

# **SISTEMA DE CONTROL DE LA TEMPERATURA POR VENTILACIÓN MECÁNICA**

*José Alberto Naves Cocota Junior, Fabiano José de Souza Maia, Ernesto Peregrino de Rezende Junior, Cássio Pascoal Costa*

*Universidade Federal de Ouro Preto. cocotajr@yahoo.com.br  
Universidade Federal de Ouro Preto. fjsmaia@yahoo.com.br  
Universidade Federal de Ouro Preto. epdrj@yahoo.com.br  
Universidade Federal de Ouro Preto. pascoal\_controle@yahoo.com.br*

## **RESUMEN**

En este presente trabajo se estudia, por medio de testes en una maqueta, procesos donde la variable que se desea controlar es la temperatura. Este control es realizado por medio de ventilación mecánica implementado por un sistema de control “on-off”.

## **1. INTRODUCCIÓN**

La ventilación general consiste en la movimentación del aire a través de espacios confinados, con la finalidad de mejorar las condiciones del ambiente gracias al control de la temperatura, de distribución y de la pureza del aire y, en ciertos casos, también de la humedad. La ventilación puede ser natural u obtenida mecánicamente. La ventilación general diluidora obtenida mecánicamente es usada cuando la ventilación natural no posee condiciones de confiabilidad y de eficacia para atender a caudal, temperatura y humedad deseadas.

En este trabajo, se propone la construcción de la maqueta de un cuarto, donde se pueda implementar un sistema de control de temperatura por ventilación mecánica. Se busca, por medio de este sistema, realizar un trabajo con varias asignaturas que envuelva el estudio de instrumentación, electrónica, computación y termodinámica.

De acuerdo con la figura 1.1, la maqueta fue construida con placas de compensado, material de fácil obtención y de bajo costo, de la misma forma que los componentes electrónicos y mecánicos utilizados. Algunos de estos componentes electrónicos y mecánicos fueron aprovechados de equipamientos fuera de uso, como es el caso de las piezas de los ventiladores axiales, retiradas de coolers de CPUs y los motores usados en los ventiladores que fueron retirados de lectores de CD-ROMs danificados.

El objetivo básico de este proyecto fue el de construir un sistema capaz de reducir la temperatura interna de la maqueta, por medio de ventilación, utilizándose un controlador “on-off”, siempre que esta temperatura ultrapasara una determinada temperatura de referencia, superior a la externa.

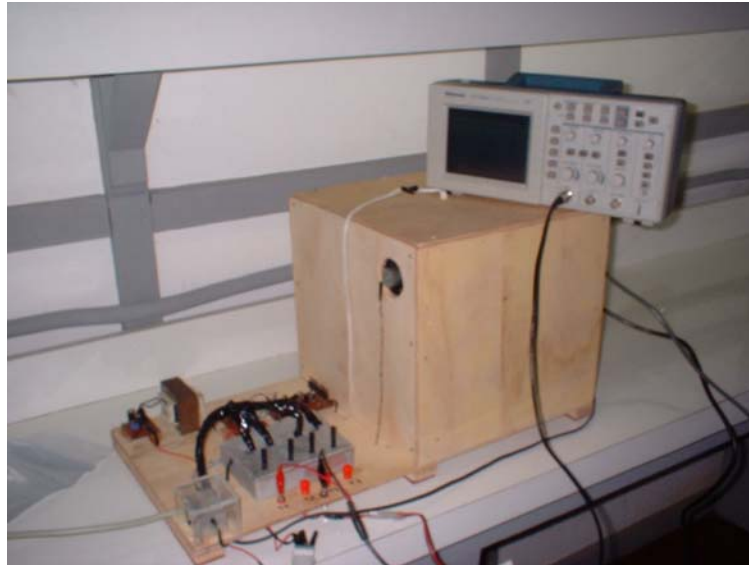


Figura 1.1 – Maqueta

Para elevar la temperatura interna de la maqueta, se utilizó, como fuente de calor, una lámpara incandescente, con la cual se controló la potencia fornecida al sistema.

## 2. METODOLOGIA

Para alcanzar el objetivo esperado, se hizo, inicialmente, una pesquisa bibliográfica, para que se conociera los diversos modelos de ventilación mecánica disponibles. Después de este estudio, se optó por la insuflación y extracción mecánica, que demostró ser un sistema de ventilación más controlable tanto en relación a la calidad del aire que entra, cuanto a su distribución en el recinto.

Se hizo, en seguida, un nuevo estudio de componentes electrónicos y mecánicos para la construcción de la maqueta para la ejecución de los testes.

## 3. EL PROTOTIPO

### 3.1. Dimensiones

- Altura = 0,28m;
- Largura = 0,3m;
- Anchura = 0,3m;

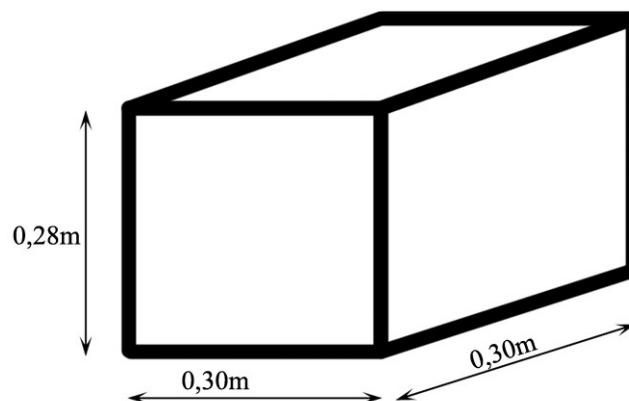


Figura 3.1 – Dimensión de la Maqueta

### 3.2 Equipamientos Utilizados

- Analisador de potencia DW – 6090 Lutron
- Fuente de Energia – PHYWE – 2 a 14 Volts
- Microcomputadora Pentium 200 MHz

### 3.4 Dispositivos

- 4 Sensores de Temperatura LM35

### 3.5 Entradas y Salidas (I/O)

- 4 Salidas digitales para control de 2 motores
- 1 Salida digital para el CLK de los conversores A/D
- 1 Salida digital para los CS de los conversores A/D
- 4 Entradas digitales para lectura de las temperaturas a través de los conversores A/D

## 4. MATERIALES UTILIZADOS

Para la construcción de la maqueta se utilizaron los siguientes materiales electrónicos:

- 8 Resistores 1/8W CR25 10K $\Omega$ ;
- 4 Transistores TIP 120;
- 4 Transistores TIP 125;
- 4 Capacitores 220  $\mu$ F x 16V o 2 capacitores 220  $\mu$ F x 16V despolarizados;
- 2 motores de corriente continua de 5V – 0.1 W;
- 1 Circuito Integrado SN 74LS07;
- 1 Soquete para o CI de 14 vias;
- 16 Resistores de 4.7K $\Omega$ ;
- 4 Potenciómetros de 47 K $\Omega$ ;
- 4 Sensores de temperatura LM35;
- 4 Capacitores de 0.1  $\mu$ F;
- 4 Capacitores de 1 $\mu$ F
- 4 Resistores de 75  $\Omega$ ;
- 4 Conversores A/D TLC548;
- 1 Conector DB25 macho;

Los elementos mecánica para la construcción son:

- Compensado de 5mm de espesor;
- Herramientas de carpintería.

## 5. PUERTA PARALELA

Se empieza el análisis de este proyecto por la descripción de la interfase paralela, ya que el funcionamiento de la maqueta está directamente relacionado a la forma como ella fue implementada.

La puerta paralela, como el nombre ya lo dice, puede transmitir un byte entero (ocho bits), llevando cada bit por un conductor separado, de acuerdo con la figura mostrada 5.1.

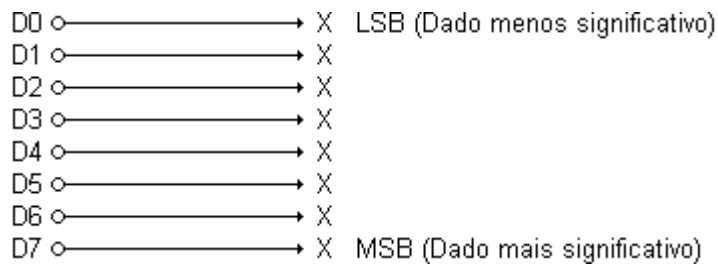


Figura 5.1 - Transmisión de bits por la puerta paralela. El bit X puede ser el binario 0 o 1.

Además de los datos que son transferidos por los conductores, se tienen señales especiales de control, que pueden ser leídas por la puerta paralela. Sabiéndose usar las señales de la puerta paralela, se puede controlar prácticamente cualquier función de un sistema y, aún, recibir señales de sensoriales o de comandos externos.

En la figura 5.2, está representada la puerta paralela con sus 25 polos:

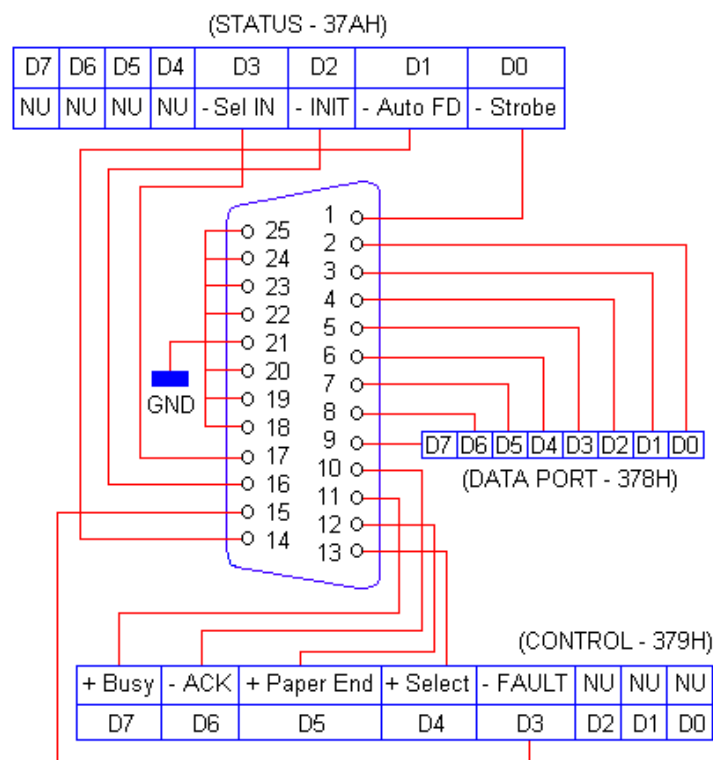


Figura 5.2 Representación del conector DB25. Siendo NU: No Utilizado.

Entre los 25 polos de la puerta paralela, se utilizó sólo 11 pines, siendo ellos:

- Polos 2 (D0) y 3 (D1) para control del sentido de rotación del motor 1 localizado en la parte superior de la maqueta;
- Polos 4 (D2) y 5 (D3) para control del sentido de rotación del motor 2 localizado en la parte inferior de la maqueta;
- Polo 6 (D4), prendido al I/O\_clock de los conversores A/D TCL548;
- Polo 7 (D5), prendido al CS de los conversores A/D TCL548;
- Polos 10 a 13 para lectura de las temperaturas a través de los conversores A/D TLC548;
- Polo 18 – GND, como aterramiento.

## 6. LOS CIRCUITOS

En este trabajo, se utilizó dos circuitos electrónicos. Uno para el control del motor del ventilador axial, y el otro para medir la temperatura y hacer la conversión analógica para digital (A/D).

El circuito del módulo de potencia por el puente H de transistores está representado en la figura 6.1.

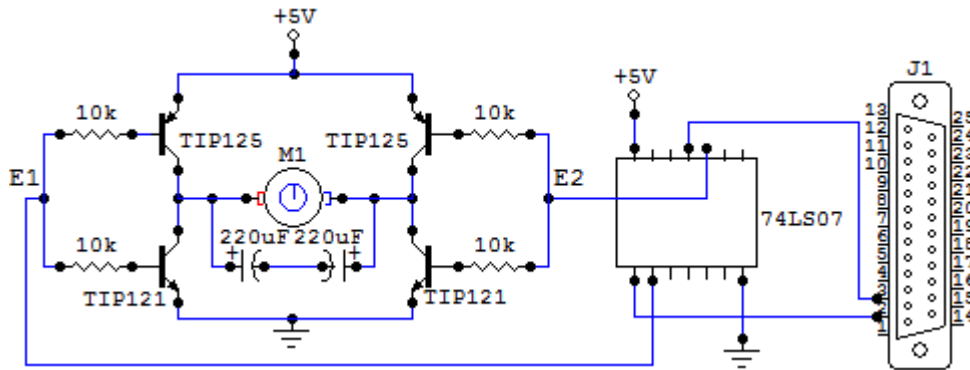


Figura 6.1 – Diagrama del módulo de potencia.

En la figura 6.1, fue representado un puente H de transistores. En la maqueta fueron utilizadas dos de estos puentes, para el control de los dos motores de corriente continua (CC) responsables por insuflar y como extractor del aire en el sistema.

El accionamiento de estos motores podría ser hecho utilizándose sólo un único transistor para cada motor. Entretanto, se optó por el puente H con la finalidad de volver el sistema más flexible. De este modo, cada ventilador opera tanto como extractor, como un insuflador, posibilitando que esta planta pueda ser utilizada, posteriormente, en estudios de otras modalidades de ventilación.

Básicamente, el accionamiento del motor está hecho por una diferencia de potencial (ddp) aplicada en sus terminales, generada a partir de señales enviados por la puerta paralela. Cuando el pino 2 (D0), por ejemplo, está en el nivel lógico alto (1b), el pino 3 (D1) está en el nivel lógico bajo (0b). El resultado es una ddp en las entradas E1 y E2 del módulo de potencia que acciona el motor en un determinado sentido.

Por la verificación de este circuito, se percibe que, cuando  $E1 = E2$ , los transistores TIP 121 y TIP 125 estarán cortados, no habiendo, por lo tanto, ddp aplicada al motor, que permanecerá parado. Cuando  $E1 = 0$  y  $E2 = 1$ , el motor del ventilador funcionará en un sentido y cuando  $E1 = 1$  y  $E2 = 0$ , él funcionará en el sentido contrario. El sentido de rotación del motor de ventilación es que definirá si él funcionará como insuflador o como extractor.

El circuito integrado (C.I.) SN 74LS07, presentado en la figura 6.1, fue utilizado como un “buffer” para hacer la comunicación indirecto, aislando, así, el circuito de comando del circuito de potencia.

El circuito para medir la temperatura es constituido, básicamente, por un sensor analógico de temperatura, LM35 y de un conversor A/D TLC548, conforme mostrado en la figura 6.2.



ultrapase, nuevamente,  $T_{\max}$ . Así, la temperatura interna del circuito será mantenida dentro del intervalo diferencial predefinido por el usuario.

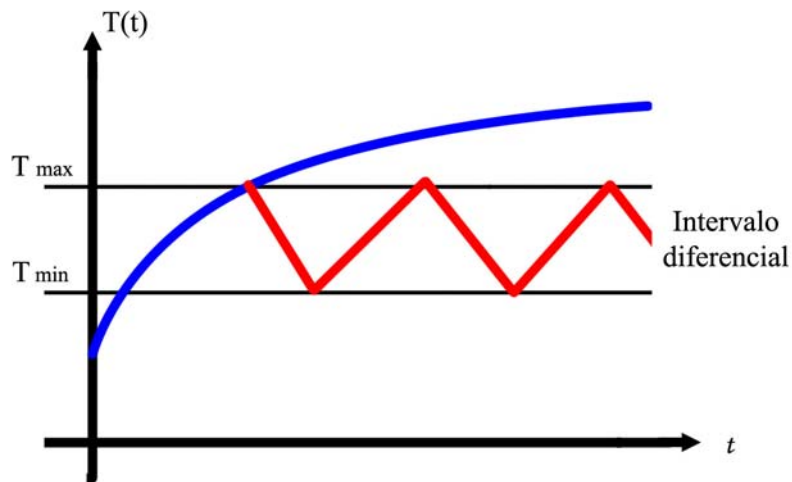


Figura 7.2 – Representación del intervalo diferencial

## 8. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Para se determinar el área en la cual el sistema actuará se debe, inicialmente, encontrar su caudal y su coeficiente global de transferencia de calor.

### 8.1 Determinación del coeficiente global de transferencia de calor (U)

Para la determinación del coeficiente global de transferencia de calor, se fijó la potencia de la lámpara en 10W. Un cooler con potencia de 0.9W fue colocado en la parte interna de la maqueta para funcionar como mezclador de fluido, en este caso el aire, conforme mostrado en la figura 8.1.1. En la figura 8.1.2, se tienen la distribución de los sensores de temperatura en la planta.

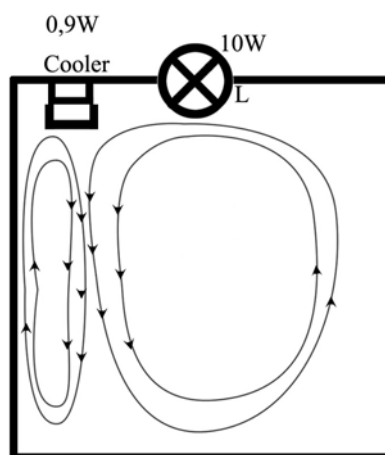


Figura 8.1.1 – Experiencia para determinación del U

Con la lámpara y el cooler prendidos durante 10 horas, se realizó las lecturas de las temperaturas internas y externa a la maqueta. Durante este período, las entradas y salidas de aire de la cámara fueron vedadas. Los datos obtenidos en este ensayo están plotados en el gráfico 8.1.1.

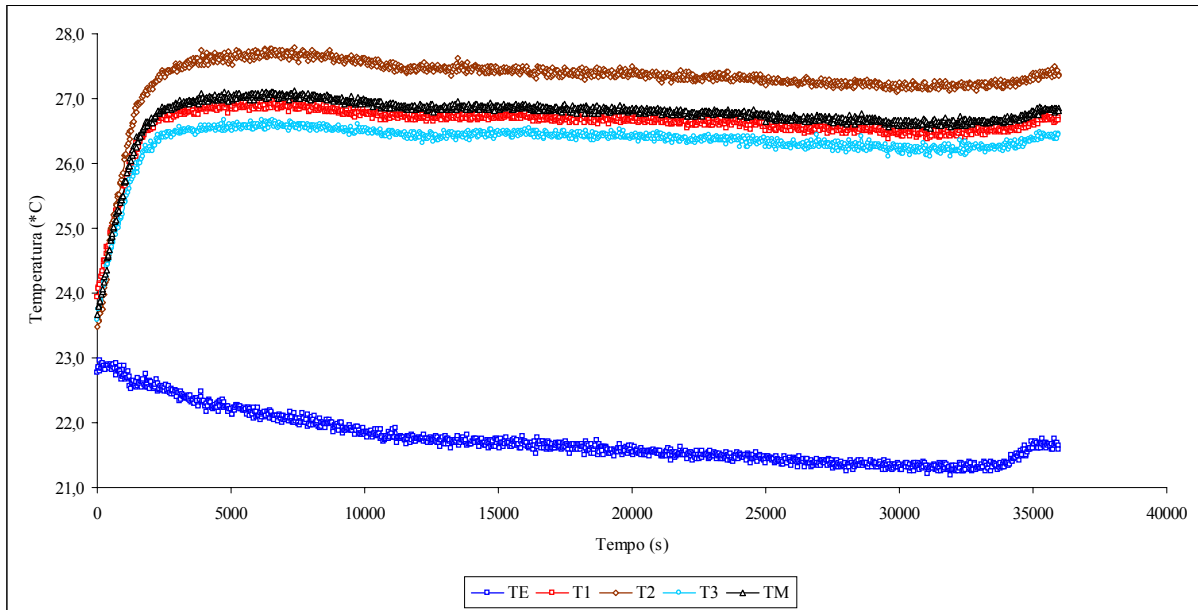


Gráfico 8.1.1 – Resultados obtenidos de la experiencia para determinación de U.

Donde:

- TE: sensor de temperatura externa;
- T1: sensor de temperatura localizado en la parte superior;
- T2: sensor de temperatura localizado en la parte mediana;
- T3: sensor de temperatura localizado en la parte inferior;
- TM: media de las temperaturas internas (T1, T2 e T3).

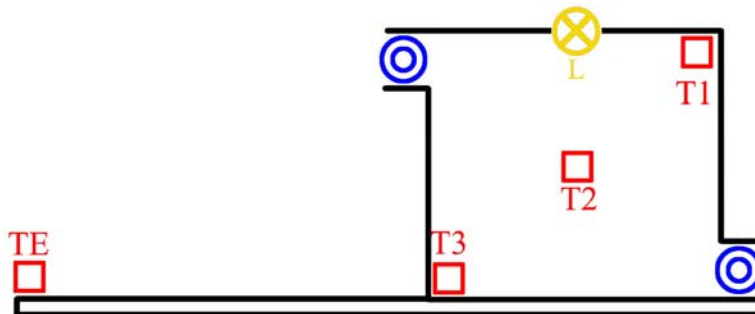


Figura 8.1.2 Posicionamiento de los sensores.

Se observa que después de 15000 segundos de experiencia, el sistema empieza a entrar en régimen permanente. Para el cálculo de determinación de U se optó por el intervalo de tiempo de 25200 a 30000 segundos, mostrado en el gráfico 8.1.2.



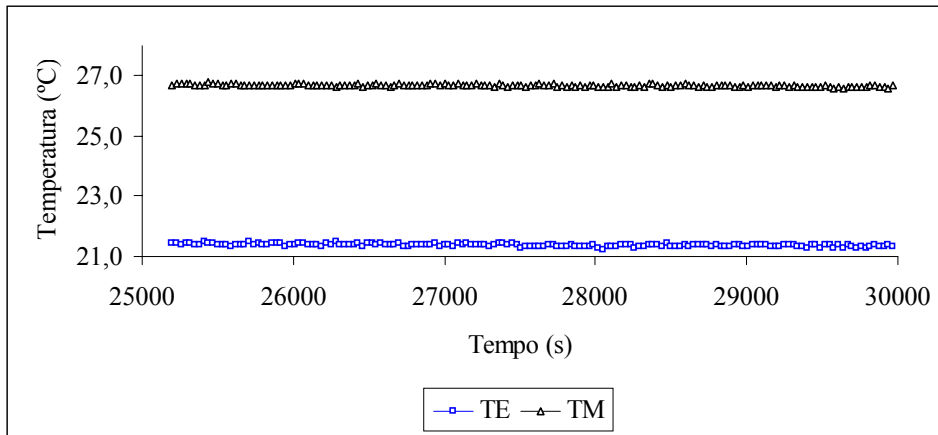


Gráfico 8.1.2 – Intervalo del gráfico 8.1.1 considerado como regime permanente.

Tienen que:

$$\dot{w}_{el} = \dot{w}_{cooler} + \dot{w}_{lamp}$$

$$\dot{w}_{el} = \dot{Q} + \frac{de}{d\tau}$$

Considerándose que en este intervalo de tiempo el sistema opera en régimen permanente,

$$\frac{dE}{d\tau} \cong 0.$$

Considerándose que las pérdidas de calor por las paredes de la maqueta son homogéneas, se tienen que:

$$\dot{w}_{el} = \dot{Q} = AU(T_{int} - T_{ext}) + \frac{de}{d\tau} \Rightarrow A*U = \frac{\dot{w}_{el}}{T_{int} - T_{ext}} = \frac{(10 + 0.9)K}{5,3K} = 2,1 \frac{W}{K}$$

## 8.2 Determinación de la caudal a partir del coeficiente global de transferencia de calor (U)

En este experimento se determinó la potencia de la lámpara en 10W y se prendió simultáneamente el sistema de ventilación por insuflación y extracción mecánica, conforme mostrado en la figura 8.2.1.

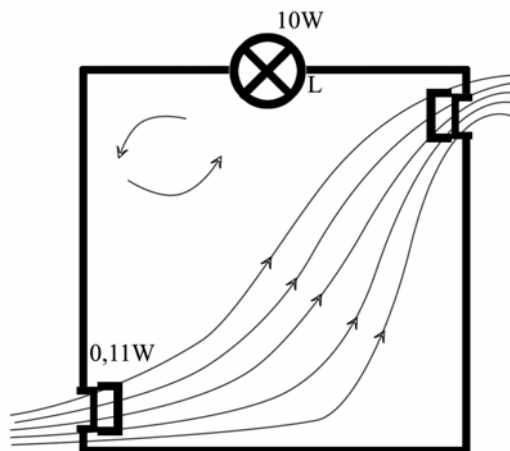


Figura 8.2.1 – Experiencia para determinación de la caudal a partir del coeficiente global de transferencia de calor (U).

Después de 8 horas, se obtuvo el siguiente gráfico:

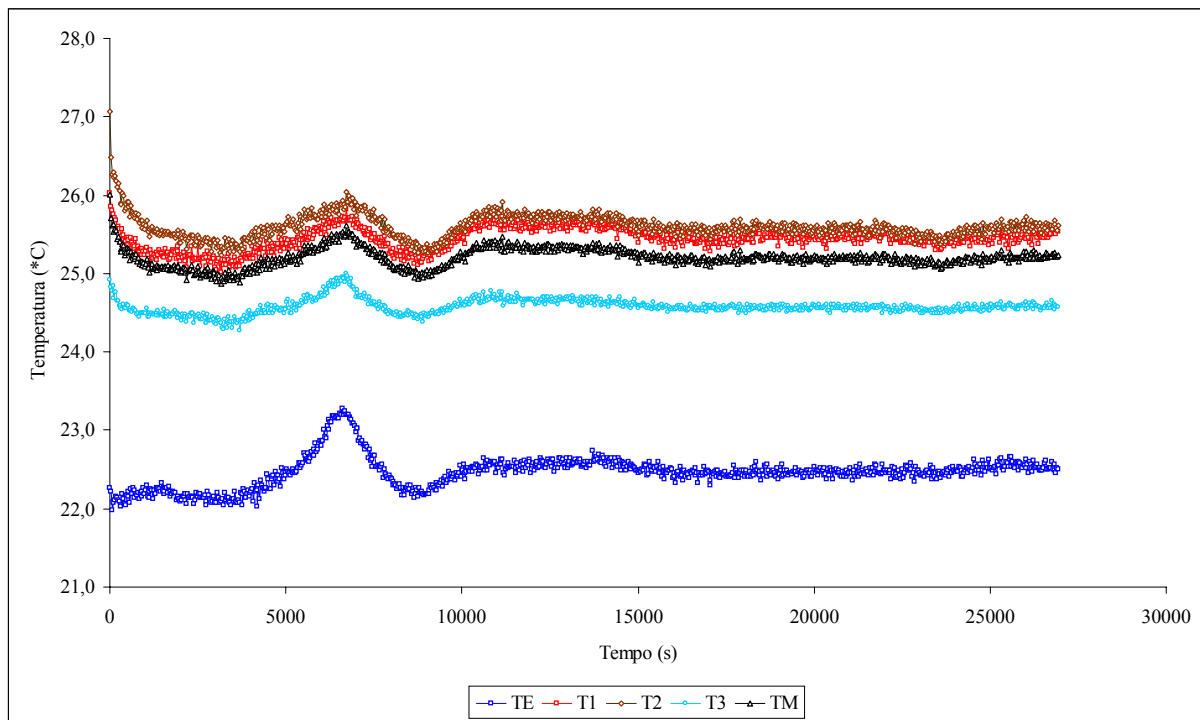


Gráfico 8.2.1 - Experiencia para determinación de la caudal a partir del coeficiente global de transferencia de calor (U).

Observándose este gráfico, se ve que, decorridos 3400 segundos, la temperatura interna media disminuyó  $0,7^{\circ}\text{C}$  en relación al valor inicial. En seguida, el sistema tiende a entrar en régimen permanente, alrededor de 12000 segundos. En el gráfico 8.2.2, entre el intervalo de 16000 y 21000 segundos, se verifica, con mayor claridad, un régimen permanente.

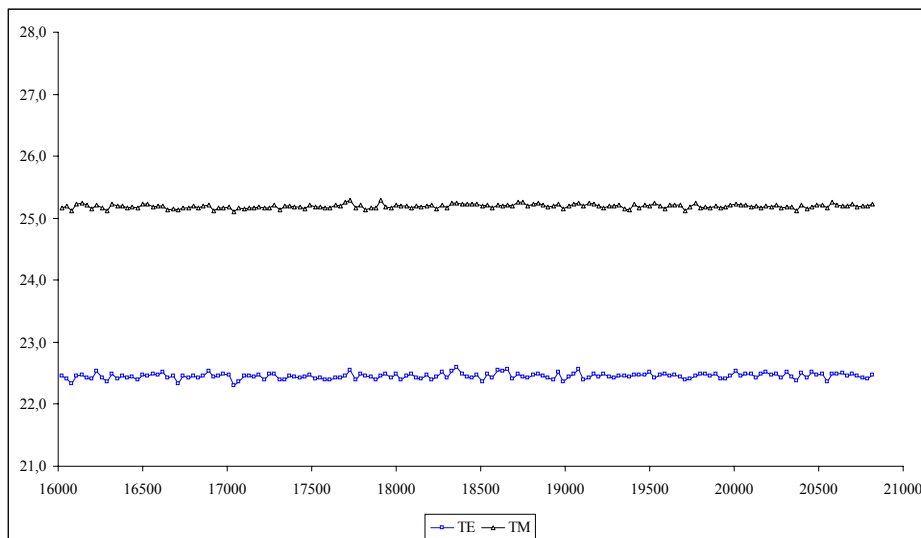


Gráfico 8.2.2– Intervalo del gráfico 8.2.1 considerado como régimen permanente.

Para este sistema en régimen permanente se tienen las siguientes ecuaciones:

$$\dot{w}_{el} = 10W + 0.11W = 10,11W$$

$$\dot{w}_{el} = A * U(T_{int} - T_{ext}) + \dot{m} C_p (T_{int} - T_{ext}) = A * U(\Delta T) + \dot{m} C_p (\Delta T)$$

$$10,11 = 2,1 \frac{W}{K} (2,76)K + \dot{m} 1000 \frac{J}{Kg.K} (2,76)K$$

$$\dot{m} = \frac{(10,11 - 5,8)W}{2760 \frac{J}{Kg}} = 1,56 * 10^{-3} \frac{Kg}{s}$$

## 9. RESULTADOS OBTENIDOS

A partir de la caudal y del coeficiente global de transferencia de calor obtenido, se estableció la temperatura mínima que se consigue llegar por la ventilación con la potencia de 10W.

Haciendo el equilibrio térmico tenemos:

$$\dot{w}_{el} = \dot{Q}_{amb} + \dot{m}.C_p.\Delta T$$

$$\dot{w}_{el} = A.U.\Delta T + \dot{m}.C_p.\Delta T$$

$$\Delta T = \frac{\dot{W}_{el}}{A.u + \dot{m}.C_p} = \frac{10W}{2,1 \frac{W}{K} + 1,56 \frac{Kg}{s} \cdot 10^{-3} \cdot 1000 \frac{J}{Kg.^{\circ}C}} = 2,7^{\circ}C$$

Esto es, para la potencia de 10W fornecida por la lámpara y con la dada caudal, se logra, en el máximo, resfriar, por medio de la ventilación, hasta una temperatura interna media (Tm) de 2.7°C sobre la temperatura ambiental.

Con este dato, se ha definido la histéresis del sistema de control “on-off” entre 3 a 3.5°C sobre la temperatura externa. Se debe resaltar que, sin el control, la temperatura interna de la maqueta llegó una media de 5.3°C sobre de la temperatura ambiente. Los resultados obtenidos con la implementación del controlador “on-off” son presentados en el gráfico 9.1:

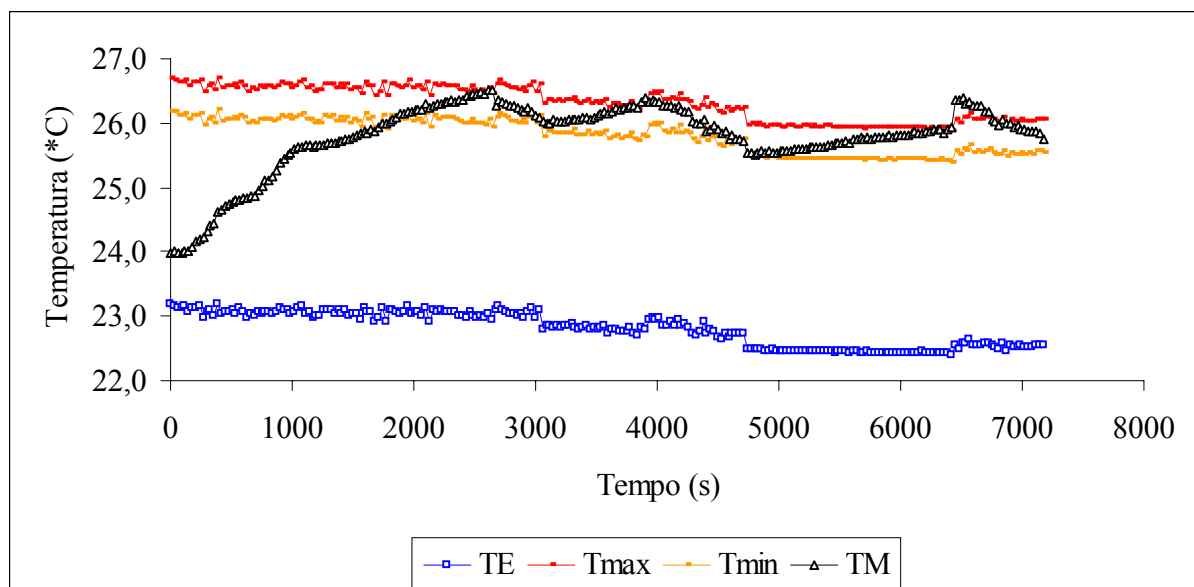


Gráfico 9.1 – Resultados obtenidos con la implementación del sistema de controle “on-off”.

El gráfico comprueba el proyecto bien sucedido del controlador “on-off” para el control de temperatura por ventilación mecánica.

La presencia de oscilaciones en el gráfico se debe al hecho de que los accionamientos de los motores de corriente continua necesitan de un cierto valor mínimo de corriente de armadura para dar partida e iniciar la operación. Esta corriente necesaria genera una pequeña baja de tensión en la referencia de los convertidores A/D, que causa, como consecuencia, esta oscilación.

## 10. CONCLUSIONES

En este trabajo, se pudo verificar ser posible desarrollar trabajos de varias asignaturas que envuelvan instrumentación, electrónica y control ligados a otras asignaturas durante el semestre escolar.

El cálculo del coeficiente global de transferencia de calor de la maqueta para el medio externo, fue fundamental para la determinación del área de trabajo del controlador “on-off”.

El circuito que muestra la temperatura demostró precisión cuando realizado de modo adecuado un blindaje del mismo.

El sensor de temperatura LM35 tuvo de ser posicionado en una caja oscura con pequeños huecos para la entrada y salida del aire a ser mostrado, con la intención de reducir errores de lectura causados por la absorción de calor por radiación en la superficie del sensor, que es negro.

Los elementos elegidos que actúan, motores de corriente continua presentaron oscilaciones en la lectura de temperatura misma cuando alimentados por una fuente separado.

La programación en alto nivel utilizándose lenguaje “Object Pascal” posibilitó la construcción de una interfase amigable con el usuario, y tornó rápido el proceso de construcción de un programa a partir de un algoritmo que representa la estrategia de control “on-off”.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Archibald Joseph Macintyre, *Ventilação Industrial e Controle da Poluição*, LTC, Brasil, 1990.
- [2] Ernest O. Doebelin, *Measurement Systems*, McGraw-Hill, USA, 1990.
- [3] James W. Dally, William F. Riley, *Instrumentation for Engineering Measurements*, John Wiley & Sons Inc, Canada, 1993.
- [4] Katsuhiko Ogata, *Engenharia de Controle Moderno*, LTC, Brasil, 2000.
- [5] Marcelo Leão, *Delphi 6 & Kylix Curso Completo*, Axcel Books, Brasil, 2001.
- [6] Paul Bergsman, *Controlling the World With Your PC*, HighText, USA, 1994.
- [7] Willis J. Tompkins, John G. Webster, *Interfacing Sensors To The IBM PC*, Prentice Hall, USA, 1987.