

DIAGRAMA ENTÁLPICO DE MOLLIER: HERRAMIENTA PEDAGÓGICA Y DE CONTROL DE PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE DIFERENTES PROCESOS TERMODINÁMICOS

R. Vázquez*, R. Spotorno, G. Figueredo, J. Pochettino, F. Benítez

GITEA - Grupo de Investigación en Tecnologías Energéticas Apropriadas

GUDA* - Grupo Universitario de Automatización

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Resistencia

French 414. 3500 Resistencia-Chaco. República Argentina

Tel: +54 3722 432928. / Fax: +54 3722 432683/ e.mail: ray_vazquez_2005@hotmail.com

RESUMEN: En el siguiente trabajo se presenta el desarrollo de un sistema modular integrado por un dispositivo de adquisición de datos NuDAM, un programa escrito en lenguaje C++ del diagrama entálpico de Mollier, un kit de entrenamiento de enseñanza aprendizaje y un bloc compuesto por un relay de estado sólido que actúa sobre diferentes componentes de un equipo experimental (electroventilador, resistencias eléctricas y electroválvulas) mediante el cual se desarrollan experiencias de laboratorio del contenido Aire Húmedo de la asignatura Termodinámica. Además el programa despliega en pantalla el diagrama para aire húmedo propiamente dicho, permitiendo visualizar las diferentes transformaciones (enfriamiento, calentamiento, humidificación, etc), y cálculo automático que se efectúan habitualmente en forma manual sobre cualquier diagrama convencional, lo cual representa una herramienta pedagógica de suma importancia.

Palabras clave: Diagrama entálpico, control automático, pedagógico, lenguaje C++.

INTRODUCCION

La obtención de propiedades del aire húmedo es de fundamental importancia en los procesos de climatización, refrigeración, enfriamiento, congelamiento, humidificación, deshidratación de diferentes productos, meteorología, etc.

La psicrometría es parte de la termodinámica que estudia las propiedades de las mezclas gas-vapor. El diagrama entálpico de Mollier es la herramienta indispensable para el cálculo y evaluación de todos los procesos relacionados con el aire húmedo. Con éste pueden calcularse con ayuda de dos parámetros conocidos el resto de los parámetros del aire húmedo, además de ser una valiosa ayuda en la visualización de los procesos de acondicionamiento del aire.

El uso de gráficos psicrométricos requiere capacidad por parte del usuario, lo que limita para algunos su utilización. Por lo tanto, la aplicación de ecuaciones y modelos matemáticos de simulación por ordenador de las cartas psicrométricas simplifican de forma significativa, su uso, eliminando los errores de lectura. La simulación computacional de las mismas, además de las ventajas antes mencionadas, permite al usuario ejecutar múltiples lecturas sucesivas, con solo dos propiedades del aire húmedo de entrada disponibles. (De Jesús y Da Silva, 2002).

En el presente trabajo se desarrolla un módulo de enseñanza aprendizaje encargado de monitorear y controlar transformaciones del aire húmedo con la finalidad de facilitar el proceso de aprendizaje de los alumnos y mejorar la calidad de enseñanza del educador.

El módulo pedagógico es un sistema de medida y control, constituido por una serie de elementos encargado de realizar una o varias funciones de automatización. Las mismas se realizan en forma objetiva (independiente del observador) permitiendo experimentar situaciones reales de transformaciones termodinámicas del aire húmedo en un ambiente de laboratorio.

PROCEDIMIENTO

El procedimiento utilizado para construir el módulo se fundamenta en la estructura general que describe un sistema de medida y control (Areny, 1994).

En la figura 1 el bloque sensor representa los dispositivos encargados de traducir las variables de estados en señales eléctricas de la planta (o proceso). El acondicionador amplifica la señal y lo adapta para ser presentado o registrado en un equipo estándar. Transmisión de datos permite transferir los datos mediante un protocolo de comunicación. El controlador analiza las señales permitiendo generar acciones de control a través de códigos. Mediante un protocolo de comunicación las acciones de automatización se transmiten hacia el acondicionador. De esta manera, las señales eléctricas de control pueden accionar elementos de automatización como por ejemplo un relay (Schaffner, 1996) conectado a un ventilador perteneciente a la planta o proceso.

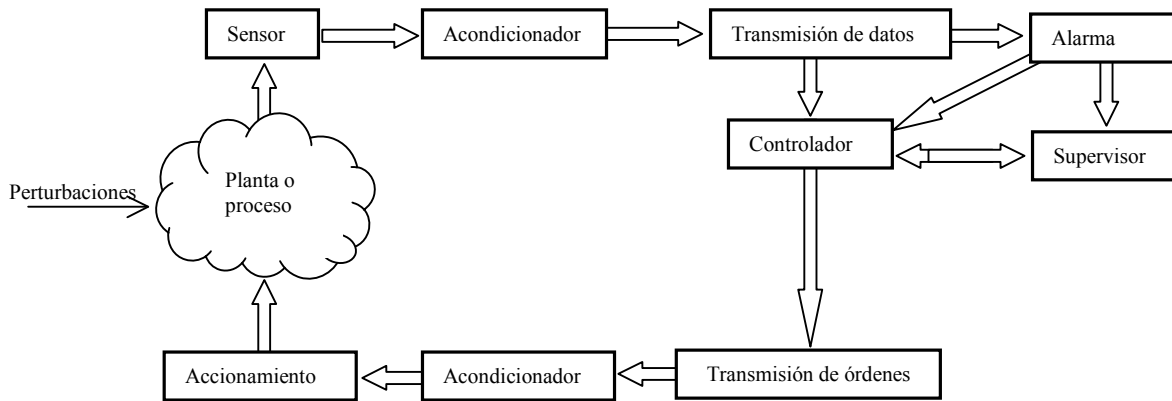


Figura 1: Estructura general de un sistema de medida y control

MÓDULO SENSOR ACONDICIONADOR Y TRANSMISOR DE DATOS

En el esquema de la figura 1 los módulos denominados sensores, acondicionadores y transmisión de datos son representados por una serie de dispositivos denominados NuDAM.

Los mismos son una colección de módulos de adquisición de datos de la empresa ADlink Technologies, que proporcionan una solución muy completa para sistemas distribuidos de control y adquisición de datos en configuración maestro-esclavos. El sistema de interconexión de los módulos se basa en el estándar RS-485. Se pueden interconectar hasta 256 módulos remotos utilizando un par trenzado y cubrir una distancia de hasta 1200 metros (4000 pies). Se puede ampliar la red utilizando repetidores que unan segmentos. Los módulos se pueden controlar utilizando un sencillo protocolo de órdenes y respuestas ASCII a través del RS-485. Cada módulo tiene una dirección que lo identifica y lo ubica en la red, permitiendo distinguir a unos de otros.

Se destaca el módulo utilizado en la experiencia denominado: NuDAM-6520, conversor RS-232 a RS-485 funcionando como master y el NuDAM-6017 de 8 canales de entrada analógica conectado como esclavo. En la figura 2, se visualiza una PC conectada a un NuDAM configurado como master, el cual realiza tareas de comunicación con otro NuDAM configurado como esclavo y el mismo tiene asociado dos termohigrómetros.

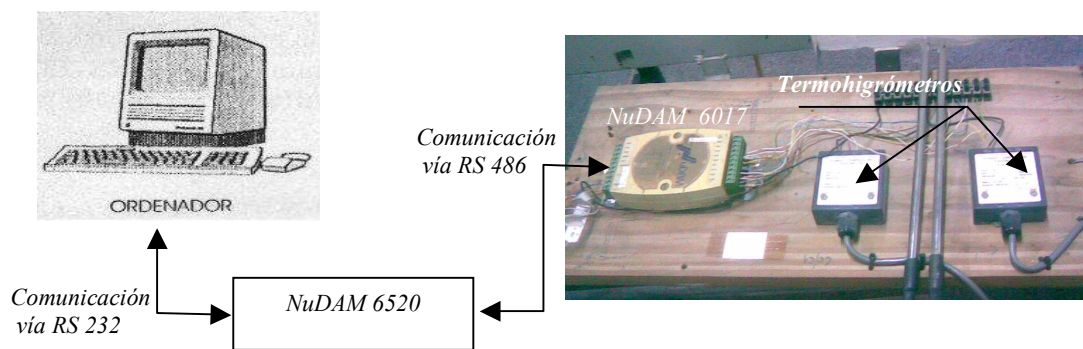


Figura 2: Esquema de monitoreo de las variables de estados mediante la PC y dos NuDAM

MÓDULO CONTROLADOR ALARMA SUPERVISOR

En la figura 1 los bloques denominados controlador alarma supervisor se representan mediante software desarrollado en Visual C++ 6.0 (Ceballos, 1999), permitiendo monitorear las variables de estados tales como: humedad relativa, temperatura, radiación solar, mediante la comunicación del dispositivo adquisidor de señales analógicas. Para tales fines, fueron necesarias utilizar librerías de comunicación *Microsoft Communications Control* (Ceballos, 2000), para establecer una transferencia de información entre dispositivos basadas en el estándar RS232 de una forma rápida, sencilla y transparente.

La información de los sensores obtenida del NuDAM puede ser monitoreada permanentemente mediante librerías encargadas del control del tiempo. De esta manera, la frecuencia de adquisición de datos puede ser configurada por el supervisor entre intervalos que van desde los milisegundos a horas.

Además se implementó en el software el trazado del diagrama entálpico de Mollier empleando herramientas gráficas de Windows (Herbert, 1995), permitiendo visualizar las variables de estado en la pantalla mediante la implementación de funciones encargadas de manejar la comunicación, el tiempo y los dispositivos NuDAM. En la figura siguiente se visualiza el diagrama entálpico de Mollier y una ventana dinámica donde muestran las variables temperatura y humedad relativa enviadas por el NuDAM a una tasa de transferencia de datos de 500 milisegundos.

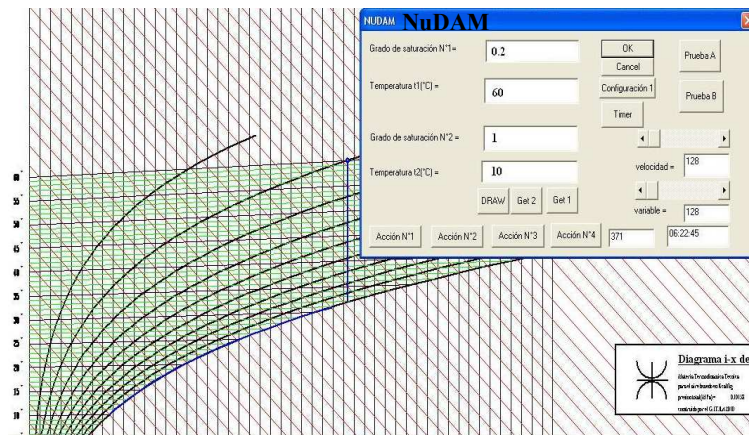


Figura3: Visualización del cuadro de diálogo que monitorea las variables de estados

El programa contempla la posibilidad de graficar transformaciones del aire húmedo sin la intervención del dispositivo pedagógico enseñanza aprendizaje. La información de las variables de estados puede ser introducida por el alumno en forma manual y visualizada en forma virtual. En la figura 4 a) se representa un enfriamiento a humedad absoluta constante hasta la saturación, luego la temperatura del aire desciende hasta el estado 2 al igual que la humedad absoluta. En la figura 4 b) se representa una saturación adiabática desde el estado 1 hasta el estado 2. El software grafica en ambos casos la transformación en forma automática mediante algoritmos de clasificación pertenecientes al lenguaje C++ (Santos et al., 2006).

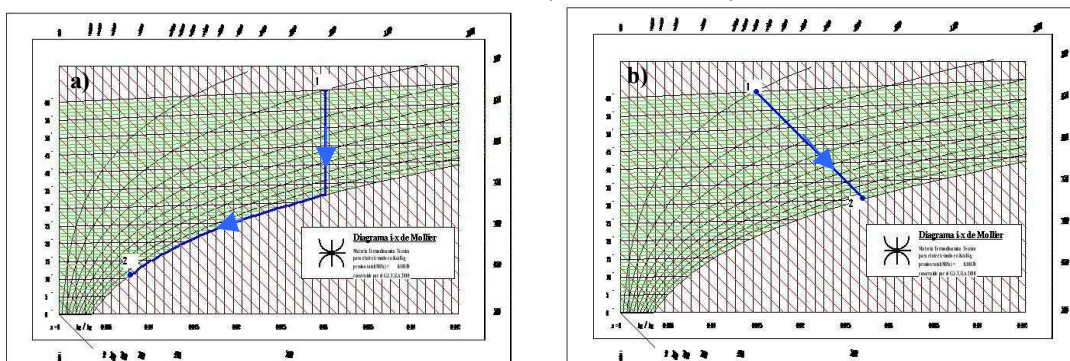


Figura4: a) Enfriamiento a humedad absoluta constante b) Proceso de saturación adiabática

MÓDULO TRANSMISOR DE ÓRDENES ACONDICIONADOR y ACCIONAMIENTO

El módulo transmisor de órdenes y accionamiento consiste en un dispositivo denominado kit de entrenamiento Starter Kit USB (Fenard, 2002) acoplado a un tranceptor inalámbrico para controlar un relay de estado sólido ubicado a una distancia de 15 metros de la PC, ver figura 5 y figura 6.



Figura 5: Se visualiza una PC, el Starter Kit USB y el tranceptor configurado como emisor

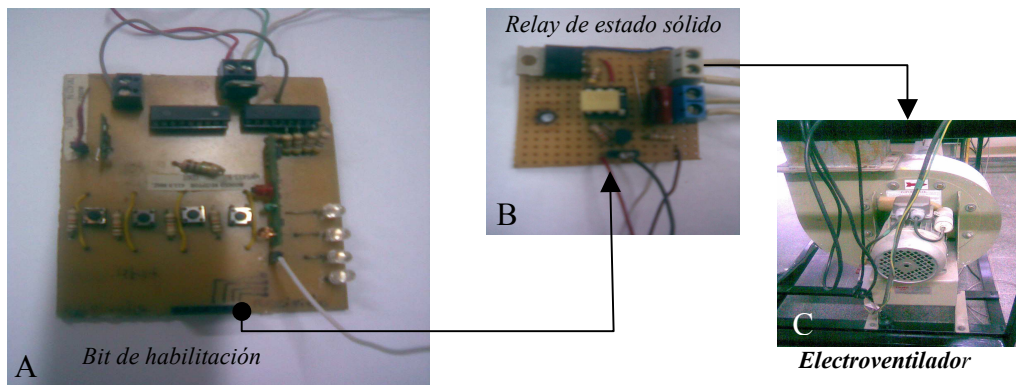


Figura 6: A) Transceptor configurado como receptor B) Relay de estado sólido C) Electroventilador

PLANTA O PROCESO

En la figura 7 se visualiza la planta o proceso y representa la plataforma de experimentación donde se somete al aire húmedo a diferentes transformaciones termodinámicas. Constituye una de las partes utilizadas en experiencias de laboratorio de la asignatura Termodinámica de las carreras de Ingeniería Electromecánica e Ingeniería Química.

Está constituido por un conducto principal en cuyo interior se encuentran alojadas cuatro resistencias eléctricas de 600 W cada una y un panel humidificador (re lleno de virutas de álamo). Además de un electroventilador necesario para mover el aire y un conducto inferior de recirculación del mismo. Posee también dos recipientes, uno superior de alimentación del humidificador y uno inferior donde se aloja el agua no absorbida por el aire.



Figura 7: Foto del equipo experimental destinado al desarrollo de la experiencia de laboratorio de aire húmedo

DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA

En la figura 8 se visualiza el equipo experimental: el aire atmosférico ingresa por el conducto inferior aspirado por un electroventilador de 559 W de potencia, que lo impulsa a través del conducto principal pasando en primera instancia a través de cuatro resistencias eléctricas, cuya finalidad es calentar el aire. Luego el mismo atraviesa el panel humidificador con el fin de aumentar la humedad absoluta y disminuir su temperatura. Un recipiente superior alimenta con agua a través de un conducto al humidificador. El líquido no absorbido por el aire se envía hacia el recipiente inferior.

Los datos de las variables de estados como temperatura y humedad relativa son monitoreados en distintos puntos del equipo experimental y registrados en un archivo de datos. Posteriormente el alumno, siguiendo el procedimiento de la guía de trabajos prácticos, procesa los datos del ensayo efectuado.

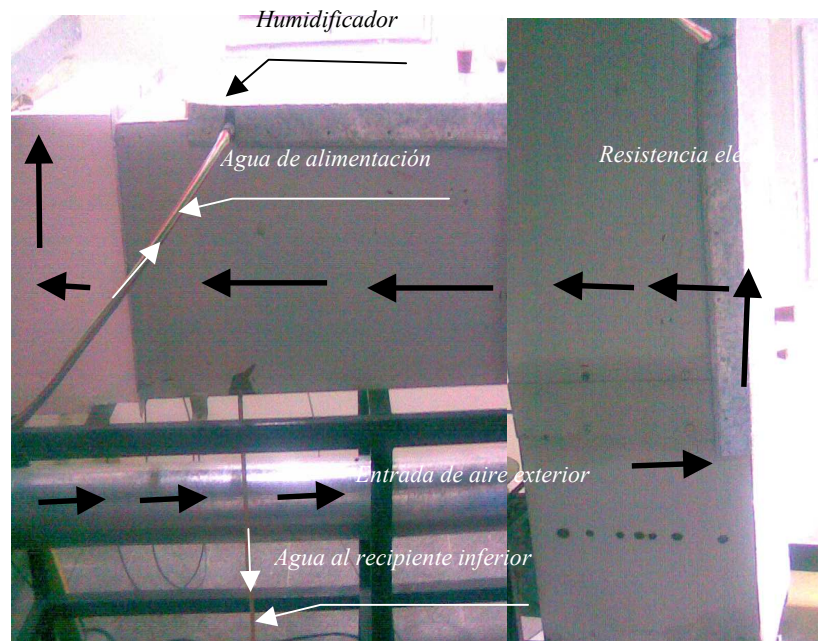


Figura 8: Foto del equipo experimental.

CONTROL AUTOMÁTICO DE LA EXPERIENCIA

Se desarrolló un procedimiento para realizar tareas de control de parámetros característicos en una experiencia de laboratorio de aire húmedo. Se describe el algoritmo encargado de realizar el control del proceso de calentamiento y humidificación del aire húmedo mediante la articulación de los módulos pertenecientes al esquema general del sistema de medida y control representado en la figura 1.

En la figura 9 se representa el algoritmo encargado del control automático de la experiencia y el diagrama entálpico de Mollier. Para su mejor comprensión se dividió el diagrama de flujo en cuatro partes.

En la primera parte se realiza una inicialización de las variables sensor acondicionador, los umbrales de comparación son elegidos previamente para la toma correcta de decisiones en el algoritmo. Se genera un tiempo de espera y luego se acciona el ventilador y la resistencia eléctrica.

En ese instante se visualiza en pantalla el estado del aire húmedo al ingresar al equipo experimental mediante el símbolo P_1 .

En la segunda parte el algoritmo realiza el monitoreo de las variables de estados temperaturas y humedades relativas.

Por medio de la resistencia eléctrica se transfiere la energía al aire húmedo haciéndolo evolucionar del estado P_1 hacia P_2 .

Puede ocurrir que por diversos motivos el aire no llegue hasta el punto P_2 en un tiempo estimado, por ese motivo, se compara el tiempo desde la inicialización de la experiencia con un umbral previamente definido.

Si supera dicho parámetro el algoritmo bifurca las sentencias hacia la función denominada beep().

En la tercera parte el algoritmo enciende el humidificador y el aire se humidifica siguiendo la trayectoria de la recta P_2 y P_3 , seguidamente se activa un bucle infinito que es interrumpido si las condiciones de trabajo en el equipo experimental cumple con la sentencia lógica planteada.

La última parte comprende la condición de saturación del aire húmedo y el algoritmo activa la sentencia beep() y el apagado de la resistencia eléctrica, humidificador y ventilador dando por finalizado la experiencia de laboratorio.

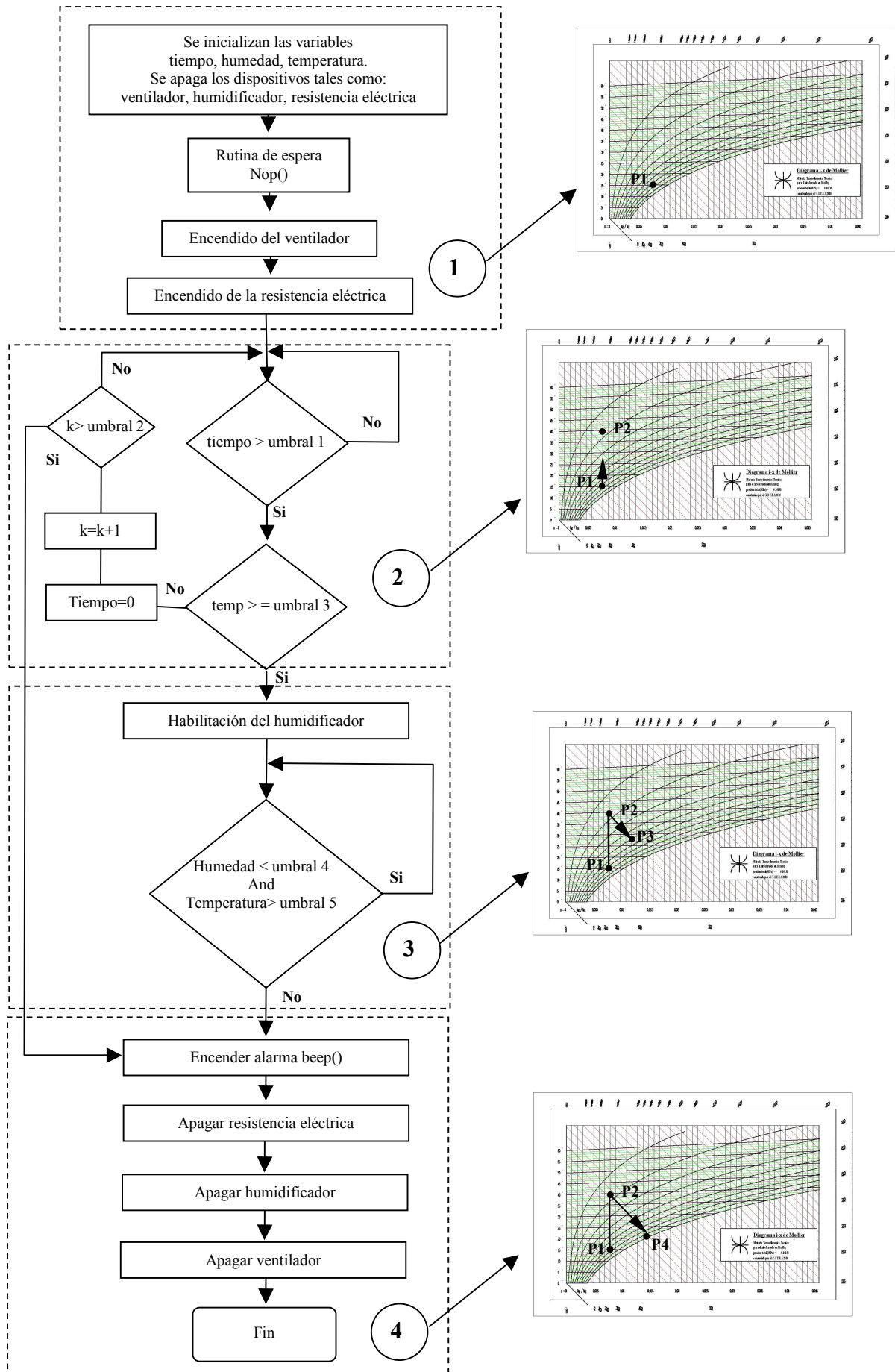


Figura 9: Algoritmo encargado del control automático de la experiencia

CONCLUSIONES

Se mejoró el desarrollo y ejecución de la práctica de laboratorio de aire húmedo, mediante la articulación de un software, un sistema de adquisición de datos, un kit de aprendizaje, un módulo de comunicación inalámbrica, un relay de estado sólido y un equipo experimental.

El algoritmo de trazado del diagrama entálpico de Mollier permite visualizar en forma virtual todas las transformaciones termodinámicas del aire húmedo, mientras que el módulo pedagógico solo permite controlar algunas procesos.

El módulo pedagógico descrito es flexible, ya que se permite realizar modificaciones en el algoritmo encargado del control automático de diferentes procesos termodinámicos.

El dispositivo desarrollado a partir del modelo denominado sistema de medida y control admite incorporar nuevas tecnologías, realizar mejoras y actualizaciones permanentes logrando mejorar la calidad de enseñanza.

REFERENCIAS

- Areny P.(1994). Sensores y Accionadores de Señal. Cap1. pp.2. Editorial Marcombo. Barcelona. España.
- Ceballos F. (2000). Visual C++ 6 Programación Avanzada en Win32. Cap 3. pp. 117-174. Editorial Alfaomega ra-ma. Madrid. España.
- Ceballos F. (1999). Visual C++ 6 Aplicaciones para Win32. Cap 7 pp. 262-355. Editorial Alfaomega ra-ma. Madrid. España.
- De Jesús F y Da Silva G F. (2002). Programa Para la Estimación de las Propiedades Psicrométricas. Revista Brasileira De Productos Agroindustrias. V4 N° 1 pp. 63-70. Capiña Grande. Brasil.
- Fenard X. (2002). El Bus USB. Guía del desarrollador. Cap 2. pp. 13. Editorial Paraninfo. Madrid. España.
- Herbert S. (1995). Programación en C y C++ en Windows 95. Cap 1. pp. 3. Editorial McGraw Hill. Madrid. España.
- Schaffner B. (1996). Montajes Electrónicos para PC. Cap 15. pp. 123. Editorial Merops. Madrid. España.

ABSTRACT

In the next assignment, the development of an integrated modular system by a NuDam data acquisition device, a program coded in C++ of the Enthalpy diagram by Mollier, a learning-training kit, and a block composed of a solid state relay that acts over different compounds of an experimental gear (engine, electric resistance y electrovalves) whereby lab experiences of the contained humid air of the thermodynamic assignment are developed.

Also the program deploys an on screen diagram for the humid air itself, allowing the user to visualize different transformations (cooling, heating, humidification, etc) and automatic calculations usually made in a manual manner in any conventional diagram, which represents a pedagogical tool of great value.

Keywords: Enthalpy diagram, automatic control, pedagogical, C++