

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROLADOR PARA
LA FASE DE CALENTAMIENTO Y ENFRIAMIENTO SENSIBLE
DEL BANCO DE PSICROMETRÍA**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico, que presenta el bachiller:

Liz Karina Bañón Félix

ASESOR: Willy Eduardo Carrera Soria

Lima, Junio del 2010

RESUMEN

La presente tesis describe la ingeniería utilizada para llevar a cabo el diseño e implementación de un controlador adecuado para la etapa de calentamiento y enfriamiento sensible del banco de psicrometría ubicado en el Laboratorio de Energía – Sección Mecánica de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Para llevar a cabo dicho control se tuvo que analizar el proceso termodinámico que ocurre en la mencionada banca, para así identificar las variables de estudio (temperatura y humedad) del mismo. Una vez identificado dicho proceso se pasó a escoger el sensor adecuado para registrar dichos parámetros, el microcontrolador donde se implementaría el tipo de control adecuado y el driver que permitiera controlar la potencia de las resistencias calefactoras que se encuentran en la mencionada etapa.

Una vez implementado todo lo mencionado anteriormente se pasó a realizar pruebas de todas las tarjetas y una vez verificado su correcto funcionamiento se analizó la planta en lazo abierto, con lo cual se halló la función de transferencia de la planta y con ello se escogió el control adecuado para la misma (control proporcional).

Finalmente, se realizaron pruebas con el control escogido y se determinó que los valores hallados se encontraban dentro del rango de error ($\pm 2^{\circ}\text{C}$), con lo cual se determinó que el control implementado era adecuado para el propósito de la planta.

INDICE DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	i
APROBACIÓN DE TEMARIO DE TESIS.....	ii
INTRODUCCIÓN.....	1
1. ANÁLISIS DEL BANCO DE PSICROMETRÍA COMO MÓDULO EDUCATIVO.....	3
1.1 Caracterización de los procesos educativos modernos	4
1.2 La infraestructura educativa en la Pontificia Universidad Católica del Perú	4
1.3 Análisis del proceso de estudio	5
1.4 Declaración	6
2. BANCO DE PSICROMETRÍA.....	7
2.1 Estado del Arte.....	7
2.1.1 Carta Psicrométrica	7
2.1.1.1 Principios de acondicionamiento del aire	7
2.1.1.2 Definición de proceso psicrométrico.....	8
2.1.1.3 Importancia de la carta psicrométrica	8
2.1.1.4 Localización de la condición del aire en la carta psicrométrica	8
2.1.2 Tipos de sistemas de control.....	9
2.1.3 Instrumentos que permiten el control de la primera etapa	11
2.1.3.1 Tipos de sensores.....	11
2.1.3.2 Tipos de microcontroladores	12
2.2 Banco de Psicrometría.....	13
2.2.1 Definición e importancia de un banco de psicrometría	13

2.2.2 Etapas del banco de psicrometría	13
2.2.3 Tipos de bancos de psicrometría	13
2.2.4 Banco de psicrometría del laboratorio de energía	15
2.2.5 Identificación del proceso de análisis	16
2.3 Calentamiento y enfriamiento sensible	16
2.4 Modelo Teórico	17
2.4.1 Descripción	17
2.4.2 Indicadores.....	18
3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROLADOR	19
3.1 Hipótesis de la investigación	19
3.1.1 Hipótesis principal.....	19
3.1.2 Hipótesis secundarias.....	20
3.2 Objetivos de la investigación	20
3.2.1 Objetivo general.....	20
3.2.2 Objetivos específicos.....	20
3.3 Sistema Electromecánico	21
3.4 Sistema Electrónico	21
3.5 Diagrama de bloques.....	22
3.5.1 Hardware	22
3.5.1.1 Sensor.....	22
3.5.1.2 Acondicionador	23
3.5.1.2.1 Diseño de la tarjeta de acondicionamiento del sensor	23
3.5.1.2.2 Implementación de la tarjeta de acondicionamiento.....	26

3.5.1.3 Control.....	27
3.5.1.3.1 Microcontrolador	27
3.5.1.3.1.1 Diseño de la tarjeta del microcontrolador.....	28
3.5.1.2.2 Implementación de la tarjeta de microcontrolador	29
3.5.1.3.2. Driver.....	29
3.5.1.3.2.1 Diseño de la tarjeta del driver.....	29
3.5.1.3.2.2 Implementación de la tarjeta del driver	31
3.5.1.3.3 Cruce por cero	32
3.5.1.3.3.1 Diseño del circuito de cruce por cero	32
3.5.1.2.2 Implementación del circuito de cruce por cero	34
3.5.2. Software	35
3.5.2.1 Introducción.....	35
3.5.2.2. Diseño del programa principal.....	35
3.5.2.3 Diseño de las subrutinas	36
3.5.2.4. Diseño de las interrupciones	38
4. SIMULACIONES Y PRUEBAS DE LABORATORIO	40
4.1 Verificación de la integración de la tarjeta de control y la tarjeta del sensor.....	40
4.2 Verificación de lectura de parámetros correctos en el sensor.....	41
4.3 Resultados de la integración de las tarjetas implementadas.....	43
4.4 Cálculo del controlador para el programa principal	45
4.5 Pruebas del funcionamiento del programa implementado	51
COSTOS	54
CONCLUSIONES	56

RECOMENDACIONES.....	57
FUENTES.....	58
ANEXOS	



INTRODUCCIÓN

La Pontificia Universidad Católica del Perú es un centro de estudio que se caracteriza por el grado de formación que le brinda a sus alumnos, ya que cuenta con ambientes que facilitan un mejor aprendizaje, entre estos ambientes se encuentra el Laboratorio de Energía ubicado en la Sección de Ingeniería Mecánica, el cual tiene como función principal el apoyo a las actividades de docencia, así como también a la investigación. Dentro de este laboratorio encontramos diferentes máquinas entre ellas el Banco de Psicrometría.

El Banco de Psicrometría es una unidad didáctica de acondicionamiento de aire que permite mostrar a los alumnos los principales procesos psicrométricos, para que mediante el uso de esta máquina los alumnos refuercen sus conocimientos y apliquen todo lo aprendido en el curso teórico. El mencionado banco cuenta con cuatro etapas conectadas entre ellas, cada etapa muestra un diferente proceso psicrométrico y por tanto, un diferente rango de valores de humedad y temperatura.

La etapa que será usada para nuestro estudio es la primera, la cual está diseñada para mostrarnos el proceso denominado calentamiento y enfriamiento sensible. Dicha etapa necesita un mejor control en cuanto a la lectura de los parámetros del proceso psicrométrico, debido a que actualmente se vienen midiendo de manera manual.

Por ello, el asunto de estudio de la presente tesis es la primera etapa de la mencionada banca y es importante debido a que se encarga de simular el proceso de acondicionamiento de aire, lo cual permite a los alumnos entender el mismo, para que así logren establecer los estándares requeridos de temperatura y humedad en un ambiente.

El capítulo 1, expone las características e infraestructura del medio donde se localiza la banca de psicrometría mencionada, así como también las condiciones actuales de la misma.

El capítulo 2, explica los conceptos de carta psicrométrica y banco de psicrometría, como se encuentran relacionados y la importancia que tienen para nuestra investigación.

El capítulo 3, explica el diseño del modelo teórico y la implementación de todas las tarjetas necesarias para llevar a cabo el desarrollo del mismo.

El capítulo 4, expone la forma como se halló el controlador adecuado para la planta, las pruebas del proceso y los costos del mismo.



CAPÍTULO 1

ANÁLISIS DEL BANCO DE PSICROMETRÍA COMO MÓDULO EDUCATIVO

En la actualidad el Laboratorio de Energía de la Pontificia Universidad Católica del Perú cuenta con un banco de psicrometría, el cual tiene uso de carácter didáctico y por ello es manipulado diariamente por los alumnos, sin embargo no se encuentra automatizado lo cual genera que el desarrollo de las experiencias en dicha banca se desarrollen en una largo periodo de tiempo y con un grado de inexactitud.

El asunto de estudio de la presente tesis es la primera etapa de la mencionada banca y es importante debido a que se encarga de simular el proceso de acondicionamiento de aire, lo cual permite a los alumnos entender el mismo, para que así logren establecer los estándares requeridos de temperatura y humedad en un ambiente.

En el presente capítulo se expone las características e infraestructura del medio donde se localiza la banca de psicrometría mencionada, así como también las condiciones actuales de la misma.

1.1 Caracterización de los procesos educativos modernos

En la actualidad los avances tecnológicos crecen a gran escala, es por ello que las nuevas tendencias en la educación hacen que sea cada vez más necesario la automatización de los laboratorios y con ello la automatización de algunas máquinas con fines educativos, esto no solo para mejorar el funcionamiento de las mismas, sino para mejorar la calidad de enseñanza de sus alumnos. Unas de estas máquinas son los bancos de psicrometría.

Los bancos de psicrometría no presentan gran demanda en el mercado nacional, esto se debe a dos aspectos fundamentales. Primero, el número de universidades del país que se encarga de esta área de investigación es limitado. Y segundo, el costo de un banco de psicrometría es elevado debido a los componentes con los que cuenta, por ello son pocas las universidades que se encuentran interesadas en la adquisición de uno de estos módulos y poseen medios económicos para adquirirlos.

Otro aspecto importante respecto a los bancos de psicrometría que se localizan en nuestro país es el mantenimiento técnico del mismo, ya que en el mercado nacional existen pocos centros encargados de la venta de componentes necesarios para el mantenimiento en caso esta sufra daños o deterioro por su uso. Es por ello que en algunos casos es necesario la importación de algunos componentes.

1.2 La infraestructura educativa en la Pontificia Universidad Católica del Perú

La Pontificia Universidad Católica del Perú es un centro de estudio que se caracteriza por el grado de formación que brinda a sus alumnos, así como también por el apoyo a la investigación de nuevas tecnologías que contribuyan con el desarrollo del país. Por ello cada año destina una suma considerable de dinero a las investigaciones para lograr el desarrollo de las mismas.

Actualmente la Pontificia Universidad Católica del Perú cuenta con 62 laboratorios altamente equipados, entre estos ambientes tenemos el Laboratorio de Energía ubicado en la Sección de Ingeniería Mecánica, el cual tiene como función principal el apoyo a las actividades de docencia, así como también a la investigación.

Dicho laboratorio cuenta con personal especializado tanto en el manejo de las máquinas que ahí se encuentran, como en el mantenimiento de las mismas. Lo cual permite que los experimentos que ahí se realizan sean seguros y lleguen a cumplir

su principal objetivo, el cual es proporcionar un alto nivel de enseñanza para los alumnos que utilizan dichas máquinas.

1.3 Análisis del proceso de estudio.

El proceso de calentamiento y enfriamiento sensible se da en la primera etapa del banco de psicrometría, y consiste en variar los parámetros de temperatura y humedad según los requisitos que se solicitan en las diferentes experiencias que se realizan con dicha máquina.

Para la medición de dichos parámetros, se utiliza un termómetro de bulbo seco el cual sirve para registrar variaciones de temperatura en rangos de 0 a 60°C y en caso se exceda este rango se utiliza una termocupla, la cual posee un rango de -40°C a 1200°C. A su vez para determinar el parámetro de humedad se utiliza un termómetro de bulbo húmedo con el cual mediante gráficas adicionales se puede hallar el valor de la humedad en el instante muestreado. Dicho termómetro posee un rango de 0 a 60°C.

La variación de los parámetros de temperatura y humedad se logran con ayuda de unas resistencias calefactoras, las cuales son las encargadas de proporcionar calor al ambiente y funcionan por medio de una corriente que es proporcionada al momento de encender el equipo. Dichas resistencias se encienden por medio de un interruptor, el cual genera una variación de voltaje, que a su vez genera una corriente que hace que las resistencias se enciendan durante el tiempo que dure el experimento.

Una vez que se encienden las resistencias estas van aumentando la temperatura del medio de manera rápida (aproximadamente 1 grado cada 2 segundos), es por ello que la toma de datos de un determinado instante de tiempo es distinta a cualquier otro.

De manera adicional es necesario mencionar que las variaciones de temperatura y humedad también dependen del flujo de aire que proporcionado por el ventilador que alimenta el banco de psicrometría.

1.4 Declaración

Debido a que los parámetros de temperatura y humedad presentan cambios rápidos en sus valores tanto de manera creciente (calentamiento) como decreciente (enfriamiento) deben ser medidos por un sensor adecuado que nos permita obtener un grado de precisión útil para su aplicación en los experimentos del laboratorio (medición hasta las centésimas). Además dichos sensores deben ser de fácil lectura, ya que las experiencias tienen un límite de tiempo que restringe el número de pruebas que se pueden realizar con la máquina.

Otro aspecto que se debe tomar en consideración es que las resistencias se encuentran encendidas durante todo el experimento, lo cual en algunos casos genera que estas se pandeen debido a que son sometidas a grandes temperaturas en un corto plazo de tiempo, y por ello necesitan un mantenimiento constante. Al realizarse dicho mantenimiento se trata que las conexiones sean correctas, ya que puede ocurrir algún percance que origine un mal funcionamiento de la máquina.



CAPÍTULO 2

BANCO DE PSICROMETRÍA

El Banco de Psicrometría es una unidad didáctica de acondicionamiento de aire que permite mostrar a los alumnos los principales procesos psicrométricos, para que mediante el uso de esta máquina los alumnos refuercen sus conocimientos y apliquen todo lo aprendido en el curso teórico.

Por ello en el presente capítulo se explicará los conceptos de carta psicrométrica y banco de psicrometría, como se encuentran relacionados y la importancia que tienen para nuestra investigación.

2.1 Estado del arte.

2.1.1 Carta Psicrométrica.

2.1.1.1 Principios de acondicionamiento del aire.

El acondicionamiento de aire es un proceso de gran importancia en diferentes ciudades del mundo debido a que en los meses de invierno las temperaturas son muy bajas, es por ello que se trata de entender el proceso físico del aire para así

poder controlarlo cada vez de una mejor manera con aparatos que permitan una mejor calidad de vida.

Consiste en tratar el aire de un ambiente con el fin de mantener unos estándares de temperatura y humedad requeridos.

2.1.1.2 Definición de proceso psicrométrico.

Los estudios que se realizaron a través de los años definieron que el aire atmosférico que nos rodea es el resultado de una mezcla de aire seco y vapor de agua, a la cual se denominó aire húmedo, y se determinó a la Psicrometría como el estudio de dicha mezcla.

Un proceso psicrométrico es aquel en el cual el aire que inicialmente se encuentra a unas determinadas condiciones, sufre unos cambios con los cuales obtiene nuevas condiciones. Todo este proceso se realiza en el módulo de acondicionamiento de aire.

2.1.1.3 Importancia de la carta psicrométrica.

La carta psicrométrica es importante porque nos muestra parámetros de medición, tales como: entalpía, volumen específico, punto de rocío, temperatura, humedad absoluta y humedad relativa. Dichos parámetros son importantes para determinar las condiciones a las cuales se encuentra el flujo de aire con el cual trabajamos, para así poder controlarlos.

2.1.1.4 Localización de la condición del aire en la carta psicrométrica.

Si bien en la carta psicrométrica podemos encontrar varios parámetros que nos ayudan a definir el acondicionamiento del aire, los parámetros físicos que son serán medidos durante la investigación son:

- Temperatura de bulbo seco: Es la temperatura del aire, tal como la indica un termómetro.
- Temperatura de bulbo húmedo: Es la temperatura que indica un termómetro con bulbo sensor humedecido, colocado en una corriente de aire húmedo.
- Humedad relativa: Es la relación de la presión real de vapor de agua en el aire con la presión de vapor de agua si el aire estuviera saturado a la misma temperatura de bulbo seco.

Estos parámetros son ubicados en la carta psicrométrica a fin de obtener la humedad relativa del flujo de aire con el cual se trabaja. La ubicación de estos parámetros en la carta psicrométrica se muestra en la figura 2.1 [13]:

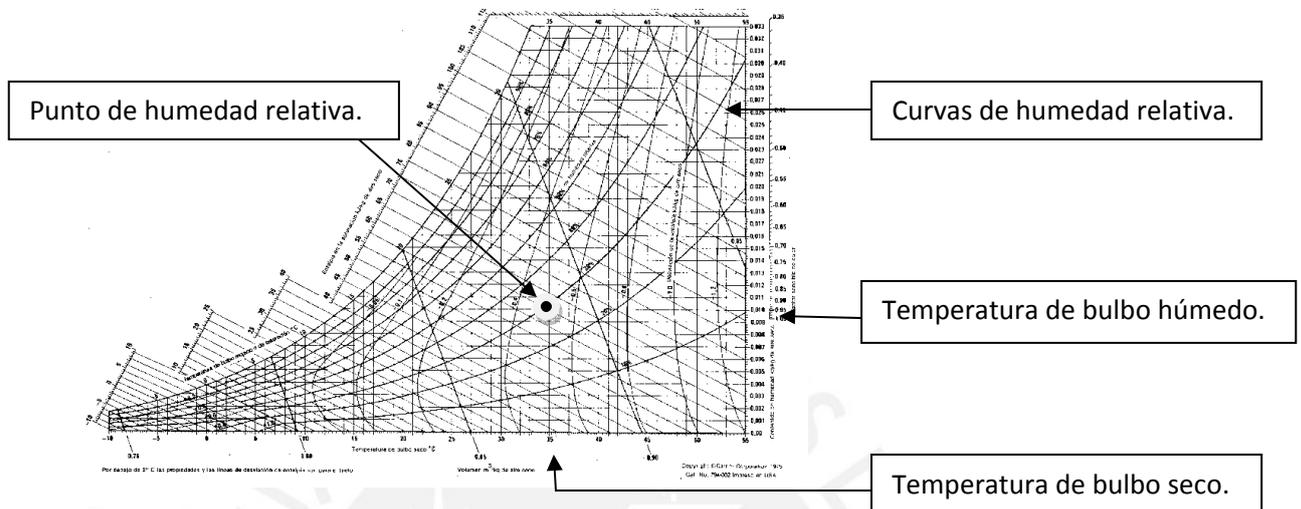


Figura 2.1.

Donde el eje X de la carta psicrométrica representa las temperaturas de bulbo seco y el eje Y, representa las temperaturas de bulbo húmedo.

La intersección de la recta de temperatura de bulbo seco y la recta de temperatura de bulbo húmedo nos da como resultado un punto de humedad relativa, cuyo valor es el de la curva parabólica que pasa por dicho punto.

2.1.2 Tipos de sistemas de control.

Para realizar el diseño del sistema de control de la fase de calentamiento sensible se debe escoger el tipo de control que usará el microcontrolador, ya que este se encargará de satisfacer las condiciones necesarias para el correcto funcionamiento de la misma.

Cabe mencionar que para el control de las resistencias calefactoras se debe utilizar un sistema de control de lazo cerrado, esto debido a que los cambios de temperatura deben ser medidos de continuamente para así verificar que la temperatura actual sea igual a la requerida.

A continuación se muestran los principales tipos de control de los cuales escogeremos el que mejor se adecue a nuestros requerimientos.

Control proporcional: La señal que se genera a la salida del controlador es proporcional a la señal de error, presenta un desplazamiento debido a que su función de transferencia no posee un elemento integrador y sufre un offset en la respuesta a las entradas escalón. Además permite reducir el error en estado estacionario al aumentar la ganancia del controlador. [12]

Control proporcional integral: Su función principal es reducir el error al mínimo posible, pero al realizar esto se obtiene una peor respuesta transitoria. Se caracteriza por la función de transferencia.

$$G(S) = K_p(1+1/T_i.S)$$

El controlador PI es un controlador de atraso que posee una ganancia infinita a una frecuencia cero esto mejora las características en estado estable. Sin embargo, su inclusión en el sistema incrementa en 1 el tipo de sistema compensado y esto provoca que el sistema compensado sea menos estable o, incluso, que se vuelva inestable. Por tanto debe elegirse con cuidado los valores de K_p y T_i para asegurar una respuesta transitoria adecuada. [12]

Control proporcional derivativo: Tiene como función principal regular el tiempo de respuesta, con lo cual a mayor variación de error tendremos mayor acción derivativa. Posee como función de transferencia:

$$G(S)=K_p(1+T_dS)$$

Debido a que la función de transferencia del controlador PD contiene un cero pero ningún polo, no es posible realizar eléctricamente sólo mediante elementos RLC pasivos. Además mejora las características de respuesta transitoria, mejora la estabilidad del sistema e incrementa el ancho de banda del sistema, cosa que implica un tiempo corto de levantamiento. [12]

Control proporcional integral-derivativo: Presenta ventajas de las tres acciones (proporcional-integral-derivativo). Es un compensador de atraso- adelanto y se utiliza cuando el sistema requiere de una mejora tanto en el desempeño transitorio como en el desempeño en estado estable. [12]

2.1.3 Instrumentos que permiten el control de la primera etapa.

2.1.3.1 Tipos de sensores.

El propósito principal del uso de las resistencias calefactoras es variar la temperatura y humedad de manera que se logren las condiciones requeridas por los experimentos que son realizados con ellas.

Para la medición de dichos parámetros se utilizan termómetros que se colocan en pequeños orificios a la salida de la primera etapa, es por ello que uno de los instrumentos que necesitamos son los sensores que se encarguen de registrar dichos parámetros. Si bien se trata de dos parámetros totalmente distintos, en el mercado existen sensores que permiten medir en tiempo real de los dos parámetros a la vez. Es por ello que para el desarrollo de este estudio usaremos un sensor con las características antes mencionadas.

Adicionalmente debemos considerar que los rangos de temperatura con los cuales se trabaja en el laboratorio son de 30 a 70°C y en el caso de humedad de 20 a 90%.

A continuación se muestra la tabla 2.1 con los diferentes sensores que se encuentran en el mercado, que cumplen con las características que deseamos.

Tabla N° 2.1

Fabricante/ Modelo	Rangos de temperatura	Error de lectura en temperatura	Rangos de Humedad	Error de lectura en humedad	Voltaje de entrada	Voltaje de salida
Delta ohm/ HD9809T	-35 °C a 60 °C	+/- 0.15°C	10% a 90%	+/- 2.5%	5- 35 Vdc	0-1 V
JLC International/ Humidity and temperatura transmitter EE08	-40 °C a 80 °C	+/- 2°C	0% a 100%	+/- 3%.	4.5- 15 Vdc	0-1/ 2.5/5 V
NovaLynx Corporation/ 225- HMP50YA	-40 °C a 60 °C	+/- 0.6°C	0% a 100%.	+/- 3%	7- 28 Vdc	0-1 V

Continuación de la Tabla N° 2.1

Vaisala/ HMP45A & HMP45D	-40 °C a 60 °C	+/- 2°C	0.8% a 100%	+/- 3%	7- 35 Vdc	0-1 V
Measurement Specialties/ HTM2500	-40 °C a 85 °C	+/- 2°C	1% a 99%	+/- 3%	3- 10 Vdc	2.48 V

Fuentes: [7], [8], [11], [3] y [4]

2.1.3.2 Tipos de microcontroladores.

Otro instrumento importante para el desarrollo del control de la etapa de calentamiento y enfriamiento sensible es la elección del controlador. Este componente es importante debido a que se necesita sensor los parámetros de humedad y temperatura en tiempo real, por ello necesitamos un microcontrolador que nos otorgue un tiempo de respuesta ideal para el desarrollo del proyecto.

A continuación se detallan los principales microcontroladores del mercado.

Microcontrolador de Philips: Presenta memorias EPROM, OTPROM o FLASH internas, array de contadores programable PCA, convertidores A/D de 8 o 10 bits, funcionamiento en baja tensión, etc.

Microcontrolador de Siemens: Pueden funcionar a altas frecuencias de reloj, pueden tener memoria ROM o OTPROM, puerto serie full-dúplex, modos especiales de bajo consumo, varios registros de punteros de datos DPRT, etc.

Microcontrolador de Atmel: Poseen memoria interna flash, memoria RAM interna, patillas bidireccionales I/O accesibles bit a bit, temporizadores/contadores de 16 bits, UART full-dúplex, múltiples fuentes de interrupción, etc.

Microcontrolador de Dalla Semiconductor: Se centra en la seguridad anti copia del programa, con encriptación en tiempo real, utiliza memoria NOVRAM para almacenar el programa en lugar de ROM o EPROM.

2.2 Banco de Psicrometría.

2.2.1 Definición e importancia de un banco de psicrometría.

El banco de psicrometría es un módulo educativo que simula el proceso de acondicionamiento de aire.

Este módulo es de gran importancia debido a que permite por medio de experimentos la comprensión de los procesos psicrométricos.

2.2.2 Etapas del banco de psicrometría.

Los bancos de psicrometría presentan las siguientes etapas:

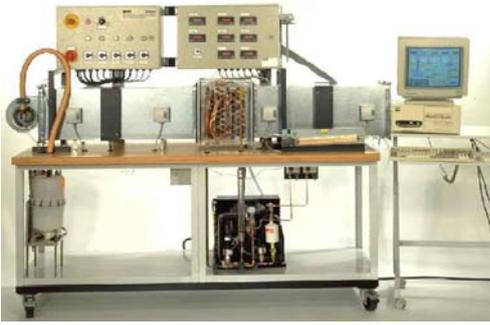
- Calentamiento y enfriamiento sensible: Procesos durante los cuales no hay integración de vapor por evaporación, ni eliminación de vapor por condensación.[14]
- Humidificación por enfriamiento: Se puede realizar poniendo el aire en contacto con agua a una temperatura igual a la temperatura de bulbo húmedo. En este proceso el calor extraído del aire es devuelto como calor latente por un aumento del contenido de humedad. [14]
- Humidificación por calentamiento: Proceso parecido al anterior, pero a diferencia de este, se insufla vapor de agua, lo cual hace que la temperatura de bulbo seco aumente en vez de disminuir.[14]
- Deshumidificación por enfriamiento: Consiste en un enfriamiento hasta una temperatura menor que su correspondiente temperatura de rocío. El aire disminuye su humedad absoluta debido a la condensación de una parte del vapor de agua contenido en la mezcla. El condensado abandona la mezcla.[14]

2.2.3 Tipos de bancos de psicrometría.

Existen varios modelos de módulos educativos la mayoría de ellos creados a medida por empresas especializadas, entre los principales encontramos los siguientes mostrados en la tabla 2.2.

Tabla N° 2.2

Empresa/ Modelo	Características
<p>Armfield Engineering Education/ RA2 Air Conditioning Unit – Issue (Figura2) [1]</p>	<ul style="list-style-type: none"> . Presenta calentador para el inicio, humidificador, deshumidificador y calentador al final. . Conducto transparente (200 mm x 200mm) para visibilidad completa del proceso. . Máquina controlada por computadora vía interfaz USB, con software que permite mostrar tabla de datos, gráfico de datos en tiempo real, reproduce los datos tomados en la carta psicométrica. . 4 RH sensores que vienen con los valores de calibración para la medición de temperatura y humedad en cada etapa.  <p>Figura 2.2. [1]</p>
<p>Gunt Hamburg/ ET 600 Open Duct Air Conditioning Trainer (Figura 3) [6]</p>	<ul style="list-style-type: none"> . Modelo funcional de un acondicionador de aire con enfriador, humidificador de aire, calentador. . Medidas de 2225x750x1800mm y peso de 180kg. . Ducto de ventilación de 300mm x 350 mm. . Adquisición de datos en la PC con el software LabView. . Mediciones de humedad y temperatura con sensores electrónicos. . Refrigerante R134a.

	 <p>Figura 2.3. [6]</p>
<p>TecEquipment/ CE103 Thermal Control Process Apparatus (Figura 4). [15]</p>	<ul style="list-style-type: none"> . Dimensiones 540 mm x 330 mm x 420 mm y peso de 17 kg. . Analiza el proceso de calentamiento y enfriamiento. . Panel que muestra los procesos que se están realizando. . 2 sensores de temperatura.  <p>Figura 2.4. [15]</p>

Fuentes: [1], [6] y [15]

2.2.4 Banco de psicrometría del laboratorio de energía.

El banco de psicrometría que se encuentra en el laboratorio de energía, está formado por cuatro diferentes etapas pero debido al grado de complejidad de todo el sistema, solo analizaremos la primera etapa (calentamiento y enfriamiento sensible).

A continuación en la figura 2.2, se muestra el banco de psicrometría del Laboratorio de Energía ubicado en la Sección Mecánica.

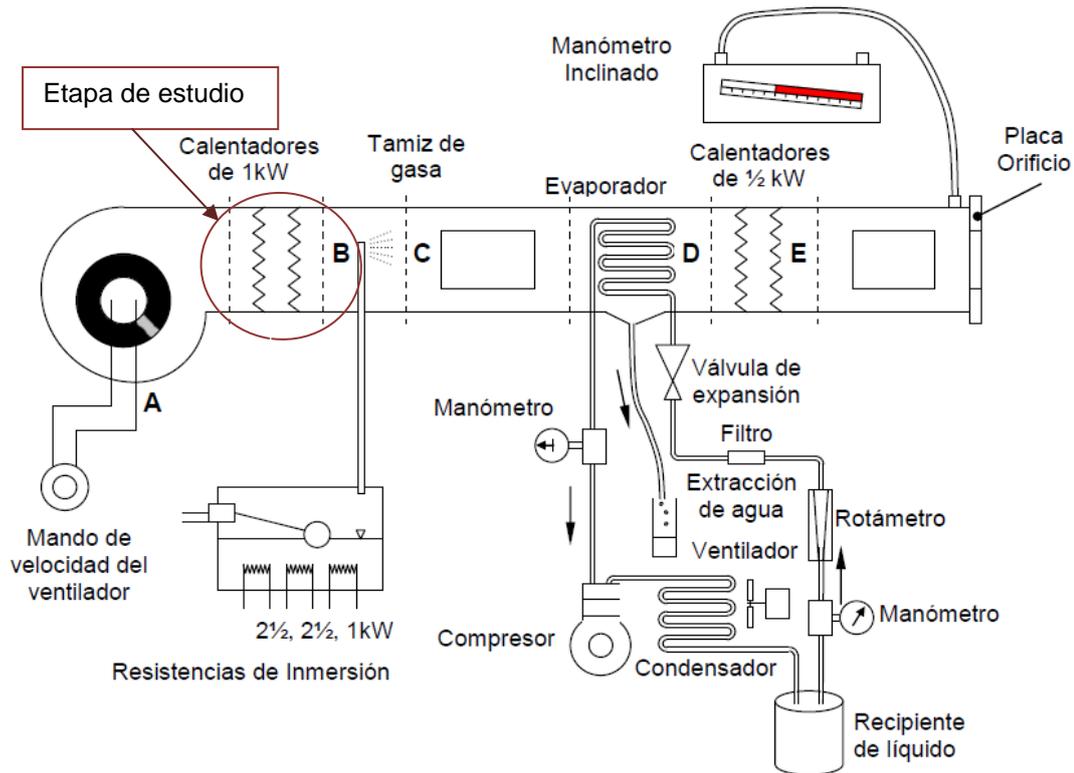


Figura 2.5. [14]

Dicho banco se encuentra conectado a un ventilador que es el encargado de suministrar el flujo de aire a toda la máquina, el cual se mantiene constante durante todo su recorrido debido a que toda la máquina se encuentra sellada hasta su salida. Dicho ventilador se encuentra conectado a su vez a la primera etapa del banco de psicrometría.

2.2.5 Identificación del proceso de análisis.

El proceso de calentamiento y enfriamiento sensible se realiza en la primera etapa del banco de psicrometría, dicha etapa está conformada por unas resistencias calefactoras. Dichas resistencias se encuentran conectadas a unos potenciómetros, los cuales sirven para variar la cantidad de calor que disipan las resistencias, y con ello varían la cantidad de temperatura y humedad en dicha etapa.

2.3 Calentamiento y enfriamiento sensible.

El proceso de variación de calor sensible es aquél en el cual se agrega o se retira calor del aire y con ello se varía la temperatura de bulbo seco sin variar el contenido

de vapor de agua. Por lo tanto, la dirección del proceso deber ser a lo largo de una línea horizontal de relación constante de humedad. [13]

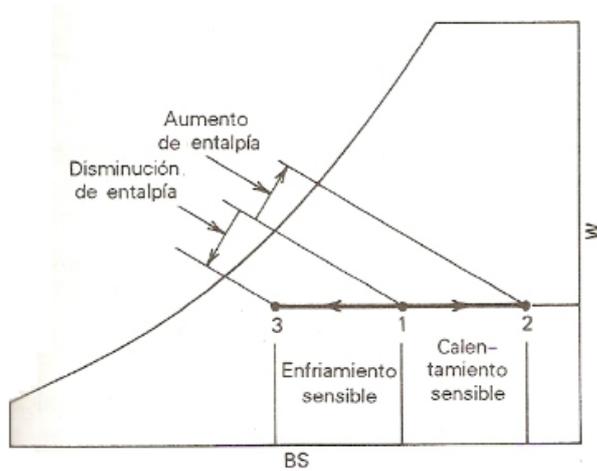


Figura 2.6. Proceso de calentamiento sensible en la carta psicrométrica. [13]

2.4 Modelo Teórico.

2.4.1 Descripción.

Para el diseño del control adecuado del calentamiento y enfriamiento sensible del banco psicrométrico se seguirá el diagrama de bloques mostrado en la figura 2.7.

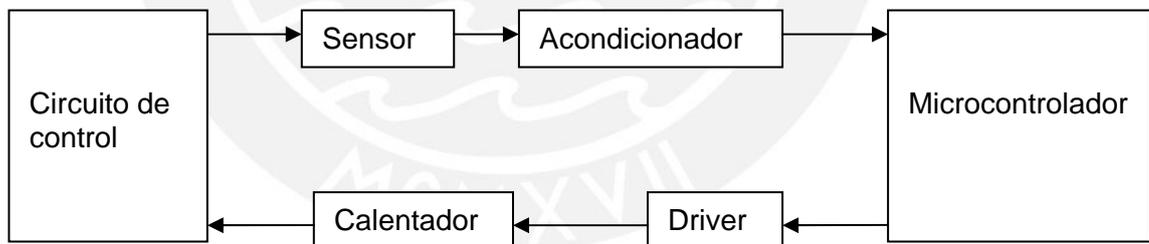


Figura 2.7.

Al poner en funcionamiento el banco de psicrometría, el ventilador comenzará a funcionar a la velocidad seleccionada, lo que generará un flujo de aire que atravesará toda la máquina, el cual se mantendrá constante gracias a que la máquina se encuentra sellada.

Para la etapa de estudio, el flujo de aire será medido por el sensor de temperatura y humedad, este a su vez enviará una señal (voltaje) al microcontrolador, pero antes

pasará por un circuito de acondicionamiento debido a que la señal original es muy pequeña y no podrá ser leída por el microcontrolador, es por ello la necesidad de un circuito de acondicionamiento para así hacer que la señal pueda ser leída por el microcontrolador.

Una vez que el microcontrolador recibe la señal, comprobará si esta es la salida deseada, en caso no fuera la deseada enviará una señal al circuito calentador que usará el driver quien se encargará de enviar mayor o menor voltaje, según sea el caso a las resistencias calefactoras.

Al variar el voltaje en las resistencias también se varía la cantidad de calor que estas emiten, lo que generará que la temperatura aumente o disminuya según sea el caso. El nuevo valor de temperatura será medido por el sensor y este a su vez enviará una señal al microcontrolador quien comprobará si se llegó a la temperatura deseada.

Para saber si el sistema de control está funcionando correctamente, se analizará los datos obtenidos en la carta psicrométrica de manera que cumplan con el proceso de calentamiento sensible.

2.4.2 Indicadores.

Para el desarrollo de la tesis es necesario conocer algunos parámetros que nos permitan determinar si nuestros resultados son los esperados, estos parámetros son:

- Precisión: El sistema requiere que los componentes de control cuenten con un grado de precisión de +/- 5%.
- Error en temperatura: Se requiere que el sistema posea un error de temperatura deseada de +/- 2°C.
- Tiempo de respuesta: El sistema requiere que el microcontrolador posea un tiempo de respuesta de 1 segundo.
- Rangos de funcionamiento: El sistema requiere que los sensores deban funcionar en los rangos de:
Temperatura: 30°C a 70°C.
Humedad : 20 a 90%

CAPÍTULO 3

DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL CONTROLADOR

En el presente capítulo se formularán las hipótesis y objetivos de la tesis. De igual manera se explicará el diseño de cada una de las tarjetas necesarias para implementar el controlador de la planta, así como la implementación y pruebas de funcionamiento de las mismas.

3.1 Hipótesis de la investigación.

3.1.1 Hipótesis principal.

Dado que en la Pontificia Universidad Católica viene modernizando los equipos de sus laboratorios, entre ellos el laboratorio de energía, para proporcionar una mejor enseñanza a los alumnos, entonces es posible automatizar la etapa de calentamiento y enfriamiento sensible del banco de psicrometría usando para ello tecnologías actuales y un sistema de control que permita realizar las experiencias en menor tiempo (la duración de la parte experimental en los laboratorios es de aproximadamente 2 horas).

3.1.2 Hipótesis secundarias.

- 1) Dado que existen sensores en el mercado que permiten medir temperatura y humedad, entonces se pueden usar estos para automatizar la primera etapa del banco de psicrometría.
- 2) Dado que el tiempo de respuesta de los microcontroladores es en microsegundos, entonces se pueden usar estos para el control de las variables que serán medidas al realizar la implementación.
- 3) Dado que el voltaje a la salida de un microcontrolador es pequeño en relación con el voltaje necesario para controlar las resistencias calefactoras, entonces se puede usar un driver para mejorar la señal de salida del mismo.

3.2 Objetivos de la investigación.

3.2.1 Objetivo general.

Se controlará el proceso de calentamiento y enfriamiento sensible correspondiente a la primera etapa del banco de psicrometría, el cual se encuentra conformado por unas resistencias calefactoras, las cuales serán controladas con un circuito que permita la variación de la temperatura de manera directamente proporcional a la variación del voltaje.

3.2.2 Objetivos específicos

- 1) Se utilizará los sensores de temperatura y humedad para la medición de las variables de estudio en el rango de temperatura (30-70 °C) y humedad (20% - Ambiente).
- 2) Se implementará un acondicionador de señal para que el microcontrolador pueda recibir la señal enviada por los sensores.
- 3) Se usará un microcontrolador para el elemento de control de las resistencias calefactoras con lo cual se llegará a los parámetros necesarios para realizar el experimento (temperatura de 30 a 70 °C).

4) Se implementará un driver que permitirá que la señal de salida del microcontrolador controle el voltaje de alimentación a las resistencias calefactoras, el cual puede variar entre 0 y 380 V.

3.3 Sistema Electromecánico.

El banco de psicrometría del laboratorio de energía es una unidad didáctica de la marca P.A. HILTON LTD. y presenta cuatro etapas; el proceso de calentamiento y enfriamiento sensible se realiza en la primera etapa, la cual se encuentra conformada por un ventilador (quien suministra el flujo de aire) y dos resistencias calefactoras (quienes entregan calor al ambiente), estas se encuentran ubicadas al interior de un ducto cuadrado de 10" de lado, que presenta una única salida.

El ventilador mencionado anteriormente es del tipo Sirocco y presenta un control de velocidad.

Por otra parte las resistencias calefactoras presentan una capacidad de 2kW.

A continuación se muestra unas fotografías de la primera etapa del banco de psicrometría donde al lado izquierdo observamos una vista general y al lado derecho observamos las resistencias calefactoras (Figura 3.1).



Figura 3.1.

3.4 Sistema Electrónico.

El proceso de calentamiento y enfriamiento sensible que se da en las resistencias calefactoras, se encuentran controladas solamente por un circuito divisor de voltaje, con el cual restringe la cantidad de voltaje que alimenta a cada una de ellas. Sin embargo este tipo de control no nos permite llegar a obtener una humedad y

temperatura deseada, ya que se varía el voltaje por medio de un potenciómetro y esto origina que se caliente o enfríe el ambiente, según sea el caso, hasta que se llegue a una estabilidad del sistema. En su mayoría no se llegan a obtener los valores deseados y es necesario ir aumentando o reduciendo la cantidad de voltaje suministrado, lo que origina que el experimento demore más de lo necesario.

3.5 Diagrama de Bloques.

El sistema de control que se implementará para controlar las resistencias calefactoras se muestra en el siguiente diagrama de bloques (Figura 3.2).

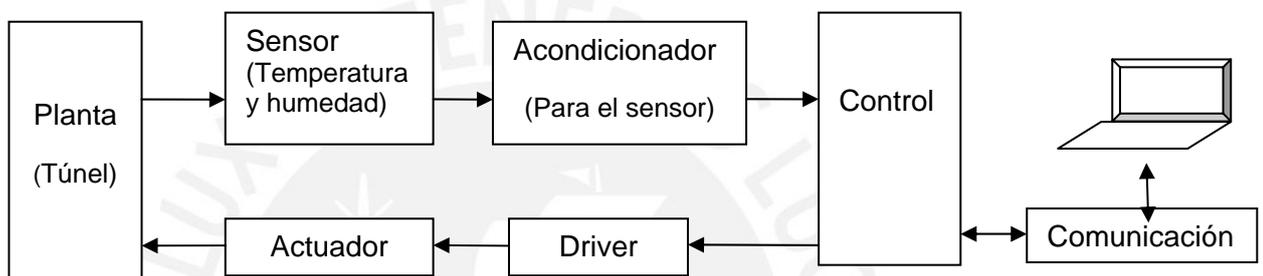


Figura3.2.

A continuación se desarrollará cada una de las etapas del diagrama de bloques.

3.5.1 Hardware

3.5.1.1 Sensor

Los parámetros requeridos durante el funcionamiento de la máquina son en cuanto a la variable de temperatura de 30°C a 70°C y en cuanto a la humedad de 20%-Ambiente (la humedad en la ciudad de lima varía entre 80% y 94% aproximadamente).

En el capítulo 2 de la presente tesis se definió las principales características que deben presentar los sensores para satisfacer nuestros requerimientos, sin embargo de toda la lista presentada se escogieron los dos sensores que presentan la mayor cantidad de características requeridas, estos son mostrados en la tabla 3.1.

Tabla N° 3.1

Fabricante/ Modelo	Rangos de temperatura	Error de lectura en temperatura	Rangos de Humedad	Error de lectura en humedad	Voltaje de entrada
JLC International/ Humidity and temperatura transmitter EE08	-40 °C a 80 °C	+/- 2°C	0% a 100%	+/- 3%.	4.5- 15 Vdc
Measurement Specialties/ HTM2500	-40 °C a 85 °C	+/- 2°C	1% a 99%	+/- 3%	3- 10 Vdc

Fuentes: [3] y [8].

El sensor que se elige para la medición de los parámetros de temperatura y humedad es el Humirel HTM-2500, esto debido a que su rango de funcionamiento es mayor al pedido (30°C-70°C), además si bien el rango de humedad es menor al del otro sensor, este detalle no es de mucha importancia ya que los rangos en dicho proceso son de entre 20% y 90%. Por último, se escogió dicho sensor por su disponibilidad.

3.5.1.2. Acondicionador

3.5.1.2.1 Diseño de la tarjeta del acondicionamiento del sensor

El sensor Humirel HTM-2500 permite registrar los valores de humedad y temperatura a la vez, pero para que estos valores puedan ser leídos por el microcontrolador necesitan de un circuito de acondicionamiento de señal.

Por ello se diseñó el circuito de la figura 3.3 que se encarga de acondicionar la señal que es enviada por el sensor que varía para el parámetro de humedad de 1 a 4 V pero en el caso de la temperatura, el sensor nos envía un valor de resistencia (rango de valores proporcionados por la hoja técnica).

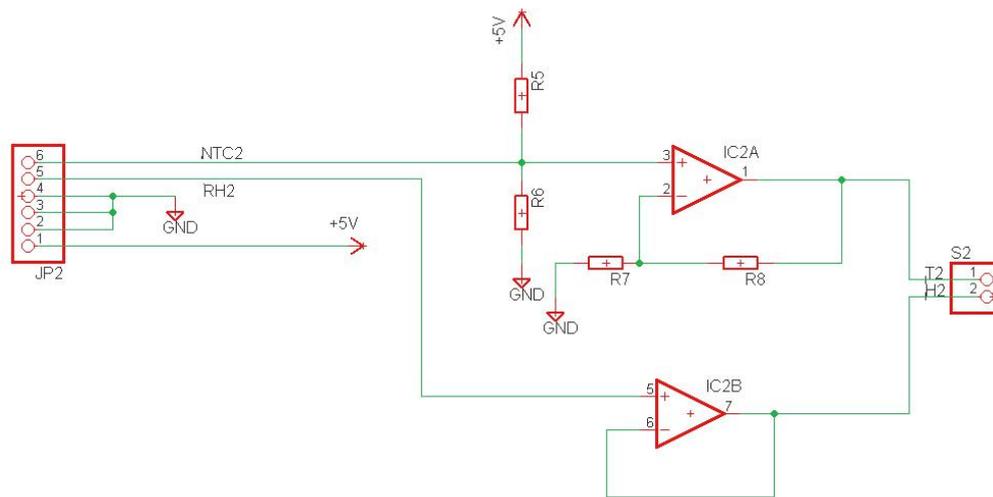


Figura 3.3.

La hoja de datos del sensor nos muestra que este presenta 5 señales a su salida (tierra, alimentación, protección, voltaje de humedad y NTC de temperatura). Además nos recomienda que se encuentre alimentado por 5V y que la protección se encuentre conectada a tierra.

El circuito de acondicionamiento se encuentra conformado en el caso de la humedad, por un buffer (LM358) que se encarga de evitar el efecto de carga debido a que los valores en voltaje que envía el sensor son de 1 a 4 V para valores de 10% a 90% (ver tabla 3.2), es por ello que no es necesario amplificar dicha señal.

Tabla N° 3.2

Humedad Relativa (%)	Voltaje salida (mV)	Humedad Relativa (%)	Voltaje salida (mV)
10	1235	55	2480
15	1390	60	2605
20	1540	65	2730
25	1685	70	2860
30	1825	75	2990

Continuación de la Tabla N° 3.2

35	1960		80	3125
40	2090		85	3260
45	2220		90	3405
50	2350		95	3555

Fuente: [3]

Para el caso de la temperatura la hoja de datos nos recomienda hacer un arreglo de resistencias, esto debido a que los valores de temperatura se representan por medio de una resistencia interna que se encuentra conectada a tierra y a la salida. Es por ello que para obtener los valores de temperatura en voltaje se debe hacer un arreglo de resistencias. En la tabla 3.3 se observa el valor de resistencia que corresponde a una temperatura dada.

Tabla N° 3.3

Temperatura en °C	Resistencia en Ohmios	Temperatura en °C	Resistencia en Ohmios
0	32014	35	6569
5	25011	40	5372
10	19691	45	4424
15	15618	50	3661
20	12474	55	3039
25	10000	60	2536
30	8080	65	2128

Fuente: [3].

Notamos que los valores de la resistencia interna varían entre 2128 ohmios (65°C) y 32014 ohmios (0°C), es por ello que se decide agregar una resistencia en paralelo R5 y otra que sirva de divisor de voltaje R6 que estará conectada a 5V. Entonces para linealizar la curva que se forma por el rango de valores de la resistencia interna del sensor se escoge los valores de R5 (10K) y R6 (15K), ya que con ellos se logra una mejor curva. Sin embargo el voltaje es menor al que puede leer el

microcontrolador, por ello se agrega R7 (3K) y R8 (3K) para aumentar el voltaje al doble.

A continuación se explica el circuito implementado.

Este circuito consiste en un amplificador de señal para de la resistencia variable y un seguidor de voltaje para la señal de la humedad. Para el caso de la temperatura, se conecta la resistencia variable a un divisor resistivo el cual la protege y permite obtener una señal de voltaje para la variación de temperatura. Posteriormente esta señal pasa por un amplificador no inversor y multiplica el valor de voltaje obtenido por una constante igual a 1.9, para luego obtener un mayor rango de voltaje comprendido entre 1.14V y 4.87V.

3.5.1.2.2 Implementación de la tarjeta de acondicionamiento

Una vez diseñado el circuito de acondicionamiento se procede a su implementación. A continuación se muestra la máscara de componentes en la figura 3.4 y la tarjeta implementada en la tarjeta 3.5.

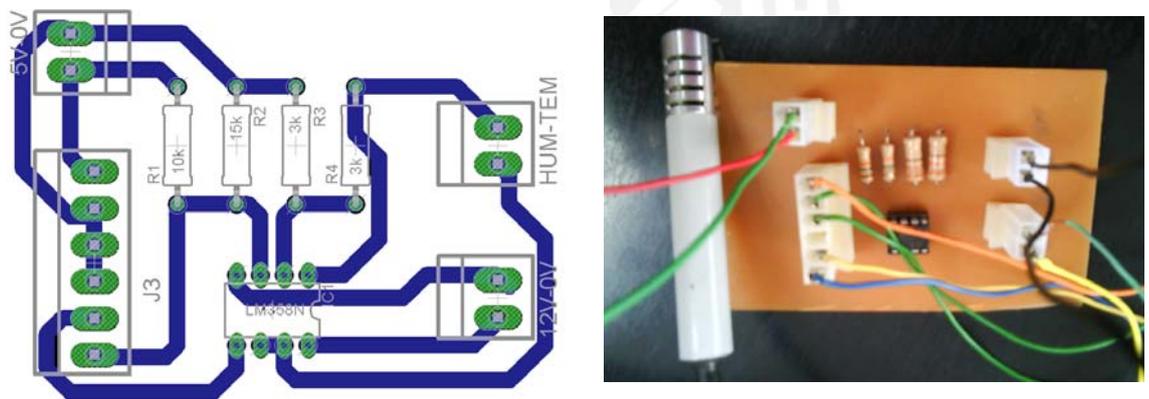


Figura 3.4 y 3.5

Adicionalmente se comprueba el funcionamiento de dicha tarjeta cuando se obtiene un valor de voltaje proporcional a la humedad medida por el sensor y otro voltaje proporcional a la temperatura medida. Lo cual se puede observar en la figura 3.6, donde notamos que el canal 1 (2.5 V) representa la humedad y el canal 2 (2 V), la temperatura.

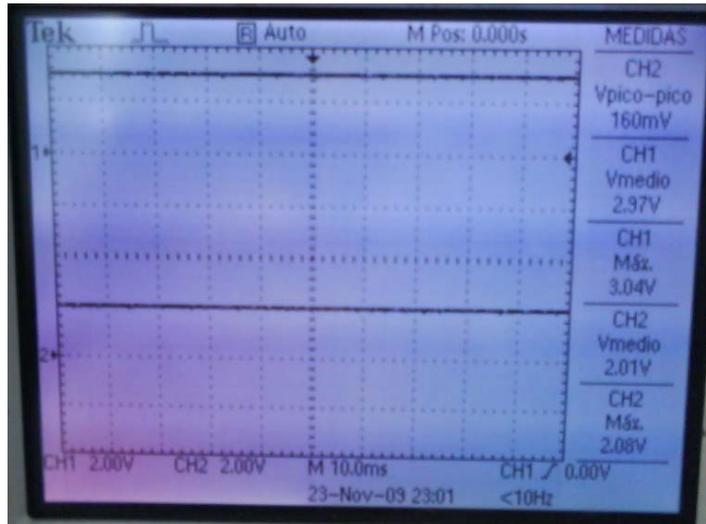


Figura 3.6

3.5.1.3 Control

3.5.1.3.1 Microcontrolador

El usuario requiere que el controlador implementado posea un tiempo de respuesta de 1 segundo, debido a que la variación de temperatura en las resistencias calefactoras es de hasta 10°C por cada 20 segundos. Motivo por el cual se observó que cualquiera de los microcontroladores presentados en el capítulo 2 podría satisfacer dicha condición.

De manera adicional se observó que para el control de las resistencias calefactoras se necesitaría un microcontrolador que posea como mínimo 13 pines de entrada y salida, ya que es de gran importancia que dicho elemento pueda recibir los parámetros del sensor y de la señal que le indique el comienzo de una onda alterna. Condición que también podía ser satisfecha por cualquiera de los microcontroladores presentados en el capítulo 2.

Es por ello que se escogió usar el microcontrolador atmega 8, ya que no solo cumple con los requisitos anteriormente pedidos, sino que también utiliza un lenguaje de programación (assembler) que es de conocimiento del programador debido a cursos previos.

3.5.1.3.1.1 Diseño de la tarjeta del microcontrolador

Dado que se escogió el atmega 8 como microcontrolador, el diseño de la tarjeta del mismo se basó en el modelo proporcionado en el Manual de Laboratorio del Curso de Sistemas Digitales [2], comparando previamente los componentes ingresados con la hoja de datos del mencionado microcontrolador. De manera adicional, se vió necesaria la integración del integrado Max 232 al mencionado microcontrolador, debido a que convierte las señales de un RS-232 (puerto serial) a señales adecuadas para un uso TTL compatible con la circuitería digital. Para su conexión con el microcontrolador se tuvo en consideración la hoja de datos del mencionado componente.

Por todo ello, se vio necesario usar el circuito mostrado en la figura 3.7.

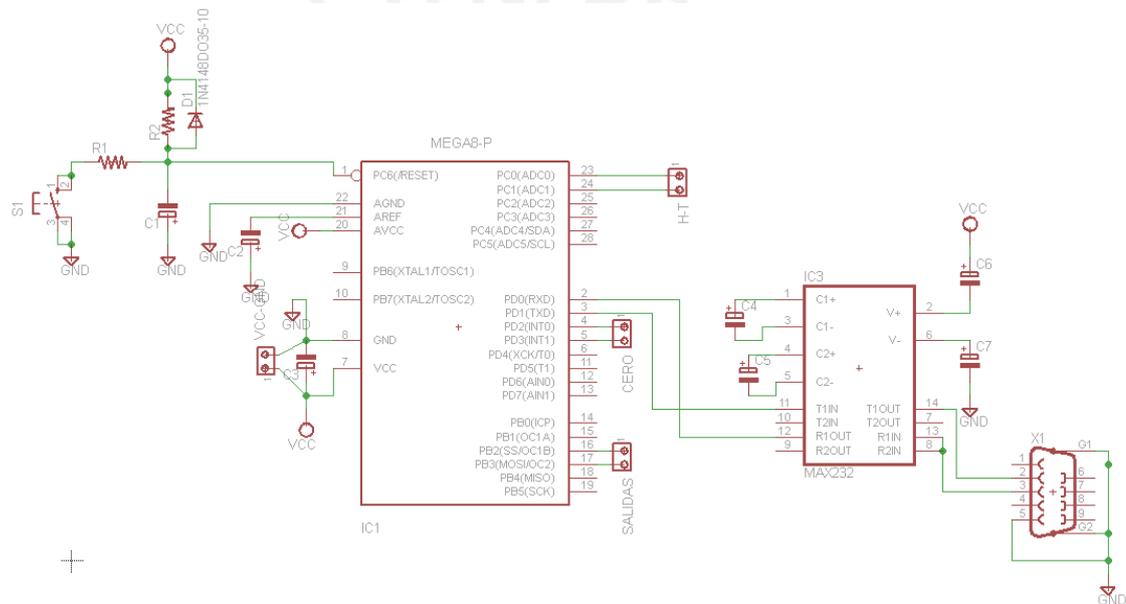


Figura 3.7

3.5.1.3.1.2 Implementación de la tarjeta del microcontrolador

Debido a que la tarjeta del microcontrolador se encarga de procesar las señales entregadas por el sensor y controlar los pulsos que ingresan a los drivers de las resistencias eléctricas, esta tarjeta se encuentra conformada por el atmega 8 (encargado de almacenar el programa), el max232 (permite la comunicación entre el atmega y el computador), puerto serial, entre otros componentes.

A continuación se muestra la máscara de componentes en la figura 3.8 y la tarjeta implementada en la figura 3.9.

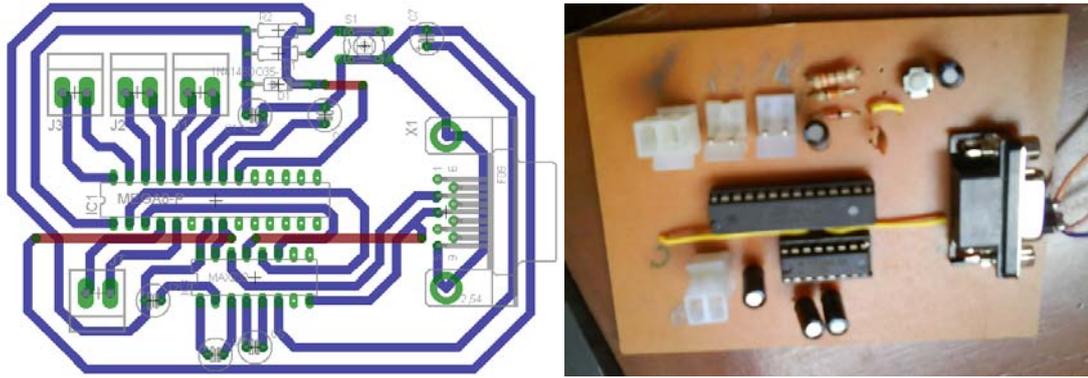


Figura 3.8 y 3.9

Se comprobará el correcto funcionamiento de la mencionada tarjeta, cuando se logre obtener una conexión con el computador que permita enviar y recibir datos.

3.5.1.3.2 Driver

3.5.1.3.2.1 Diseño de la tarjeta del driver.

El sistema de control de cada resistencia calefactora se realizará por medio de la señal que envíe el microcontrolador, dicha señal deberá ser adaptada antes de ser conectada a la resistencia calefactora. Por ello se escogió el siguiente circuito de la hoja de datos del opto-triac MCT6. Este circuito (ver figura 3.10) se usará para controlar cada una de las resistencias calefactoras.

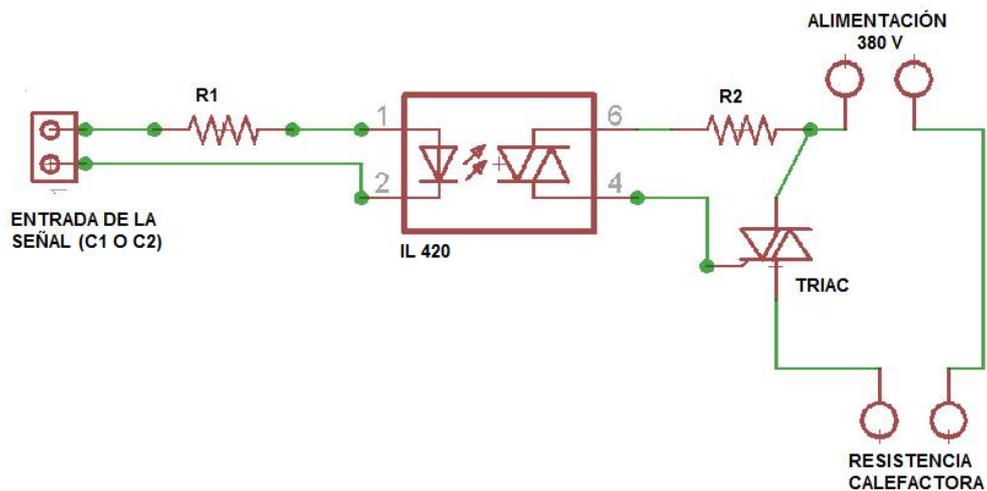


Figura 3.10

Se escogió el opto-triac IL420 porque permite controlar de manera aislada cargas resistivas o inductivas con alimentación de hasta 380 VAC. A continuación se detalla cómo se escogió los valores de los demás componentes del circuito.

Para hallar el valor de R1 usamos como datos el voltaje que proporcionará la entrada (5V), el valor de voltaje directo que puede soportar como máximo el IL420 (1.35V) y la corriente que se necesita para encender el led del IL420 (10 mA).

$$V_{\text{entrada}} - V_{\text{led}} = R1 * I_{\text{led}}$$

$$R1 = \frac{5 - 1.35}{10 * 10^{-3}} = 365 \text{ ohmios.}$$

Entonces el valor que se escoge para R1 es de 330 ohmios, por ser un valor comercial.

Para encontrar el valor de R2 consideramos que el voltaje de línea es 380 VAC RMS y que según hoja de datos el pico máximo repetitivo en un intervalo de 10 micro segundos es de 1 amperio.

$$R2 = \frac{V_{\text{pico}}}{I_{\text{pico}}} = \frac{380 * \sqrt{2}}{1} = 537.4 \text{ ohmios}$$

Entonces el valor que se escoge para R2 es de 540 ohmios, por ser un valor comercial.

Se escogió el triac BTA 16 porque trabaja hasta con 800 V y con 16 A (datos obtenidos en la hoja de datos del componente), considerando que en el peor de los casos la resistencia calefactora trabaja con $380\sqrt{2}$ V y con 10 A.

Una vez definidos todos los componentes del circuito de control de la resistencia calefactora y sus respectivos valores, pasamos a explicar el funcionamiento del mismo.

El microcontrolador envía una señal con valores de 0V (apagado) o 5V (encendido). Cuando deseamos encender la resistencia calefactora por un periodo de tiempo, el microcontrolador enviará un pulso de 5 V con periodo igual al tiempo de encendido deseado.

Dicho pulso (5V) al pasar por la R1 genera la cantidad de corriente suficiente para encender el led que se encuentra en el interior del opto-triac (IL420), lo que

generará que el opto-triac interno conduzca. Al conducir dicho triac generará una corriente de disparo que accionará un triac externo (BTA16). Una vez que conduzca este triac se cerrará un nuevo circuito compuesto por la resistencia calefactora y la fuente de alimentación, lo que permitirá que la carga se “encienda”.

En términos generales, el microcontrolador determina el momento en que se produce el disparo del triac y de esa manera la cantidad de potencia que se entrega a las resistencias.

3.5.1.3.2.2 Implementación de la tarjeta del driver.

A diferencia de la tarjeta anterior, esta tarjeta se diseñó con un grosor de pistas mayor debido a que la capacidad de corriente que circula por ellas es de hasta 10 A, motivo por el cual se tuvo que soldar sobre las pistas, cable sólido número 10 AWG.

En la figura 3.11 se observa la máscara de componentes y en la figura 3.12, la tarjeta implementada.

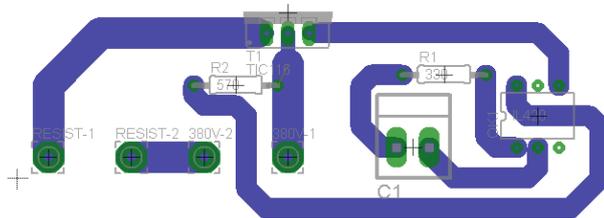


Figura 3.11 y 3.12

Para determinar el funcionamiento correcto de esta tarjeta es necesario ingresar un pulso en un determinado tiempo de la señal de alimentación. Es por ello que esta tarjeta depende del correcto funcionamiento del programa y de la tarjeta del microcontrolador.

3.5.1.3.3 Cruce por cero

3.5.1.3.3.1 Diseño del circuito de cruce por cero

Si bien el microcontrolador se encargará de controlar las resistencias calefactoras enviando 0 o 5 V, estos pulsos tendrán que ser enviados en un determinado

momento de la onda de 380 VAC (comba positiva o negativa) pero no deben ser enviados en cualquier momento, ya que de eso depende la cantidad de potencia que se le suministrará a cada resistencia calefactora. Es por ello que surge el diseño de un circuito que nos indique en qué momento enviar la señal del microcontrolador respecto a la onda alterna.

A continuación se muestra el diseño del circuito para generar el cruce por cero, en la figura 3.13.

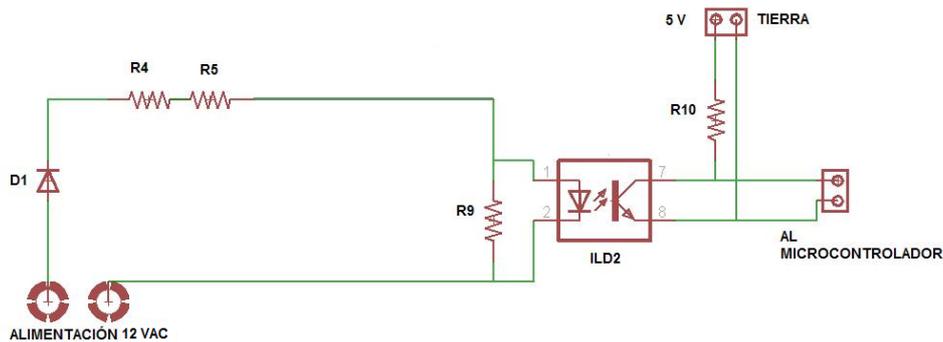


Figura 3.13

Se escogió el diodo 1N4001 (D1) debido a que soporta hasta 50 V y 1 A. Además se escogió el acoplador ILD2 porque soporta una tensión de prueba de aislamiento de 5300 Vrms.

Para hallar R4, R5 se consideró que la corriente de entrada es de 20 mA con un voltaje de 1.65 V (hoja de datos).

$$R = (16.97 - 1.65) / (20 \cdot 10^{-3}) = 766 \text{ ohmios}$$

No usamos una sola resistencia para evitar que esta consuma considerable potencia, es por ello que lo dividimos en 2 resistencias donde cada una tendrá un valor de 470 ohmios con lo que consumirán menos de 1 W.

Para hallar R9 se consideró que la corriente de reversa es de $10 \mu\text{A}$ con un voltaje a la entrada de 6 V (hoja de datos).

$$R9 = 6 / (20 \cdot 10^{-3} + 10 \cdot 10^{-6}) = 299.85 \text{ ohmios}$$

Entonces se escoge el valor de 300 ohmios para R10, por ser un valor comercial.

Para hallar R10 se consideró que al saturarse el transistor interno de ILD2 se genera un voltaje colector-emisor de 0.4 V (hoja de datos) y una corriente de colector de 1 mA.

$$R10 = (5-0.4) / (1 \cdot 10^{-3}) = 4\ 600 \text{ ohmios.}$$

Entonces se escoge el valor de 5000 ohmios para R10, por ser un valor comercial.

Una vez definido los valores de todos los componentes se procede a explicar el circuito.

La señal de alimentación (entrada) es de 12 Vac que al pasar por el diodo D1 se rectifica, para luego por medio de las resistencias generar una corriente que encienda el led interno del ILD2 (combas positivas) y así saturar el transistor, con lo que se obtendrá a la salida 0V. Caso contrario sucederá en las combas negativas, donde el led permanecerá apagado, el transistor en corte y a la salida se obtendrá 5V.

3.5.1.3.3.2 Implementación del circuito de cruce por cero

La tarjeta de cruce por cero recibe como señal de entrada 12 VAC, que es el resultado de pasar 380 VAC por un transformador. Dicha señal es rectificada al pasar por un diodo y con ayuda de las resistencias de potencia genera una corriente circulante en el orden de los mA, lo cual evita diseñar pista de un considerable grosor.

A continuación, se muestra la máscara de componentes en la figura 3.14 y la tarjeta implementada en la 3.15

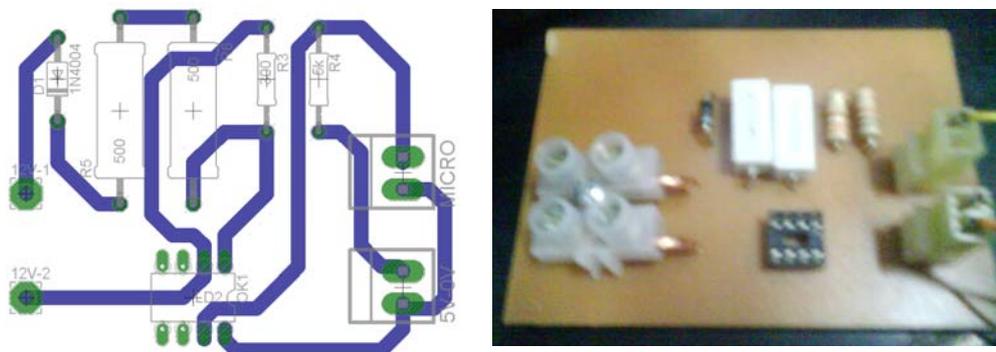


Figura 3.14 y 3.15

Se determina el correcto funcionamiento de dicha tarjeta cuando se obtiene una señal cuadrada a la salida de la misma, la cual se puede observar en la figura 3.16.

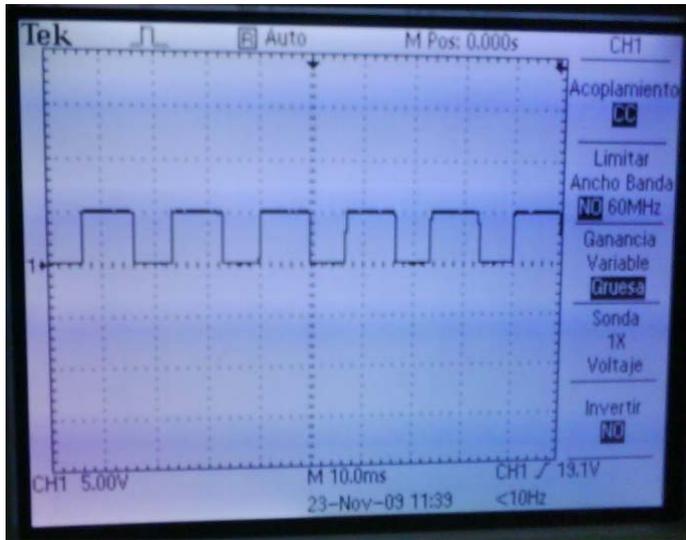


Figura 3.16

3.5.2 Software

3.5.2.1 Introducción

El programa que se realizará en el microcontrolador atmega 8, presentará una interfaz usuario-máquina que permita al usuario el ingreso de la variable requerida, así como la visualización de los parámetros de humedad y temperatura medidos con un intervalo de dos datos por minuto.

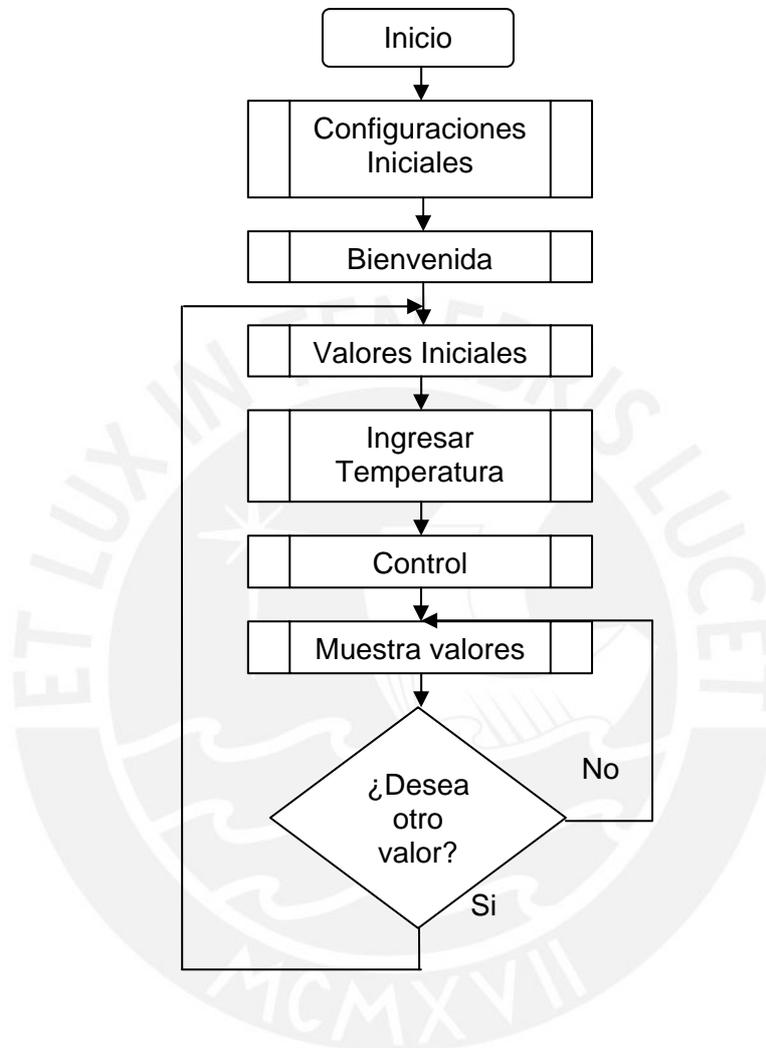
La visualización de todos los parámetros se realizará en la pantalla de un computador que será proporcionado por el Laboratorio de Energía. Donde se utilizará el Hyperterminal para la recepción de los datos enviados del controlador y la transmisión del valor ingresado por el usuario.

Los valores de configuración del Hyperterminal serán los mismos que los del USART del microcontrolador.

3.5.2.2 Diseño del programa principal

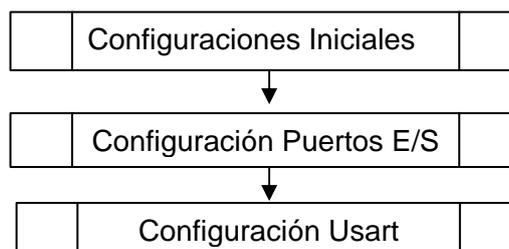
El programa principal está diseñado para mostrar al usuario durante el tiempo que se llegue al valor de humedad deseado por el usuario, el cual será ingresado y validado al inicio del programa, los valores de humedad y temperatura cada 30

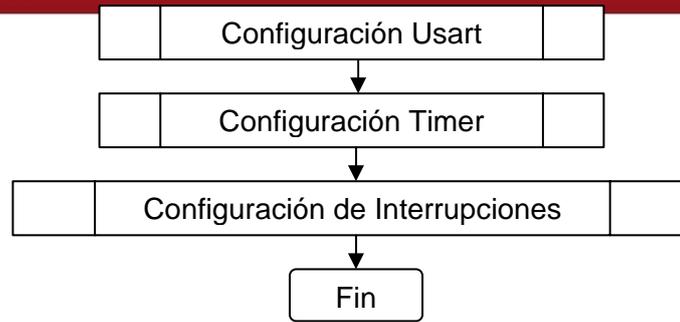
segundos (valor determinado por la variación de los parámetros en el interior de la banca psicrométrica) para que con estos valores el usuario pueda ingresar a la carta psicrométrica y verificar si se cumple el proceso de calentamiento o enfriamiento sensible.



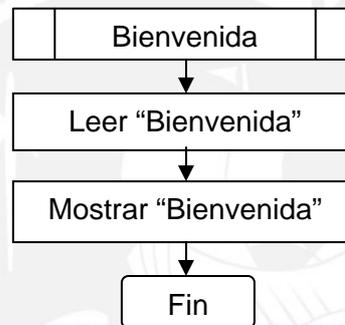
3.5.2.3 Diseño de las subrutinas.

La primera subrutina es la de configuraciones iniciales, cumple la función de inicializar cada una de las variables que serán necesarias a lo largo del desarrollo del programa principal.

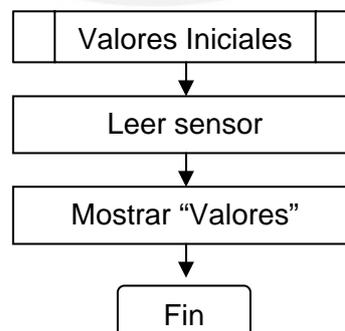




La segunda subrutina es la de bienvenida, cumple la función de mostrar el mensaje de bienvenida al usuario por medio de un texto (“Bienvenido a la etapa de calentamiento y enfriamiento sensible”) que será mostrado en la pantalla del computador. Para ello el microcontrolador lee el mensaje de una tabla predeterminada y luego lo envía por el USART.

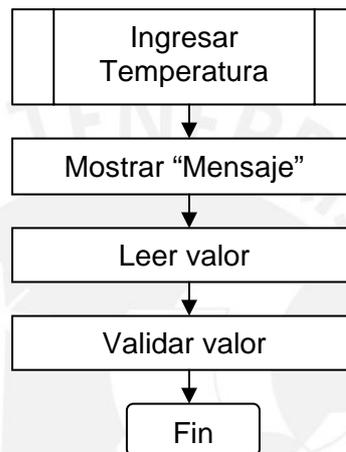


La tercera subrutina es la de valores iniciales, cumple la función de mostrar al usuario los valores de temperatura y humedad de la máquina en el momento que se ejecuta la subrutina. Para ello el microcontrolador lee los valores del sensor por medio del ADC y luego envía los un mensaje con los respectivos valores por medio del USART.

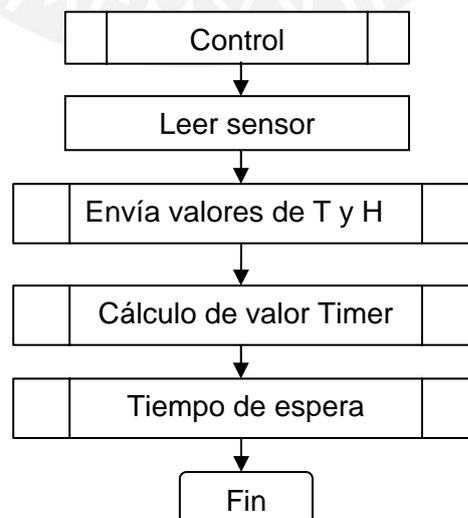


La cuarta subrutina es ingresar humedad, cumple la función de permitir al usuario ingresar un valor de humedad al cual desea trabajar, siempre que ello se encuentre en el rango permitido.

Para ello se envía un mensaje que contiene el rango de valores permitidos, luego se espera el ingreso de la humedad deseada. Una vez ingresada, se comprueba si el valor ingresado se encuentra en el rango correcto, si es así se valida la operación, caso contrario se envía un mensaje de error.



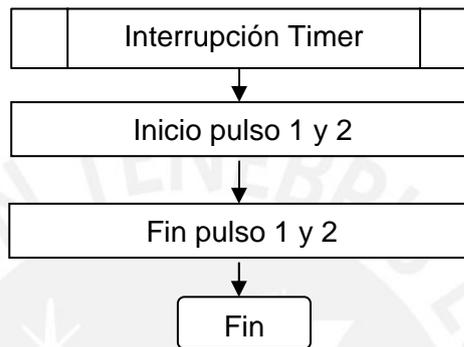
La quinta subrutina es la de control, cumple la función de proporcionar a las resistencias calefactoras la potencia necesaria para llegar al valor de temperatura ingresado por el usuario. Para ello se lee el valor de los sensores, se compara con el valor ingresado por el usuario y con ello se calcula cuanto potencia necesitan las mencionadas resistencias. Dicho valor será ingresado a la interrupción de Timer.



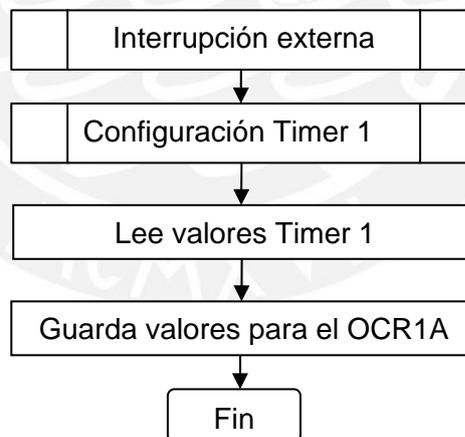
3.5.2.4 Diseño de las interrupciones.

Debido a que el programa principal necesita enviar pulsos para controlar la temperatura y simultáneamente necesita enviar los valores del sensor vía serial. Se vio conveniente, enviar los pulsos vía interrupciones.

La primera interrupción utilizada es del tipo Timer 1 y en ella se generará el pulso cada vez que se cumpla el tiempo del registro OCR1A, previamente calculado.



La segunda interrupción es del tipo interrupción externa, que para este caso es la señal generada por cruce por cero. En esta interrupción se configura el Timer 1 con los valores hallados anteriormente.



CAPÍTULO 4

SIMULACIONES Y PRUEBAS DE LABORATORIO

En el presente capítulo se describe los resultados de la integración de las tarjetas implementadas, la forma como se halló el controlador para la planta y las pruebas finales para comprobar el correcto funcionamiento del mismo.

4.1 Verificación de la integración de la tarjeta de control y la tarjeta del sensor

Como se explicó anteriormente, se diseñó un programa que permitiera visualizar los parámetros de temperatura y humedad en la pantalla del computador.

Si bien en el capítulo 3 se comprobó el funcionamiento de la tarjeta del sensor, no se llegó a comprobar el funcionamiento de la tarjeta de control, debido a la dependencia que existe entre estas. Es por ello que se procedió a integrar dichas tarjetas y se obtuvo la figura 4.1, la cual muestra los datos enviados por la tarjeta de control vía comunicación serial (texto) y también los datos enviados por el sensor a la tarjeta de control (parámetros de temperatura y humedad).

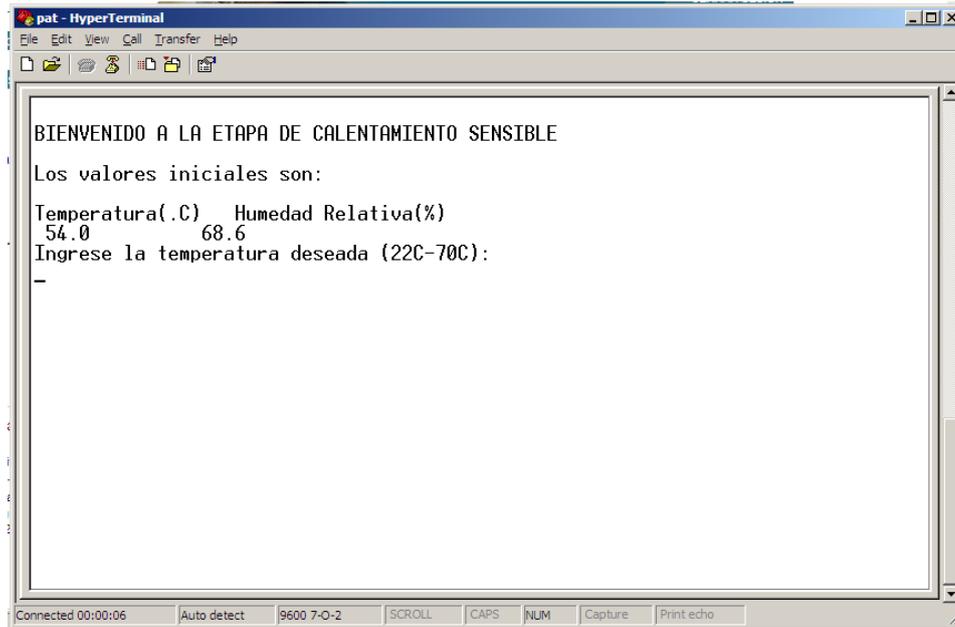


Figura 4.1

4.2 Verificación de lectura de parámetros correctos en el sensor

Si bien anteriormente se demostró tanto el funcionamiento de la tarjeta de control como de la tarjeta del sensor, no se logró verificar si los parámetros enviados por el sensor eran correctos.

Por ello, para verificar que los parámetros (temperatura y humedad) visualizados en el computador eran los correctos, se tuvo que utilizar el termómetro de bulbo seco y/o una termocupla con display digital como patrón para la medición de temperatura, y a su vez el uso de un termómetro de bulbo húmedo y la carta psicrométrica, para la medición de la humedad.

En la figura 4.2 observamos el valor que muestra el sensor (23.1°C) en la pantalla del computador difiere del valor mostrado por la termocupla con display digital (21.8°C) en la figura 4.3. Esta diferencia de casi 2°C se encuentra considerada en la hoja técnica del sensor. Pero puede mejorada por medio del programa principal, debido a que las señales que el envía el sensor es acondicionada a un polinomio debido al comportamiento que presenta.

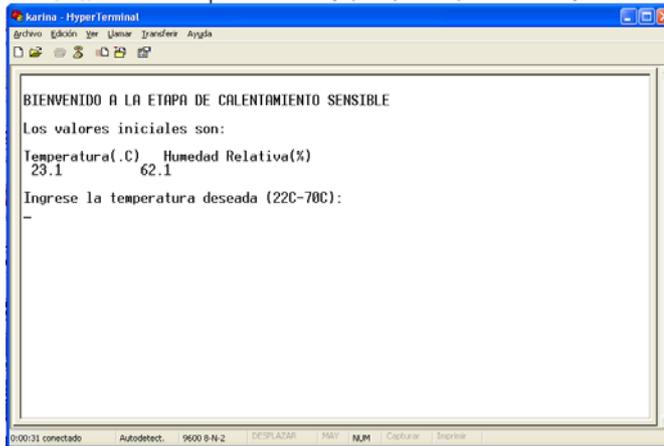


Figura 4.2 y 4.3.

Como los parámetros enviados por el sensor son de gran importancia ya que determinan si se presenta un margen de error, se pasó a mejorar la curva del sensor por medio del programa. Para ello se fue cambiando los valores de Offset y Número de la ecuación que se muestra a continuación para la medición de temperatura:

$$\text{Temperatura (2 registros)} = \text{Offset} - \text{Numero} * \text{Valor de ADC}$$

Se realizaron varias pruebas (Tabla 4.1) y se determinó que los valores para el Offset y Número eran los de 8994 y 17 respectivamente. Cabe mencionar que cada una de las pruebas se realizó durante 10 minutos (tiempo de establecimiento) en la banca de psicrometría de actual uso del laboratorio.

Tabla N°4.1

Prueba	Valores		Valores de temperatura (°C)	
	Offset	Número	Sensor	Termómetro
1	5810	7	26.4	31
2	5810	8	25.6	31
3	5274	8	22.1	25.4
4	6174	10	23.7	25.8
5	6574	11	24	25.8

Continuación de la Tabla N° 4.1

7	7774	14	29	31.4
8	8574	16	30	31.2
9	8894	17	30.1	31

Fuente: Elaboración propia.

4.3 Resultados de la integración de las tarjetas implementadas

Si bien comprobamos anteriormente el funcionamiento de cada una de las tarjetas por separado, así como la integración de la tarjeta de control y la tarjeta del sensor. Nos vemos en la necesidad de comprobar cómo último paso el funcionamiento de la tarjeta del driver, antes de la integración de todas las tarjetas del sistema.

La tarjeta del driver es dependiente de las tarjetas explicadas anteriormente, esto debido a que necesita recibir pulsos enviados por el microcontrolador para incrementar la temperatura hasta el valor ingresado por el usuario (tarjeta del sensor). Pero dichos pulsos no pueden ser enviados al azar ya que esto implicaría que las resistencias trabajen con diferentes potencias en un periodo corto de tiempo y a la vez podría causar que se le diera un 100% de potencia con lo cual perjudicaríamos al sensor (quien no trabaja a más de 85°C). Es por ello que es necesaria la tarjeta del cruce por cero, ya que está nos indicará en qué momento empieza o termina la onda alterna que alimenta a las resistencias eléctricas.

Al integrar la tarjeta de cruce por cero, control y del sensor se obtuvo la figura 4.4, donde en el canal 1 se muestra la señal de salida de la tarjeta de cruce por cero y en el canal dos la señal de salida de la tarjeta de control, que será enviada a los drivers. Cabe mencionar que se ingresó la temperatura de 26 °C en el computador y que la planta se encontraba trabajando en lazo abierto.

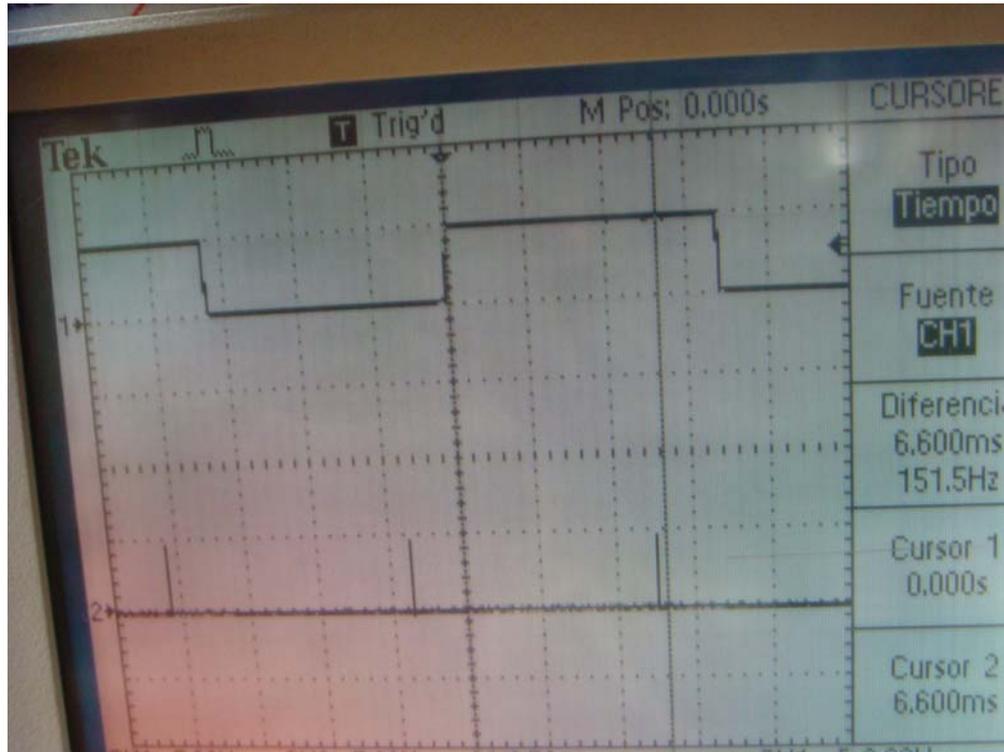
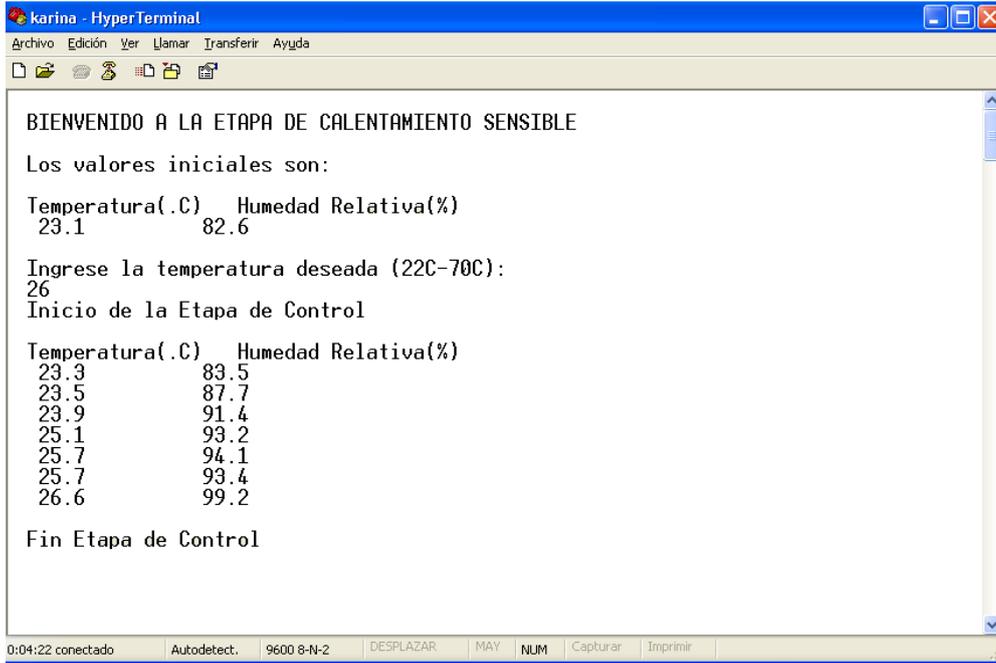


Figura 4.4

Adicionalmente, se verificó las tarjetas de los drivers y con ello, el funcionamiento de la integración de todas las tarjetas implementadas. Para ello se conectó las tarjetas de los drivers a las salidas correspondientes de la tarjeta de control y se obtuvo la figura 4.5, donde se observa la temperatura va incrementando conforme pasa el tiempo (se muestra un nuevo valor cada 30 segundos) con lo que se demuestra el funcionamiento de las tarjetas de los drivers y de todas las tarjetas en conjunto. Cabe mencionar que la tarjeta de control se conectó al computador vía cable serial y que para visualizar los parámetros se debió configurar el Hyperterminal con los valores de 9600 bits por segundo, 7 bits de datos, paridad impar, 2 bits de parada y ningún control de flujo (datos iguales a los determinados en el programa para el uso del USART).



```

karina - HyperTerminal
Archivo Edición Ver Llamar Transferir Ayuda
BIENVENIDO A LA ETAPA DE CALENTAMIENTO SENSIBLE
Los valores iniciales son:
Temperatura(.C)  Humedad Relativa(%)
23.1              82.6
Ingrese la temperatura deseada (22C-70C):
26
Inicio de la Etapa de Control
Temperatura(.C)  Humedad Relativa(%)
23.3            83.5
23.5            87.7
23.9            91.4
25.1            93.2
25.7            94.1
25.7            93.4
26.6            99.2
Fin Etapa de Control
0:04:22 conectado  Autodetect.  9600 8-N-2  DESPLAZAR  MAY  NUM  Capturar  Imprimir

```

Figura 4.5

4.4 Cálculo del controlador para el programa principal

Una vez comprobado el funcionamiento de todas las tarjetas implementadas e integradas entre ellas, se pasó a determinar el controlador para la planta.

Para escoger el controlador ideal se tuvo que hallar la función de transferencia de la misma. Para ello se analizó la respuesta de la planta en lazo abierto enviando por medio de la tarjeta de control, pulsos a los drivers en un rango de 3.5ms a 7.2ms (tiempo calculado desde el inicio de una comba). Se escogió dicho rango debido a que si bien la señal de alimentación de las resistencias trabaja a una frecuencia de 60 Hz o un periodo de 8.3ms por comba, nada nos asegura que dicha señal se mantiene constante en el tiempo y además se vio conveniente dichos rangos ya que un valor mayor a 7.2ms no afectaba a la planta y un valor menor a 3.5ms generaba temperaturas mayores a 70°C, con las cuales podríamos dañar al sensor.

Para cada valor de tiempo (calculado desde el inicio de la comba de alimentación) mostrado en la Tabla 4.2, se esperó un tiempo de 10 minutos antes de tomar el valor de temperatura, esto debido a que planta presenta un tiempo de establecimiento de 6 minutos.

Tabla N° 4.2

Tiempo	Temperatura (°C)	Tiempo	Temperatura (°C)
7.2ms	21	5.2ms	40.2
7.1ms	21.6	5.1ms	41
6.9ms	22.2	5.0ms	43.6
6.8ms	23.1	4.9ms	45
6.6ms	24.2	4.8ms	45.8
6.5ms	25	4.7ms	49
6.4ms	25.6	4.6ms	50.5
6.3ms	26.4	4.5ms	51.7
6.2ms	27.2	4.4ms	53
6.1ms	28.2	4.3ms	56.5
6.0ms	29	4.2ms	59
5.9ms	30.8	4.1ms	60
5.8ms	32.2	4.0ms	62
5.7ms	32.8	3.9ms	65
5.6ms	34	3.8ms	66
5.5ms	36.4	3.7ms	66.7
5.4ms	37.6	3.6ms	68
5.3ms	38.8	3.5ms	71.5

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos obtenidos luego de realizar todas las variaciones de tiempo en el rango de 3.5ms y 7.2ms, se pasó a realizar la gráfica (tiempo vs temperatura) mostrada en la figura 4.6, la cual fue elaborada en el programa Matlab y donde se ubicó la parte lineal de la misma. Cabe mencionar que dicha grafica fue el complemento de 8.3ms (equivalente a la mitad del periodo de la señal de alimentación) en cuanto a la variable de tiempo, esto se hizo con la finalidad de apreciar mejor el comportamiento de la planta. La variable de temperatura se mantuvo igual.

Como se puede observar en dicha gráfica, esta presenta una parte lineal ubicada entre los rangos de temperatura de 29°C y 46°C o su equivalente en tiempo (calculado desde el inicio de la comba de la señal de alimentación) de 2.3ms y 3.5ms (complementos de 6ms y 4.8ms respecto a 8.3ms).

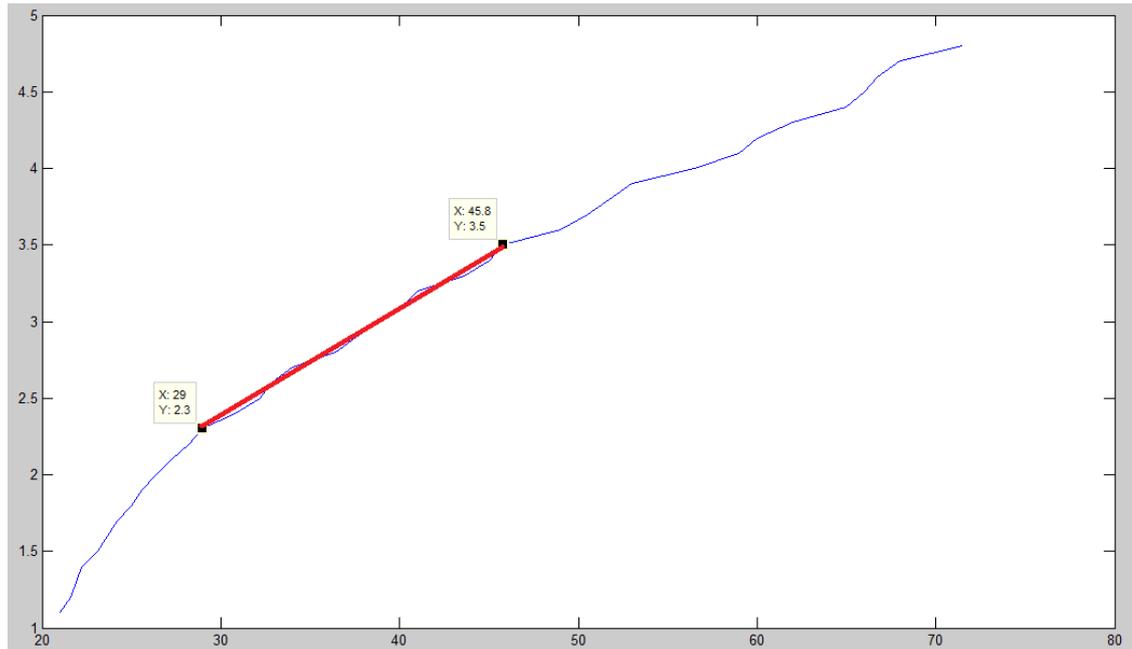


Figura 4.6

Una vez hallada la parte lineal se procedió a ingresar a la planta, un escalon en el rango de 29 °C a 45 °C (parte lineal), lo cual generó que esta se comporte de la manera mostrada en la figura 4.7. Donde además, se puede apreciar que la planta presenta un comportamiento de primer orden sin retardo, lo cual nos sirve para determinar los parámetros de la función de transferencia.

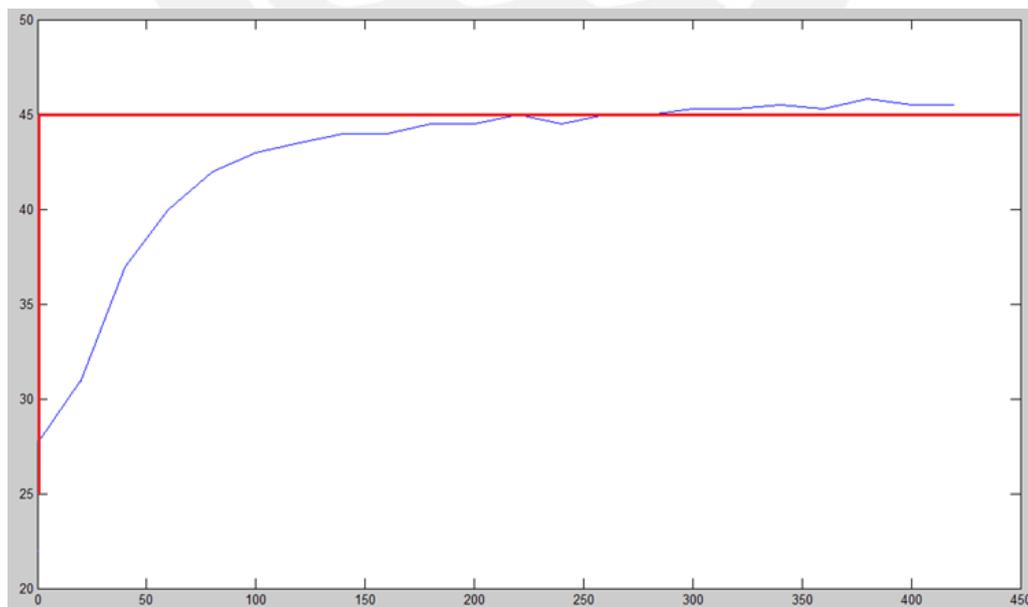


Figura 4.7

Como se dijo anteriormente la gráfica es de primer orden sin retardo, por tanto la función de transferencia se calculó de la siguiente manera.

Primero, se calculó la diferencia entre la temperatura final e inicial alcanzada por la planta: $Y_f - Y_o = 46 - 27 = 19$.

Segundo, se calculó la diferencia entre los valores proporcionados al escalón: $U_f - U_o = 45 - 25 = 20$.

Tercero, se pasó a dividir dichos parámetros para hallar el valor del numerador de la función: $K = 19/20 = 0.95$

Cuarto, se pasó a calcular el valor del coeficiente de S, para ello se halló la temperatura que nos indicará mediante la gráfica el valor del tiempo correspondiente: $Y_{63} = Y_o + 0.63*(Y_f - Y_o) = 27 + 0.63*(19) = 38.97$.

Con este valor de Y_{63} se ubica en la gráfica del proceso, el valor de $T_{63} = 60s$ y de $T_0 = 0s$. Por tanto $t = T_{63} - T_0 = 60 - 0 = 60s$.

Finalmente la función de transferencia de la planta es $G(s) = k / (t*S + 1) = 0.95 / (60S+1)$.

Por tanto el diagrama de bloques del sistema se muestra en la figura 4.8.

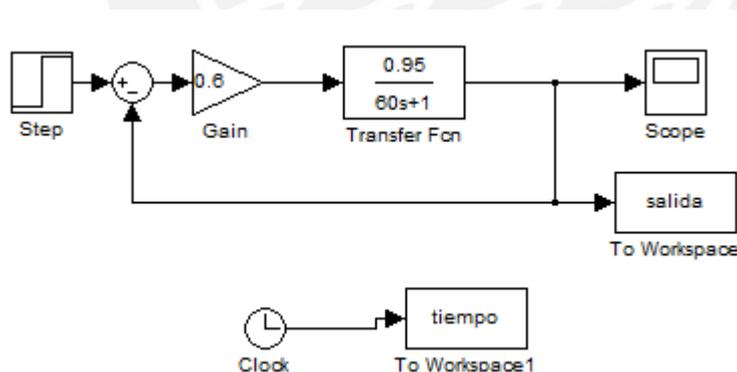


Figura 4.8

El siguiente paso fue determinar el valor de la constante de proporcionalidad, para ello se ingresó el valor de $K_p=1$ en la simulación de Matlab con lo que se obtuvo la figura 4.9, donde se observa que la planta se estabiliza en $34^{\circ}C$, lo cual no es conveniente ya que se debía estabilizar en $25^{\circ}C$.

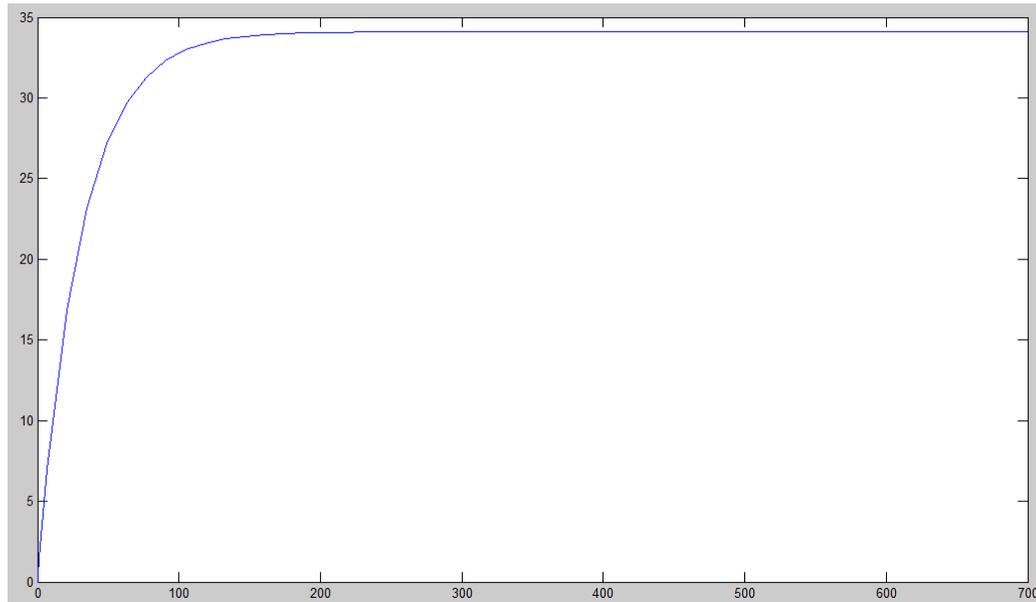


Figura 4.9

Se continuó probando con diferentes valores de K_p (constante de proporcionalidad) hasta que se obtuvo una respuesta más aproximada a la ideal. Dicha respuesta se halló al ingresar el valor de $K_p=0.6$ (Figura 4.10), donde se aprecia que la planta se aproxima a 25 °C en el periodo de establecimiento, con un error muy pequeño (0.5°C).

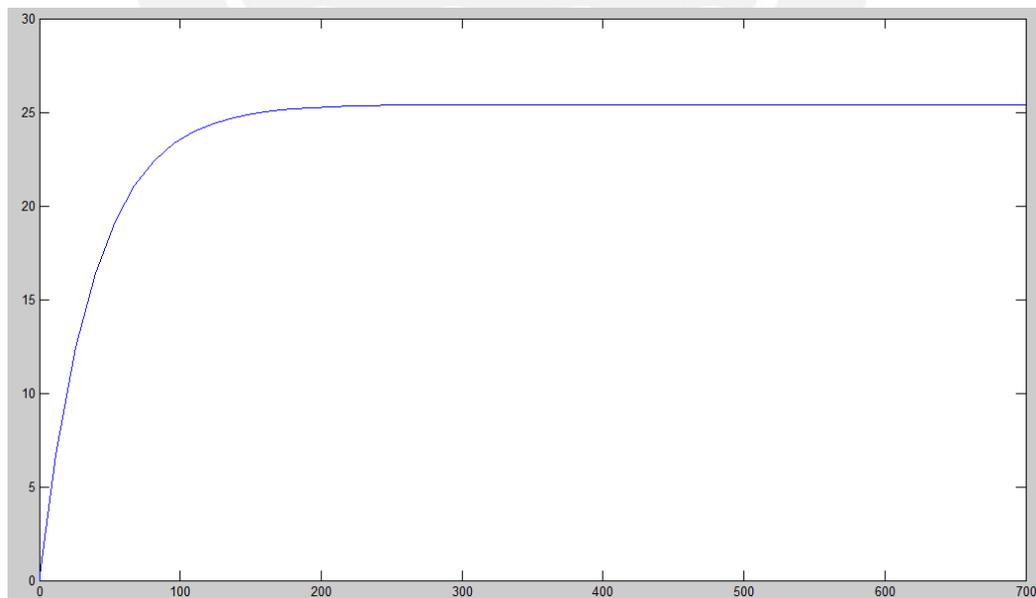


Figura 4.10

Por tanto debido a que la planta no requiere de un tiempo mínimo de establecimiento, dado que los ensayos de laboratorio a nivel educativo tienen un tiempo de realización mínimo de 1 hora, y considerando que se necesita que dicha planta no presente grandes picos de corriente porque ello podría causar daños en los sensores y en las resistencias eléctricas. Se escoge para el desarrollo del programa, el valor de K_p de 0.6.

Debido a que se necesita ingresar el valor de 0.6 al programa principal, se buscó que números al ser divididos entre ellos presentaban un error mínimo (ver tabla 4.3), ya que debido no se pueden ingresar valores decimales al Atmega 8.

Tabla N° 4.3

Denominador	K_p	Denominador* K_p	Numerador	Valor de K_p
2	0.6	1.2	1	0.5
4	0.6	2.4	2	0.5
8	0.6	4.8	5	0.625
16	0.6	9.6	10	0.625
32	0.6	19.2	19	0.59375
64	0.6	38.4	38	0.59375
128	0.6	76.8	77	0.6015625
256	0.6	153.6	154	0.6015625

Fuente: Elaboración propia.

Por tanto se escogió como numerador 154 y como denominador 256, dado que nos dan un valor más preciso de K_p (0.6). Dichos parámetros ingresaron al programa mediante la siguiente ecuación:

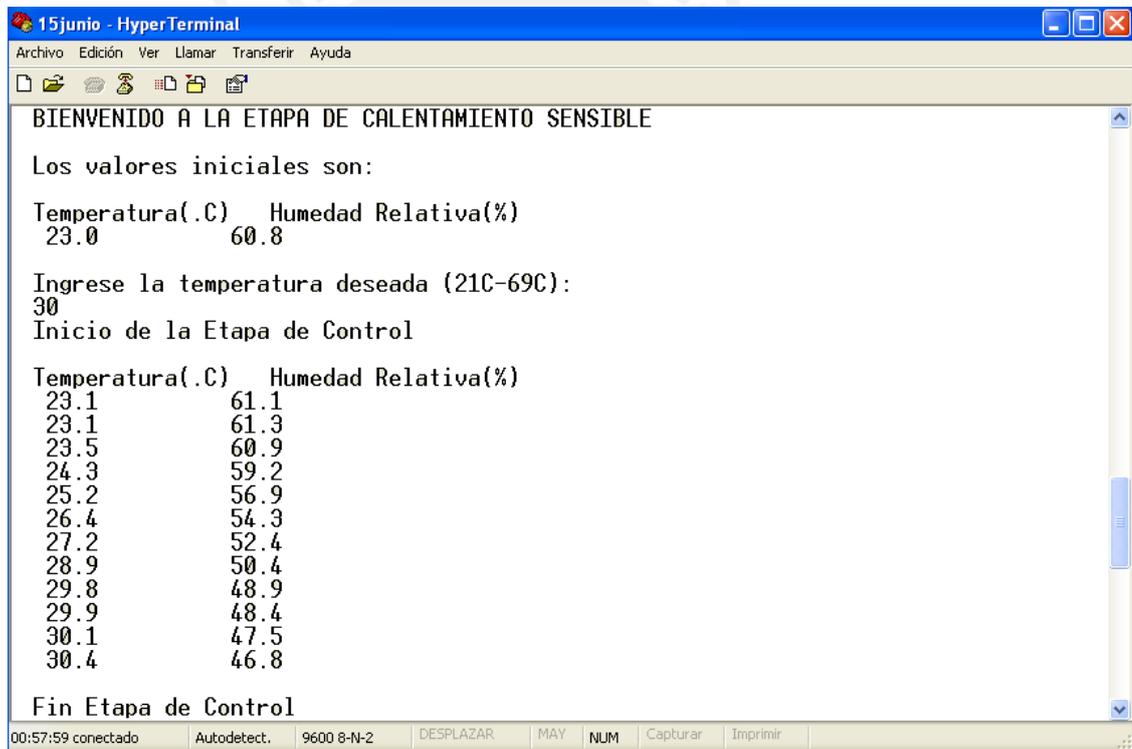
$$\text{Valor Final} = \text{Valor anterior} + K_p * (\text{Error})$$

donde el error es la diferencia entre el valor ingresado por el usuario (vía computador) y el valor muestreado por el sensor en ese momento. Adicionalmente se tuvo que acondicionar los valores resultantes de dicha ecuación debido a que eran muy pequeños para ser ingresados en el OCR1A del Timer 1 (lugar donde se realizará indicará en qué momento se debe enviar los pulsos a los drivers). Debido a que el programa principal trabaja con un preescalador de 8, se vio en la necesidad de acondicionar los valores resultantes a un rango de 400 a 900 (valor que ingresará al OCR1A).

4.5 Pruebas del funcionamiento del programa implementado.

Una vez programado el microcontrolador con el parámetro hallado ($K_p=0.6$) se pasó a probar el funcionamiento de todas las tarjetas (sensor, microcontrolador, driver) y del programa general.

Para dicha experiencia se ingresó por medio del computador el valor de 30 °C (valor hasta donde debería llegar a calentar la planta) y se observó el comportamiento de la planta. Como se puede observar en la figura 4.11 la temperatura inicial de la planta fue de 23 °C, y después fue aumentando progresivamente (cada 30 segundos es mostrado un nuevo dato de temperatura) hasta que se llegó al valor deseado por el usuario (30 °C), momento en el cual aparece en la pantalla la frase “Fin de etapa de control”.



```

15junio - HyperTerminal
Archivo Edición Ver Llamar Transferir Ayuda
BIENVENIDO A LA ETAPA DE CALENTAMIENTO SENSIBLE
Los valores iniciales son:
Temperatura(.C) Humedad Relativa%
23.0 60.8
Ingrese la temperatura deseada (21C-69C):
30
Inicio de la Etapa de Control
Temperatura(.C) Humedad Relativa%
23.1 61.1
23.1 61.3
23.5 60.9
24.3 59.2
25.2 56.9
26.4 54.3
27.2 52.4
28.9 50.4
29.8 48.9
29.9 48.4
30.1 47.5
30.4 46.8
Fin Etapa de Control
00:57:59 conectado Autodetect. 9600 8-N-2 DESPLAZAR MAY NUM Capturar Imprimir
  
```

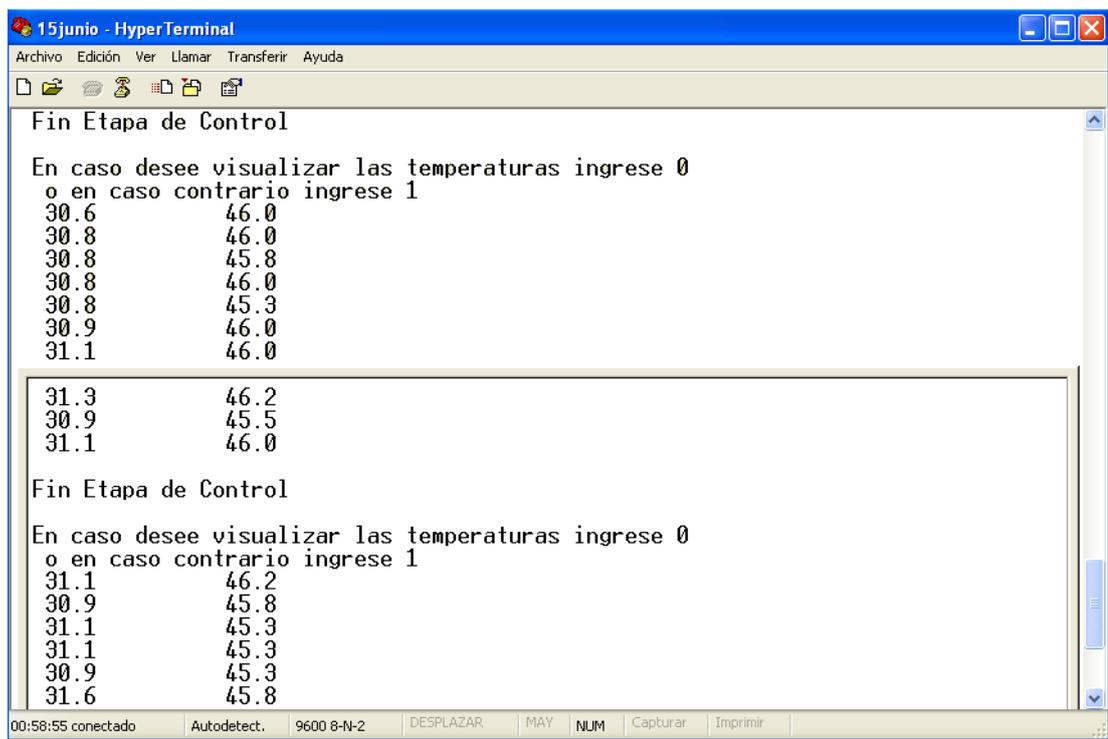
Figura 4.11

Una vez que se llega a la temperatura deseada el programa da a elegir al usuario si desea seguir visualizando las temperaturas o en caso contrario empezar con otra temperatura. Como se puede apreciar en la figura 4.12 se escogió la opción de visualización para verificar que la planta se mantuviera estable. Cabe mencionar

que en esta etapa la visualización de los datos se realiza cada 60 segundos y una vez culminado la presentación de 10 nuevos datos se procede a volver a preguntar al usuario la opción anterior (seguir visualizando o empezar una nueva toma).

Como se puede apreciar en la gráfica 4.13 se volvió a elegir la opción de visualización para así continuar viendo el comportamiento de la planta. Teniendo en cuenta que la primera columna presentada corresponde a la temperatura en °C y la segunda columna corresponde a la humedad relativa en %.

Cabe mencionar que en total se realizaron 42 tomas en un periodo de 36 minutos.



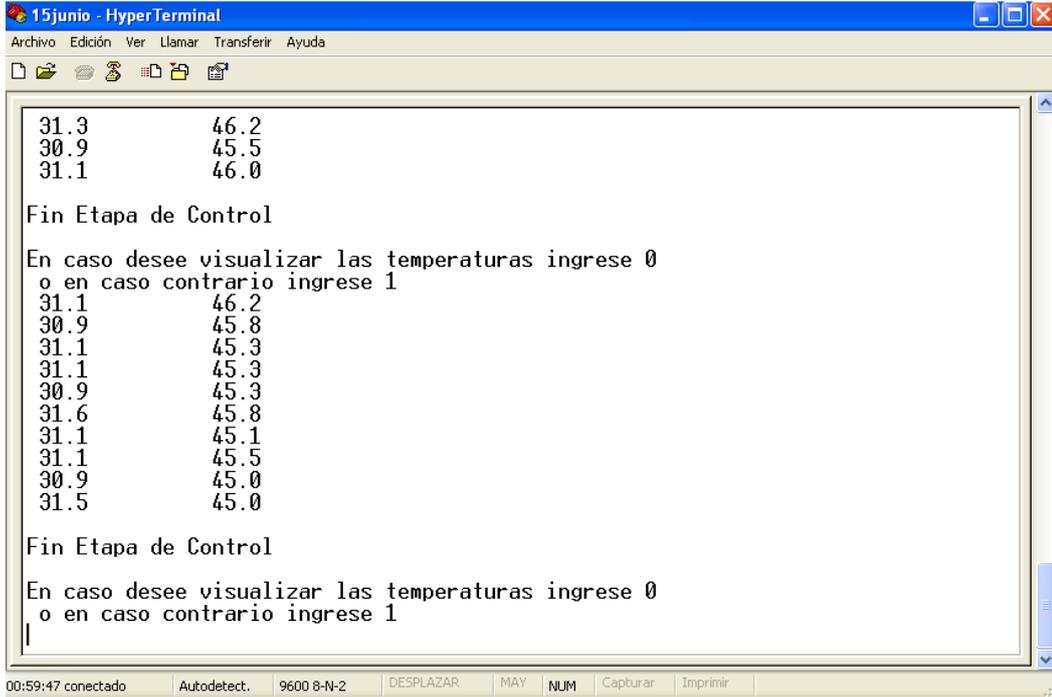
```
15junio - HyperTerminal
Archivo Edición Ver Llamar Transferir Ayuda
Fin Etapa de Control
En caso desee visualizar las temperaturas ingrese 0
o en caso contrario ingrese 1
30.6      46.0
30.8      46.0
30.8      45.8
30.8      46.0
30.8      45.3
30.9      46.0
31.1      46.0

31.3      46.2
30.9      45.5
31.1      46.0

Fin Etapa de Control
En caso desee visualizar las temperaturas ingrese 0
o en caso contrario ingrese 1
31.1      46.2
30.9      45.8
31.1      45.3
31.1      45.3
30.9      45.3
31.6      45.8

00:58:55 conectado Autodetect. 9600 8-N-2 DESPLAZAR MAY NUM Capturar Imprimir
```

Figura 4.12



```
15junio - HyperTerminal
Archivo Edición Ver Llamar Transferir Ayuda
[Icons]
31.3      46.2
30.9      45.5
31.1      46.0

Fin Etapa de Control

En caso desee visualizar las temperaturas ingrese 0
o en caso contrario ingrese 1
31.1      46.2
30.9      45.8
31.1      45.3
31.1      45.3
30.9      45.3
31.6      45.8
31.1      45.1
31.1      45.5
30.9      45.0
31.5      45.0

Fin Etapa de Control

En caso desee visualizar las temperaturas ingrese 0
o en caso contrario ingrese 1

00:59:47 conectado Autodetect. 9600 8-N-2 DESPLAZAR MAY NUM Capturar Imprimir
```

Figura 4.13

De las pantallas anteriores podemos observar que la planta presento una variación de temperatura en hasta 1.6 °C (mayor valor registrado 31.6°C), valor que se encuentra dentro del rango permitido (+/- 2 °C).

También se puede observar que la planta no se mantiene constante durante los 30 minutos adicionales donde solo se le observa para comprobar su estabilidad. Si bien se necesitaba llegar a 30°C, la variación se encuentra dentro del rango permitido con lo cual comprobamos el funcionamiento de todas las tarjetas y adicionalmente, verificamos que con un valor de Kp de 0.6 se puede llegar a controlar la planta de manera satisfactoria para el cliente.

4.4 Costos

El costo de la implementación de la presente tesis se muestra en la tabla 4.4, los cuales incluyen IGV.

Tabla N° 4.4

UNIDAD	OBJETO	COSTO
4	Zocalo de 8 pines	0.80
1	Zocalo de 16 pines	0.20
1	Zocalo de 32 pines	0.20
6 metros	Cable mellizo n°12	3.00
1	Atmega 8	13.00
1	Bornera aerea 20 ^a	2.50
12	Molex de 2 pines y 6 pines	6.00
2	BTA 16	5.20
16	Resistencias de 1/2 W	0.80
1	Pulsador	0.30
1	Placa de baquelita de 30x30	12.50
1	Conector serial hembra	1.50
15 metros	Cable flexible	3.00
2	Diodos	0.20
1	LM358	0.80
1	n4148	0.10
1	max232	2.00
1	Transformador	30.00
6	Condensadores	1.20
2	IL420	8.00
2	Interruptores Termomagnéticos	30.00

Continuación de la Tabla N° 4.4

1	MCT6	2.50
2	Disipadores	10.00
1	Caja metálica	30.00
2 metros	Cable solido N°12	2.00
	TOTAL (SOLES)	165.80

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente se debe considerar los componentes mostrados en la tabla 4.5, los cuales fueron proporcionados por el Laboratorio de Energía para la implementación de la tesis.

Tabla N° 4.5

UNIDAD	OBJETO	COSTO
1	Sensor HTM2500	405.00
1	CPU y Monitor	900.00
1	Cable serial	20.00
	TOTAL (SOLES)	1,325.00

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Luego de diseñar e implementar un controlador para la fase de calentamiento y enfriamiento sensible del banco de psicrometría se llega a las siguientes conclusiones:

- 1) El uso del sensor HTM 2500 para la medición de los parámetros requeridos en la planta (Temperatura: 30 a 70°C y Humedad: 20 a 90%) es satisfactorio, tal como se demostró en las pruebas de implementación de la presente tesis.
- 2) El diseño del acondicionador para el sensor HTM 2500 permitió que el microcontrolador logrará recibir las señales del sensor de manera óptima, tal como se demostró con el capítulo 3.
- 3) El uso del microcontrolador Atmega 8 permitió, mediante los parámetros de estudio (temperatura y humedad), controlar las resistencias calefactoras a fin mantener la temperatura estable con un margen de error de ± 2 °C, tal como se demostró en el capítulo 4.
- 4) El diseño de la tarjeta del driver y la implementación de la misma, permitieron que se demostrara que se pueden controlar las potencias de las resistencias eléctricas con voltajes en el rango de 0 a 270 V.
- 5) En base a los resultados de las pruebas realizadas con el controlador propuesto, se puede afirmar que el uso de un controlador del tipo proporcional es suficiente para controlar los procesos, tal como se demostró en el capítulo 4.

RECOMENDACIONES

Como primer prototipo se obtuvieron resultados adecuados con el propósito de la planta, sin embargo para mejorar los resultados obtenidos en los siguientes prototipos se sugiere cumplir con las siguientes recomendaciones.

- 1) Para tener un mejor control de la planta se debería utilizar otro sensor debido a que el HTM 2500 tiene un tiempo de establecimiento de hasta 4 minutos, lo cual en temperaturas altas (mayor a 60 °C) puede ser peligroso para el sensor, ya que el programa seguirá registrando un error alto cuando en realidad no lo es.
- 2) Implementar un control integral de manera adicional para así reducir el grado de error hallado, y con ello hacer más eficiente la planta.
- 3) Diseñar un software “más amigable” para que el usuario pueda visualizar mediante una gráfica si se está cumpliendo con el proceso de calentamiento sensible. Y así evitar el uso de cartas psicrométricas impresas.
- 4) Cambiar el voltaje de alimentación a 220 V, cambiando previamente la potencia de las resistencias calefactoras a un voltaje mayor a 2 kW. Con lo que lograría llegar a la temperatura deseada con menor voltaje de alimentación.

FUENTES

- [1] ARMFIELD ENGINEERING EDUCATION
RA2 Air Conditioning Unit- Issue 1[en línea]. Armfield. [consultado 2009/04/10]
< http://www.armfield.co.uk/ra2_datasheet.html >
- [2] CUCHO, ZENÓN A.
2005 Manual de Laboratorio de Sistemas Digitales. Material de enseñanza. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.
- [3] DIGI-KEY, CORPORATION.
SENSOR RH CAP NTC THERM VOUT - HTM2500 [en línea]. The River Falls. USA. [consultado 2009/03/31].
<<http://parts.digikey.es/1/1/282051-sensor-rh-cap-ntc-therm-vout-htm2500.html> >
- [4] FONDRIEST ENVIRONMENTAL, INC.
Vaisala HMP45A Temperature/RH Sensor [en línea]. Beaver creek. USA. [consultado 2009/03/30].
< http://www.fondriest.com/products/vaisala_hmp45a.htm>
- [5] GOMARIZ,S.; BIEL,D. ; MATAS,J. ;REYES, M.
2000 Teoría de Control: Diseño Electrónico. Segunda Edición. Barcelona, España 2000, 2000: 131-155.
- [6] EQUIPMENT FOR ENGINEERING EDUCATION
ET 600 Open Duct Air Conditioning Trainer[en línea]. G.U.N.T [consultado 2009/04/10]
<[http:// www.gunt.de.html](http://www.gunt.de.html)>
- [7] HOTEK TECHNOLOGIES, INC

Temperature relative humidity sensor [en línea].Tacoma. USA [consultado 2009/03/31].

<<http://www.hotektech.com/contactus.htm>>

[8] JLC INTERNATIONAL

Miniature Humidity/ Temperature Transmitters [en línea]. New Britain. USA. [consultado 2009/03/30].

<http://www.jlciinternational.com/miniature_humidity_temperature_transmitters.htm>

[9] MATAS,J. ;RAMON, R.

2000 Microcontroladores MCS-51y MCS-251. Segunda Edición. Barcelona, España 2000, 2000: 24-32.

[10] MUTAMBARA, ARTHUR

1999 Design and analysis of control Systems. Boca Raton, Florida 1999, 1999:291-298

[11] NOVALYNX CORPORATION

Relative Humidity and Temperature Sensor [en línea]. Grass Valley. USA. [consultado 2009/03/30].

< <http://www.novalynx.com/225-050-500.html> >

[12] OGATA, KATSUHIKO

2003 Ingeniería de Control Moderna. Tercera Edición. Naucalpan de Juárez, México 2003, 2003: 609-710

[13] PITA, EDWARD G.

2002 Acondicionamiento de Aire: Principios y Sistemas. Segunda Edición. México DF. , México 2002, 2002: 1-37,178-210.

[14] PSICROMETRÍA

s/a Guía de Laboratorio de Energía. Material de enseñanza. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.

[15] TECHNICAL TEACHING EQUIPMENT FOR ENGINEERING

Thermal Control Process Apparatus [en línea]. Tecquipment [consultado 2009/04/10].

< <http://www.tecquipment.com/Control/Control-Engineering/CE103.aspx> >

