

# Software Educativo y Guía Teórico-Práctica como Estrategia Pedagógica para promover el aprendizaje significativo de los Procesos de Acondicionamiento de Aire en Ingeniería

## Educational Software and Theoretical-Practical Guide as Pedagogical Strategy to Promote the Significant Learning of the Air Conditioning Process in Engineering

Guillermo VALENCIA-OCHOA <sup>1</sup>; Andrés ESCORCIA-VARELA <sup>2</sup>; Luis OBREGON-QUIÑONES <sup>3</sup>

Recibido: 01/10/16 • Aprobado: 22/10/2016

### Contenido

1. Introducción
2. Presentación del Software
3. Desarrollo de la guía teórico-práctica
4. Resultados y discusiones
5. Conclusiones

Referencias

Agradecimientos

### RESUMEN:

El artículo presenta una interfaz gráfica de usuario desarrollada en Microsoft Visual Studio para la simulación de procesos de acondicionamiento de aire y el efecto significativo que tiene su implementación en el curso de termodinámica. Se tomó una muestra de los estudiantes de pregrado de ingeniería para implementar una prueba educativa en dos grupos, un grupo experimental y un grupo de control, donde se realizó una prueba previa para determinar el estado actual y una prueba posterior después de haber aplicado el tratamiento al grupo experimental. Para el grupo experimental, el tratamiento fue el desarrollo de unos casos de estudio basados en una guía teórica-práctica con la ayuda de la herramienta computacional PSYCROFAST, mientras que el grupo de control desarrollo la guía teórica-práctica sin el programa. El programa permite a los estudiantes interactuar con el comportamiento de la temperatura de bulbo seco, humedad relativa, presión atmosférica, flujo volumétrico y flujo másico del agua implicada en los procesos de acondicionamiento de aire. Para evaluar estadísticamente la diferencia del rendimiento promedio entre los grupos en términos de claridad, precisión y pertinencia, se tomó una población de 60 estudiantes del grupo control y experimental y se realizó una prueba t, que permitió determinar con un nivel de significancia del 5%, la existencia de un efecto significativo al implementar el software como soporte en la enseñanza de los conceptos teóricos involucrados en los procesos de calentamiento y humidificación, enfriamiento y deshumidificación y torre de enfriamiento, promoviendo en los estudiantes el pensamiento crítico y aprendizaje significativo.

**Keywords:** Software psicométrico, calefacción, refrigeración, interfaz gráfica de usuario, Educación de la ingeniería, torres de enfriamiento, aire acondicionado

### ABSTRACT:

The article presents a graphical user interface developed in Microsoft Visual Studio to simulate the processes of air conditioning and the significant effect of its implementation in the course of thermodynamics. It was taken a sample of undergraduate engineering students to implement an educational test in two groups, an experimental group and a control group, where a pre-test was performed to determine the current status and a subsequent test after applying the treatment to the experimental group. For the experimental group, the treatment was the development of some case studies based on a theoretical and practical guide with the help of the computational tool PSYCROFAST, while the control group developed the theoretical and practical guide without the software. The software allows the students to interact with the behavior of the dry bulb temperature, relative humidity, atmospheric pressure, volumetric flow, mass flow of water involved in the air conditioning processes. To evaluate statistically the difference of the average performance between the groups in term of clarity, precision and relevance, it was taking a 60 students population of the control and experimental group and a t test was developed, that let to determinate with a significance level of 5%, the existence of a significance effect when implementing the software as support in learning of the theoretical concepts involved in the processes of heating and humidification, cooling and dehumidification, and cooling tower, promoting the critical thinking and significant learning in the students.

**Keywords:** Psychometric, software, heating, cooling, graphical user interface, engineering education, cooling towers, air conditioning

## 1. Introducción

Las experiencias prácticas acompañadas por programas educativos son muy importantes en los procesos de aprendizaje de los estudiantes de ingeniería (Ahmed & Zanelidin, 2013; Mulop, Mohd Yusof, & Tasir, 2014; Liu, 2009), para complementar los conceptos teóricos desarrollados en una clase magistral de termodinámica; de igual manera, permiten aumentar el aprendizaje significativo, desarrollo del pensamiento crítico y el autoaprendizaje con ayuda de las Tecnologías de la Información y Comunicación TIC (Bowen, Reid, Koretsky, & State, 2015). Se considera que el 71 % de responsabilidad del

desarrollo del pensamiento crítico por medio del aprendizaje basado en resolución de problemas y trabajo colaborativo corresponden a los procesos académicos que se llevan a cabo en las instituciones de educación (American Society for Engineering Education, 2013). Por lo anterior, se han desarrollado diferentes modelos de apoyo a los procesos académicos para el aprendizaje interactivo (Barrera & Moreno, 2014; Kulkarni & Tambade, 2013; Goeser & Ruiz, 2015; Ramos Torres, 2012; Iocchi & Saettone, 2008), los cuales tienen en cuenta los distintos factores críticos en el momento del desarrollo de softwares, para que los procesos educativos sean efectivos y de relevante impacto en el proceso de formación de los estudiantes tales como la aplicación CO2LD (Sánchez, Llopis, Patiño, Cabello, & Torrella, 2013), que presenta una interfaz educativa enfocada al estudio de la eficiencia energética de los ciclos de refrigeración en cascada con la utilización del refrigerante R134a y CO<sub>2</sub>. Se desarrolló un banco de prueba en sistemas de refrigeración por compresión de vapor como instrumento virtual para la enseñanza de los conceptos en refrigeración (Belman Flores, Barroso Maldonado, Mendez Díaz, & Martínez Martínez, 2015), además de otras herramientas de simulación para ciclos de potencia programadas en C++ que utilizan la librería CoolProp de libre acceso (Tuta & Orozco, 2016). De igual manera, se diseñó el software SigmaPipe que le permite al estudiante resolver problemas de flujo en tuberías y transferencia de calor (Dry et al., 2016).

Las herramientas computacionales mencionadas se enfocan en mejorar el proceso de apropiación conceptual de los estudiantes, el cual demanda importantes esfuerzos de parte de los docentes dado la rigurosidad de las expresiones matemáticas requeridas para estudiar los fenómenos termodinámicos (Bain, Moon, Mack, & Towns, 2014; Dukhan, 2016). De manera complementaria, se han creado otras herramientas para que los ingenieros de procesos puedan tomar decisiones encaminadas a la mejora del desempeño y eficiencia de los equipos y procesos, los cuales complementados con laboratorios virtuales le permiten al profesional entrenarse en un entorno de aprendizaje donde pueda simular experiencias y condiciones aproximadas al contexto real e industrial, con la gran ventaja de tiempos muy cortos, sin restricciones físicas y bajo costos (Elawady & Tolba, 2009; Castellanos & Martínez, 2010). En la actualidad es una tarea de detalle escoger la herramienta computacional adecuada para la enseñanza (Zueco, 2010) teniendo en cuenta el alto número de aplicaciones que están disponibles y no satisfacen criterios como la ayuda y guía al usuario.

Este artículo presenta el desarrollo de la herramienta PSYCROFAST, desarrollado en Microsoft Visual Studio para el estudio psicrométrico en los procesos reales de acondicionamiento de aire, y los resultados estadísticos de su aplicación para la mejora del pensamiento crítico en términos de claridad, precisión y pertinencia en los estudiantes de pregrado en ingeniería en el marco de la asignatura de Termodinámica II (Payne, Kent, & Carable, 2008; Aziz, Ali, & Samsudin, 2014). Se escogió una muestra de 60 estudiantes de pregrado de VII semestre del programa de ingeniería mecánica, divididos en dos grupos de forma aleatoria, conformando el grupo control y el grupo experimental que interactuó y desarrollo los casos de estudio con PSYCROFAST.

El análisis de los datos se inició con la verificación del supuesto de normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk para una muestra de 30 datos por grupo y posteriormente, se determinó si había una diferencia significativa inicial entre las medias de los dos grupos con el fin de confirmar la homogeneidad de los dos grupos. Después de haber realizado el tratamiento al grupo experimental se estudió la diferencia entre las medias de los dos grupos nuevamente, estas dos pruebas se realizaron por medio de la prueba t para muestras independientes en el programa SPSS. Finalmente, se confirmó si existe un efecto significativo en el aprendizaje del proceso de acondicionamiento de aire en los estudiantes de pregrado de ingeniería apoyado en el software PSYCROFAST y la guía teórico-práctica observando el aumento de la medias en el grupo experimental antes y después del tratamiento.

---

## 2. Presentación del Software

PSYCROFAST es una interfaz gráfica desarrollada para brindar un alto nivel de interactividad a los estudiantes en formación y profesionales de la ingeniería mecánica, química y áreas afines, con un entorno diseñado para propiciar el autoaprendizaje (Zarza Cortés, 2009) por medio de la resolución de casos de estudio enfocados al análisis de la relación que existe entre los principales parámetros de entrada y salida en los procesos de acondicionamiento de aire.

Para el diseño y desarrollo de PSYCROFAST se tuvieron en cuenta el conjunto de factores que presenta Ruben Dorado en el análisis de los criterios para la selección de un software educativo en ingeniería (Dorado, Gómez-Moreno, Torres-Jiménez, & López-Alba, 2014), tales como la usabilidad educacional, la cual es un criterio que tiene en cuenta el alcance de la aplicación, la facilidad y disponibilidad para utilizar la herramienta en diferentes lugares, los sistemas operativos en que trabajara la aplicación y finalmente la ayuda al usuario. Otro criterio de selección, es la efectividad en el aprendizaje del usuario, que se compone de la autocorrección en los resultados, la guía que presta la herramienta y la visualización eficiente de los datos.

El software se desarrolló para satisfacer los criterios mencionados y obtener una herramienta rápida, fácil de instalar y de apoyo para la solución de casos de estudio complejos en acondicionamiento de aire por medio de una amigable interfaz disponible para los ingenieros en el campo del acondicionamiento de aire y los estudiantes en formación, permitiéndoles encontrar la relación entre los diferentes parámetros de entrada y salida de forma intuitiva, lo cual propicia su compromiso con el aprendizaje (Ngabonziza & Delcham, 2014).

El gran alcance del contenido curricular de la asignatura de termodinámica y la corta disponibilidad de tiempo para alcanzar los objetivos del curso (Mulop, Yusof, & Tasir, 2012), le permiten al docente con la implementación de PSYCROFAST realizar un cambio en la metodología para disminuir los tiempos de cálculo y complementar el aprendizaje en el estudiante (Hantsaridou & Polatoglou, 2005; Anderson, Taraban, & Sharma, 2005). Para un ingeniero en formación o estudiantes interesados en el diseño de sistemas de acondicionamiento de aire la interfaz le permite visualizar las principales variables de entrada y salida que se deben tener en cuenta en los diferentes procesos de calentamiento y humidificación, enfriamiento y deshumidificación y torres de enfriamiento, como lo son el flujo másico del agua necesario para humidificar el aire después de un proceso de calentamiento simple, la temperatura a la que se debe entregar el agua de reposición, la cantidad de agua evaporada y la temperatura del agua de calentamiento en una torre de enfriamiento, el efecto de la temperatura ambiente sobre la temperatura de rocío y la cantidad de agua que se retira en la deshumidificación. En la figura 1-a se muestra la pantalla inicial de PSYCROFAST, donde se detalla el menú principal con los diferentes procesos de acondicionamiento, la figura 1-b muestra la interfaz de calentamiento y humidificación, la figura 1-c muestra la interfaz de enfriamiento y deshumidificación y la figura 1-

d muestra la interfaz de torres de enfriamiento, donde el usuario debe ingresar los parámetros asociados al fenómeno que desea estudiar.

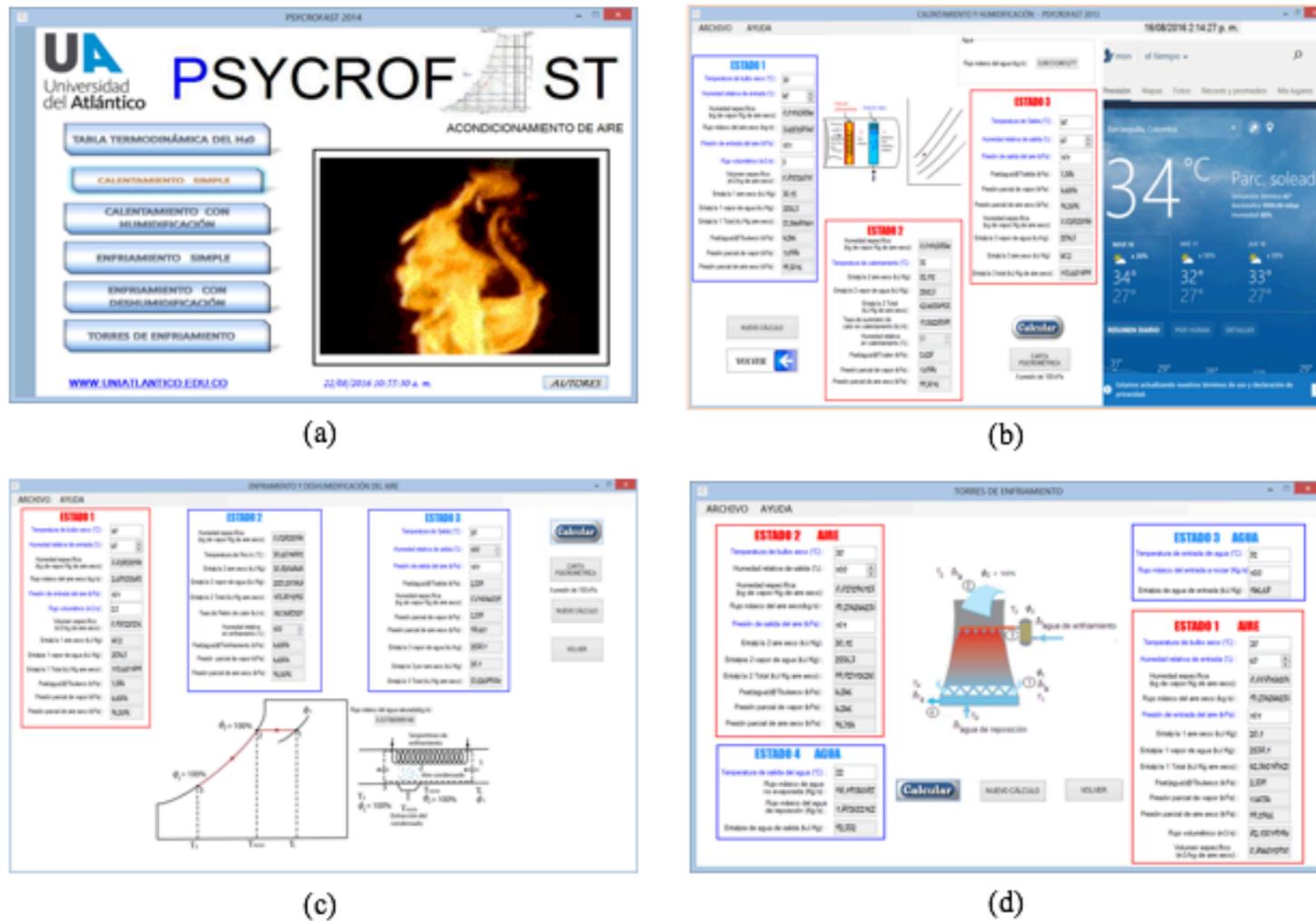


Figura 1 . Ventanas principales de PSYCROFAST. (a) Ventana menú principal (b) Calentamiento con humidificación; (c) Enfriamiento con humidificación; (d) Torre de enfriamiento.

PSYCROFAST se desarrolló en Microsoft Visual Studio, el cual es un entorno de desarrollo integrado (IDE, por sus siglas en inglés) para sistemas operativos Windows y es compatible con la versión de Windows XP hasta la versión actual de Windows 10, instalando correctamente los complementos que vienen anidados junto con el instalador. La figura 2 muestra el diagrama de flujo para los diferentes procesos de acondicionamiento de aire que ejecuta la herramienta utilizada.

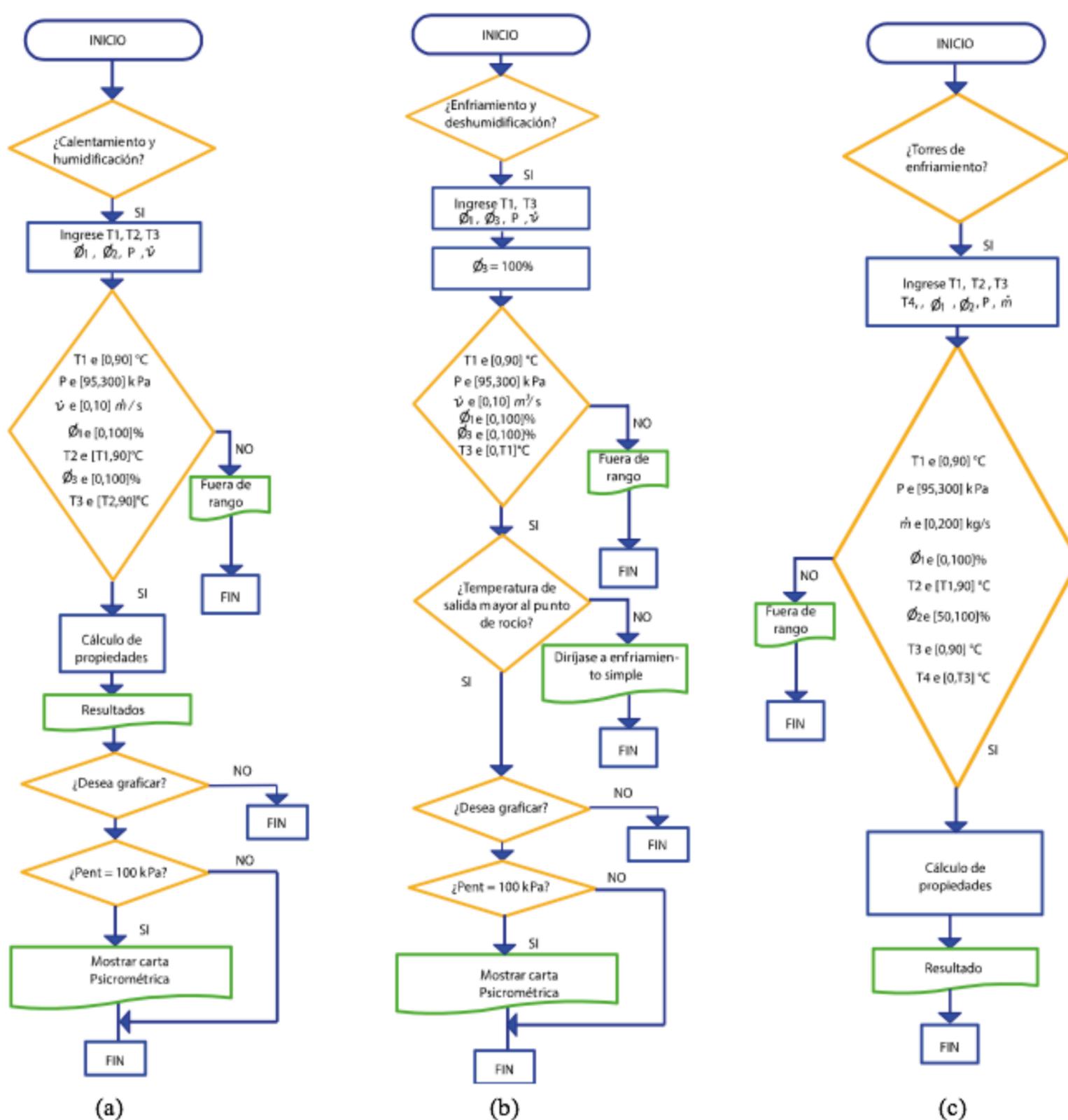


Figura 2. Diagrama de flujo de PSYCROFAST (a) Calentamiento con humidificación; (b) Enfriamiento con humidificación; (c) Torres de enfriamiento.

### 3. Desarrollo de la guía teórico-práctica

Se diseñó una guía teórico-práctica para trabajar con el software, la primera parte presenta toda la parte teórica de los conceptos, en la segunda parte se explica la experiencia a realizar y las pautas que el estudiante debe seguir para el uso del software, y la tercera parte orientada al registro de los datos y análisis de los resultados.

Para el diseño de la guía de aprendizaje se utilizó el enfoque de la taxonomía de Bloom para la era digital, la cual plantea que el aprendizaje a niveles superiores depende de la adquisición del conocimiento y habilidades de ciertos niveles inferiores en el siguiente orden: recordar, comprender, aplicar, analizar, evaluar y crear, donde este último nivel es considerado como la habilidad de pensamiento de orden superior (Chelliah & Clarke, 2011). La guía presenta 4 ítems que son la introducción, marco teórico, objetivos y la experiencia práctica, donde la figura 3 muestra la parte teórica de la guía de aprendizaje.

## CAPITULO 8. ACONDICIONAMIENTO DE AIRE

## 8.1 INTRODUCCIÓN

En ingeniería se estudian varias mezclas de gas-vapor, una de estas es la de aire-vapor de agua, que es la más común en la práctica. También se estudia el acondicionamiento de aire, que es la principal área de trabajo de las mezclas de aire-vapor de agua. El vapor normalmente es una sustancia en fase gaseosa que se encuentra debajo de la temperatura crítica, por ende el límite inferior es la curva de saturación para vapor saturado. Al alcanzar la curva de saturación el vapor empieza el proceso de condensación.

El aire es una mezcla de nitrógeno, oxígeno y pequeñas cantidades de otros gases. Normalmente, el aire en la atmósfera contiene cierta cantidad de vapor de agua (o humedad) y se conoce como aire atmosférico. En contraste, el aire que no contiene vapor de agua se denomina aire seco. Las prácticas virtuales a continuación se enfocan en el estudio de la carta psicrométrica a la presión de 101.325 kPa mostrada en la figura 8.2, la cual es la herramienta en el acondicionamiento de mezclas de aire seco y vapor de agua como también el análisis a procesos que presenten una fase condensada de agua. El estudio de sistemas consistentes en aire seco y agua se conoce como psicrometría donde es necesario conocer el funcionamiento de dichos sistemas para el análisis y diseño de dispositivos de acondicionamiento de aire (fig. 8.1), torres de enfriamiento y procesos industriales que requieran un control del contenido en vapor de agua del aire.

## 8.2 MARCO TEÓRICO

La **psicrometría** o **higrometría** utiliza las propiedades termodinámicas para analizar las condiciones y los procesos relacionados con la humedad y temperatura del aire<sup>1</sup>. El **aire atmosférico** o **aire húmedo** está formado por un porcentaje de vapor de agua llamado humedad y aire seco que se trata como si fuera un componente puro. El aire es una mezcla de varios gases que en mayor parte está compuesto por oxígeno, nitrógeno y otros más en porcentajes menores al 1%. La cantidad de vapor de agua en el aire es fundamental en el acondicionamiento de aire debido al confort que se busca. El aire saturado es una mezcla de aire seco y vapor de agua saturado. La densidad de la mezcla de aire seco y el vapor de agua (aire atmosférico) está dada por:

$$\rho = \frac{n\bar{R}T}{V} = \frac{m(\bar{R}/M)T}{V} \quad (8.1)$$

<sup>1</sup> ASHRAE Handbook Series.2009 Fundamentals. SI Edition Cap.1 p.1

+En este capítulo, el subíndice a denota aire seco y el subíndice v denota vapor de agua.

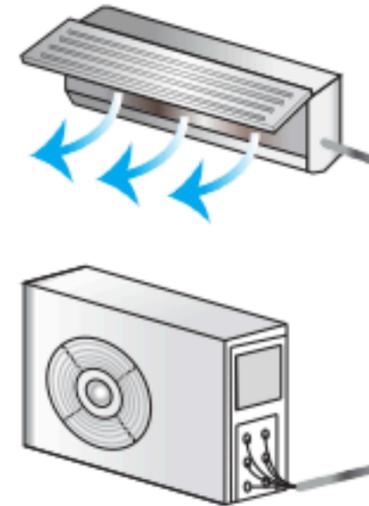


FIGURA 8.1 El Minisplit es un sistema de acondicionamiento de aire. En la parte superior esta la unidad interior acondicionadora y en la parte inferior la unidad exterior llamada condensadora.

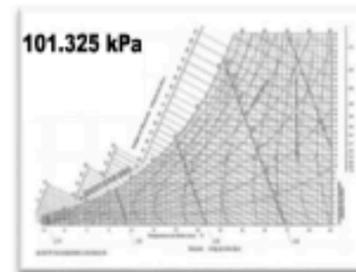


FIGURA 8.2 La carta psicrométrica es el conjunto de graficas interrelacionadas que permiten visualizar rápidamente los procesos de acondicionamiento de aire a una altura o presión atmosférica.

Figura 3. Guía teórica: Introducción y marco teórico.

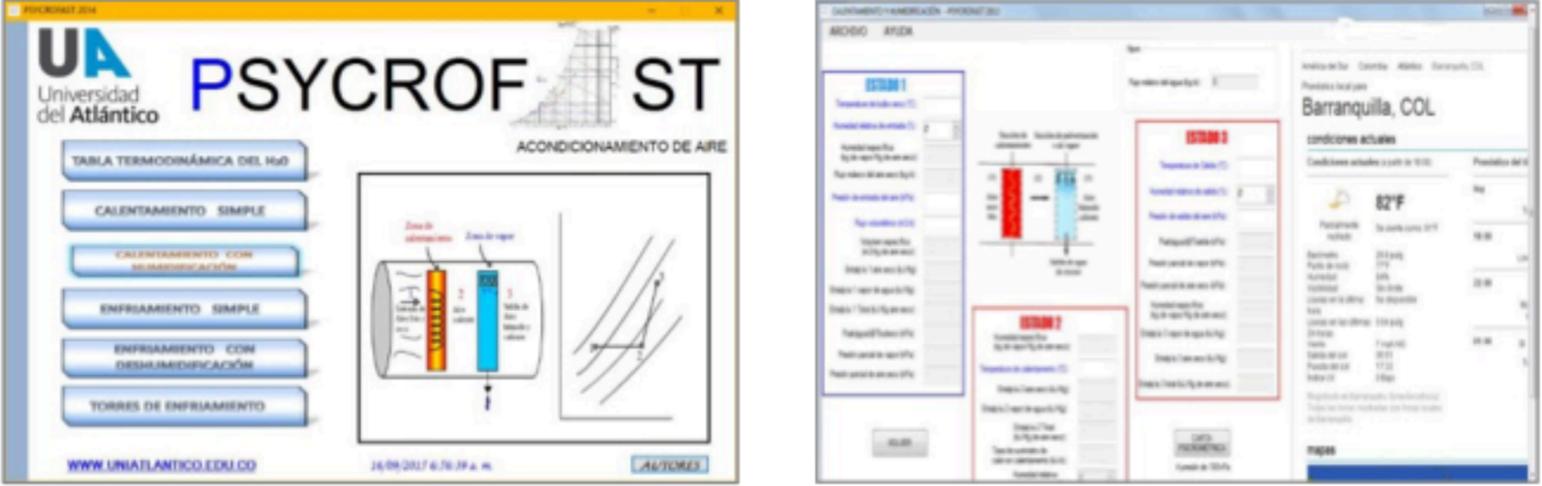
La introducción de la guía está enfocada en utilizar los conocimientos previos del estudiante para empezar a relacionarse con el campo del acondicionamiento del aire y mostrar el alcance en la industria actual, seguido del marco teórico, los conceptos principales y los objetivos de las experiencias a realizar con la ayuda del software PSYCROFAST, como se muestra en la figura 4.

## 8.3 OBJETIVOS

1. Brindarle al estudiante herramientas de aprendizaje significativo para el dominio del diagrama psicrométrico, a partir de la generación de las curvas de entalpía total y humedad relativa a presión atmosférica, líneas de entalpía constantes.
2. Relacionar la temperatura de salida con la humedad relativa en calentamiento simple y enfriamiento simple.
3. Aplicar los principios de la conservación de la masa.
4. Definir y calcular la humedad específica y relativa del aire atmosférico.
5. Calcular la temperatura del punto de rocío del aire atmosférico.
6. Relacionar la temperatura de saturación adiabática y la temperatura de bulbo húmedo del aire atmosférico.
7. Utilizar la carta psicrométrica como una herramienta para determinar las propiedades del aire atmosférico.

Por último, el componente práctico de la guía está compuesto inicialmente por la presentación de la interfaz gráfica y nombre de la práctica como se muestra en la figura 5, la metodología para llevar a cabo la experiencia, la recolección de datos y elaboración de gráficos, y finalmente un espacio donde el estudiante o profesional debe realizar el análisis y discusión de los resultados, los cuales están encaminados a conocer la relación entre las diferentes variables de acondicionamiento de aire, como se muestra en las figuras 6 para el caso particular de la experiencia práctica N°3.

**EXPERIENCIA N°3. VARIACIÓN DEL FLUJO MÁSICO DE H<sub>2</sub>O AGREGADA EN CALENTAMIENTO Y HUMIDIFICACIÓN EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA DE SALIDA A DIFERENTES HUMEDADES RELATIVAS DE SALIDA.**



**Figura 8.16.** Ventana de inicio del software PSYCROFAST y la aplicación de Calentamiento con humidificación.

Figura 5. Guía práctica: Presentación de la interfaz y la experiencia a realizar.

-----

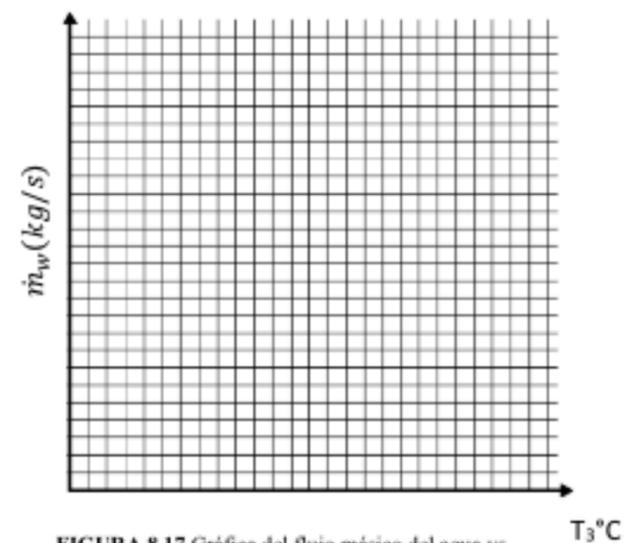
**METODOLOGÍA**

En la aplicación para calentamiento con humidificación realice 3 corridas a diferentes humedades relativas de salida (estado 3), en cada corrida varíe la temperatura de salida (estado 3), coloque las variables de temperatura de bulbo seco a la entrada, humedad relativa a la entrada, flujo volumétrico y presión atmosférica constantes en el estado 1; coloque la variable de temperatura de calentamiento constante en el estado 2. La temperatura de salida (estado 3) debe ser mayor a la de calentamiento y esta a su vez debe ser mayor a la de entrada para habilitar el botón calcular.

- Registrar en la tabla (8.3) los valores obtenidos de  $\dot{m}_w$ ,  $T_3$ , HR3.
- Utilice la figura 8.17 para graficar e interprete las curvas obtenidas para explicar el fenómeno en el espacio de análisis.
- Describa la causa del desplazamiento vertical en las curvas obtenidas.
- ¿Explique cómo se afecta el consumo de agua agregada por la variación de la temperatura de salida?
- ¿Qué variable genera una mayor variación en el flujo másico del H<sub>2</sub>O agregada?

**REGISTRO DE DATOS****Tabla 8.3.** Datos experiencia N°3.

n°	Humedad Relativa HR3(%)	Temperatura de Salida $T_3$ (°C)	Flujo Másico de H <sub>2</sub> O Agregada $\dot{m}_w$ (kg/s)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			

**FIGURA 8.17** Gráfica del flujo másico del agua vs temperatura de salida del proceso a diferentes humedades relativas de salida del proceso.**Análisis:**


---



---



---



---



---



---



---

Figura 6. Guía práctica: Metodología, recolección de datos y análisis de resultados.

A partir de la experiencia N°3 se espera lograr que el estudiante comprenda los parámetros que participan en el proceso de calentamiento y humidificación, observando cómo interactúan entre ellos e identificando de forma práctica el grado de correlación entre estos.

**4. Resultados y discusiones**

Con el fin de estudiar el aporte que tiene el uso del software para el aprendizaje de los procesos de acondicionamiento de aire, se definió una muestra de 60 estudiantes de pregrado en ingeniería mecánica que fueron divididos aleatoriamente en dos partes: un grupo de control y un grupo experimental. La medición se realizó a la población en dos oportunidades basado en un diseño cuasi-experimental, partiendo de una primera medición a los grupos mediante la realización de la guía teórico-práctica de acondicionamiento de aire sin la asistencia del software, con el objetivo de estudiar la homogeneidad de la población, mientras que en la segunda medición para ambos grupos solo el grupo experimental fue intervenido con el desarrollo de la guía con la ayuda de PSYCROFAST, con el objetivo de estudiar el efecto del uso de esta herramienta en el

proceso de aprendizaje de los estudiantes.

La guía está conformada por 6 experiencias de las cuales se evaluaron las 3 que demandan más análisis, siendo el primero de estos casos de estudio el análisis del flujo másico de H<sub>2</sub>O agregada (FA) en el proceso de calentamiento y humidificación en función de la temperatura de salida (T<sub>2</sub>) a diferentes humedades relativas a la salida (HR<sub>2</sub>), donde el estudiante debe fijar unos parámetros y modificar las variables de entrada involucradas en el análisis, que le permitan generar las gráficas del flujo másico de H<sub>2</sub>O como función de la temperatura de salida (T<sub>2</sub>) a diferentes humedades relativas de salida (HR<sub>2</sub>), como se observa en la figura 7.

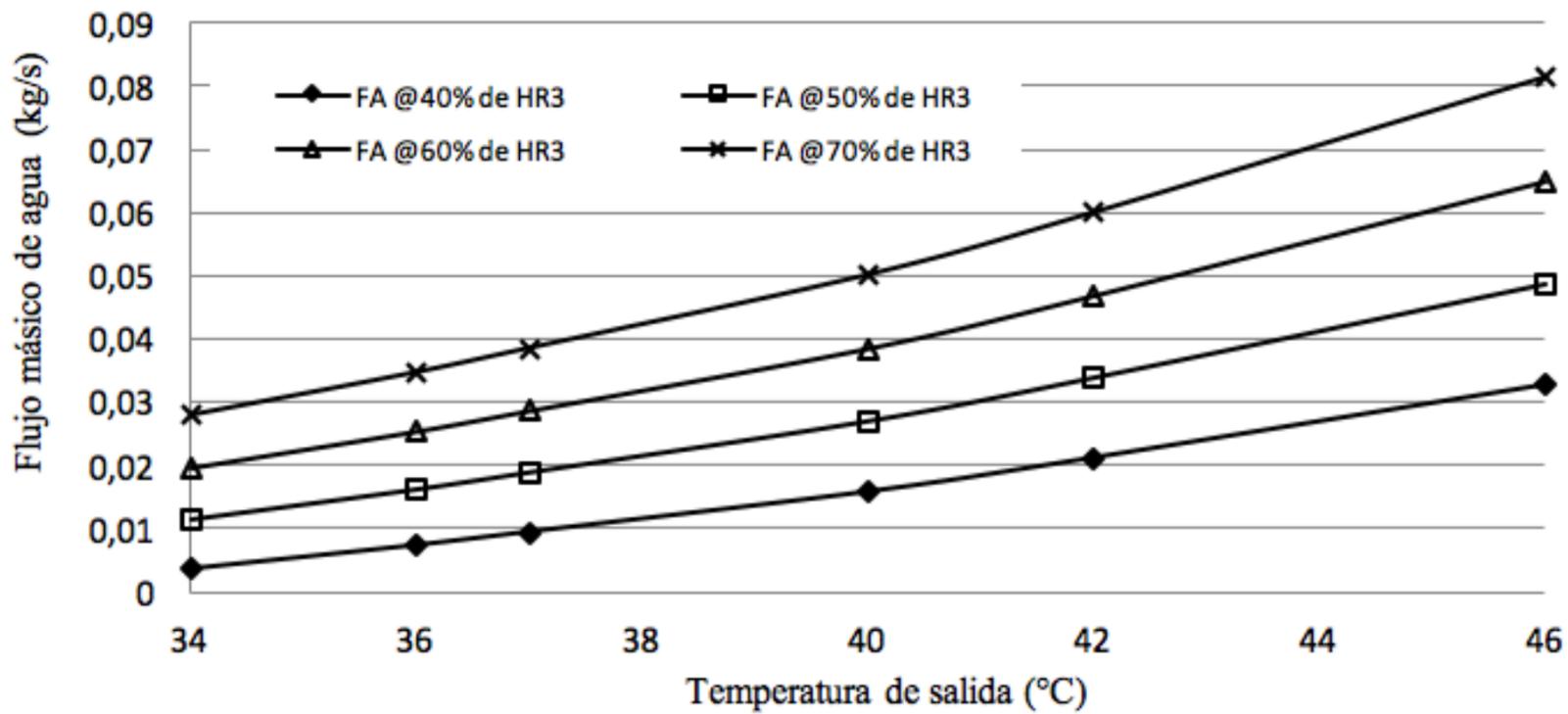


Figura 7. Flujo másico de agua agregada (FA) en el proceso de calentamiento y humidificación en función de la temperatura de salida (T<sub>3</sub>) a diferentes humedades relativas a la salida (HR<sub>3</sub>).

El segundo caso de estudio le permite al estudiante determinar la influencia de la humedad relativa de entrada (HR<sub>1</sub>) y la temperatura de salida (T<sub>3</sub>) en el flujo másico de agua retirada (FR) en un proceso de enfriamiento y deshumidificación, con el objeto de mostrar la interrelación existente entre las variables psicrométricas, el cual requiere fijar los parámetros de entrada y modificar las variables de humedad relativa del aire (HR<sub>1</sub>) y la temperatura a la salida (T<sub>3</sub>) del proceso para obtener el gráfico que se muestra en la figura 8 y poder realizar el respectivo análisis, donde el flujo másico de H<sub>2</sub>O retirado (FR) disminuye a medida que la temperatura de salida (T<sub>3</sub>) aumenta a distintas humedades relativas de entrada (HR<sub>1</sub>).

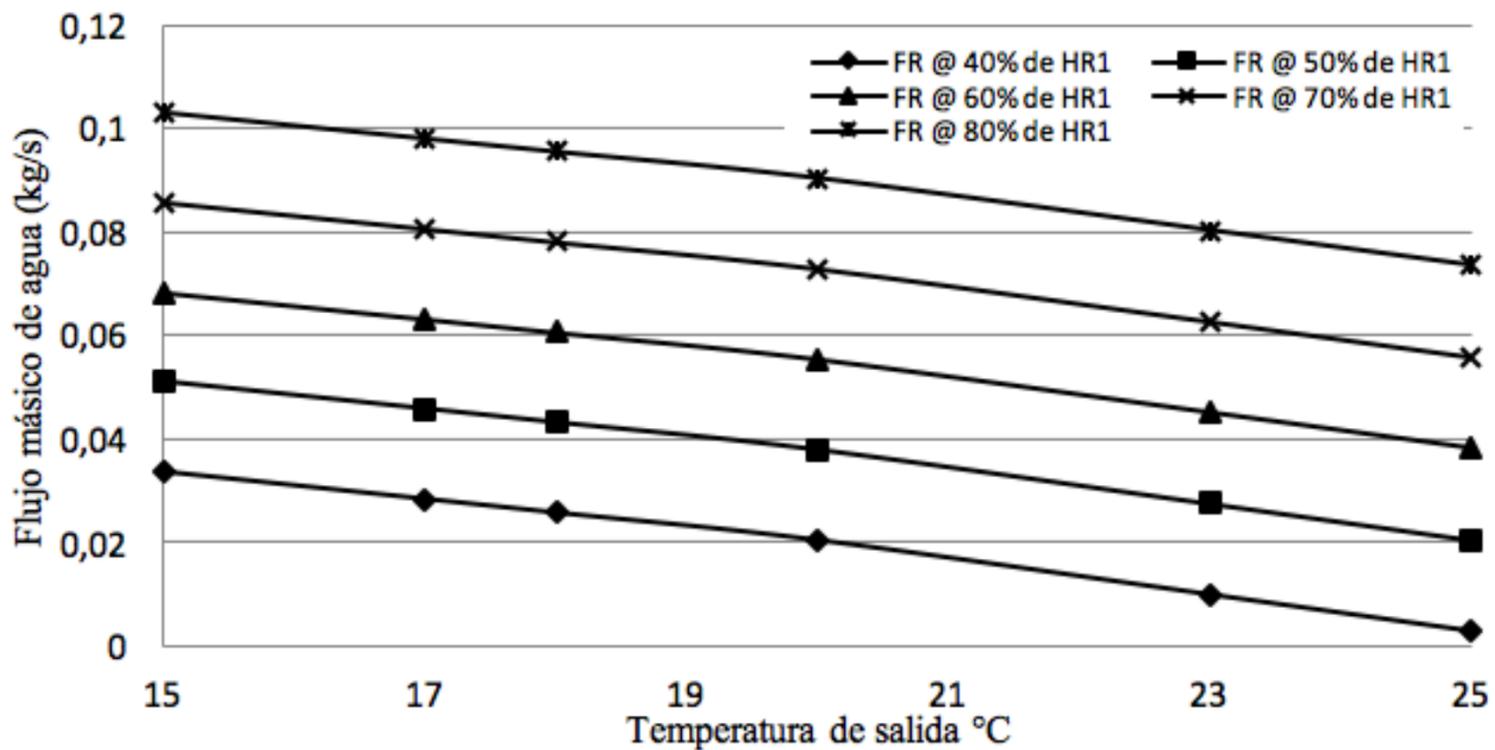


Figura 8. Flujo másico del agua retirada (FR) en el proceso de enfriamiento y deshumidificación en función de la temperatura de salida (T<sub>3</sub>) a diferentes humedades relativas en la entrada (HR<sub>1</sub>).

Finalmente, el tercer caso de estudio es el de torres de enfriamiento donde se estudia la variación entre el flujo másico de aire seco (FMA) y el flujo másico de agua de reposición ( $m_{rep}$ ) que se suministra al sistema cuando se evapora el agua rociada en función de la humedad relativa de salida (HR<sub>2</sub>), donde además se analiza el comportamiento de la gráfica a diferentes temperaturas ambientales. El estudiante debe fijar los parámetros de entrada y variar la temperatura de bulbo seco del aire a la entrada (T<sub>1</sub>) y la humedad relativa a la salida (HR<sub>2</sub>) de la torre, los cuales son factores de gran importancia en la industria para determinar el desempeño térmico de una torre de enfriamiento, como se observa en la figura 9, donde al aumentar la temperatura ambiente (T<sub>1</sub>) la torre de enfriamiento necesita un mayor flujo másico de aire seco (FMA) y un mayor flujo másico del agua de reposición ( $m_{rep}$ ).

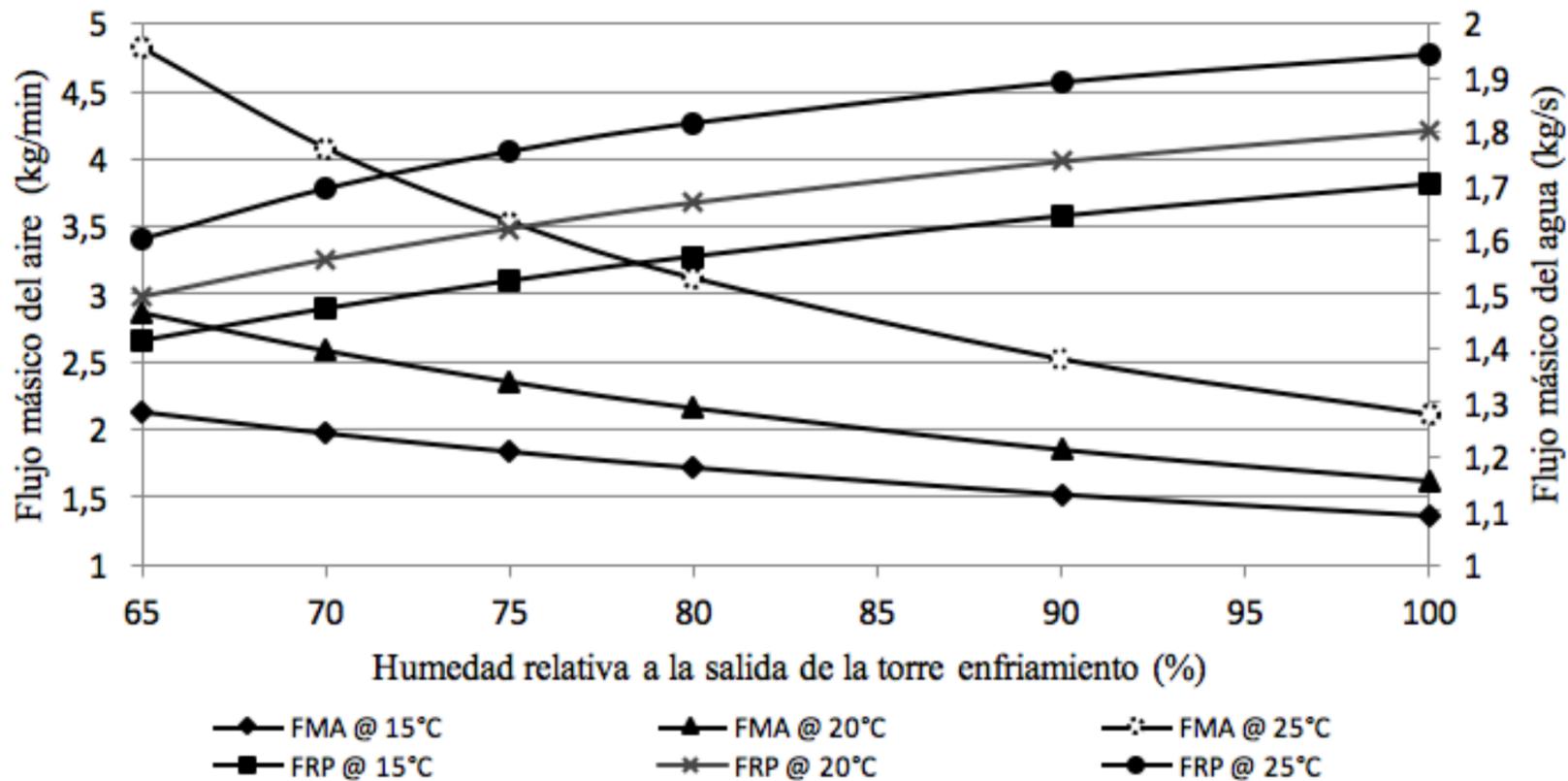


Figura 9. Flujo másico del aire seco (FMA) y flujo másico del agua de reposición en función de la humedad relativa de salida (HR2) a diferentes temperaturas de bulbo seco del aire a la entrada de la torre (T1).

Para la recolección de la información se utilizaron las técnicas de encuesta y análisis de contenido, en el cual se entrega un análisis estadístico basado en la calificación que obtuvo cada estudiante en las pruebas realizadas según la rúbrica conformada por los criterios y la escala de valoración. Los criterios seleccionados que fueron claridad, precisión y pertinencia hacen parte de los estándares intelectuales de calidad y permiten evaluar el pensamiento crítico (Elder & Paul, 2007). La escala de valoración se compone de 4 rangos como muestra la figura 10, siendo 5 el máximo puntaje y 0 el mínimo.

RUBRICA PARA VALORAR LAS RESPUESTAS A LAS PREGUNTAS ABIERTAS														
INSTRUMENTO:		GUÍA TEÓRICO - PRÁCTICA				ESTUDIANTE:				Grupo				
		Excelente				Buena	Regular	Deficiente	Pretest			Posttest		
CRITERIOS		[4,5 - 5,0]				[3,8 - 4,4]	[3,0 - 3,7]	[2,9 - 0]	C1	C2	C3	C1	C2	C3
1	CLARIDAD	La respuesta dada por la estudiante es comprensible o inteligible. Expresa con mucha claridad lo que quiere decir. Expresa lo comprendido en sus propias palabras. Puede dar ejemplos. Se cumple lo esperado en un 100%.				Se cumple lo esperado en un 80%	Se cumple lo esperado en un 50%	Se cumple lo esperado en un 20%						
2	PRECISIÓN	La respuesta dada por la estudiante es específica, presentando detalles o pormenores que dan a conocer su comprensión del tema. Se cumple lo esperado en un 100%.				Se cumple lo esperado en un 80%	Se cumple lo esperado en un 50%	Se cumple lo esperado en un 20%						
3	PERTINENCIA	La respuesta dada por la estudiante considera los factores o aspectos que guardan relación estrecha con la pregunta formulada. Se cumple lo esperado en un 100%				Se cumple lo esperado en un 80%	Se cumple lo esperado en un 50%	Se cumple lo esperado en un 20%						

Figura 10. Rúbrica para la recolección de datos del instrumento utilizado en las mediciones.

Respecto al análisis estadístico que se muestra en la tabla 1, se realizó la prueba *t* con un nivel de significancia de 0.05 para dos muestras con varianzas desiguales y una población normal, a las respuestas de los estudiantes antes de la intervención para el grupo de control y el grupo experimental, donde se puede observar según los valores *P* que la diferencia de medias no es significativa, indicando que los grupos son iguales en términos de claridad, precisión y pertinencia, garantizando homogeneidad poblacional previo a la intervención.

Tabla 1. Análisis de estadísticos de ambos grupo en la prueba previa.

VARIABLES DEPENDIENTES	N	GRUPO CONTROL				GRUPO EXPERIMENTAL				Valor P	Tcrit	T
		M	DE	MIN	MAX	M	DE	MIN	MAX			
Claridad	30	2,66	0,22	2,20	2,97	2,67	0,16	2,40	2,93	0,8820	2.05	-0.15
Precisión	30	2,61	0,20	2,33	2,93	2,60	0,24	2,30	3,00	0,8593	2.05	0.18
Pertinencia	30	2,71	0,20	2,27	3,00	2,61	0,22	2,23	3,03	0,2225	2.05	1.24

Nota: M=Media, D.E.= Desviación estándar, Tcrit.= Valor T crítico

Con el fin de evaluar estadísticamente la diferencia de la nota promedio entre el grupo control y el grupo experimental, el cual utilizo el software PSYCROFAST, se realizó una vez más la prueba *t* para las variables de claridad, precisión y pertinencia. La tabla 2 muestra los resultados estadísticos para los datos obtenidos en ambos grupos después de la intervención del grupo

experimental, donde se observa que todos los valores  $P$  son menores que 0.05, indicando que estadísticamente existe una diferencia entre las calificaciones medias de los grupos y mostrando que el software PSYCROFAST tiene un efecto significativo en el proceso de aprendizaje de los estudiantes. Este resultado muestra la necesidad de implementar herramientas computacionales fáciles de usar para asegurar un aprendizaje significativo y mejorar el pensamiento crítico de los estudiantes.

Tabla 2. Análisis de estadísticos de ambos grupos después de la intervención.

VARIABLES DEPENDIENTES	N	GRUPO CONTROL				GRUPO EXPERIMENTAL				Valor P	Tcrit	T
		M	DE	MIN	MAX	M	DE	MIN	MAX			
Claridad	30	2,97	0,20	2,47	3,23	4,03	0,21	3,77	4,43	0,0000	2.05	-14.12
Precisión	30	2,93	0,21	2,57	3,40	3,85	0,25	3,40	4,23	0,0000	2.05	-10.64
Pertinencia	30	2,92	0,21	2,43	3,20	3,81	0,27	3,43	4,43	0,0000	2.05	-9.84

Nota: M=Media, D.E.= Desviación estándar, Tcrit.= Valor T critico

## 5. Conclusiones

Se presentó la herramienta computacional denominada PSYCROFAST, desarrollada en Microsoft Visual Studio para el estudio psicrométrico en los procesos reales de acondicionamiento de aire permitió visualizar las principales variables de entrada y salida que se deben tener en cuenta en los diferentes procesos de calentamiento y humidificación, enfriamiento y deshumidificación y torres de enfriamiento.

Se desarrolló adicionalmente una guía teórico-práctica para trabajar con el software PSYCROFAST permitió utilizar los conocimientos previos del estudiante para empezar a relacionarse con el campo del acondicionamiento del aire y mostrar el alcance en la industria actual. La guía presenta toda la parte teórica de los conceptos donde se explican los objetivos de las experiencias a realizar y se dan las pautas que el estudiante debe seguir al utilizar el programa para registrar los datos y analizar los resultados.

Se aplicaron unas pruebas a 60 estudiantes en las que se evaluaron los criterios de claridad, precisión y pertinencia, que hacen parte de los estándares intelectuales de calidad y permiten evaluar el pensamiento crítico, a partir de una escala de valoración en un rango de 5 para el máximo puntaje y 0 para el mínimo, seguido de un análisis estadístico basado en la calificación que obtuvo cada estudiante.

Finalmente, el análisis cuantitativos de los datos permitió comprobar el efecto positivo que tiene el uso de la herramienta computacional sobre el aprendizaje del estudiante en los procesos de acondicionamiento de aire, el cual se hizo mediante técnicas estadísticas de validación de los datos como Shapiro-Will y Levene junto con las pruebas t-student con un nivel de significancia de 0.05, para muestras independientes antes y después de la intervención al grupo experimental para inferir el efecto. De igual manera, se obtuvo un aumento en las medias de las calificaciones para los criterios evaluados en las respuestas entregadas por los estudiantes en la guía teórico-práctica de acondicionamiento de aire. En el grupo experimental, que fue el que desarrolló la guía teórico-práctica apoyada en PSYCROFAST, la media de la claridad incrementó de 2.67 a 4.03, la media con respecto a la precisión fue de 2.60 a 3.85 y con respecto a la de la pertinencia fue de 2.61 a 3.81, mientras que los aumentos en las notas promedios para el grupo control, el cual no uso el software, fueron de 0.31 en claridad, 0.32 en precisión y 0.21 en pertinencia, lo cual muestra que la educación en ingeniería necesita apoyarse en las herramientas computacionales que se tienen al alcance para asegurar un aprendizaje significativo y mejorar el pensamiento crítico de los estudiantes.

## Referencias

- Ahmed, W. K., & Zanelidin, E. (2013). E-learning as a stimulation methodology to undergraduate engineering students. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 8(3), 4–7. <http://doi.org/10.3991/ijet.v8i3.2550>
- American Society for Engineering Education. (2013). *Transforming Undergraduate Education in Engineering. Phase I: Synthesizing and Integrating Industry Perspectives*. Arlington, Virginia. Retrieved from [http://www.asee.org/TUEE\\_PhaseI\\_WorkshopReport.pdf](http://www.asee.org/TUEE_PhaseI_WorkshopReport.pdf)
- Anderson, E. E., Taraban, R., & Sharma, M. P. (2005). Implementing and assessing computer-based active learning materials in introductory thermodynamics. *International Journal of Engineering Education*, 21(6), 1168. Retrieved from [http://www.ijee.ie/articles/Vol21-6/18\\_Ijee1576.pdf](http://www.ijee.ie/articles/Vol21-6/18_Ijee1576.pdf)
- Aziz, M. S., Ali, M., & Samsudin, B. (2014). The impact of PBL on Undergraduate Physics Students ' Understanding of Thermodynamics. *International Journal of Academic Research in Economics and Management Sciences*, 3(4), 100–113. <http://doi.org/10.6007/IJAREMS/v3-i4/1088>
- Bain, K., Moon, A., Mack, M. R., & Towns, M. H. (2014). A review of research on the teaching and learning of thermodynamics at the university level. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 320(15), 320–335. <http://doi.org/10.1039/c4rp00011k>
- Barrera, A., & Moreno, N. M. (2014). Aprendizaje interactivo de termodinámica de fluidos apoyado en las tecnologías de la información y comunicación. *Respuestas*, 19(2), 41–50. Retrieved from <http://respuestas.ufps.edu.co/ojs/index.php/respuestas/article/view/437/461>
- Belman Flores, J. M., Barroso Maldonado, J. M., Mendez Díaz, S., & Martínez Martínez, S. (2015). Virtual test bench as a

- complement to study thermal area application in vapor compression systems. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (77), 54–62. <http://doi.org/10.17533/udea.redin.n77a08>
- Bowen, A. S., Reid, D. R., Koretsky, M. D., & State, O. (2015). Development of interactive virtual laboratories to help students learn difficult concepts in thermodynamics. In *121st ASEE's Annual Conference & Exposition* (Vol. 49, pp. 229–238). Indianapolis, IN. Retrieved from <https://peer.asee.org/20317>
- Castellanos, F., & Martínez, O. (2010). Laboratorios virtuales (lv) como apoyo a las prácticas a distancia y presenciales en ingeniería. *Revista Inge-CUC*, 6(6), 267–280. Retrieved from <http://revistascientificas.cuc.edu.co/index.php/ingecuc/article/view/311/300>
- Chelliah, J., & Clarke, E. (2011). Collaborative teaching and learning: overcoming the digital divide? *On the Horizon*, 19(4), 276–285. <http://doi.org/10.1108/10748121111179402>
- Dorado, R., Gómez-Moreno, A., Torres-Jiménez, E., & López-Alba, E. (2014). An AHP application to select software for engineering education. *Computer Applications in Engineering Education*, 22(2), 200–208. <http://doi.org/10.1002/cae.20546>
- Dry, R., Rabadia, H., Felipe, D., Ingram, G., Maynard, N., & Ventura-Medina, E. (2016). SigmaPipe as an education tool for engineers. *Education for Chemical Engineers*, 14, 1–15. <http://doi.org/10.1016/j.ece.2015.10.002>
- Dukhan, N. (2016). Framing Students' Learning Problems of Thermodynamics. In *ASEE's 123rd Annual Conference & Exposition*. New Orleans, LA. <http://doi.org/14790>
- Elawady, Y. . H., & Tolba, a. S. (2009). Educational Objectives Of Different Laboratory Types: A Comparative Study. *International Journal of Computer Science and Information Security*, 6(2), 89–96. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/0912.0932>
- Elder, L., & Paul, R. (2007). *Estándares de competencia para el Pensamiento Crítico*. Foundation for Critical Thinking. <http://doi.org/978-92-3-104198-3> (EN); 978-959-18-0787-8 (ES)
- Goeser, P. T., & Ruiz, S. (2015). The Development of MATLAB Functions for Effective Use and Improvement of Student Learning in a Thermodynamics Course. In *ASEE Southeast Section Conference*. Gainesville, FL. Retrieved from [http://asee.cs.southern.edu/openconf2015/modules/request.php?module=oc\\_program&action=view.php&a=&id=141&type=4](http://asee.cs.southern.edu/openconf2015/modules/request.php?module=oc_program&action=view.php&a=&id=141&type=4)
- Hantsaridou, A. P., & Polatoglou, H. M. (2005). Analytical exploration of the thermodynamic potentials by using symbolic computation software. *European Journal of Physics*, 26(5), 737–746. <http://doi.org/10.1088/0143-0807/26/5/006>
- Iocchi, F., & Saettone, M. (2008). Uso de aplicaciones tecnológicas web basadas en software libre como herramienta de apoyo en la educación universitaria. *Espacios*, 29(2), 13–16. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84864834708&partnerID=tZOtx3y1>
- Kulkarni, V. D., & Tambade, P. S. (2013). Enhancing the Learning of Thermodynamics using Computer Assisted Instructions at Undergraduate Level. *Eurasian Journal of Physics and Chemistry Education*, 5(1), 2–10. Retrieved from <http://www.eurasianjournals.com/index.php/ejpce/article/view/781>
- Liu, Y. (2009). Development of instructional courseware in thermodynamics education. *Computer Applications in Engineering Education*, 19(1), 115–124. <http://doi.org/10.1002/cae.20297>
- Mulop, N., Mohd Yusof, K., & Tasir, Z. (2014). The improvement of confidence level of students learning thermodynamics through a multimedia courseware. In *IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON* (pp. 733–738). <http://doi.org/10.1109/EDUCON.2014.6826175>
- Mulop, N., Yusof, K. M., & Tasir, Z. (2012). A Review on Enhancing the Teaching and Learning of Thermodynamics. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 56(Ictihe), 703–712. <http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.706>
- Ngabonziza, Y., & Delcham, H. (2014). The enhancement of students learning through COMSOL simulation projects. In *ASEE Zone 1 2014* (pp. 1–6). Bridgeport, CT. <http://doi.org/10.1109/ASEEZone1.2014.6820674>
- Payne, A. M., Kent, S., & Carable, O. (2008). *Development And Evaluation Of A Virtual Laboratory: A Simulation To Assist Problem Based Learning*. (M. Baptista & M. McPherson, Eds.), *Proceedings of the IADIS International Conference on e-Learning*. Amsterdam, The Netherlands. Retrieved from <http://dblp.uni-trier.de/db/conf/iadis/el2008.html#PayneKC08>
- Ramos Torres, F. J. (2012). Plataforma mlearning como apoyo a las actividades de enseñanza aprendizaje en la física mecánica. *Prospectiva*, 10(2), 94–101. Retrieved from <http://ojs.uac.edu.co/index.php/prospectiva/article/download/239/223\nhttp://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4244342.pdf>
- Sánchez, D., Llopis, R., Patiño, J., Cabello, R., & Torrella, E. (2013). CO2LD: an educational innovation project for advanced vocational training in refrigeration. *Journal of Technology and Science Education*, 3(3), 148–156. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.3926/jotse.82>
- Tuta, E. C., & Orozco, M. R. (2016). Computational tool for simulation of power and refrigeration cycles. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 138, 1–6. <http://doi.org/10.1088/1757-899X/138/1/012017>
- Zarza Cortés, O. (2009). Aprendizaje por descubrimiento. *Innovación Y Experiencias Educativas*, (18), 1–10. Retrieved from [http://www.csi-csif.es/andalucia/modules/mod\\_ense/revista/pdf/Numero\\_18/OLGA\\_ZARZA\\_CORTES01.pdf](http://www.csi-csif.es/andalucia/modules/mod_ense/revista/pdf/Numero_18/OLGA_ZARZA_CORTES01.pdf)
- Zueco, J. (2010). An educational laboratory virtual EES for encouraging the use of computer programming in thermal engineering problems. *Computer Applications in Engineering Education*, 21(4), 691–697. <http://doi.org/10.1002/cae.20514>

---

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad del Atlántico por el apoyo brindado y a los estudiantes por la colaboración en la implementación del software PSYCROFAST que se encuentra registrado en la Dirección Nacional de Derecho de Autor (DNDA) en Colombia con el número 13-44-370.

---

1. Grupo de Investigación en Gestión Eficiente de la Energía (KAÍ), Universidad del Atlántico, Colombia. Email: [guillermovalencia@mail.uniatlantico.edu.co](mailto:guillermovalencia@mail.uniatlantico.edu.co)
  2. Grupo de Investigación en Gestión Eficiente de la Energía (KAÍ), Universidad del Atlántico, Colombia. Email: [afescorcia@mail.uniatlantico.edu.co](mailto:afescorcia@mail.uniatlantico.edu.co)
  3. Grupo de Investigación de Procesos Químicos y Bioquímicos sostenibles, Universidad del Atlántico, Colombia. Email: [luisobregon@mail.uniatlantico.edu.co](mailto:luisobregon@mail.uniatlantico.edu.co)
- 

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015  
Vol. 38 (Nº 05) Año 2017

[Índice]

[En caso de encontrar algún error en este website favor enviar email a [webmaster](mailto:webmaster)]

©2017. revistaESPACIOS.com • Derechos Reservados