

Simulación de los Procesos Psicrométricos

Simulation of Psychrometric Processes

Gustavo Cardoso¹, Milton Puzhi², Saúl Zhinín³

¹ Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Cuenca,

gustavo.cardoso@ucuenca.edu.ec

² Profesional Independiente

miltonpuzhi@gmail.com

³ Profesional Independiente

esaumarcel@hotmail.com

Recibido: 18-01-2016. Aceptado después de revisión: 25-07-2016

Resumen. Los procesos físicos de evaporación y de condensación del agua y viceversa establecen mecanismos de adición y eliminación de humedad, provocando cambios en los diferentes sistemas ecológicos, habitacionales e industriales. Múltiples procesos de acondicionamiento de aire son necesarios en la industria. Estos procesos han sido modelados matemáticamente como operaciones unitarias de humidificación, deshumidificación y secado, los mismos que están en función de varios parámetros psicrométricos como temperatura, humedad relativa, humedad absoluta, presión, y otros. Su cálculo por ecuaciones resulta más o menos complejo, las soluciones gráficas son más prácticas, pero menos precisas, software y simuladores en psicrometría son escasos. Este estudio desarrolla la creación de un modelo computarizado, creado en función de un algoritmo que puede disminuir la complejidad, acelerar la secuencia de operaciones y mejorar la precisión de los cálculos, útil tanto en la industria como en la docencia. El software es basado en el lenguaje Java® para simular casos y métodos de cálculo de procesos de humidificación, deshumidificación, secado y mezclas de aire basado en las ecuaciones básicas de la psicrometría, para un amplio rango de temperaturas y a diferentes alturas sobre el nivel del mar. El modelo ha sido validado para las condiciones Ecuador, mostrando buena correlación entre los resultados calculados manualmente frente a los obtenidos por la simulación.

Palabras Claves: Humidificación, Java, Psicrometría, Secado, Software.

Abstract. The physical processes of water evaporation and condensation and the corresponding reverse processes, establish mechanisms of addition and/or removal of moisture, causing changes in different ecological, housing and industrial systems. Multiple air conditioning processes are needed in the industry, these have been modeled mathematically as unit operations of humidification, dehumidification and drying, in turn, they depend on several psychrometric parameters such as temperature, relative humidity, absolute humidity, pressure, etc. Its calculation by equations is more or less complex; graphic solutions are more convenient, but less precise; software and simulation packages in psychrometry are scarce. This paper develops the creation of a computerized model based on an algorithmic tool that can reduce complexity and improve the accuracy of these calculations, useful both for industrial and teaching applications. This software is based on the @Java language to simulate cases and calculation methods of humidification, dehumidification, drying and mixtures of air based on psychrometric equations. The software can be used for a wide range of temperatures and at different altitudes above sea level. The validation of the model has been performed in Ecuador's environmental conditions. Results showed good correlation between the results obtained via manual computation and those obtained using the model.

Key Words: Humidification, Java, Psychrometrics, Drying, Software.

1. Introducción

La psicrometría es necesaria para comprender las relaciones aire-vapor de agua, estas resultan fundamentales en procesos industriales de humidificación, deshumidificación, secado; acondicionamiento de aire en hábitats; útil en el diseño y análisis de sistemas de almacenamiento como silos y secaderos de cereales, procesos de deshidratación de alimentos, diseño de torres de enfriamiento.

Partiendo de los principios básicos de la termodinámica se han generado conceptos y relaciones matemáticas para los sistemas aire – vapor de agua, que, expresadas en modelos matemáticos y gráficos, se traducen en parámetros que definen lo que podemos

llamar la condición psicrométrica del aire. Estas herramientas analíticas nos ayudan a resolver un sinnúmero de problemas de ingeniería química. Aunque diversos autores han abordado estos problemas [1]-[6], existe muy poco software y simulaciones sobre procesos psicrométricos [7], de hecho, en la literatura se encuentra algunas soluciones gráficas, pero estas, o han quedado obsoletas para las plataformas actuales como <http://www.vpclima.upv.es/psicro.htm> [8], o en su defecto proponen soluciones analíticas parciales, limitadas a unos pocos parámetros, sin soluciones a procesos de mezcla de diversas calidades de aire, u omiten la visualización del diagrama psicrométrico [7]. Mago y Long [9] propone similares soluciones en Microsoft Excel, sin considerar presiones atmosféricas reducidas por la altura, los autores mencionados [7] y [9], destacan el uso pedagógico de estas herramientas que mejoran la experiencia de aprendizaje facilitando a los alumnos un mayor dominio de la psicrometría, facilitándoles cálculos de otra manera tediosos y repetitivos, motivándoles a enfocarse más en aspectos de diseño y análisis del significado de los distintos parámetros con fines de aplicación tecnológica. El presente estudio, que puede ser revisado en forma completa en [10], desarrolla una carta psicrométrica con una interfaz gráfica muy sencilla de utilizar, permite obtener propiedades del aire y resolver procesos para aire o mezclas de aire a distintas presiones y temperaturas. Abarca un rango mayor de posibilidades que las tablas publicadas en libros de texto que generalmente se limitan a condiciones de una atmósfera de presión. Presenta además aplicaciones particulares para el país en el que ha sido desarrollado mediante una interfaz que cuenta con datos promedio en m.s.n.m. de las principales ciudades del Ecuador, casos que pueden ser calculados como aplicaciones directas en la carta psicrométrica. Adicionalmente este programa tiene una configuración versátil que permite su instalación en cualquier sistema operativo contemporáneo. El presente estudio brinda herramientas para el cálculo dinámico de las propiedades de las mezclas de aire y vapor de agua, aplicable a diversos problemas industriales y de climatización.

1.1 Termodinámica de una mezcla aire-vapor de agua

El agua es un compuesto vital para el desarrollo de los procesos biológicos que se efectúan en la tierra y su presencia en forma líquida, sólida o vapor, influye de forma importante en las condiciones climáticas. Los procesos físicos de evaporación, es decir, la transición del estado líquido a vapor y el de condensación, el cambio del estado vapor a líquido, establecen mecanismos de adición y eliminación de humedad, provocando cambios en los diferentes sistemas ecológicos.

Para que se dé el proceso de evaporación es necesario aplicar al líquido energía a ser usada como calor de vaporización, cuando el número de moléculas que se evaporan del líquido es igual al número de moléculas que se condensan, se logra un equilibrio termodinámico.

Para calcular la presión de saturación del agua con respecto a la temperatura, se utiliza la ecuación (1) [1] y las respectivas constantes que se muestran en la Tabla 1.

$$\ln p_W^* = \frac{\frac{C_1}{T} + C_2 + C_3 \cdot T + C_4 \cdot T^2 + C_5 \cdot T^3 + C_6 \cdot T^4 + C_7 \cdot \ln T}{101325} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

p_W^* = Presión de saturación del agua, atm

T = Temperatura absoluta, K

C = Constantes, sus valores se pueden obtener de la Tabla 1.

Tabla 1. Constantes para el cálculo de la presión de saturación para distintos rangos de temperatura [1].

Constantes	Rango de temperaturas	
	-100°C a 0°C	0°C a 200°C
C1	-5.6745395E+0.3	-5.800205E+03
C2	6.3925247E+00	1.3914993E+00
C3	-9.6778430E-0.3	-4.8640239E-0.2
C4	6.2215701E-0.7	4.1764768E-0.5
C5	2.0747825E-0.9	-1.4452093E-0.8
C6	-9.4840240E-13	0.0000000E+00
C7	4.1635019E+00	6.5459673E+00

1.2 Aire seco y húmedo

El aire es una mezcla de gases, primordialmente nitrógeno y oxígeno. Esta mezcla de gases contiene adicionalmente una cantidad variable de vapor de agua, responsable de un impacto termodinámico que puede ser importante. La cantidad de agua presente en el aire depende de la condición psicrométrica del aire, la misma que es determinada por diversas variables, entre ellas, presión y temperatura.

Despreciando los componentes menores, podemos usar una aproximación sobre la composición del aire seco: 78% de nitrógeno y un 22% de oxígeno. La masa molecular del aire seco es la suma de las fracciones molares de cada gas que lo componen, en este caso nitrógeno con una masa molecular de 28 kg/kmol y de oxígeno con 32 kg/kmol; por tanto, la masa molecular ponderada del aire seco se la puede representar como [1]:

$$M_a = \frac{1}{\frac{0,78}{28} + \frac{0,22}{32}} = 28,8 \frac{g}{mol} \quad \text{Ecuación (2)}$$

La psicrometría, que etimológicamente significa medición del frío, es la rama de la termodinámica que estudia las propiedades de las mezclas aire-vapor de agua, considerada por varios autores como una operación unitaria. La psicrometría permite modelar y explicar diferentes procesos psicrométricos que tienen que ver con el acondicionamiento del aire para confort del cuerpo humano y para lograr condiciones adecuadas del aire para determinados procesos y operaciones industriales [2].

1.3 Presión Atmosférica

La figura 1 muestra la variación de la presión atmosférica con la altura, partiendo de la altura sobre el nivel del mar. Este parámetro se lo puede medir con un barómetro.

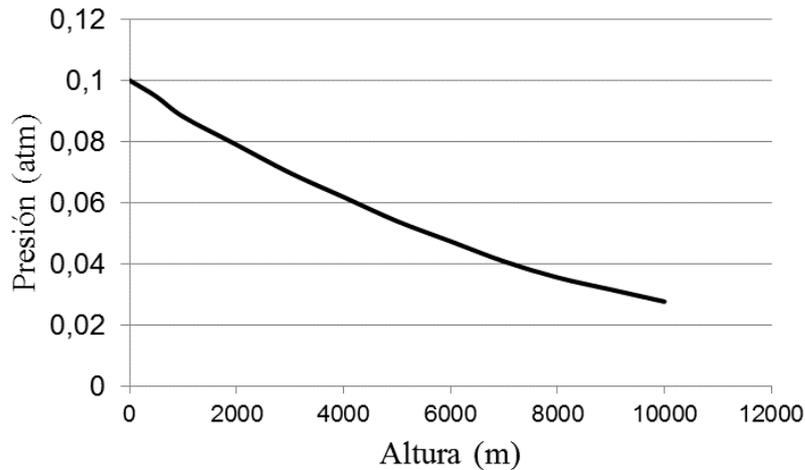


Figura 1. Variación de la presión con la altura.

Una aproximación de la presión atmosférica se puede lograr mediante la aplicación de la ecuación (3) [1]:

$$P = (1 - 2.25577 \times 10^{-5} \cdot Z)^{5.2559} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde:

Z = Altura, m

P = Presión atmosférica, atm

1.4. Definición de términos

1.4.1 Humedades: molar (W_M), absoluta (W), relativa ($\%W_R$) y porcentual (W_p). [2]

$$W_M = \frac{n_w}{n_a} = \frac{p_w}{p_a} = \frac{p_w}{P-p_w} = \frac{\text{moles}_w}{\text{moles}_a} \quad \text{Ecuación (4)}$$

$$W = 0,622 \cdot \frac{p_w}{P-p_w} = \left(\frac{\text{kg de agua}}{\text{kg de aire}} \right) \quad \text{Ecuación (5)}$$

$$\%W_R = \frac{p_w}{p_w^*} \cdot 100 \quad \text{Ecuación (6)}$$

$$W_p = \frac{W}{W^*} = \frac{p_w}{p_w^*} \cdot \left(\frac{P-p_w^*}{P-p_w} \right) \quad \text{Ecuación (7)}$$

Donde:

n_w = Moles de agua.

n_a = Moles de aire.

p_w = Presión parcial del vapor de agua.

p_a = Presión parcial del aire.

P = Presión atmosférica.

p_w^* = Presión de vapor del agua.

W^* = Humedad absoluta de saturación.

1.4.2. *Temperatura de bulbo seco (t_{bs}) vs temperatura de bulbo húmedo (t_{bh})*

La temperatura de bulbo seco, es la verdadera temperatura del aire húmedo y frecuentemente se le denomina como temperatura del aire que se registra con un termómetro común. La temperatura de bulbo húmedo, es la temperatura de equilibrio que se alcanza cuando la mezcla de aire y vapor de agua pasa por un proceso de enfriamiento adiabático que puede llegar a la saturación. Se deducen las siguientes relaciones al igualar el calor latente que se requiere para evaporar un caudal másico de agua, con el calor por convección entregado por el aire para el mismo fin.

$$p_{tbh}^* - p_w = \frac{h_c}{K_G \cdot M_w \cdot \lambda_{tbh}} (t - t_{bh}) \quad \text{Ecuación (8)}$$

$$W_{tbh} - W = \frac{\frac{h_c}{K_w}}{\lambda_{tbh}} (t - t_{bh}) \quad \text{Ecuación (9)}$$

Donde:

p_{tbh}^* = Presión de saturación del vapor de agua a la temperatura del bulbo húmedo.

λ_{tbh} = Calor latente de vaporización del agua referida a la temperatura de bulbo húmedo.

W_{tbh} = Humedad absoluta en saturación.

h_c = Coeficiente de convección líquido-gas.

K_G = Coeficiente de transporte de materia, tomando como potencial de difusión la presión de vapor.

K_w = Coeficiente de transporte de materia, tomando como potencial de difusión la saturación absoluta.

M_w = Masa molecular del vapor de agua.

t = Temperatura de bulbo seco de la masa gaseosa.

t_{bh} = Temperatura de bulbo húmedo de la masa gaseosa.

Para el caso de la mezcla aire-agua, el coeficiente $\frac{h_c}{K_G \cdot M_w \cdot \lambda_{tbh}}$ se aproxima a 0.5, por lo tanto se puede determinar t_{bh} de acuerdo con la ecuación (9) que se la conoce como ecuación psicrométrica.

$$p_w^* - p_w = 0.5 \cdot (t - t_{bh}) \quad \text{Ecuación (10)}$$

El cociente $\frac{h_c}{K_w}$ se denomina coeficiente psicrométrico y puede determinarse por la siguiente expresión:

$$\frac{h_c}{K_w} = c \cdot \left(\frac{Sc}{Pr}\right)^{0.56} \quad \text{Ecuación (11)}$$

Donde:

Sc = Módulo adimensional de Schmidt, cuyo valor es:

$$Sc = \frac{\mu}{\rho D} \quad \text{Ecuación (12)}$$

Donde:

μ = Viscosidad absoluta, kg/h m

ρ = Densidad, kg/m³

D = Difusividad, m²/h

Pr = Módulo adimensional de transmisión de calor por convección de Prandtl, cuyo valor es:

$$Pr = \frac{C\mu}{K} \quad \text{Ecuación (13)}$$

Donde:

C = Calor específico, kcal/ kg °C

K = Conductividad, kcal/m h°C [3]

Tabla 2. Valores del módulo de Prandtl para mezclas de aire-diversos vapores

Agua	0.222	Sulfuro de carbono	0.359
Metanol	0.293	Benceno	0.4
Etanol	0.345	Acetato de etilo	0.412
Propanol	0.373	Tolueno	0.415
Butanol	0.412	Cloro benceno	0.453

1.4.3. Temperatura de rocío (t_r)

Es la temperatura a la cual es preciso enfriar, a humedad constante, una mezcla de vapor-gas para que éste se sature [6].

1.4.4. Volumen específico del gas húmedo o volumen húmedo (V_{esp})

Es el volumen ocupado por la mezcla que contiene 1 kg de gas, para el caso de la mezcla aire-vapor de agua, el volumen específico viene dado por:

$$V_{esp} = \left(\frac{1}{29} + \frac{W}{18} \right) = \frac{0,082T}{P} = \left(\frac{m^3}{kg \text{ aire}} \right) \quad \text{Ecuación (14)}$$

Donde:

V_{esp} = Volumen específico de la mezcla gaseosa húmeda.

1.4.9. Calor específico del gas húmedo o calor húmedo (C_H)

$$C_H = 0,24 + 0,46 * W = \left(\frac{kcal}{kg \text{ aire } ^\circ C} \right) \quad \text{Ecuación (15)}$$

Donde:

C_H = Calor específico de la mezcla gaseosa húmeda.

1.4.5 Temperatura de saturación adiabática (t_s)

Es la temperatura que alcanza una masa de gas húmeda cuando está en contacto con un líquido en condiciones adiabáticas. Esta ecuación se obtiene de manera similar a la de la temperatura húmeda (Ecuación 8).

$$(W_{ts} - W) = \frac{C_H}{\lambda_{ts}} (t - t_s) \quad \text{Ecuación (16)}$$

Donde:

W_{ts} = Humedad de saturación a la temperatura de saturación adiabática.

λ_{ts} = Calor latente de vaporización del líquido a t_s

Para el caso aire-vapor de agua, el valor de la temperatura húmeda y el de la temperatura de saturación adiabática coinciden y en este caso se toma indistintamente una u otra [3].

1.5 El diagrama psicrométrico

1.5.1 Representación gráfica

El diagrama psicrométrico es la representación gráfica de las ecuaciones analíticas descritas anteriormente. Algunas de las curvas que lo integran se muestran en las Figuras 2, 3 y 4.

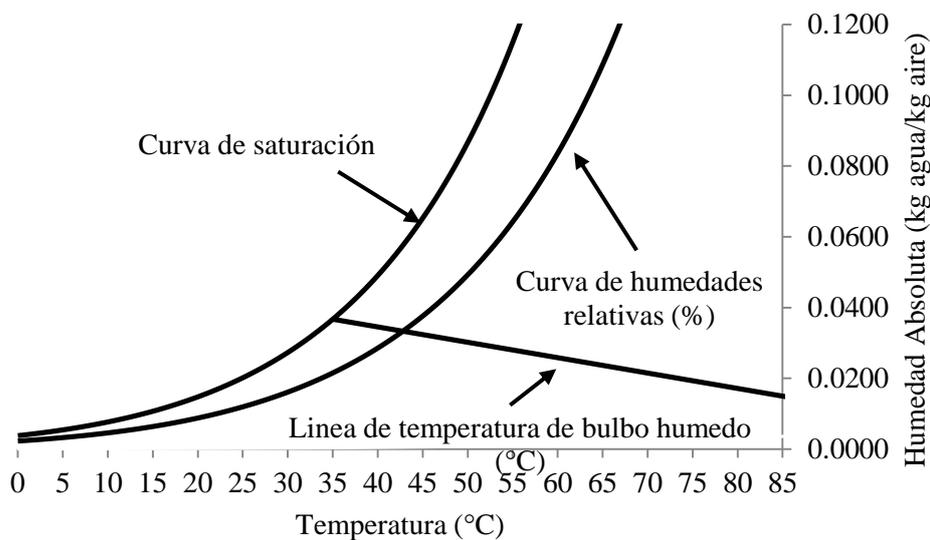


Figura 2. Diagrama de la curva de saturación, humedad relativa y temperatura de bulbo húmedo.

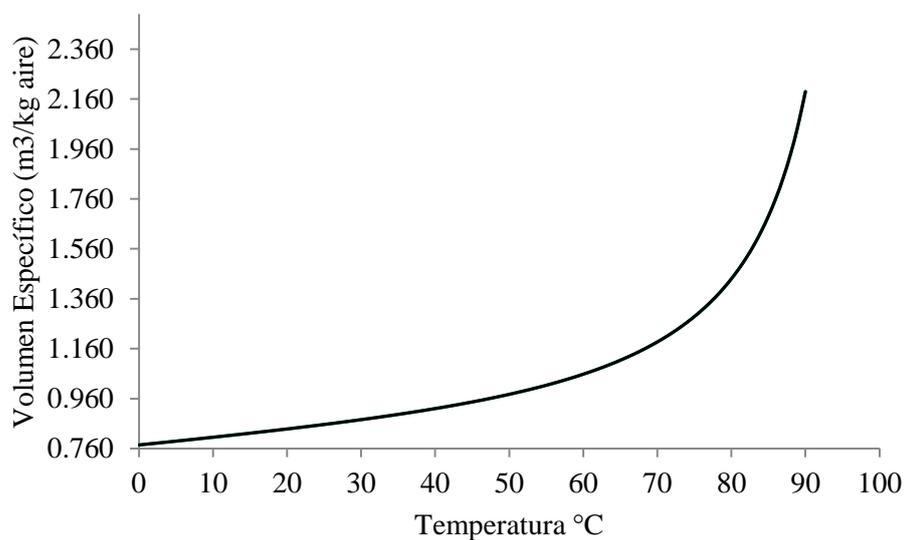


Figura 3. Diagrama volumen específico – temperatura.

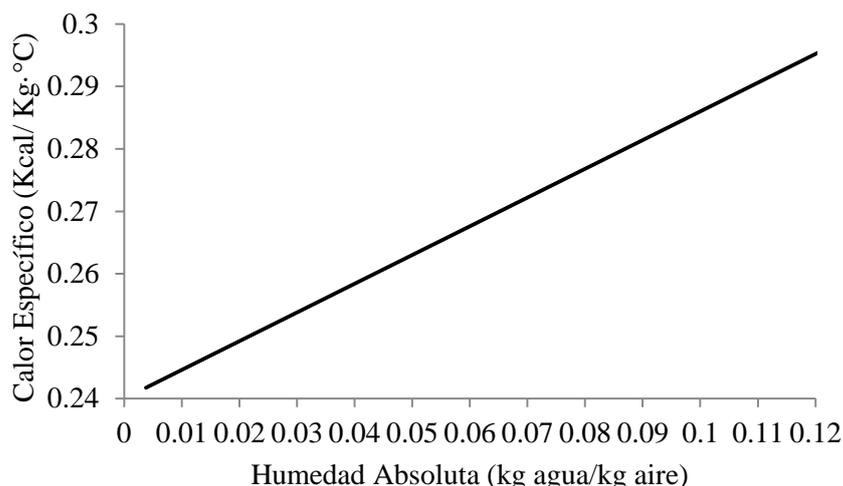


Figura 4. Diagrama calor específico – humedad absoluta.

El diagrama psicrométrico permite resolver un sinnúmero de problemas. Diversos casos se describen en detalle en varias fuentes (Ver por ejemplo [2], [3], [5], [9]). Las limitaciones principales son que los modelos encontrados en la literatura están diseñados por lo general para condiciones de una atmósfera de presión, que sólo se da a nivel del mar, y la simple apreciación visual induce al usuario a cometer errores de apreciación en la lectura. Para superar estas limitaciones se propone el desarrollo de un modelo computarizado que simula estos procesos físico-químicos con mayor precisión que la apreciación visual, y versatilidad en cuanto a la simulación de condiciones a cualquier altura sobre el nivel del mar.

2. Materiales y Métodos

Para el desarrollo del simulador se utilizó una computadora Sony VAIO®, con un procesador Intel Core, memoria RAM de 6GB, sistema operativo de 64 bits en plataforma Windows 7, y se instaló en esta plataforma el software Java 7 JDK.

2.1 El lenguaje Java

El lenguaje Java se usa para desarrollar aplicaciones para un amplio alcance de entornos, desde dispositivos del consumidor hasta sistemas empresariales heterogéneos [11]. Se escogió este lenguaje por: a) confiabilidad, los errores se detectan inmediatamente facilitando la depuración; b) versatilidad, Java soporta aplicaciones que pueden ser ejecutadas en varios entornos de red, es portable, es decir, se puede correr sin ninguna modificación en una variedad de plataformas.

2.1.1 Funcionamiento de Java.

El fichero de código fuente es escrito mediante un editor suministrado con el paquete del lenguaje Java [11]. Al crear el fichero .java, se compila y se genera un fichero intermedio con los bytecodes de extensión .class. Al generarse este fichero, ya puede ser interpretado en cualquier máquina virtual de Java. Este funcionamiento se puede ver esquemáticamente en la Figura 5.

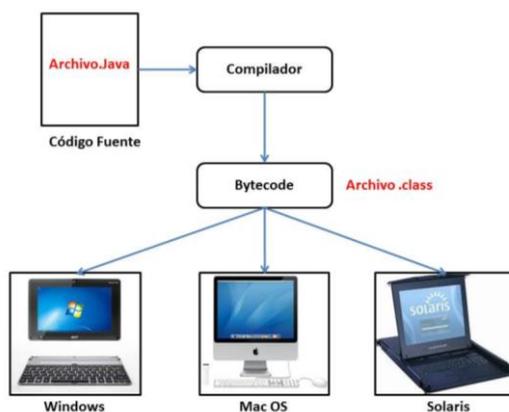


Figura 5. Compilación y ejecución de programas en Java.

2.2 Algoritmos

La programación del simulador la basamos en los algoritmos detallados en [10].

3. Resultados

3.1. Características generales del programa

El programa desarrollado en la plataforma Java permite al usuario desarrollar los cálculos que habitualmente se realizan de forma manual sobre cualquier diagrama convencional. En este programa se pueden obtener las propiedades psicrométricas de cualquier estado de aire, además los procesos más frecuentes de las instalaciones de climatización, ofreciendo un amplio rango de temperaturas a diferentes presiones atmosféricas.

A continuación se exponen diversas posibilidades de uso que ofrece el programa.

3.2 Funciones que realiza

Las principales características del software son:

- Obtención de las propiedades psicrométricas de cualquier estado del aire húmedo.
- Calculo de los procesos más frecuentes en instalaciones de climatización (calentamiento y enfriamiento sensible, mezcla de dos gases a diferentes condiciones, calentamiento y enfriamiento adiabático, enfriamiento adiabático)
- Zona de confort.

3.3 Descripción del programa

Cuando se ejecuta el programa, lo primero que se ve es la pantalla principal (figura 6), con un menú de ciudades de Ecuador, se elige una ciudad y automáticamente da como resultado la presión atmosférica en atmosferas y la temperatura de ebullición.

Para generar el diagrama se opta por: *Gráfico - normal* y se hace clic en *Calcular*.

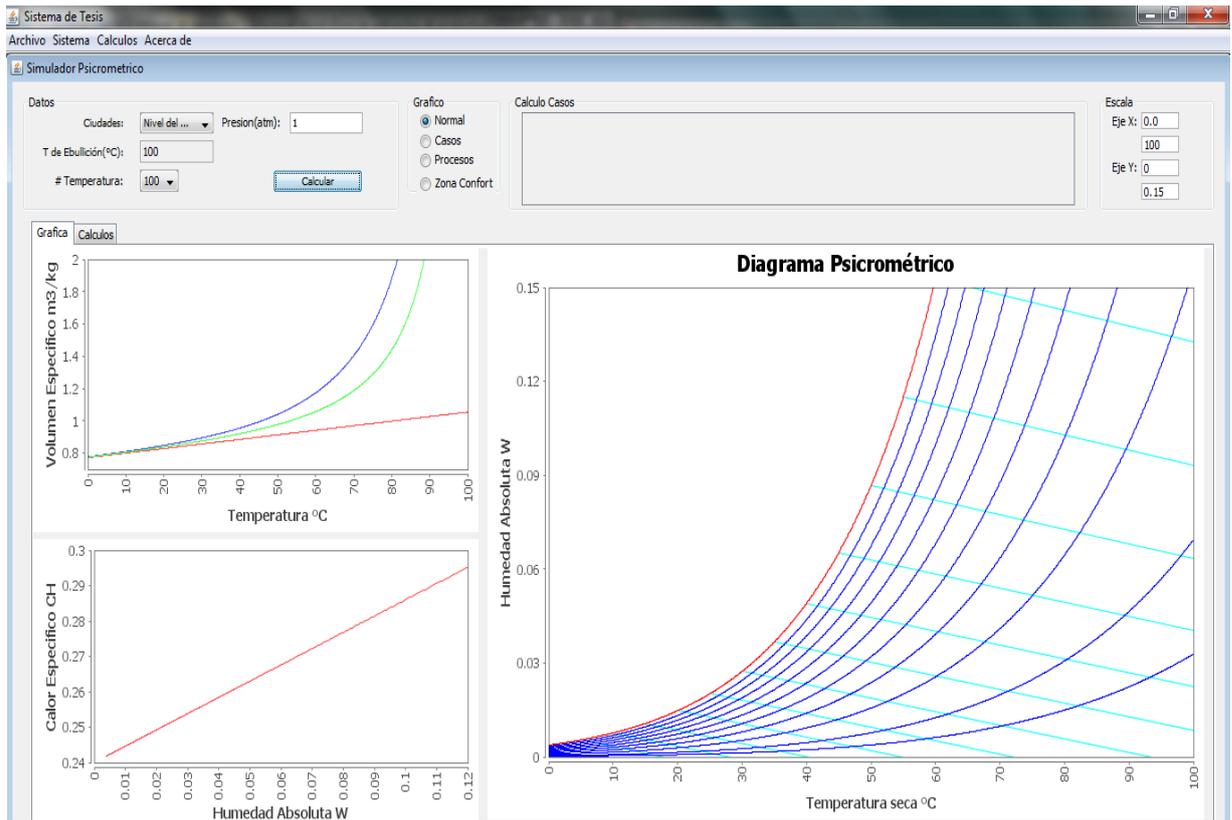


Figura 6. Pantalla principal del programa.

En el diagrama aparecen 3 gráficas: *temperatura-humedad absoluta*, *temperatura-volumen específico*, y *humedad absoluta - calor específico*. En la parte superior derecha se encuentran opciones para modificar la escala del gráfico principal.

En la barra de herramientas se muestra el menú de cálculos que abre una ventana con las opciones de *cálculo de casos*, *cálculo de procesos* y *zona de confort*. Para genera un punto sobre la gráfica se elige la ciudad de estudio (para el entorno ecuatoriano), o se coloca directamente la presión atmosférica (para un entorno universal), y se hace clic en *calcular* para generar el gráfico.

A continuación, en la barra de menú, se hace clic en: *Cálculos – Cálculos de casos* y aparece una ventana con 9 combinaciones que posibilitan el estudio de las propiedades del aire húmedo (figura 7).

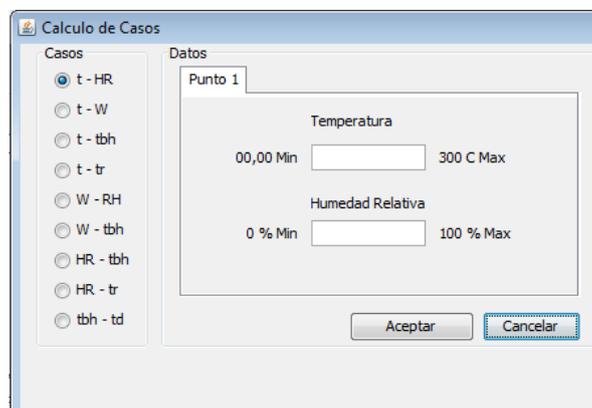


Figura 7. Ejemplo de cálculo de casos.

Tras elegir una de las 9 opciones, se llenan los datos de ingreso que aparecen en el menú, y se hace clic en la opción *Aceptar*.
Y para finalizar se hace clic en *calcular*, señalando la opción *Gráfica en Casos* (figura 8).

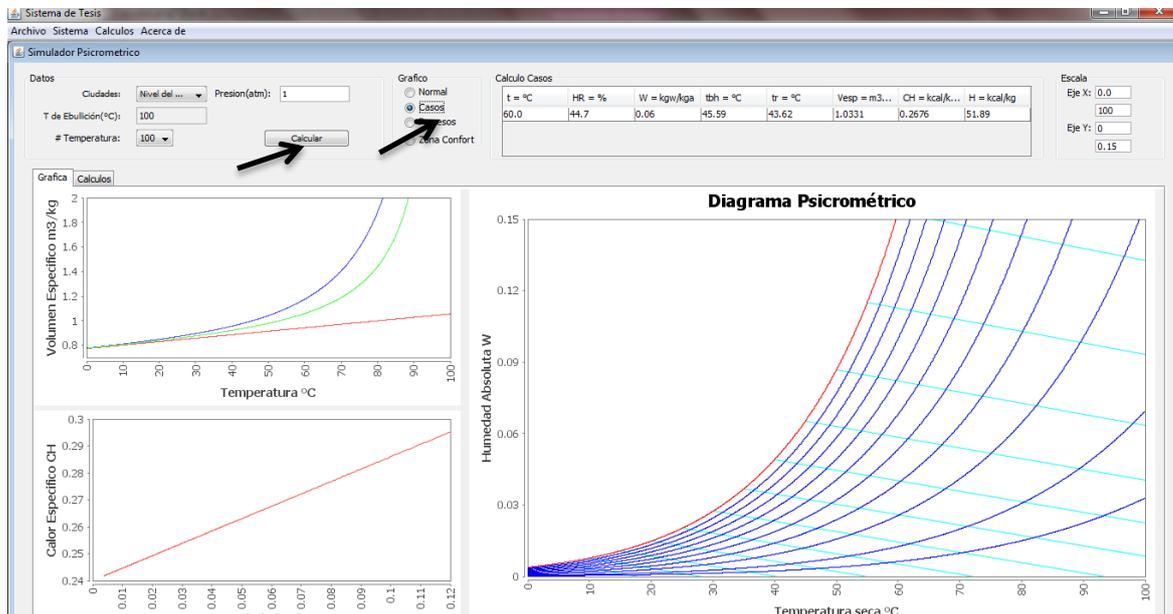


Figura 8. Diagrama de cálculo de casos.

El procedimiento genera el gráfico final y en la parte superior reporta numéricamente las propiedades psicrométricas calculadas. Así como el cálculo de las propiedades del aire húmedo, se puede hacer para diversos procesos psicrométricos:

- Se elige el gráfico base.
- En la barra de menú se hace clic en: *Cálculos-Cálculos de procesos*.
- Aparece el menú de diferentes procesos ya mencionados, se elige una de 4 opciones y se llenan los datos de entrada (figura 9).

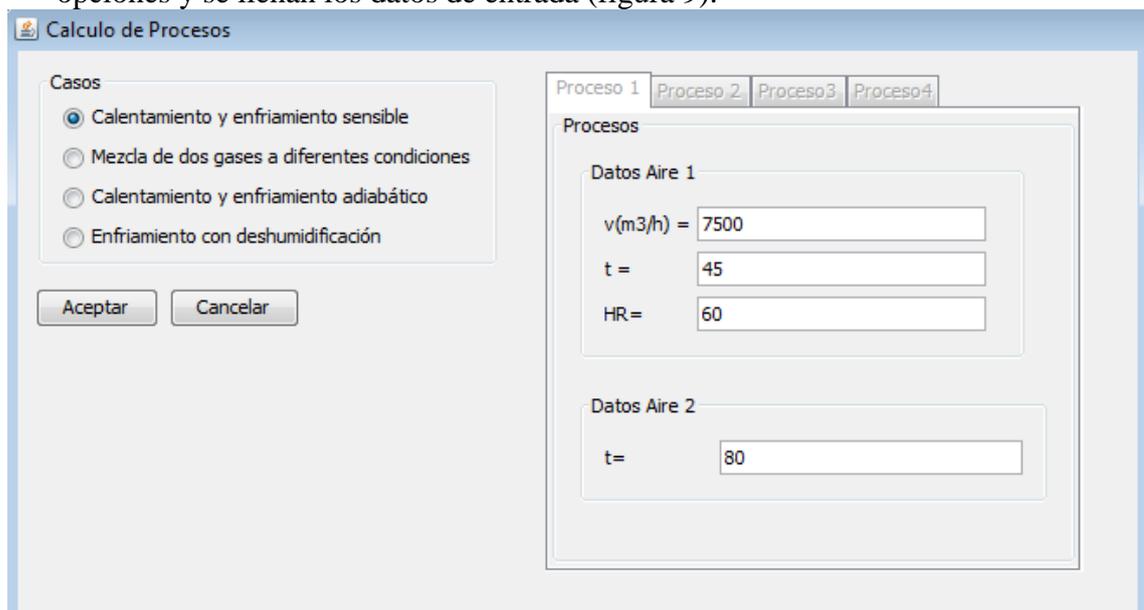


Figura 9. Cálculo de procesos.

- Se hace clic en *Aceptar*, se genera el gráfico, se marca la opción *Gráfico en Proceso* y se calcula.
- Se genera la gráfica final del proceso con un gráfico adicional (figura 10).

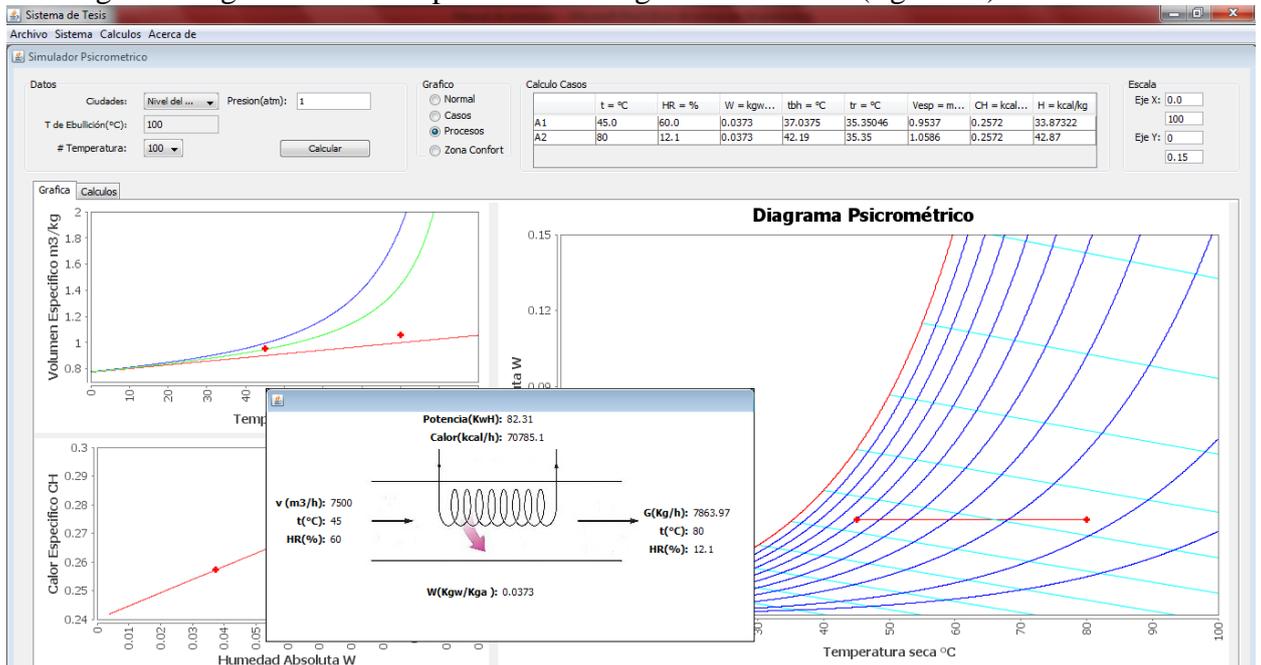


Figura 10. Gráficos adicionales de procesos.

Para el cálculo de la *Zona de Confort* se realiza similar procedimiento (figura 11). Por lo general la *zona de confort* está entre un rango de temperaturas de 21 a 29°C y una humedad relativa de 30% a 70%. El resultado se presenta en la figura 12.

Ingreso Zona Confort

Zona Confort

Temperatura 1

Temperatura: 21 - 29

Humedad Relativa: 30 - 70

Cancelar Aceptar

Figura 11. Ingreso de datos para el cálculo de la zona de confort.

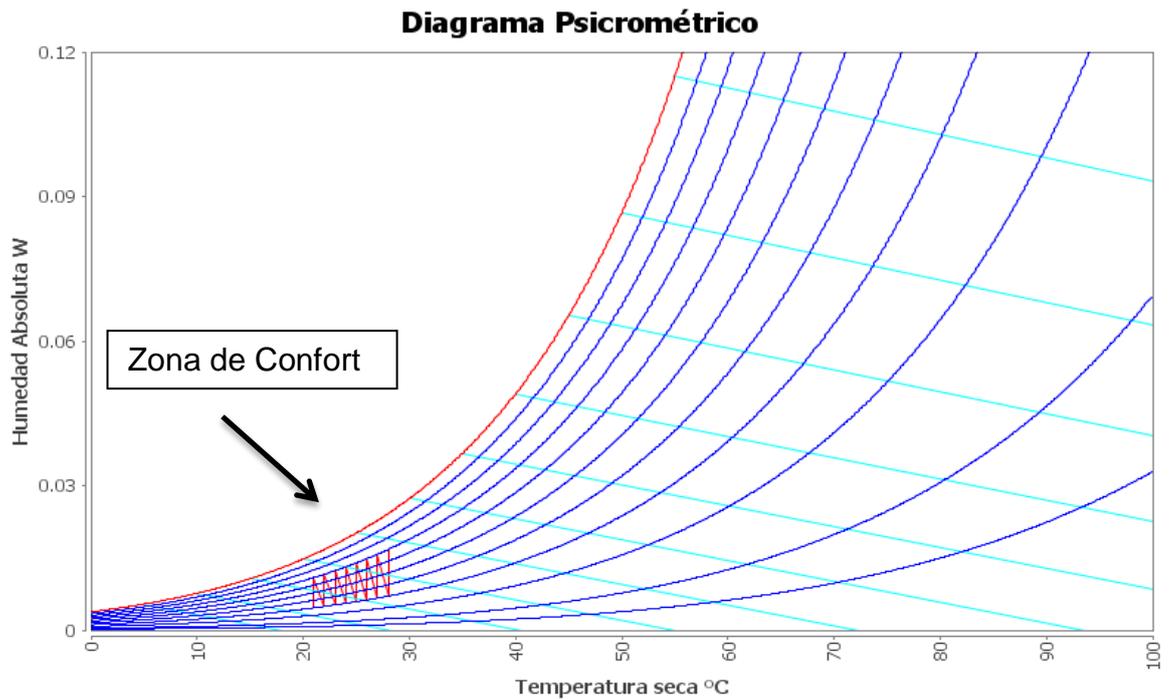


Figura 12. Ejemplo de diagrama de la zona de confort.

3.2 Discusión de Resultados

3.2.1 Procedimientos estadísticos de análisis de datos

Para este procedimiento estadístico del análisis de datos se determinó el porcentaje de error de la lectura determinada manualmente en la carta psicrométrica, respecto a los valores que nos da el simulador.

Ejemplos tomados de [3]:

- 1) Una masa de aire a 40°C tiene una temperatura húmeda de 25°C. Empleando el diagrama psicrométrico, calcúlese:
 - a) Humedad absoluta.
 - b) Humedad relativa.
 - c) Temperatura de rocío
 - d) Calor específico.
 - e) Volumen específico.

Tabla 3. Resultados del ejemplo 1.

Variables	Manualmente	Simulador	Error
Humedad absoluta (kg_w/kg_a)	0.0135	0.0136	0.741%
Humedad relativa (%)	31	29.38	5.226%
k	19.3	18.66	3.316%
Calor Específico ($\text{kcal}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$)	0.248	0.2462	0.726%
Volumen específico (m^3/kg)	0.9	0.9048	0.533%

- 2) Disponemos de 1000 m^3 de aire a 50°C con una humedad relativa de 23.57%, y queremos que una vez mezclado con 2218 m^3 de aire ambiente que se encuentra a 15°C con una humedad relativa del 50%. Calcular:

- a. Temperatura final de la mezcla.
- b. La humedad del aire resultante.
- c. El volumen de aire resultante.

Tabla 4. Resultados del ejemplo 2.

VARIABLES	Manualmente	Simulador	Error
Temperatura final (°C)	25	24.89	0.0044%
Humedad absoluta resultante (kg _w /kg _a)	0.00	0.009	0%
Volumen de aire resultante	3220	321.44	0.900%

4. Conclusiones

Con los ejemplos realizados tanto manualmente como por el simulador, se observa que el porcentaje de error es muy pequeño en la mayoría de los cálculos, en parte esto se debe a que el simulador está operando con todos los decimales, igualmente, en el ejemplo 2, se puede observar que cambiando la presión atmosférica el porcentaje de error es pequeño. El software se aplicó para la simulación de los diferentes casos y métodos del aire húmedo. El software propuesto es interactivo, muestra las ecuaciones existentes en su simulación gráfica. Fue desarrollado como una herramienta interactiva e ilustrativa para la simulación psicrométrica del aire húmedo. También este simulador sirve para fines didácticos pues tanto estudiantes como profesores pueden simular procesos psicrométricos en un entorno amigable, intuitivo para quien tenga una formación elemental en psicrometría, con respuestas gráficas y numéricas a los problemas que se planteen.

Los autores han decidido que este software sea freeware o de distribución gratuita para el público en general, los archivos para el arranque del programa descritos anteriormente están disponible bajo solicitud al e-mail: miltonpuzhi@gmail.com

Referencias

- [1] 2013 ASHRAE *Handbook Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta, GA: ASHRAE 2013.
- [2] I. Pilatowsky Figueroa, *Psicrometría, métodos de humidificación y deshumidificación y sus aplicaciones en el diseño arquitectónico*. Centro de Investigación en Energía. Universidad Nacional Autónoma de México. Temixco, Morelos, México. 2002
- [3] J. Ocón y G. Tojo. *Problemas de Ingeniería Química*. Tomo I. Aguilar SA. Tercera Edición. España 1978
- [4] R. Paul Singh Dennis R. Heldman *Introducción a la Ingeniería de los Alimentos* Editorial Acribia, S.A. Segunda Edición Impreso en España 1998
- [5] Ángel L. Miranda. *Fundamentos de Climatización*. Editorial Alfa omega, primera edición. Impreso en México 2009.

- [6] W. L. Mc Cabe, J. C. Smith y P. Harriot. *Operaciones en Ingeniería Química*. Editorial Mc Graw-Hill Interamericana Séptima Edición Impresa en México 2007
- [7] J.C. Beltrán Prieto, L.A. Beltrán Prieto y L.H. Back Son Nguyen, *Estimation of Psychrometric Parameters of Vapor Water Mixtures in Air*, Computer Applications in Engineering Education, Vol 24, Issue 1, pp 39-43, 2016
- [8] *Oferta de software gratuito PSICRO* [Online]. Universidad Politécnica de Valencia. Consultado el 17 de marzo de 2016. Available: <http://www.vpclima.upv.es/psicro.htm>
- [9] P. Mago y W. Long, *Implementation of a computational tool to study psychrometric processes in mechanical engineering courses*, International Journal of Mechanical Engineering Education, Vol. 44(1) pp 29–55, 2016
- [10] G. Cardoso, M. Puzhi y S. Zhinín, *Simulación de los procesos psicrométricos utilizando el lenguaje de programación JAVA*, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Cuenca, 2014
- [11] *Introducción a la programación Java* [Online]. Consultado el 29 de Noviembre de 2012, Disponible: <http://www.ibm.com/developerworks/ssa/java/tutorials/j-introjava1/>