representa la cantidad parcial que vapor de agua que contienen la masa de aire y lo alejado que puede estar del total de agua que esa masa de aire sería capaz de contener.

Fundamento técnico de los procesos que comúnmente se presentan con las mezclas aire_vapor.

El agua realiza un proceso de transferencia molecular con el aire denominado de saturación adiabático. Pasa al aire el agua (vaporización - humidificación) o se extrae del aire (condensación-de - humidificación) y ocurre idealmente sin intercambio de calor con el exterior. De ahí que las relaciones pueden establecerse con un grado aceptable de precisión para los trabajos de ingeniería o de campo.

Es un proceso de transferencia de masa que depende principalmente de que el aire esté en contacto con la superficie del líquido, de la capacidad de evaporarse del líquido y de la cantidad de líquido que inicialmente la masa de gas contenga. También de la

temperatura ambiente del aire. Estas condiciones físicas generan un potencial motriz, de la misma forma que la diferencia de potencial (voltaje) genera el flujo de electrones (corriente) en un conductor eléctrico y se produce el trabajo eléctrico. La transferencia de masa puede ser desde el agua al aire o el proceso inverso.

Cuando el aire pasa a través de un líquido, agua, esta se evaporará entrando en la corriente de aire, a menos que el aire ya contenga suficiente agua como para que esté "saturado" de agua. Si el sistema es adiabático, como ya hemos definido, el calor para evaporar el agua procede del aire y del líquido. A medida que el agua se va evaporando, el sistema va alcanzando el punto en que el aire se satura, que llamaremos de equilibrio. Cuando se alcanza este equilibrio mutuo, sin más evaporación, la temperatura se habrá asentado en un valor designado por la temperatura de saturación, o t_{bh} . En ese punto, todo el líquido quedará a la temperatura t_{bh} , que es la de saturación adiabática. Durante la operación se transfiere agua al aire, y la cantidad que pasa dependerá de la mezcla de aire - agua entrante, si esta ya contiene o no una cantidad de agua mezclada.

A medida que el aire circula su humedad va aumentando y su temperatura disminuye, aproximándose a t_{bh} como límite. Este proceso de saturación es irreversible. La temperatura de saturación t_{bh} de la mezcla aire - agua es ligeramente superior a la temperatura de rocío del vapor de agua, t_r .

En el proceso adiabático que ocurre, están relacionadas las propiedades y variables de estado siguientes:

h_{ad} - la entalpía de la mezcla aire - agua de 1 kg (1 lb) a la temperatura del bulbo seco, t_{bs} .

h_{aw} - la entalpía de la mezcla aire - agua de 1 kg (1 lb) a la temperatura de saturación, t_{bh}

h_{vd} - la entalpía del vapor recalentado 1 kg (1 lb) en el aire entrante a la temperatura del bulbo seco, t_{bs}

h_{vw} - la entalpía del vapor saturado 1 kg (1 lb) a la temperatura de saturación adiabática, t_{bh}

h_{fw} - la entalpía de 1 kg (1 lb) de agua saturada, a la temperatura de saturación adiabática, t_{bh}

W_w - relación de humedad a la temperatura de saturación adiabática, t_{bh}

W_d - relación de humedad del aire a la entrada y a la temperatura ambiente, t_{bs}

Entalpía del aire húmedo.- Para determinar la entalpía del aire húmedo, se puede tomar como origen de entalpías el 0°C; la entalpía total del **aire húmedo** H_h es la suma de las entalpías del aire seco H_a y del vapor de agua H_v , es decir: $H_h = H_a + H_v$

Entalpía del aire seco.- Cuando el aire se encuentra a la temperatura t en °C es:

$$H_a = C_{p(\text{aire seco})} t = 0,24 t \text{ Kcal/kg}$$

Entalpía del vapor de agua.- Como W es la cantidad de vapor de agua contenido en la atmósfera por kg de aire seco, y C_v es el calor de vaporización del agua, se puede plantear:

$$H_v = W \{ C_{p(\text{vapor de agua})} t + C_v \}$$

La suma de las anteriores:

$H_h = C_{p(\text{aire seco})} t + W \{ C_{p(\text{vapor de agua})} t + C_v \} = C_{p_a} t + W C_{p_v} t + W C_v$
entonces tenemos que:

$$C_{p_a} = 0,24 \text{ (Kcal/kg}^\circ\text{K)} = 1 \text{ (kJ/kg}^\circ\text{K)}$$

$$C_{p_v} = 0,47 \text{ (Kcal/kg}^\circ\text{K)}$$

$$C_v \text{ a } 0^\circ\text{C} = 595 \text{ (Kcal/kg)}$$

Y nos queda la expresión en función de la humedad absoluta y de la temperatura:

$$H_h = 0,24 t + 0,47 W t + 595 W = 0,24 t + \{0,47 t + 595\} W; \text{ Kcal/kg}$$

que permite calcular la entalpía final del aire húmedo a cualquier temperatura t en $^\circ\text{C}$, tomando como referencia la entalpía a 0°C .

¿En qué operaciones se emplea la información que reporta este Calculador Energético Psicométrico?

Hay muchas operaciones que el Ingeniero Energético realiza y para las que requiere tener a mano esta información, de manera rápida, directa y con total precisión.

En la climatización, aire acondicionado y la ventilación, es imprescindible tener a mano esta información. En las operaciones de diseño, proyecto, selección de equipos y materiales, instalación, mantenimiento, modernización que tienen que realizar los frigoristas, ingenieros y técnicos que trabajan relacionados con los sistemas térmicos de bajas temperaturas, necesitan informarse de las propiedades de la mezcla Aire_Vapor de Agua que existen en los locales, interiores y zonas de trabajo. En esta especialidad es común tener que determinar la carga térmica de los locales y definir la capacidad energética de los equipos de Aire Acondicionado que satisfacen el acondicionamiento del clima interior. A mayor humedad del aire exterior, al disminuir la temperatura del aire por debajo del ambiente, el agua se condensa, al condensarse calienta el gas refrigerante, por lo que es una carga térmica a vencer. Esa carga térmica suma más kWfrigoríficos a instalar, más kWh eléctricos y más emisiones de CO2 asociadas a un mayor consumo de electricidad fósil.

En enfriamiento del aire acondicionado por lo general tiene presente el proceso de de - humidificación. Es un tratamiento típico del aire húmedo en una Unidad de Tratamiento del Aire (UTA) para el verano; primero hay un enfriamiento sensible hasta la curva de saturación y posteriormente una de - humidificación hasta alcanzar la temperatura de rocío del aparato. Inmediatamente a la salida del serpentín de la UTA éste sale saturado y a la que recibe el nombre de punto de rocío del aparato.

Igualmente es imprescindible conocer los parámetros ambientes del aire y vapor de agua para definir con seguridad la resistencia al paso del vapor de agua que deben garantizar ciertos aislamientos térmicos. Si el vapor de agua penetra en el aislamiento y se pone en contacto con las temperaturas más frías que el ambiente, habrá condensaciones de agua. Las tuberías de agua fría de estos sistemas pueden atravesar zonas de ambientes húmedos donde hay que evitar, como antes explicamos, que el vapor de agua se ponga en contacto con las superficies frías de las tuberías o sus recubrimientos. Las condensaciones de agua generan goteos, que empiezan destruyendo el propio material aislante, continúan por destruir los falsos

techos y otros componentes interiores, esa humedad interior afecta los tableros y cabinas eléctricas, acelera la oxidación de las superficies metálicas y en muchos casos, afecta severamente la salud de personas que hacen funciones o permanecen dentro de estas áreas afectadas. Esto puede parecer una novela de moda o una película de temor, pero nada de eso, muchos frigoristas conocen de estos problemas a diario.

Otros procesos dónde se requiere identificar las propiedades de la mezcla aire-vapor de agua son la humidificación, el secado, la absorción, en fin, en un sin número de operaciones de transferencias de calor (energía) y de materia que suceden en cualquier instalación y en todos los sectores de la economía de cualquier país del Planeta.

El agua presente en el aire juega un papel importante en los procesos de ventilación de locales. Un aire saturado a una temperatura determinada no producirá la sensación de refrescamiento en las personas, que a una humedad relativa menor al 100 % y a la misma temperatura. Hay un gran número de ejemplos de procesos donde intervienen equipos tecnológicos diseñados para acondicionar el aire y su humedad, tanto para humidificar, cómo para deshumidificar.

¿Cuántos kWh se consumen y emiten a la atmosfera kg de CO2 por desconocer los parámetros típicos del ambiente exterior en regiones, locales o sistemas energéticos?

Es una pregunta que no tiene una respuesta en cifras, pero si por experiencia de los que han estado relacionados con el trabajo energético, se califican de muy altos.

Los procesos ejemplificados antes están totalmente ligados con los parámetros de las mezclas aire_vapor de agua. Para su realización, están compuestos por sistemas y equipos energéticos, consumidores de energía, generalmente energía de origen fósil. Algunos de estos procesos son de alta intensidad energética, cómo son los sistemas de refrigeración, climatización, ventilación, secado, humidificación y deshumidificadores.

Es por eso que no podía faltar este Calculador-Energético, empleado cómo una herramienta básica para completar los análisis energéticos, tanto en los sistemas térmicos de calor, cómo en los sistemas térmicos de bajas temperaturas. Complementamos así el grupo de soluciones prácticas de cálculo que ponemos a disposición de nuestros visitantes.

¿Y hay soluciones prácticas? ¿Si la mezcla aire_vapor de agua es un proceso natural, depende de las condiciones climáticas, qué se puede hacer entonces?

Hay un conjunto de soluciones, algunas pueden ser recetas comunes pero la mayoría son personalizadas en cada caso.

En la climatización, aire acondicionado y la ventilación se puede comenzar por evitar que se escape el aire ya climatizado, cuya humedad es inferior a la del ambiente exterior, controlar la renovación de aire exterior y la recirculación interior, evitar

reducir innecesariamente la temperatura del interior del local, inclusive en muchos casos afectando el confort. Estas son soluciones y prácticas que podemos aplicar.

Pensar y pensar. Considerar ubicar los aparatos o utensilios que generen vapor, cómo mesas calientes, marmitas, hornos, calefactores, vaporizadores, etc. fuera de los locales climatizados, dónde no aumenten la carga térmica y la humedad interior de los locales.

Es casi obligado que para lograr valores de temperatura y de humedad en los intervalos correctos (la zona de confort), generalmente es necesario alterar el estado del aire y con ello, emplear energía eléctrica.

Así, pues, hay que diseñar equipos que aumenten o disminuyan la temperatura y la humedad relativa, individual o simultáneamente. Aparte de alterar el estado de una corriente específica de aire al calentarlo, enfriarlo, humidificarlo o deshumidificarlo, se logra también un cambio en el estado, mezclando directamente el aire del interior del edificio con otra corriente de aire, por ejemplo, del exterior del edificio. Por tanto, hay que considerar varios procesos básicos en conexión con el acondicionamiento del aire atmosférico.

Colocar las unidades exteriores o de condensación en zonas de altas temperaturas, también afectará el rendimiento energético del sistema durante toda su vida útil.

Colocar aislamientos térmicos con baja resistencia al paso del vapor es otra manera de afectar la eficiencia del sistema de refrigeración al calentarse el fluido refrigerante por el calor absorbido de la condensación el agua contenida en el aire.

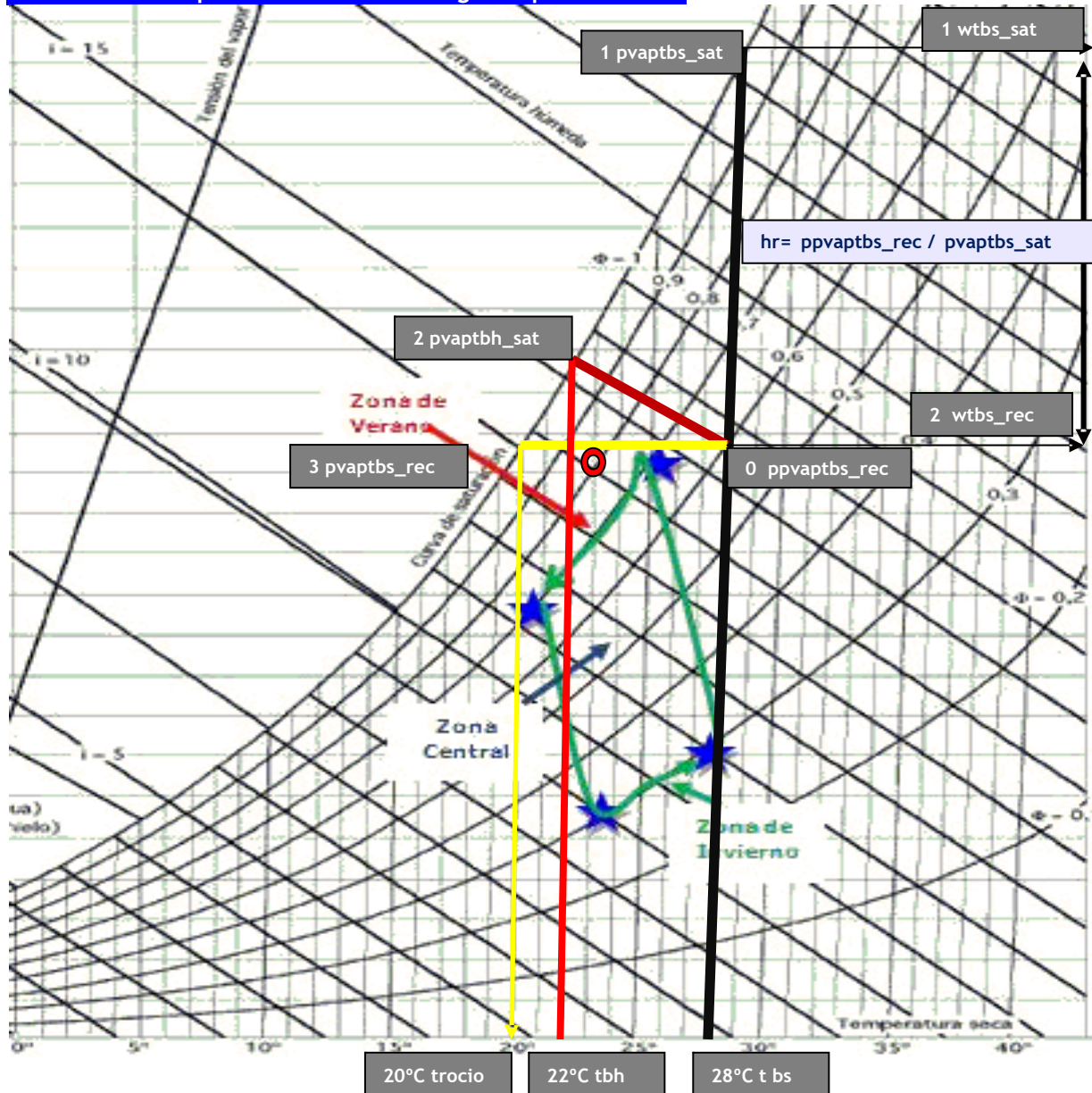
Al diseñar las edificaciones, edificios altos que después tendrán un alto consumo energético, se toman en cuenta y de una manera muy seria, las condiciones climáticas de la zona, para el proyecto y la selección del equipamiento tanto de los sistemas de frío como de calor. Y al decidir cuál será la distribución interna de los locales, cuáles serán climatizados y bajo qué condiciones, los parámetros de las condiciones de aire_vapor de agua ambiente juegan un papel decisivo.

Resumiendo, las relaciones básicas de las que disponemos para la evaluación de dichos procesos son tres:

- Balance de energía de las corrientes
- Balances de masa del vapor de agua y el aire seco
- Valores de las propiedades del aire seco y del agua

Este Calculador_Energético, Psicométrico, se puede utilizar para describir cualitativamente el diseño de procesos energéticos diferentes y de alta intensidad en el consumo energético y es extremadamente útil como en la detección de los cambios de estado producidos al tratar el aire ambiente, que no es más que una mezcla aire-vapor de agua. Este tratamiento se realiza por sistemas y equipos difundidos en todas las economías del Planeta. También es una herramienta útil en la estimación de los valores de los parámetros que caracterizan los fluidos que entran y salen de un proceso energético, de ahí su participación necesaria en los análisis de la eficiencia energética.

Análisis de los 4 puntos claves en el diagrama psicrométrico.



El propósito del diagrama Psicrométrico anterior demostrar los 4 puntos principales que representan los estados posibles de una mezcla aire_vapor y que caracterizan la misma. Estos son:

estado 0: donde la mezcla aire_vapor se encuentra a la t_{bs} , en un estado no saturado (recalentado), es decir, la mezcla es capaz de absorber más agua si se pone en contacto con una superficie húmeda.

estado 1: si la mezcla anterior se pone en contacto con un medio húmedo absorberá agua a la misma temperatura t_{bs} . Línea negra vertical. Llega el momento en que la mezcla no admite una molécula más de agua, se satura de agua (mezcla saturada).


Se destaca en el Diagrama una diferencia entre la presión del vapor de agua en la mezcla aire_vapor en la zona recalentada y la saturada, puesto que la cantidad de vapor de agua en la mezcla es superior en el estado 1 saturado que en el estado 0 recalentado.

estado 2: Si hacemos pasar una cantidad de aire que se encuentra en el estado 0 a la tbs (que hemos llamado estado recalentado), sobre una superficie de agua, la mezcla irá absorbiendo agua y para que el agua se evapore necesitamos calor. El agua no se evapora si no le entregamos energía. Bien, esa energía se la entrega la mezcla aire_vapor y por lo tanto, irá disminuyendo su temperatura desde el valor inicial o tbs.

Llega el momento en que se va equilibrando la cantidad de agua que se evapora, con la capacidad que tiene la mezcla de absorber agua, lo que se evidencia pues la temperatura de la mezcla cada vez descendiendo menos. Si vamos anotando la diferencia entre tbs inicial y la disminuida, tbh, llega el momento que la diferencia permanece constante. En ese momento, la temperatura disminuida se identifica como la **temperatura del bulbo húmedo**, tbh, la que como explicamos es menor que la tbs.

Si determinamos el valor de la presión de vapor de agua a la tbh, veremos que es menor que a la tbs. Eso nos indica que hay una menor cantidad de vapor de agua presente en la mezcla aire_vapor en el estado 2 a la tbh que en el estado 1 saturado.

Se comprende por lo dicho antes, que la mezcla de aire_vapor podría absorber una cantidad de agua superior si aumentamos su temperatura desde tbh a tbs. A la vez la presión de vapor de agua presente en la mezcla aumentaría proporcionalmente.

estado 3: Se corresponde con las líneas en amarillo. Si nos imaginamos que desde el estado 0 (tbs=28°C), comenzamos a reducir la temperatura de la mezcla aire_vapor, poco a poco, iremos desplazando ese punto hacia la izquierda, sobre la línea amarilla horizontal. Pensemos que la tbs disminuyó en 5 °C, ahora el estado 0 se encuentra en 23°C y se ha representado por un anillo rojo. 

Si desde el anillo rojo volvemos a encontrar el estado 1 y el estado 2, veremos que tanto la saturación como la tbh han disminuido respecto al estado 0 inicial. Si se reduce la pvaptbs_sat y se mantiene constante la ppvaptbs_rec estado 0, el cociente, humedad relativa ha aumentado, lo que indica que se enriqueció la mezcla en vapor, y a la vez disminuyó su temperatura. Si seguimos desplazando ese estado a la izquierda y sobre la línea amarilla, hasta topar con la curva de saturación, la mezcla se ha enriquecido tanto en vapor de agua que está totalmente saturada. Coincidirán los 3 estados, el 0, el 1 y el 2. Y a una mínima caída de temperatura, aparece la primera gota de agua. Estamos en presencia del punto de rocío o de la temperatura de rocío.

Si se logra comprender esto, el resto se facilita enormemente:

1-La humedad relativa es la relación entre la presión real del vapor de agua recalentado presente en la mezcla aire-vapor (estado 0) dividida por la presión de saturación del vapor correspondiente a la temperatura del vapor (estado 1) que es la del ambiente o tbs. Si la temperatura seca (tbs) es de 28 °C como muestra el diagrama, se puede determinar el valor de la presión de vapor pvaptbs_sat estado 1 utilizando las Tablas de Vapor Saturado.

La relación de humedad o humedad relativa es la medida de cuán lejos está el contenido de vapor de agua presente en la mezcla con aire a una temperatura, respecto al estado saturado a esa misma temperatura.

Por lo que conocida la h_r y la t_{bs} , se puede encontrar el valor de $ppvaptbs_rec(0)$.

2- Es común que en los problemas reales psicrométricos que se dispongan como datos primarios el par t_{bs} , h_r , o el par de datos t_{bs} , t_{bh} .

En el caso de tener como datos primarios la t_{bs} y la t_{bh} , (no se conoce la h_r), se necesita conocer previamente la humedad absoluta de la mezcla aire_vapor en condiciones de recalentamiento (estado 0).

Para calcular este parámetro se hace un balance de calor entre el punto real o de recalentamiento y el punto de saturación a la t_{bh} , considerando que el proceso es adiabático.

Si nos fijamos en la gráfica, la línea roja que une el estado 0 de recalentamiento con el estado 2 de t_{bh} es paralela a la línea de calor total (línea adiabática) lo que nos dice que en el estado 0 el calor total es igual al del estado 2. La expresión que utilizamos en el balance es la siguiente:

$$wtbs = ((wtbh * hvapliq_tbh) - (0.24 * (t_{bs} - t_{bh}))) / (h_{gtbs} - h_{liq_tbh})$$

El resto de las variables de estado que intervienen en la expresión se determinan en la Tablas de Vapor Saturado conocida la t_{bs} y la t_{bh} . La variable $wtbs$ se calcula por la relación de densidades entre el vapor de agua y el aire a la t_{bh} . Resuelta la $wtbs$ podemos determinar la presión en el estado 0, mediante la expresión:

$$ppvaptbs_rec \text{ estado } 0 = (wtbs * p_{sia}) / (0.622 + wtbs)$$

Ahora podemos determinar la h_r pues conocemos $pvaptbs_sat$ estado 1.

Conocido el valor de la $ppvaptbs_rec$ en el estado 0 y utilizando una Tabla de Vapor Saturado, podemos determinar la temperatura del vapor a esa presión. Esa temperatura se corresponde con el punto de rocío de la mezcla aire_vapor.

3- En el caso que se conoce la t_{bs} y la h_r , tendremos que calcular la t_{bh} . Entonces necesitamos conocer la $pvaptbh_sat$ en el estado 2. No podemos utilizar la Tabla de Vapor Saturado pues no disponemos de la t_{bh} . Carrier dedujo una expresión para calcular la presión parcial del vapor de agua en el aire atmosférico, en cualquier estado. Es la siguiente:

$$ppvaptbs_rec = pvaptbh_sat - ((p_{sia} - pvaptbh_sat) * (t_{bs} - t_{bh_sat}) / (2830 - 1.44 * t_{bh_sat}))$$

Al conocer la t_{bs} , se obtiene de las Tablas de Vapor Saturado la $pvaptbs_sat$ estado 1 y con la h_r , se calcula la $ppvaptbs_rec$.

Si conocemos el valor de la $pvaptbh_sat$, despejando, podríamos calcular el valor de la t_{bh} , pues conocemos el valor de t_{bs} , p_{sia} y $ppvaptbs_rec$.

Entonces se diseña una iteración:

a-se asume un valor de t_{bh} , inicialmente se considera igual o algo menor que la t_{bs} .

b-con el valor de t_{bh} vamos a la Tabla de Vapor Saturado y obtenemos la primera ppv_{ptbh_sat} estado 2

c-realizamos el cálculo y comparamos el resultado con el valor de ppv_{ptbs_rec} .

d-si difiere, asumimos una nueva t_{bh} mas pequeña que la anterior, digamos 0.5 °.

e-realizamos nuevamente los pasos b y c

f-así se iteran tantos lazos hasta que se cumpla la condición que el resultado sea igual o muy cercano al valor de la ppv_{ptbs_rec} . Cuando se satisface la condición, habremos encontrado la t_{bh} .

4- En ocasiones se requiere determinar las propiedades de la mezcla aire_vapor al final de un proceso de calentamiento o enfriamiento manteniendo la humedad absoluta constante. La condición de humedad absoluta constante es equivalente a temperatura de rocío constante y a presión de vapor de agua constante. Para ello el punto inicial del proceso ha sido caracterizado y se conocen sus parámetros psicométricos, entre ellos la t_{bs} , w_{tbs} , y trocio de la mezcla aire_vapor. Conocido el punto de rocío se puede calcular la ppv_{ptbs_rec} utilizando las Tablas de Vapor Saturado. Como se conoce la t_{bs} , se puede calcular pv_{ptbs_sat} estado 1 y relacionando ppv_{ptbs_rec} con pv_{ptbs_sat} , determinamos la h_r .

Si realizamos la iteración anterior explicada en 3, determinaremos la t_{bh} .

Concluyendo:

Por lo que conocer los 4 puntos clave del Diagrama Psicométrico es fundamental para poder caracterizar la mezcla aire-vapor en los diferentes estados posibles.

El Calculador_Energético que está publicado en la web satisface la caracterización de las mezclas aire_vapor en los estados que en la vida práctica se nos presentan.

La zona central del Diagrama encerrada en el polígono de rayas verde representa la zona de confort, tanto para la estación del invierno como para la del verano. Saber sobre ella hace posible que optimicemos la operación de los sistemas de Aire Acondicionado y de Calefacción.

Fin del artículo



Sobre el Autor: René Ruano Domínguez tiene más de 35 años de experiencia en actuaciones en sistemas y equipos energéticos, tanto en los que utilizan energía fósil como fuentes renovables. Se inició como operador, posteriormente tecnólogo y Gerente Técnico en la Industria de Conversión y Refinación de los Combustibles. Ha sido fundador y Gerente Técnico de varios Equipos de Ingeniería Energética dirigidos al Proyecto, Montaje y los Servicios Técnicos en los Sistemas de Calor y Frío, abarcando la generación, distribución y uso del vapor y el agua caliente en medianas y pequeñas instalaciones, hasta 10 bar de presión; y en los sistemas de Frío las bajas temperaturas (refrigeración y producción de hielo industrial), medianas temperaturas (conservación) y altas temperaturas (Aire Acondicionado) para instalaciones industriales y comerciales. Ha realizado múltiples actuaciones en proyectos, ejecución y servicios de Ingeniería Energética General. Es fundador y el Ingeniero Principal de Ingeniería Energética General



Ingeniería Energética General - General Energetic Engineering

Visite nuestro sitio Web www.energianow.net donde podrá consultar otras publicaciones
Diferentes modalidades de la Asistencia Técnica

Artículos

- +CO2_Crédito_Mercado
- +Crédito_de_CO2(1)
- +Crédito_de_CO2(2)
- +Componentes Sist. PV
- +DemandaTérmica. CR
- +DemandaTérmica. (HC)
- +Efic_Celdas_Solares
- +Energía, su Calidad y Emisiones
- +Energía y Emisiones—Estadísticas 2009-2010
- +Sistema_ref_diagnostico.pdf
- +Sist_refrig_eficiencia.pdf
- +Capacidad_calori_gases.pdf
- +Sist. Calor. Bases.Vap. Agua. Portadores.
- +Sist. Calor. Proceso de combustión.
- +Sistema Eléctrico. Su eficiencia
- +Trayectoria Solar

Instructivos

- +biodiesel_instructivo_resumen.pdf
- +Demanda_vapor_instructivo_resumen.pdf
- +Edificios_factores_comunes.pdf
- +Inconsistencia_del_Precio_Energetico_Resumen.pdf
- +Sistema_Fotovoltaico_Actualidad_Integracion.pdf
- +Sistema_Fotovoltaico_Proyecto.pdf
- +SistemaSolarFotovoltaico_vs_Sist.SolarTermico.pdf
- +TrayectoriaSolar-Instructivo.pdf
- +Sistema Eléctrico Eficiencia
- +Mecanismos de Trasferencia de Calor
- +Transmisión de Calor. Aislamiento

Buenas prácticas

- +Quemadores
- +Generadores de Vapor
- +Paneles solares

Calculadores_Energéticos

- Subsidios—Inversiones Energéticas 2010
- Cálculo de emisiones de CO2
- Calidad de la Energía, Emisiones, Costos
- Convertidor Temperatura °C a °F
- Convertidor de Temp. y Presión - Múltiple
- Convertidor Fracc. Vol a Fracc. Peso .Mezclas gaseosas
- Solución ecuac. 2do grado
- Selector. Energía Mundial
- Tarifa eléctrica. 2a versión
- Trayectoria Solar
- Financiamiento mundial 2009
- Refrigerantes. Tablas PT
- Amoniaco líq. Tablas PT
- Amoniaco saturado. Tablas PT
- Amoniaco recalentado. Tablas PT
- Capacidad calórica de gases.
- Combustión. Aire Combustión
- Combustión. Humos Combustión
- Combustión. Poder Calórico
- Combustión. Temperatura llama
- Vapor Saturado. Tablas PT
- Vapor Recalentado. Tablas PT
- Generadores de Vapor
- Eficiencia Energética Calderas
- Eficiencia Energética Equipos
- Eficiencia Sistema Refrigeración
- Pérdidas en humos
- Pérdidas por purgas
- Pérdidas por superficies
- Eficiencia Motor. Compresor Gases más utilizados
- Eficiencia Compresor gases
- Eficiencia Compresor Redes 3
- Sistema eficiencia Vapor de Agua

Podrá encontrar el dato directo, oportuno y procesado de aquellos sistemas de mayor intensidad e importancia energética. La documentación digitalizada se publica en tres formatos

Artículos—Documentos digitalizados listos para su consulta y puede descargarlos. Todos en LIBRE ACCESO

Instructivos—Documentos digitalizados que explican paso a paso como realizar una aplicación práctica energética

Calculadores_Energéticos—Procesadores online, interactivos que facilitan los procedimientos complejos y los hacen accesibles y manejables.



Kit Fotovoltaico
Sustitución de combustibles
Fósiles por Energías Renovables