



**MODELO FUNCIONAL DE UN CONTROL DE  
TEMPERATURA MEDIANTE UNA CRIADORA DE POLLOS  
INFRARROJA A GAS**

**JAVIER AUGUSTO WANDURRAGA SANTAMARIA**

Autor del proyecto

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**BUCARAMANGA, 2008**

**MODELO FUNCIONAL DE UN CONTROL DE  
TEMPERATURA MEDIANTE UNA CRIADORA DE POLLOS  
INFRARROJA A GAS**

Trabajo de grado para optar el título:

**Ingeniero Electrónico**

**JAVIER AUGUSTO WANDURRAGA SANTAMARIA**

Autor del proyecto

**ING. CARLOS AUGUSTO FAJARDO ARIZA**

Director

**GRUPO DE ESTUDIANTES: ELECTRÓNICA & ROBÓTICA APLICADA (ERA)**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECANICAS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**BUCARAMANGA, 2008**

***Este trabajo de grado lo dedico:***

*A Dios por brindarme la fortaleza y sabiduría  
para alcanzar mis metas.*

*A mis padres Augusto y Aida, a mi hermano  
Juan David quienes han sido mi soporte  
incondicional a pesar de los obstáculos y la  
distancia.*

*A mis abuelos y tías que acompañaron  
cariñosamente mi estadía universitaria.*

*A mis amigos que han estado siempre a mi lado  
en las parrandas de estudio.*

# *Agradecimientos*

*El más sincero agradecimiento a todas las personas que de una u otra forma me apoyaron en la realización del proyecto*

*A la Universidad Industrial de Santander por brindarme la oportunidad de ingresar al mundo laboral con una formación integral.*

*A Carlos Augusto Fajardo, director del proyecto y amigo, por los consejos, orientación y colaboración que siempre me brindo.*

*A Campollo, especialmente al Dr. Pedro González y Dr. Leonel Aguilar por brindar la colaboración incondicional en la realización de las pruebas.*

*A mis compañeros y amigos del grupo ERA que brindaron sus consejos para que este proyecto sea realidad.*

*A mis padres y familiares.*

*A todos mis amigos.*

# Contenido

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>XIV</b>
<b>JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO</b>	<b>V</b>
<b>ORGANIZACIÓN DEL LIBRO</b>	<b>VII</b>

## Capitulo 1 Generalidades de la crianza de pollos y generalidades del control de procesos 1

<b>1.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA LA CRIANZA DE POLLOS</b>	<b>1</b>
1.1.1. MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR USADOS EN LA INDUSTRIA AVÍCOLA	1
1.1.2. TEMPERATURA OPTIMA PARA LA CRIANZA DE POLLOS	2
1.1.3. LA CRIADORA AVÍCOLA	4
1.1.4. HUMEDAD EN EL GALPÓN	5
<b>1.2. ESPECIFICACIONES DE LA CRIADORA</b>	<b>6</b>
1.2.1. FUNCIONAMIENTO DE LA CRIADORA	6
1.2.2. CRIADORAS COMERCIALES	7
<b>1.3. GENERALIDADES DEL CONTROL DE PROCESOS</b>	<b>10</b>
1.3.1. TERMINOLOGÍA BÁSICA EN CONTROL	11
1.3.2. SISTEMAS DE CONTROL DE LAZO CERRADO O ABIERTO	12
1.3.3. CARACTERIZACIÓN DE LA PLANTA	12
1.3.4. CLASES DEL CONTROLADORES	13
1.3.5. REGLAS DE SINTONIZACIÓN DE ZIEGLER Y NICHOLS	16

## Capitulo 2 Dispositivo de medición - TR01 y control actual en las granjas avícolas de la empresa CAMPOLLO

18

<b>2.1. HIPÓTESIS</b>	<b>18</b>
2.1.1. FALSOS ENCENDIDOS / FALSOS APAGADOS	19
2.1.2. TEMPERATURA FUERA DE LOS RANGOS TEÓRICOS	19
<b>2.2. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO EN EL TR01</b>	<b>19</b>
<b>2.3. REGISTRO DE TEMPERATURA TR01</b>	<b>20</b>
2.3.1. SELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR	20
2.3.2. SELECCIÓN DE LOS SENSORES	25
2.3.3. DISEÑO GENERAL DE HARDWARE DEL TR01	31
<b>2.4. DISEÑO DE LA INTERFAZ DE USUARIO</b>	<b>33</b>
2.4.1. INTERFAZ LABVIEW	34
2.4.2. ADQUISICIÓN DE DATOS MATLAB	36
<b>2.5. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE DATOS</b>	<b>37</b>

## Capitulo 3 Tipología del control de temperatura y diseño general del controlador de temperatura CT01

41

<b>3.1. SISTEMA DE CONTROL DEL CT01</b>	<b>41</b>
<b>3.2. DISEÑO DEL CONTROLADOR</b>	<b>44</b>
<b>3.3. TRANSFORMACIÓN DEL CONTROLADOR PI A DISCRETO</b>	<b>47</b>
3.3.1. TRANSFORMACIÓN DEL CONTROLADOR A ECUACIÓN EN DIFERENCIAS	47

## Capitulo 4 Implementación electrónica, interfaz de usuario e implementación mecánica del CT01

48

<b>4.1. IMPLEMENTACIÓN ELECTRÓNICA DEL CT01</b>	<b>48</b>
4.1.1. SELECCIÓN E INTERCONEXIÓN DE DISPOSITIVOS	48
4.1.2. SISTEMA DE POTENCIA PARA LA GENERACIÓN DE LA CHISPA	51
4.1.3. INTERFAZ DE USUARIO	52

4.1.4. DISEÑO GENERAL DEL HARDWARE DEL CT01	54
<b>4.2. DESCRIPCIÓN DEL CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DEL CT01</b>	<b>55</b>
<b>4.3. IMPLEMENTACIÓN MECÁNICA</b>	<b>56</b>
4.3.1. SERVOMOTOR HS311	56
<b>Capitulo 5 Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>58</b>
<b>5.1. CONCLUSIONES DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TR01 Y CT01</b>	<b>58</b>
<b>5.2. CONCLUSIONES DE LAS PRUEBAS</b>	<b>58</b>
<b>5.3. RECOMENDACIONES</b>	<b>61</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>62</b>
<b>Anexo A. Validación Experimental</b>	<b>63</b>
<b>Anexo B. Diagramas de flujo del CT01</b>	<b>67</b>
<b>Anexo C. Diagrama de flujo del TR01</b>	<b>69</b>

# Lista de figuras

Figura 1, Transferencia de calor radiante.	2
Figura 2, Transferencia por convección	2
Figura 3. Áreas con gradientes de temperatura.	3
Figura 4 Comportamiento de los pollos a ambiente (a) frio. (b) Caliente. (c) adecuado.	4
Figura 5, Instalación de la criadora en el galpón.	5
Figura 6, Distribución del calor.	5
Figura 7, Partes del quemador.	7
Figura 8, Criadora Avisur Romero.	8
Figura 9, Criadora caperuza estándar	9
Figura 10, Criadora SHENADOAH.	10
Figura 11, Respuesta de un sistema de primer orden.	13
Figura 12, Controlador on/off (a) sin histéresis. (b) con histéresis.	14
Figura 13, Acción de la parte proporcional en un sistema de primer orden.	15
Figura 14, Acción de la parte integral pura en un sistema de primer orden.	16
Figura 15, Configuración de los pines del ATMEGA16.	23
Figura 16, Diagrama esquemático del programador ATMEGA	23
Figura 17, Puerto salida del programador	24
Figura 18, Programador ATMEGA. (a) PCB (b) Distribución de los dispositivos	24
Figura 19, Programador ATMEGA en 3D, (a) vista inferior (b) vista superior	25
Figura 20, Configuración de pines y diagrama esquemático del LM92.	27
Figura 21, PCB final del LM92 (a) vista normal. (b) vista en 3D	27
Figura 22, Sensor de temperatura y humedad SHT11.	28
Figura 23, Circuito de interfaz SHT11,	28
Figura 24, PCB final para el sensor SHT11.	29
Figura 25, Configuración amplificador diferencial.	30
Figura 26, Configuración de los pines del TLC252.	30
Figura 27, distribución de los pines del AT24C256.	31
Figura 28, Configuración FT232R.	32
Figura 29, Diagrama esquemático general del TR01.	32
Figura 30, PCB final del TR01. (a) Top. (b) Bottom.	33
Figura 31, PCB final del TR01 en 3D TOP y BOTTOM.	33

Figura 32, Interfaz de usuario LabView. (a) Registro en tiempo real. (b) Descargar datos del TR01.	35
Figura 33, Comportamiento de la temperatura en la granja EL TABACAL.	37
Figura 34, Distribución de los sensores	38
Figura 35, Ubicación de la termocupla en la criadora.	38
Figura 36, Grafica de temperatura de los 5 primeros días de crianza del sensor 1.	39
Figura 37, Distribución de las criadoras en el galpón.	39
Figura 38, Comportamiento de la temperatura en la graja de Moniquira.	40
Figura 39, Diagrama de boques del sistema de control.	42
Figura 40, Distribución de los sensores de temperatura respecto a la criadora.	43
Figura 41, Grafica obtenida de LabView en la caracterización de la criadora.	43
Figura 42, Diagrama diseñado en SIMULINK para la simulación de la planta.	44
Figura 43, Grafica del resultado de la simulación de la planta en SIMULINK.	44
Figura 44, Diagrama de simulación en SIMULINK con el controlador PI.	45
Figura 45, Grafica de la simulación controlador PI en SIMULINK.	46
Figura 46, Grafica del controlador PI mediante sintonización en SIMULINK.	46
Figura 47, Configuración del DS1307.	49
Figura 48, Distribución de pines del DS1307.	50
Figura 49, Circuito de polarización del LD1117 y AP1117.	50
Figura 50, Distribución de los pines del DF04.	51
Figura 51, Circuito de potencia para el CT01.	51
Figura 52, PCB de la tarjeta de potencia del CT01.	52
Figura 53, PCB de la tarjeta de potencia del CT01 en 3D.	52
Figura 54, Lcd de la interfaz del TR01.	53
Figura 55, PCB de la interfaz del CT01. a) Bottom. b) Top.	53
Figura 56, PCB de la interfaz del CT01 en 3D. a) Bottom. b) Top.	53
Figura 57, Diagrama esquemático general del CT01.	54
Figura 58, PCB de la tarjeta de control del CT01. a) Bottom. b) Top.	55
Figura 59, PCB de la tarjeta de control en 3D. a) Top. b) Bottom.	55
Figura 60, Respuesta transitoria del CT01 con $K_p=4$ , $K_i=150$ y $set\_point=28^\circ C$ .	63
Figura 61, Respuesta transitoria del CT01 con $K_p=4$ , $K_i=175$ y $set\_point=30^\circ C$ .	64
Figura 62, Respuesta del CT01 con $K_p=4$ , $K_i=150$ y $set\_point=29^\circ C$ .	64
Figura 63, Respuesta del CT01 con $K_p=4$ , $K_i=175$ y $set\_point=30^\circ C$ .	65
Figura 64, Respuesta del CT01 con $K_p=4$ , $K_i=175$ y $set\_point=29^\circ C$ .	65
Figura 65, Respuesta del CT01 con $K_p=4$ , $K_i=150$ y $set\_point=29^\circ C$ .	66

# Lista de tablas

Tabla 1. Temperaturas teóricas.	3
Tabla 2, Características de la criadora caperuza estándar.	9
Tabla 3, Características criadora SHEN GLOW.	10
Tabla 4, Reglas de sintonización de Ziegler y Nichols basada en la respuesta al escalón.	17
Tabla 5, Características generales de las familias de mico controladores.	21
Tabla 6, Comparación entre 2 sensores de alta precisión. Fuente: El autor	26
Tabla 7, Descripción de los comandos de la interfaz LabView.	36
Tabla 8, Tiempos en el PWM vs Posición del servomotor.	56
Tabla 9, Características del HS 311.	57

# Resumen

**Título:** Modelo funcional de un control de temperatura mediante una criadora de pollos infrarroja a gas\*.

**Autor:** Javier Augusto Wandurraga Santamaría †

**Palabras clave:** Criadora, control de temperatura, galpón de pollos, sensores.

## Descripción:

El objetivo de este proyecto fue diseñar y construir un modelo de control de temperatura para las granjas avícolas con temperatura inferior a la temperatura ambiente (25°C) utilizando una criadora infrarroja a gas comercial. Este proyecto fue realizado teniendo en cuenta que el control de temperatura es una labor indispensable para lograr rendimientos productivos en la explotación de pollos, además con el fin de explorar la familia ATMEGA que ayudara al grupo ERA (Electrónica y Robótica Aplicada) a incorporar esta familia de microcontroladores para desarrollar sus proyectos.

En el desarrollo del proyecto se destacan dos dispositivos importantes: el registro térmico de temperatura que permite analizar el comportamiento de la temperatura en el galpón durante el proceso y el controlador de temperatura con interfaz de usuario que permite realizar en control de esta variable por medio de la criadora infrarroja a gas.

Para la realización de este proyecto se contó con el apoyo de la empresa Campollo, quien nos facilitó la infraestructura necesaria para realizar pruebas reales en los galpones, además del aporte de valiosas opiniones y sugerencias que facilitaron el diseño óptimo del dispositivo de control y medición.

El resultado es un modelo funcional de un control de temperatura que permite en primer lugar regular el paso de gas hacia la criadora dependiendo de la temperatura del galpón y en segundo lugar un dispositivo de medición para registrar el comportamiento de la temperatura en tiempo real.

---

\*Modalidad: Trabajo de grado

†Facultad de Ingenierías físico-mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones.  
Director: Ing. Carlos Augusto Fajardo.

# Abstract

**Title:** Functional model of a temperature control through a infrared chickens breeder of gas\*.

**Author:** Javier Augusto Wandurraga Santamaria†

**Keywords:** chickens breeder, temperature control, poultry, sensors.

## Description:

The objective of this project was to design and construct a model of temperature control for poultry farms with temperature below ambient temperature (25 C) using a commercial breeder infrared of gas. This project was done bearing in mind that the temperature control is an indispensable work to obtain maximum performance in the production of chickens, besides to exploring the family ATMEGA to assist the group ERA (Electronics and Robotics Applied) to incorporate this microcontrollers family to develop their projects.

In developing the project also focuses on two important devices: the record of temperature to analyze the behavior of the temperature in the barn during the process and the temperature controller with user interface that allows control of this variable through the breeder infrared gas.

For the realization of this project was supported by the company Campollo, who gave us the necessary infrastructure for testing real in the houses poultry, as well as providing valuable opinions and suggestions that facilitated the design of the control device and measurement device.

The result is a model device of a temperature control that firstly allows regulate step of gas toward the breeder depending on the temperature of the house poultry and secondly a measuring device to record the behavior of the temperature in real time.

---

\*Degree Project

†Physics Mechanical Engineering Faculty. Electric, Electronic and Telecommunications Sschool.  
Director: Ing. Carlos Augusto Fajardo.

# Introducción

Con el tiempo, el sector avícola ha venido consolidándose dentro de la estructura económica colombiana y de manera particular en el departamento de Santander, esto como consecuencia de la evolución de la avicultura que ha pasado de ser una actividad netamente artesanal a una actividad altamente tecnificada que asegura al consumidor un producto de calidad e inocuo y al productor mayor índice de productividad.

El Ingeniero Electrónico juega un papel importante en el desarrollo tecnológico de la industria avícola, optimizando diversos procesos que conllevan la incubación, crecimiento y beneficio de aves para facilitar la labor del avicultor y al mismo tiempo obtener máximos rendimientos en la explotación avícola colombiana. Si analizamos la producción de carne de pollo en países desarrollados, esta ha evolucionado tecnificando los galpones de crianza; en otras palabras, proporcionan ambientes controlados en los galpones y automatizan los sistemas de alimentación\*.

El proyecto a realizar plantea el diseño y construcción de un control de temperatura para galpones de engorde, mediante una criadora infrarroja a gas, teniendo en cuenta que el control de temperatura es una labor indispensable para lograr máximos rendimientos productivos en la explotación de pollos†. Por esta razón - entre otras - es necesario proporcionar a las aves condiciones ambientales optimas, para su desarrollo durante las primeras semanas de vida y así aumentar los índices de productividad en la producción de carne de pollo.

Cuando se habla de galpones con ambientes controlados se refiere básicamente a cuatro factores determinantes: la temperatura, la humedad, la

---

\* Avances en el manejo de pollos. Wilson, Matthew. revista Industria Avícola - edición Marzo 2008

†Efecto de la temperatura y la humedad relativa en los parámetros productivos y la transferencia de calor en pollos de engorde. Estrada, Mónica. revista colombiana de ciencias pecuarias. volumen 20 numero 3 (Septiembre de 2007)

iluminación y la renovación de aire. Es valioso profundizar en el efecto de las temperaturas extremas por encima o por debajo de los límites de confort térmico de los pollos, pues se sabe que estas condiciones disminuyen los índices de productividad (ganancia de peso diario, número de días de crianza, conversión del alimento, incidencia de enfermedades y la tasa de mortalidad) [ROMERO].

# Justificación del Proyecto

En la industria avícola se utiliza *la Criadora*\* como la fuente de calor artificial necesario en los galpones de pollo de levante en las primeras semanas de crianza de los pollos, para mantener la temperatura adecuada según lo indican las condiciones de su raza. Aunque en países desarrollados existen los galpones con ambiente controlado, en Colombia son muy pocos los galpones que cuentan con esta tecnología por sus elevados costos de instalación y la falta de personal técnico especializado que de soporte a esta tecnología ya que en la actualidad es netamente importada. Hoy por hoy, el avicultor es quien controla estas condiciones dependiendo de la temperatura y el comportamiento de los pollos al efecto de la misma.

La temperatura teórica depende de la raza del pollo, esta varía desde los 33°C el primer día de crianza y debe reducir gradualmente día a día hasta llegar a 25°C (temperatura ambiente)†. Las temperaturas inadecuadas por encima o por debajo de la teórica influyen directamente en la salud del pollo, aumentando de gran forma el índice de morbilidad‡ y mortalidad§, lo cual, retarda el crecimiento o desarrollo del ave e incrementa el número de días de crianza del ave; sumado a esto, el posible aumento del consumo del gas, repercute directamente en el acrecentamiento de costos del producto para el avicultor y por ende a la disminución de la productividad del sector **[ROMERO]**.

En el mercado internacional se encuentran *Criadoras* infrarrojas a gas automáticas, fábricas como SHENANDOAH\*\*, SIBLEY†† - entre otras -, que ofrecen opciones de control de temperatura por zona o individualmente; aunque es atractiva la opción de importar esta tecnología, no sería fácilmente aceptada

---

\* Ver definición en la sección 1.3.3.

† Como mejorar la eficiencia energética en los galpones de pollo. Oviedo, Edgar, revista Industria Avícola – edición Mayo de 2008.

‡ Morbilidad: porcentaje de individuos que contrae una cierta enfermedad en una población.

§ Mortalidad: porcentaje de muertes de una población en un tiempo determinado.

\*\* Pagina Web: <http://www.shenmfg.com>

†† Pagina Web: <http://www.sibleyind.com>

por los avicultores por sus costos elevados y por la dificultad en el soporte técnico.

Por otra parte en el mercado colombiano podemos encontrar *Criadoras* que varían básicamente en el tipo de quemador y la cantidad de aves que albergan. Por ejemplo, ALOSAN\* es una empresa especializada en la fabricación de calefactores infrarrojos a gas, esta empresa cuenta con varios puntos de distribución en el país, entre ellos se encuentra AGROPECUARIA2D, punto de distribución situado en Bucaramanga con el fin de suplir la demanda del producto en Santander. Las *Criadoras* ofrecidas por esta empresa, a pesar de la excelente calidad, carece de un control de temperatura, y de la misma manera, cada una de las empresas revisadas en la recopilación de información para el desarrollo del proyecto.

Con la realización de este proyecto, se espera hacer un aporte tecnológico para la industria avícola Colombiana, con el cual se espera tener impactos en tres aspectos principales: Innovación, económico y social.

**Innovación:** Se espera contribuir a mejorar el proceso de la crianza de aves, implementando un control de temperatura confiable en el cual las aves tengan el ambiente óptimo para su desarrollo de igual manera facilitar la labor del granjero puesto que la temperatura es una variable compleja y aleatoria.

**Impacto económico:** la realización de este proyecto espera contribuir con un aumento de la productividad de la industria avícola, tanto en la producción de carne (al mantener la temperatura en los valores teóricos), como en la optimización en el consumo de gas (combustible necesario para mantener el ambiente en los galpones).

**Impacto social:** Colombia es uno de los países en donde el sector agrícola requiere tecnificación, exigiendo la transformación productiva, que en otras palabras es promover nuevos sectores con contenido tecnológico que produzcan productos de alto valor agregado que aporten al país, sacándolo de la actual categoría de generador estático de rentas.

---

\* Pagina Web: <http://www.alosan.com.co>

# Organización del libro

En el capítulo 1 se expone el marco conceptual del proyecto, es decir, un material introductorio en los métodos de crianza de pollos, los fundamentos teóricos para obtener máximos resultados en la explotación de pollo de engorde, realiza una documentación de las criadoras comerciales en la industria colombiana comparada con la industria extranjera e incluye algunas definiciones y conceptos utilizados en este proyecto en el área de control.

En el capítulo 2 se desarrolla el dispositivo de medición TR01, detallando cada parte del sistema, donde se explica y anexan resultados de las pruebas realizadas en las granjas de CAMPOLLO, dando la apertura para realizar el controlador de temperatura.

El capítulo 3 es dedicado a la selección de la tipología del controlador, en la caracterización de un sistema térmico y adicionalmente se pone en práctica al hacer la caracterización de la criadora.

En el capítulo 4 se desarrolla el diseño electrónico y mecánico del controlador de temperatura CT01, éste contiene el código de programación del controlador y el diseño de cada tarjeta que involucra el control.

En el capítulo 5 se consignan las conclusiones y recomendaciones del proyecto relacionadas con el registro de temperatura y con el controlador de temperatura.

# Capitulo 1

## Generalidades de la crianza de pollos y generalidades del control de procesos

Este capítulo esboza conceptos básicos necesarios para asentar el proyecto, la primera parte esboza fu en la crianza de pollos, enmarca algunos proveedores y muestra algunas de sus criadoras con sus propiedades, además se encuentra consignado algunos conceptos básicos de la teoría de control, entre ellos la caracterización de planta, la tipología del controlador y el diseño de controladores mediante método de sintonización.

### 1.1. Fundamentos teóricos para la crianza de pollos

Existen básicamente dos métodos usados para calentar los pollos en sus primeras semanas de vida: la primera consiste en ubicar una fuente de calor en el galpón la cual calienta cierta área, dividiendo el galpón entre la temperatura teórica según la raza y la temperatura ambiente, dándole la posibilidad al pollo de elegir la zona de confort según sus propias necesidades; así mismo existe un segundo método que consiste en calentar todo el galpón a una temperatura homogénea deseada, pero de esta manera el pollo no tiene alternativa de elegir donde le es más comfortable<sup>1</sup>.

#### 1.1.1. Mecanismos de transferencia de calor usados en la industria avícola<sup>2</sup>

Existen varios tipos de transferencia de calor: radiación, convección y conducción, los más usados en la industria avícola son el radiante y por

---

<sup>1</sup> SMITH, Tom. Criando pollitos y codornices. Mississippi State University. Revisado en: <http://msucares.com/espanol/pubs/index.html> en enero de 2008. Publicación IS1828.

<sup>2</sup> Catalogo de *criadoras y calentadores*, en [www.sibleyind.com](http://www.sibleyind.com), revisado en Diciembre de 2007

convección, descartando la transferencia de calor por conducción ya que se hace necesario el contacto de los pollos con una superficie caliente.

► **Transferencia de calor radiante**

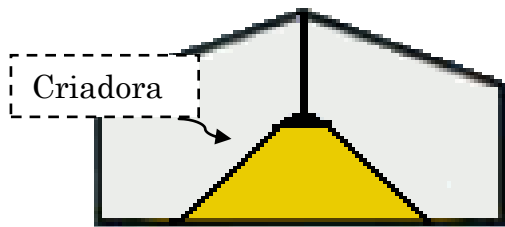


Figura 1, Transferencia de calor radiante.

La transferencia de calor radiante transfiere ondas de calor infrarrojas, las cuales calientan directamente los objetos y superficies opacas que atraviesan su camino. La *Criadora* de pollos actúa de manera similar a la transferencia de calor emitida por el sol calentando a las aves y su cama. En este caso también se produce calefacción por convección en mínima proporción.

► **Transferencia por convección**

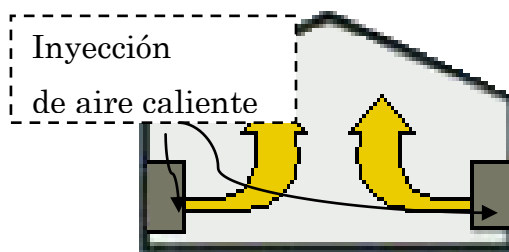


Figura 2, Transferencia por convección

La transferencia por convección se obtiene a través del aire caliente que se hace ingresar al galpón, lo que significa que se debe calentar la mayoría del volumen de aire en él para obtener una temperatura deseada para las aves. En este caso el galpón debería ser precalentado antes de ubicar las aves en el galpón.

**1.1.2. Temperatura optima para la crianza de pollos**

Temperatura recomendada para la crianza de pollos en galpón para raza ROSS según los días de vida del pollo, ubicación de la *Criadora* y distribución de la temperatura en el galpón. Los datos teóricos de temperatura están dados en la Tabla 1 para humedad relativa entre el 60% y 70% [AVIAGEN].

Edad (días)	Temperatura, °C		
	Borde de la Criadora	2m	Galpón
	A	B	C
1	30	27	25

3	28	26	24
6	28	25	23
9	27	25	23
12	26	25	22
15	25	24	22
18	24	24	22
21	23	23	22
24	22	22	21
27	21	21	21

Tabla 1. Temperaturas teóricas.

Fuente: manual de manejo de pollo de engorde Ross, pág. 15

En la figura 3, se explica mediante un grafico, las distancias A, B y C expuestas en la tabla 1. Y básicamente presenta como se distribuye la temperatura en el galpón a medida que crece la distancia al borde de la criadora.

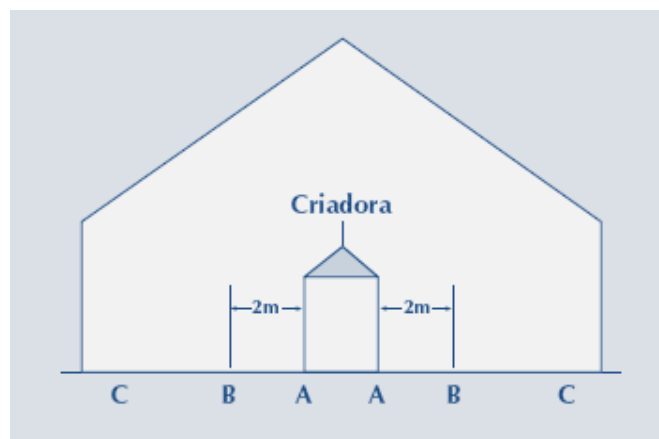


Figura 3. Áreas con gradientes de temperatura.

Fuente: manual de manejo de pollo de engorde Ross, pág. 15

### ► Control empírico de la temperatura en el galpón

Una manera para determinar la temperatura correcta de los galpones es a través de la observación del comportamiento y actividad de los pollos, el ruido alegre y la distribución alrededor y debajo de la *Criadora* indican diferentes condiciones mostradas en la Figura 4. Cuando los pollos pían y se amontan en una parte de la *Criadora* significara que existe una corriente de aire que desplaza el calor, así mismo si los pollos pían y la temperatura es muy fría los pollos se amontan debajo de la *Criadora*, caso contrario a cuando hace demasiado

calor y se alejan de ella dejando por ultimo una distribución optima que hace que los pollos se esparzan uniformemente en el galpón [NAVARRO].

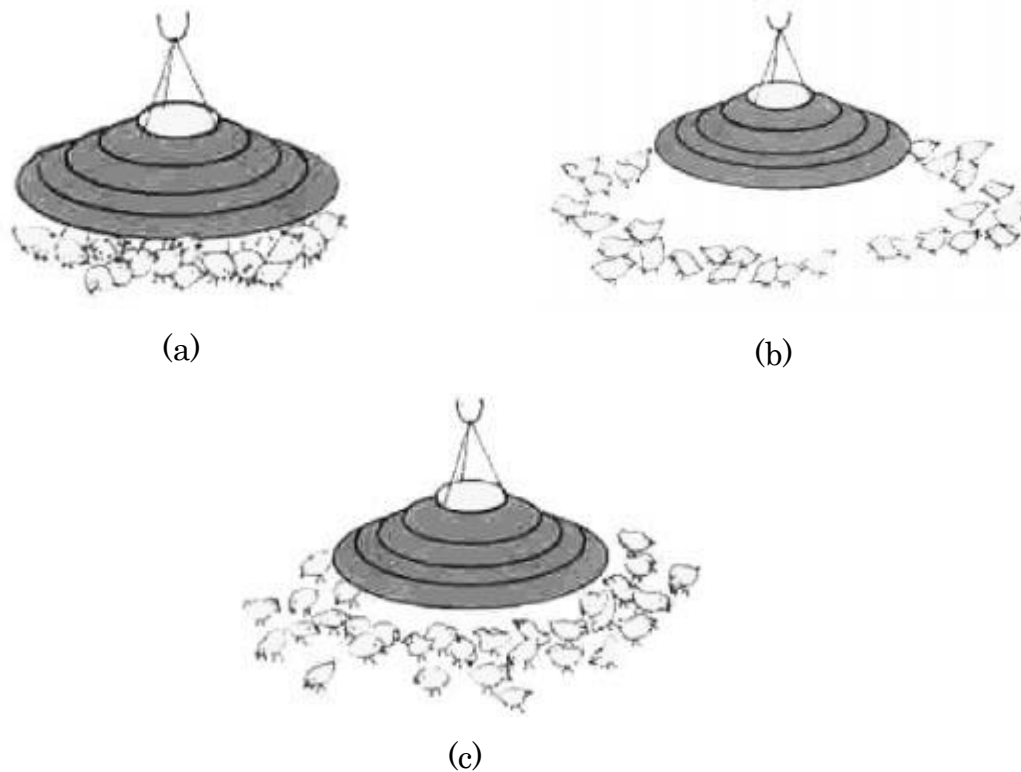


Figura 4 Comportamiento de los pollos a ambiente (a) frío. (b) Caliente. (c) adecuado.  
Fuente: [NAVARRO], pag41

### 1.1.3. La criadora avícola

Las *Criadoras* avícolas son la fuente de calor artificial utilizada por los avicultores durante las primeras semanas de la crianza y crecimiento de los pollos; estas proporcionan un ambiente tibio, amortizando la susceptibilidad de las aves en su etapa inicial; funcionan a gas o electricidad, dependiendo del consumo y la cantidad de pollos que abastece.

#### ► Instalación de la criadora en el galpón

La *Criadora* se instala a 1 metro de altura y puede variar de acuerdo al calor que proporcione, el área de cobertura y el número de pollos que se desee acoger; además se utilizan tantas *Criadoras* como sean necesarias de acuerdo a la capacidad del galpón y el número de aves a calentar (ver Figura 5). La regulación de la presión es dada por una única válvula en la salida del cilindro de GLP que alimenta todas las criadoras.

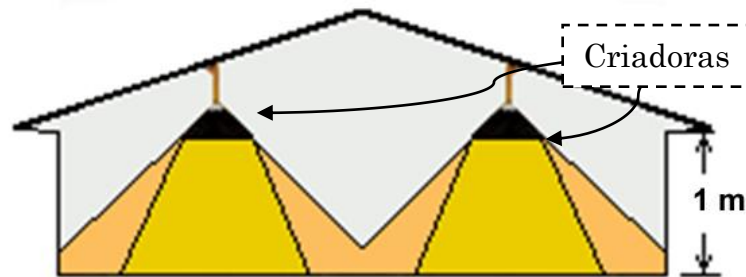


Figura 5, Instalación de la criadora en el galpón.

Fuente: el autor

### ► Distribución de calor

El calor generado por una *Criadora* se distribuye en forma descendente, donde el calor más intenso se ubica directamente debajo de la *Criadora* y disminuye a medida que se aleja de ella. Teniendo en cuenta que el metabolismo de cada ave es diferente, ellas pueden elegir el lugar donde están más cómodas.<sup>1</sup>

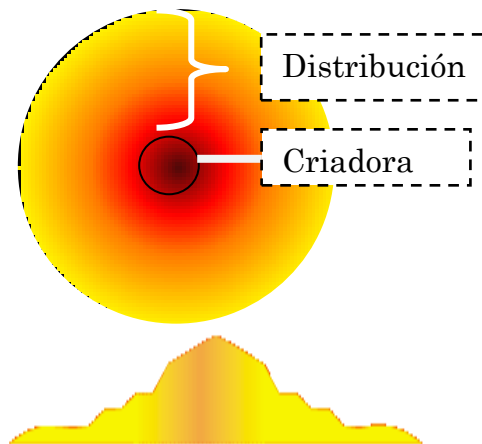


Figura 6, Distribución del calor.

Fuente: el autor

#### 1.1.4. Humedad en el galpón

La humedad es uno de los factores de cuidado en el galpón, y aunque el proyecto de grado no propone un control de humedad se debe tener en cuenta el comportamiento de esta variable ya que está relacionada directamente con la temperatura. La humedad relativa de mayor confort para los pollos se encuentra entre el 50% y 55%, aunque los límites perjudiciales son: 40% (inferior) y 75% (superior) [ROMERO].

<sup>1</sup> Catalogo de Criadoras *Shenandoah*, en [www.shenmfg.com](http://www.shenmfg.com), revisado en diciembre de 2007

## 1.2. Especificaciones de la criadora

El calor emanado por las *Criadoras* es de tipo calor radiante, los rayos infrarrojos que emiten cruzan el aire en líneas rectas sin calentarlo, sin desviarlo y sin pérdida de energía, calentando únicamente los cuerpos sólidos que se encuentran en su trayectoria, que son los pollos la cama y el piso. Los rayos infrarrojos son similares a la luz directa del sol pues esta solo calienta el cuerpo pasando a través de los objetos opacos y transparentes como el aire. Los calentadores infrarrojos a gas se han convertido en una buena opción para espacios amplios y con cielos muy altos donde podemos encontrar grandes volúmenes de aire. Las principales ventajas de la calefacción por radiación infrarroja son<sup>1</sup>:

- Calienta los objetos y no el aire
- Control de calefacción por zonas
- Control de nivel de calor
- Reduce costos operacionales
- Calor instantáneo
- Mantenimiento insignificante
- Limpia
- Segura
- Eficiente

### 1.2.1. Funcionamiento de la criadora

Los rayos infrarrojos de la criadora se obtienen básicamente por la reacción de combustión del quemador que hace que genere energía radiante proyectada hacia la superficie del galpón en forma de calor. Funciona a base de GPL (Gas propano) a una presión de 0.5 Kg/cm<sup>2</sup> - 7.5 Kg/cm<sup>2</sup>, la presión del GPL es regulada por medio de una válvula y al pasar por el tambor se mezcla con aire, posteriormente es conducido hacia el quemador metálico donde toma aire de los alrededores para terminar la combustión [ROMERO].

#### ► Quemador

Un quemador es el equipo donde se realiza la combustión, en otras palabras donde se realiza la mezcla del gas con el aire para luego hacer explosión. El tipo de quemador que utiliza en una criadora es el quemador atmosférico, este toma una parte de aire necesario para la combustión antes de entrar al quemador y el

---

<sup>1</sup>Tomado de: <http://www.barahonaycia.com/html/fostoria.htm>, revisado en enero de 2008

aire restante lo toma por difusión directamente en la llama, destacando que este tipo de quemador tiene una combustión con altos índices de aire en exceso; la regulación del gas se obtiene variando la presión en el inyector (abrir o cerrar la válvula de gas progresivamente). En la **Figura 7** se encuentran algunas partes que componen el quemador.

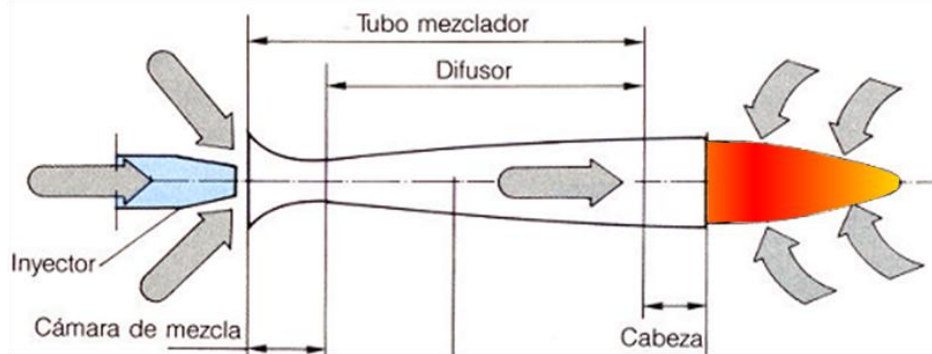


Figura 7, Partes del quemador.

Fuente: Quemadores. García, Ricardo. Noviembre 2001

### 1.2.2. Criadoras comerciales

Es importante mencionar las criadoras que ofrece el mercado, en primera instancia a nivel nacional y posteriormente a nivel internacional. Para contextualizar el estado del arte comercial del país.

#### ► AVISUR ROMERO

AVISUR ROMERO es una fábrica de equipos avícolas ubicada en Bucaramanga Santander, entre los equipos que fabrica se encuentra la criadora infrarroja a gas (ver Figura 8)<sup>1</sup>.



Figura 8, Criadora Avisur Romero.

Fuente: <http://avisurromero.com>

<sup>1</sup> Pagina Web: <http://avisurromero.com>

- **Características de la criadora:**
  - ✓ Quemador fabricado en acero inoxidable refractario que garantiza resistencia a altas temperaturas y excelente emisión de calor.
  - ✓ Pantalla superior o reflector en acero inoxidable o aluminio. (dimensiones: (38. cm.) \* (32 cm.) \* (9cm).
  - ✓ Filtro-tambor fabricado en aluminio (permite el paso de aire para realizar excelente combustión).
  - ✓ Pre\_mezclador hecho en hierro, mezcla el aire y el gas e inyecta la mezcla con una velocidad suficiente para garantizar la quema del gas de una manera homogénea dentro del quemador.
  - ✓ Válvula manual fabricada en broce.
  - ✓ Disponible en dos versiones: para trabajo con regulador de alta (20-1400 mb) y trabajo con regulador de baja (5-200 mb).

## ► ALOSAN

Alosan “expertos en calefacción infrarroja a gas” es la empresa colombiana que cuenta con la mayor variedad de criadoras con propiedades diferentes<sup>1</sup>, En CAMPOLLO es utilizada la *Criadora Caperuza Estándar* (ver Figura 9) en la mayor parte de las granjas, incluyendo la granja *El tabacal*, lugar donde se realizaron las pruebas. Por la razón anterior se expone únicamente las características de la *Criadora* mencionada (ver Tabla 2).



Figura 9, Criadora caperuza estándar  
Fuente: Catalogo de criadoras ALOSAN

---

<sup>1</sup> ALOSAN proporciona un catalogo con algunas características en la página WEB

Característica	Valoración
Capacidad / Uso	1.000 Pollitos / Todos los climas
Dimensiones (Largo x Ancho x Altura)	60 x 25 x 17 cm.
Peso	2 Kg.
Quemador	Malla Inoxidable 310 Importada
Carcaza - Campana	Aluminio Anodizado 2 mm.
Accesorios	Válvula y Mezclador en Bronce, Filtro Inox.
Fisto (mm.) / Presión (PSI)	Cálido: 0.6/3.5 - Medio: 0.6/4.5 - Frío: 0.7/4.5
Consumo (Gas Propano)	250 a 320 gr./ hora

Tabla 2, Características de la criadora caperuza estándar.

Fuente: Catalogo de criadoras ALOSAN

### ► SHENADOAH

Las criadoras Shenadoah son fabricadas por Agile Mfg, una empresa estadounidense ubicada en Anderson, MO. Estas criadoras son de última tecnología tanto en parte la parte mecánica de la criadora como en la parte electrónica o control. Además cabe resaltar que es la única criadora encontrada en la revisión bibliográfica realizada con este proyecto que tiene control automático de temperatura aunque son pocas las especificaciones acerca del control que se muestran en su de datos.

Una criadora de gran capacidad y tecnología es *la SHEN GLOW™* (ver **Figura 10**) y por lo tanto se muestra una referencia que sirva como punto de comparación; en la **Tabla 3** se encuentran las características de esta criadora.

Característica	Valoración
Capacidad / Uso	800-1000 pie <sup>2</sup> (74,3-92,9 m <sup>2</sup> )
Dimensiones (Ancho x Altura)	86,4 cm x 35,6 cm.
Carcaza - Campana	Aluminio Anodizado 2 mm.
Requisitos de presión de gas (se mide en la conexión de presión de la válvula, con la unidad en funcionamiento)	LP: 11" WC (27,5 Mbar) Gas natural: 7" WC (17,5 Mbar)
Consumo (Gas Propano - Gas natural)	1,67 l/h - 1,07 m <sup>3</sup> /h
Accesorios	Control individual o por zona (control individual de encendido/apagado)

Tabla 3, Características criadora SHEN GLOW.

Fuente: Catalogo criadoras SHENADOAH



Figura 10, Criadora SHENADOAH.  
Fuente: Catalogo criadoras SHENADOAH

### 1.3. Generalidades del control de procesos

El objetivo fundamental del control automático es mantener el valor de una variable dentro un rango o condición, existen sistemas de lazo cerrado donde se mide la variable y se compara con un valor fijo deseado para tomar decisiones automáticas sobre el actuador o lazo abierto donde se controla sin realimentar el proceso. El control es usado fundamentalmente por la reducción de costos en los procesos, sumado a otras ganancias intangibles como la adecuación de la mano de obra pasiva, la eliminación de errores, entre otras<sup>1</sup>.

#### 1.3.1. Terminología básica en control

Antes de empezar a analizar el problema es necesario definir la terminología utilizada en este documento y por algunos autores en los libros de control tales como variable, planta, proceso, perturbaciones y realimentación [OGATA].

---

<sup>1</sup> Fundamentos del control automático industrial, en [http://www.sapiensman.com/control\\_automatico](http://www.sapiensman.com/control_automatico) revisado en mayo de 2008.

## Variable

Se denomina variable a la cantidad física que se mide y puede ser controlada dentro de rangos definidos y deseados. En este proyecto la variable a controlar es la temperatura en el galpón.

## Plantas

La planta es cualquier parte o conjunto de partes de la maquina que interviene directamente en el proceso, puede ser un dispositivo mecánico, reactor, entre otros. En este proyecto la planta será el conjunto de la criadora infrarroja a gas junto a la válvula reguladora.

## Proceso

*En este libro llamaremos proceso a cualquier operación que se va a controlar, es decir específicamente al control de temperatura del galpón mediante la criadora infrarroja a gas.*

## Perturbaciones

*Una perturbación es cualquier señal que tiende a afectar negativamente la variable controlada, esta puede ser interna o externa, en el proceso del control de temperatura en el galpón de pollos influyen perturbaciones como las corrientes de aire, la temperatura del exterior, los cambios climáticos, entre otros.*

## Realimentación

*La realimentación es la medición de la variable tomada para comparar con el valor fijo deseado, esto hace que el proceso sea cíclico reduciendo la diferencia ente el valor de la variable medida y la variable deseada.*

### 1.3.2. Sistemas de control de lazo cerrado o abierto

En la teoría de control se encuentran dos sistemas básicos para controlar procesos, estos son los sistemas de control por lazo abierto y por lazo cerrado

#### ► Sistemas de control por lazo abierto

Los sistemas de lazo abierto son aquellos en los que la variable controlada no afecta la acción de control, es decir, no existe realimentación directa entre la variable medida y la deseada [OGATA].

*“En cualquier sistema de control en lazo abierto, la salida no se compara con la entrada de referencia. Por tanto, a cada entrada de referencia le corresponde una condición operativa fija; como resultado, la precisión del sistema depende de la calibración”.<sup>1</sup>*

### ► Sistemas de control por lazo cerrado

*“En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación a fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor conveniente”.<sup>1</sup>*

El uso de la realimentación vuelve la respuesta del sistema relativamente insensible a las perturbaciones aunque la estabilidad es de extremo cuidado porque puede conducir al exceso de errores que producen oscilaciones de amplitud constante o cambiante [OGATA].

#### 1.3.3. Caracterización de la planta

Para caracterizar la planta existen dos métodos básicos: el primero es el modelado matemático que requiere un conocimiento amplio de la tecnología del proceso y el segundo es la caracterización experimental que requiere aplicar señales determinadas al sistema y observar la respuesta en función del tiempo. En la caracterización experimental de un sistema térmico una señal que se puede utilizar es la función escalón, y su respuesta es comparada con un sistema de primer orden, esto debido a que generalmente se aproxima estos procesos simples o que requieren poca exactitud al modelo mencionado pues la respuesta esperada de un sistema térmico tiende a ser monótono creciente y sin oscilaciones [OGATA]. La expresión matemática de este modelo con retardo es:

$$G(s) = \frac{K * e^{-Ls}}{\tau * s - 1}$$

Ecuación 1, Modelo matemático de primer orden con retardo.

En la ecuación K es la ganancia del proceso, L es el tiempo de retardo y  $\tau$  la constante de tiempo. En la Figura 11 se encuentra un ejemplo gráfico del tipo de respuesta esperado por un sistema térmico señalando algunas variables utilizadas en la Ecuación 1.

---

<sup>1</sup> Cita de texto [OGATA] página 7

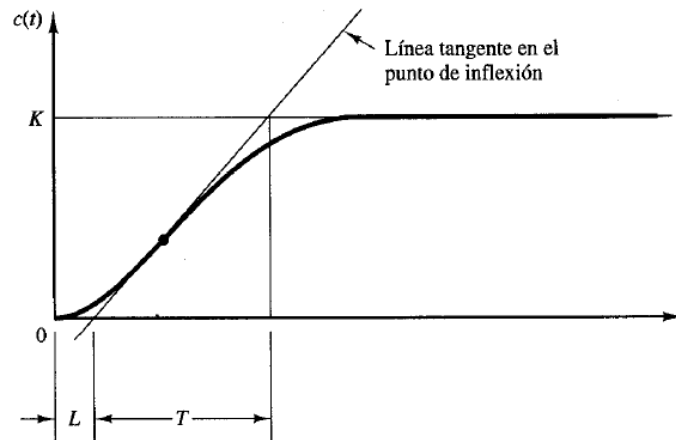


Figura 11, Respuesta de un sistema de primer orden.  
Fuente: [OGATA]

#### 1.3.4. Clases del controladores

En esta sección describiremos algunas tipologías de control de lazo cerrado tales como los controladores on/off y controladores PID (Proporcional, Integral y derivativo) [UNR].

##### ► Controlador on/off

Este tipo de controlador es el más económico y más sencillo de implementar, como su nombre lo indica solo existen dos posiciones, cerrado o abierto, este controlador se utiliza cuando no se necesita precisión o pueda tener tolerancias en el sistema ya que éste se encontrará continuamente oscilando sobre la referencia deseada; para evitar las continuas oscilaciones generalmente se define una zona de histéresis. En el control de temperatura deseado el controlador on/off no es una opción viable ya que esta aplicación requiere alta precisión y para esto es necesario regular gradualmente el paso de gas.

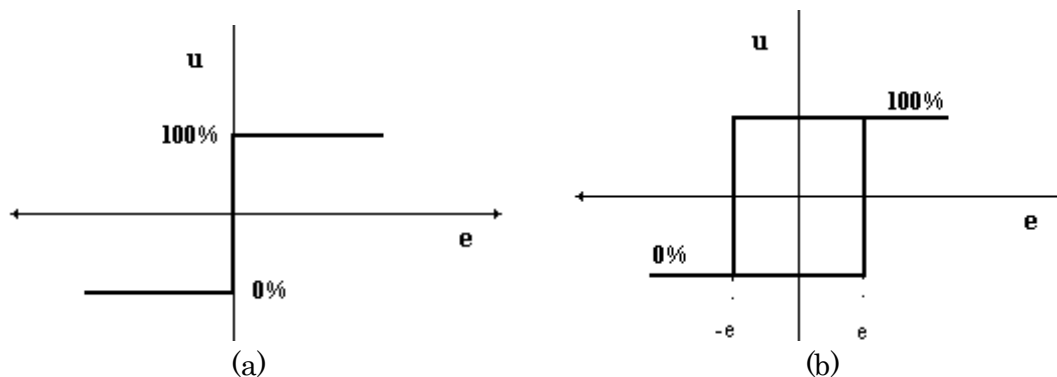


Figura 12, Controlador on/off (a) sin histéresis. (b) con histéresis.  
Fuente: [UNR] Capítulo III parte 1

## ► Controlador PID

El controlador PID se compone de una parte proporcional, una derivativa y una integral, cada una de ellas tiene un comportamiento diferente en el sistema; la acción de la parte proporcional del controlador suministra una variable pequeña a la planta, que cuando el error es pequeño y crece conforme el error crece, en la Figura 13, se observa la respuesta del controlador proporcional donde se ve claramente que existe un *off-set*<sup>1</sup> que disminuye cuando la constante del proporcional tiene a infinito pero por problemas de estabilidad la constante proporcional no puede ser tan grande. En la Ecuación 2 se encuentra la respuesta matemática a un controlador proporcional  $C(s) = Kp$ .

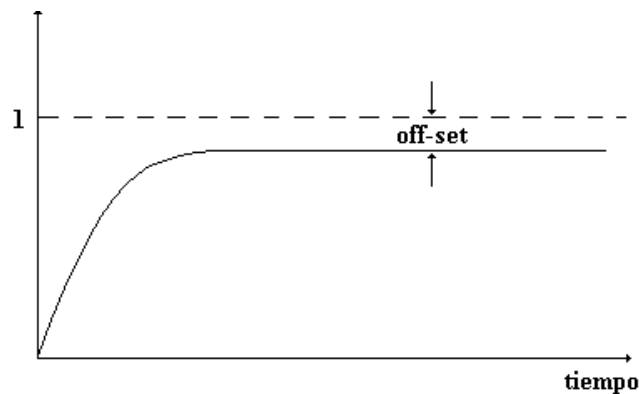


Figura 13, Acción de la parte proporcional en un sistema de primer orden.

Fuente: [UNR] Capítulo III parte 1

$$Y(s) = \frac{K \cdot Kc}{\tau \cdot s + K \cdot Kc - 1}$$

Ecuación 2, Respuesta matemática de la parte proporcional.

La acción de la parte integral pura del PID asegura un error mínimo que tiende a cero a través del tiempo, la aplicación de la integral hace que el sistema de primer orden convierta su dinámica y pase a ser un sistema de segundo orden tal como lo vemos en la Ecuación 3 con un control integral  $C(s) = \frac{Kc}{\tau_i \cdot s}$ .

$$Y(s) = \frac{1}{\tau_1^2 s^2 + 2 \cdot \tau \cdot \xi \cdot s + 1}$$

Ecuación 3, Respuesta matemática de la parte integral pura.

---

<sup>1</sup> Off-set: palabra del ingles que se usa para denotar que existe un error respecto a la referencia.

$$\text{Donde } \tau_1 = \sqrt[2]{\frac{\tau}{K \cdot Kc}} \text{ y } \xi = \sqrt[2]{\frac{1}{\tau \cdot K \cdot Kc}}$$

En la Figura 14 se observa la respuesta de un sistema de primer orden ante la parte integral pura de un controlador para  $Kc1 > Kc2 > Kc3$ .

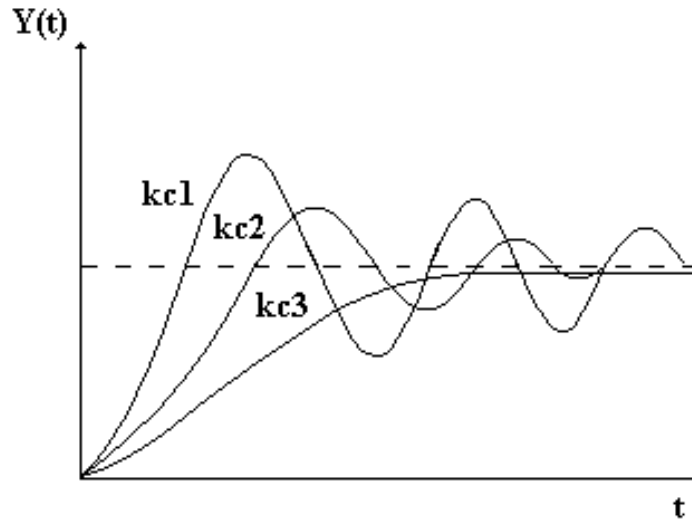


Figura 14, Acción de la parte integral pura en un sistema de primer orden.

Fuente: [UNR] Capítulo III parte 1

El objetivo de la parte derivativa del PID es anticiparse a la presencia del error, la acción derivativa no cambia el orden del sistema y hace la respuesta al sistema controlado mucho más lenta ya que aumenta la constante de tiempo tal como lo vemos en la Ecuación 4 ante la parte derivativa pura  $C(s) = kc \cdot \tau d \cdot s$ .

$$Y(s) = \frac{K \cdot Kd \cdot \tau d \cdot s}{(\tau + K \cdot Kd \cdot \tau d) \cdot s + 1}$$

Ecuación 4, Respuesta matemática de la parte derivativa pura.

La combinación de las tres partes: proporcional, integral y derivativa suma las propiedades de cada parte por separado, en la Ecuación 5 podemos observar la función de transferencia completa del PID.

$$G(s) = Kc \left( 1 + \frac{1}{\tau i \cdot s} + \tau d \cdot s \right)$$

Ecuación 5, Función de transferencia del PID.

### 1.3.5. Reglas de sintonización de Ziegler y Nichols

En la literatura se hallan diferentes tipos de reglas de sintonización como las de Ziegler y Nichols que proponen valores de  $K_p$ ,  $T_i$  y  $T_d$  basados en la respuesta escalón de la planta, pretendiendo obtener un 25% de sobrepaso máximo en la respuesta al escalón. En este proyecto se ajustarán los valores  $K_p$ ,  $T_i$  y  $T_d$  simulando en Matlab para ajustar la respuesta deseada y posteriormente por medio de una sintonización fina directamente en la planta, ajustar las condiciones finales en los constantes del controlador [OGATA].

Las reglas de Ziegler y Nichols proponen aplicar la Tabla 4 para hallar las constantes del controlador PID o sus combinaciones.

Tipo de controlador	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$\frac{T}{L}$	$\infty$	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Tabla 4, Reglas de sintonización de Ziegler y Nichols basada en la respuesta al escalón.

Fuente: [OGATA]

# Capitulo 2

## Dispositivo de medición - TR01 y control actual en las granjas avícolas de la empresa CAMPOLLO

Después de haber revisado los conceptos básicos (capítulo 1) acerca de la forma de elevar la temperatura ambiente en la cual se crían los pollos utilizando criadoras infrarrojas, surgió una importante pregunta para en la realización de este proyecto:

**¿Qué tan apropiado es el control de temperatura que actualmente se ejerce en los galpones de levante de la empresa Campollo?**

Para responder al anterior interrogante se hizo una revisión de la forma en la que actualmente se está controlando la temperatura ambiente en los galpones de levante y qué resultados se están obteniendo con este tipo de control.

Para hacer la revisión mencionada anteriormente se diseñó un dispositivo que registra la temperatura, humedad y el estado de la criadora en función del tiempo, con el objetivo de comprobar algunas hipótesis planteadas acerca del control actual de temperatura en las granjas de levante de pollos de CAMPOLLO.

En este capítulo se revisará con detalle el registro de temperatura TR01, se mostrará el diseño del dispositivo de medición, la interfaz de usuario y el análisis de datos tomados en la granja *“El Tabacal”* de CAMPOLLO.

### 2.1. Hipótesis

Las hipótesis planteadas acerca del control actual de temperatura en las granjas de levante de pollo, son basadas en la posible inadecuada utilización de

la criadora en el galpón, debido a que carece de control realimentado, la utilización de métodos artesanales de crianza, falta de conocimiento en la importancia de un ambiente confortable para la crianza del pollo, ahorro inadecuado de combustible o desconfianza a dejar la criadora sin supervisión; por estas razones los granjeros pueden prender o apagar la criadora controlando el ambiente para los pollos de manera inadecuada, al desconocer la zona de temperatura de confort del pollo; además es muy posible que el granjero controle la criadora con base en el tiempo, en otras palabras que encienda o apague la criadora a horas determinadas.

### 2.1.1. Falsos encendidos / falsos apagados

La hipótesis de “falsos encendidos / falsos apagados” se basa específicamente al suponer que pueden existir momentos en que la criadora está encendida y la temperatura del galpón está por encima de la temperatura requerida, por esta razón se puede llamar la condición como *Falso encendido*, puesto que la criadora debería estar apagada para que la temperatura del galpón disminuya; así mismo pueden existir momentos en que la criadora se encuentra apagada y la temperatura del galpón está por debajo de la temperatura requerida, a esta condición se puede llamar *Falso apagado*, ya que esta debería estar encendida para que de esta manera la temperatura del galpón aumente.

### 2.1.2. Temperatura fuera de los rangos teóricos

La ausencia de control realimentado hace suponer que no existe estabilidad en la temperatura dentro del galpón, y teniendo en cuenta que las personas que manejan estos galpones tienen costumbres de una crianza de pollo netamente artesanal, se desconoce la importancia de la temperatura en el galpón para el crecimiento adecuado de los pollos. Teniendo en cuenta lo anterior, la temperatura puede estar fácilmente por fuera de los rangos del confort del pollo por desconocimiento o mal manejo.

## 2.2. Requerimientos de diseño en el TR01

Teniendo en cuenta las sugerencias por hechas CAMPOLLO acerca de la medición de variables en el galpón, los fundamentos teóricos para la crianza de pollos, la distribución de calor de la criadora y las corrientes de aire que pueden generar errores de lectura; se decidió implementar un dispositivo portable que tome muestras de temperatura, humedad y estado de la criadora cada 6 minutos, de la siguiente manera: medir y registrar la temperatura en cinco (5) puntos, hacer una única medición y registro de humedad relativa y sumado a esto una

medición y registro de temperatura directamente debajo del quemador que permita determinar la condición de encendido/apagado de la criadora.

Es necesario realizar un análisis de temperatura en tiempo real y un análisis total de los datos después del registro completo de las variables en un número determinado de días. Por tal razón es necesario diseñar una interfaz de usuario que permita la selección de dos condiciones: la recepción y grafica de los datos en tiempo real y al final de la prueba.

En resumen, las consideraciones básicas para el diseño fueron:

- Registrar las mediciones cada 6 minutos.
- 5 sensores de temperatura.
- 1 sensor de humedad.
- 1 sensor de temperatura (detector del estado de la criadora).
- Portable (trabajar a baterías).
- Transferencia de datos al PC (Tiempo real y al final de la medición).

## 2.3. Registro de temperatura TR01

La portabilidad del dispositivo indica que es primordial diseñar el TR01 con un bajo voltaje y consumo mínimo de potencia, por esta razón es necesario trabajar con chips que cumplan con las condiciones optimas para el diseño, entre ellos, los más importantes son: el microcontrolador de bajo consumo y sensores de temperatura de bajo voltaje y máxima presión a temperatura ambiente. La velocidad de medición no es un factor relevante en este tipo de aplicaciones.

### 2.3.1. Selección del microcontrolador

Antes de entrar a describir las propiedades del microcontrolador seleccionado, en la Tabla 5 se hará un esbozo de las características generales de tres familias de microcontrolares: Microchip, Freescale y Atmel. Esta comparación fue de gran ayuda en la selección.

Característica	Microchip (PIC)	Atmel (ATMEGA)	Freescale
Arquitectura	RISC <sup>1</sup> cuenta únicamente con 35 instrucciones con direccionamiento	RISC avanzado cuenta con número mayor de instrucciones pero	CISC <sup>2</sup> arquitectura tiene un gran número de instrucciones pero su direccionamiento

<sup>1</sup> Palabra del ingles *Reduced Instruction Set Computer*

<sup>2</sup> Palabra del ingles *Complex Instruction Set Computer*

	simple.	igualmente su direccionamiento es simple.	cambia dependiendo su utilización.
<b>Compilador</b>	<b>MPLAB</b> es el compilador más utilizado para este tipo de familias es en assembler, no es gratuito aunque microchip ofrece una versión DEMO.	<b>AVR Studio</b> es el compilador ofrecido por el fabricante es gratuito y permite compilar en C y assembler. Es posible simular el código.	<b>CodeWarrior</b> es el compilador utilizado para esta familia. No es gratuito. Permite compilar en C y assembler. Es posible simular el código.
<b>Programador En todos los fabricantes ofrecen las tarjetas de desarrollo.</b>	Montaje sencillo y económico de para un software ajeno a la empresa ATMEL, por ejemplo: Pony Prog, IC Prog, entre otros.	Montaje sencillo y económico de programación en Pony Prog.	Montaje costoso (comparado a las dos familias analizadas) de programación y por el momento se conoce únicamente el software ofrecido por el fabricante.
<b>Características generales y experiencia de ERA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Son muy utilizados en el aprendizaje de programación por su arquitectura.</li> <li>• Enorme cantidad de información y aplicaciones en internet.</li> <li>• El grupo ERA ha realizado proyectos con esta familia, pero por el momento no se cuenta con compilador en C.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posee gran cantidad de módulos integrados que simplifican la programación.</li> <li>• Generalmente traen oscilador interno y se caracterizan por trabajar a bajo voltaje.</li> <li>• El grupo ERA ha experimentado con esta familia y ha obtenido buenos resultados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Son los más utilizados en la UIS y el grupo ERA, por tanto se tiene gran experiencia con esta familia.</li> <li>• En las gammas utilizadas es necesario contar con oscilador externo.</li> <li>• Poca información en internet.</li> </ul>
<b>Costo</b>	Costo medio	Bajo costo	Alto costo

Tabla 5, Características generales de las familias de micro controladores.

El dispositivo de medición TR01 se diseñó basado en un microcontrolador de la familia ATMEGA de ATMEL, esta familia de microcontroladores se caracteriza por trabajar a bajo voltaje y tener alta eficiencia; además su arquitectura RISC ofrece gran cantidad de instrucciones que lo hace más eficiente comparado a otros microcontroladores a la hora de implementar las mismas operaciones por métodos numéricos. El microcontrolador ATMEGA16 tiene una memoria flash de 16K bytes y posee gran cantidad de módulos integrados que simplifican la tarea del programador, entre ellos se puede mencionar: 2 Timer/counter de 8 bits, 1 Timer/counter de 16 bits, 4 canales de PWM, 8 canales ADC de 10 bits y entre ellos 2 canales ADC diferenciales con ganancia programable, modulo I2C, USART, SPI, entre otros, sumado a esto oscilador RC interno configurable<sup>1</sup>.

El compilador en C fue AVR Studio 4, totalmente gratuito y descargable en la página web de ATMEL, que permite la compilación en assembler y C, además en él es posible realizar simulaciones observando el comportamiento de todos los registros del microcontrolador. Aunque el AVR Studio 4 permite la programación del microcontrolador por el puerto serial y USB, es necesario disponer de tarjetas de desarrollo ofrecidas por ATMEL a costos elevados, por esta razón, para la programación del microcontrolador se utilizó el software PONYPROG que sirve para programar gran variedad de familias de microcontroladores y memorias EEPROM por el puerto serial del computador y regala los diagramas esquemáticos para cada uno de ellos.

El ATMEGA16 se presenta en empaquetado PDIP de 40 pines y TQFP/QFN/MLF de 44 pines, para este proyecto se utilizó el TQFP44 (ver **Figura 15**), aunque no son necesarios algunos módulos que tiene integrados y la cantidad de pines sobrepasa a los que necesita el diseño, la limitación más exigente fue el tamaño de la memoria flash puesto que la programación oscila entre los 10k bytes de código.

### ► Programador para ATMEGA

Con la selección del microcontrolador fue necesaria la construcción de una tarjeta programadora para el ATMEGA16, esta utiliza el puerto serial del computador y es necesario alimentar independientemente el microcontrolador, una de las ventajas de la programación es que se puede realizar *in circuit*, es decir, se puede programar el microcontrolador conectado al circuito de la

---

<sup>1</sup> Hoja de datos del ATMEGA16, pagina WEB: <http://www.atmel.com>

aplicacion. En la Figura 16 y Figura 17 se muestra el diagrama esquemático de la tarjeta implementada.

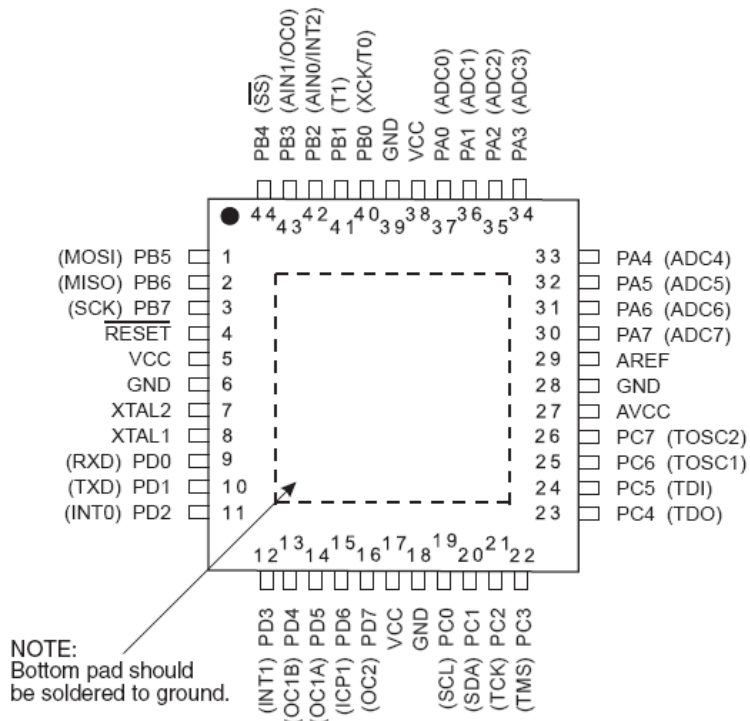


Figura 15, Configuración de los pines del ATMEGA16.  
Fuente: Hoja de datos del ATMEGA16L, pág. 2

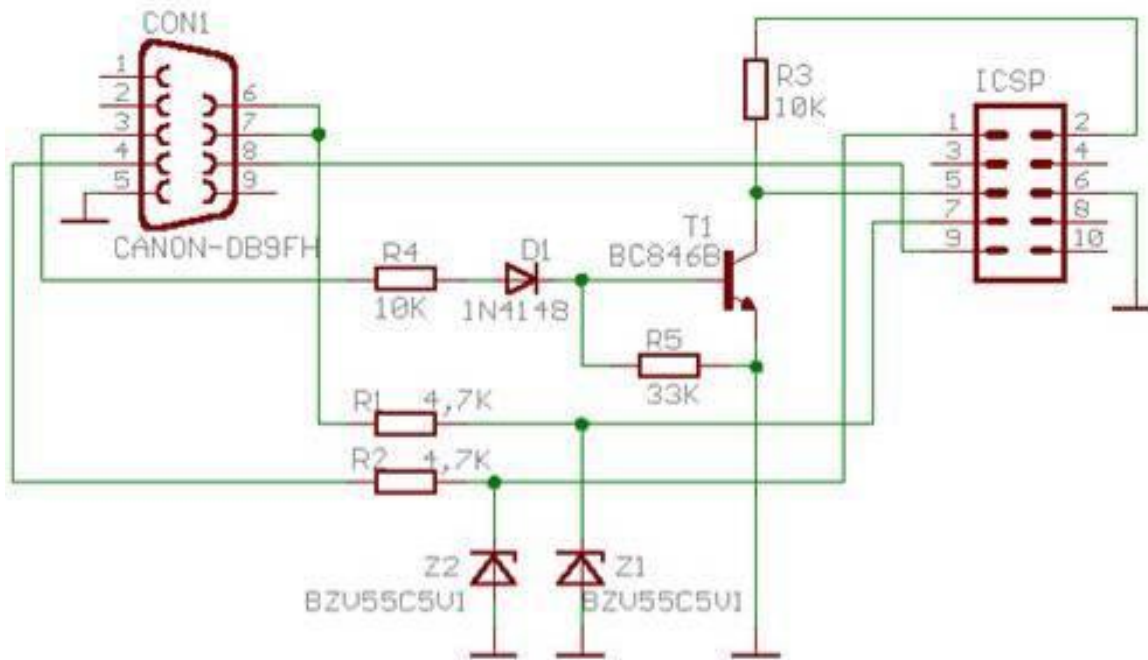


Figura 16, Diagrama esquemático del programador ATMEGA  
Fuente: <http://www.olimex.com/dev>

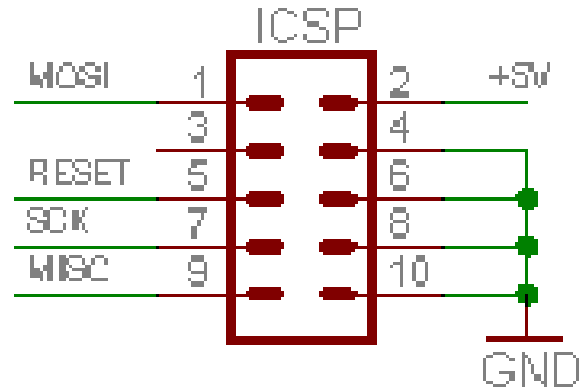


Figura 17, Puerto salida del programador  
Fuente: <http://www.olimex.com/dev>

La tarjeta PCB se diseño en Eagle, dejando disponibles los puertos de programación requeridos por el microcontrolador (MISO, MOSI, RST, SCK y alimentación), se debe decir que es necesario alimentar el microcontrolador con una fuente externa en esta clase de tarjeta programadora. En la Figura 18 se muestra el resultado final de la tarjeta programadora para microcontroladores de la familia ATMEGA.

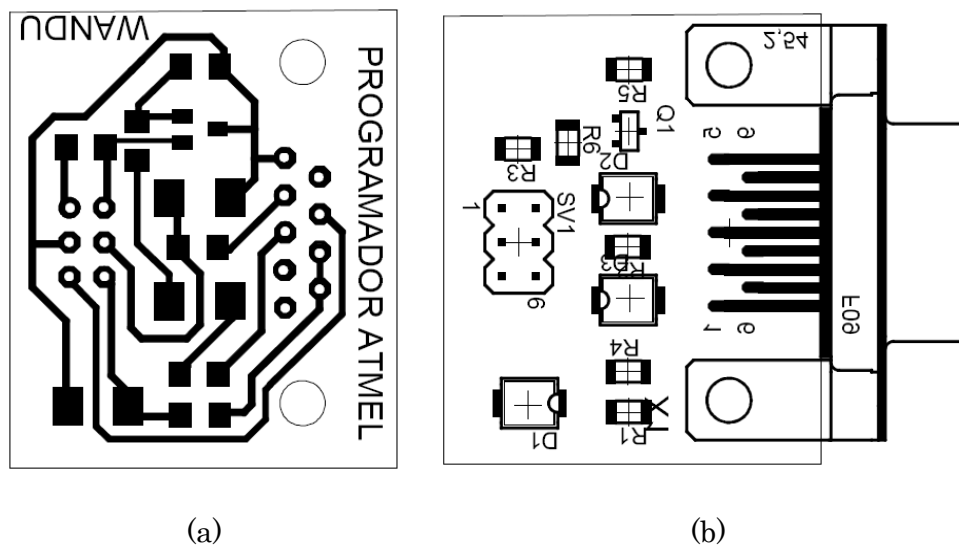


Figura 18, Programador ATMEGA. (a) PCB (b) Distribución de los dispositivos  
Fuente: el autor

Por medio de la aplicación Eagle3D podemos observar el diseño final en tercera dimensión en la Figura 19.

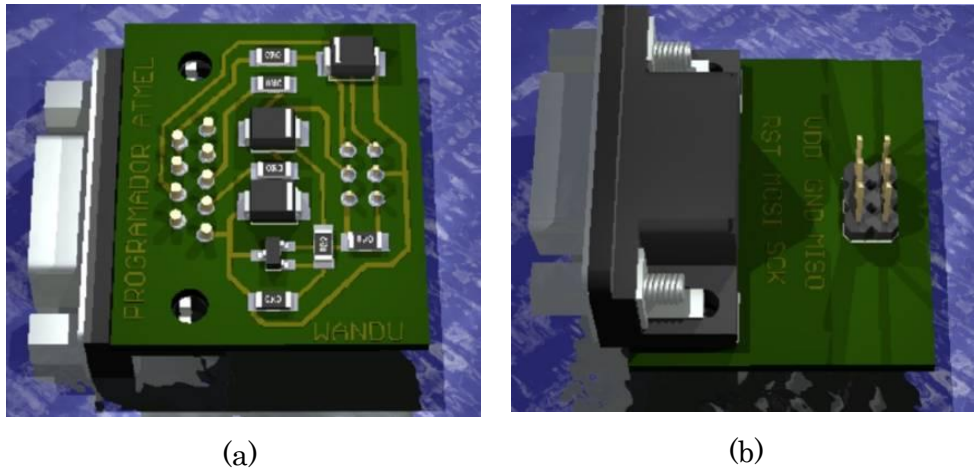


Figura 19, Programador ATMEGA en 3D<sup>1</sup>, (a) vista inferior (b) vista superior  
Fuente: el autor

### 2.3.2. Selección de los sensores

El sensor es el dispositivo que transforma magnitudes físicas o químicas en magnitudes eléctricas, estas pueden ser temperatura, intensidad luminosa, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, pH, entre otros. Algunas características típicas de los sensores son el rango, la precisión, desviación de cero, linealidad, sensibilidad, resolución, rapidez de respuesta, repetitividad, entre otros<sup>2</sup>; sumando a esto los sensores se pueden diferenciar por el modo como entregan la señal eléctrica ya que esta puede ser analógica o digital.

Para el diseño del TR01 fue necesario seleccionar tres tipos de sensores, temperatura, humedad y el sensor de temperatura para detectar el estado de la criadora. A continuación se describe cada uno de los sensores seleccionados.

#### ► Sensor de temperatura LM92

La exactitud y precisión en la medición de temperatura es crítico cuando se busca conocer los valores reales de las variables en el galpón, por esta razón es conveniente utilizar sensores con protocolo de comunicación serial, esto debido a que es necesario que los sensores estén repartidos en el área de acción de la criadora y por consideraciones de diseño deben tener un cable de 2 metros entre la tarjeta y el sensor. Contar con un sensor análogo sería viable pero incrementaría los costos al implementar etapas de acondicionamiento de señal

<sup>1</sup> Abreviatura utilizada para graficas en tercera dimensión.

<sup>2</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor>, revisado en mayo de 2008

para evitar la pérdida de la información, los sensores con protocolo de comunicación digital cuentan con estas etapas de adecuación de señal integradas en el chip y podemos confiar el envío de datos si la pérdida de los mismos, en la Tabla 6 se encuentra una comparación entre dos sensores con alta precisión encontrados en la documentación para dar una característica global de los sensores comerciales.

CARACTERÍSTICA	LM92	TMP275
Rango de temperatura	-55°C a +150°C	-40°C a +125°C
Exactitud	0.33°C @ 30°C, 3.3V a 4.0V	±0.5°C @ -20°C a +100°C, 3.3V
Resolución	0.0625°C	0.0625°C
Alimentación	+2.7V a +5.5V	+2.7V a +5.5V
Consumo corriente	100µA tip. @ 400KHz	350uA
Protocolo de comunicación	I2C	I2C
Costo digikey <sup>1</sup>	US \$ 4.05	US \$3.15

Tabla 6, Comparación entre 2 sensores de alta precisión. Fuente: El autor

El sensor seleccionado para la etapa de medición fue el LM92 de NATIONAL INSTRUMENTS, además de cumplir con las propiedades requeridas, este sensor que cuenta con mayor precisión, vital en la medición y el control y es posible sacrificar consumo de corriente y costo a cambio mayor precisión. El protocolo de comunicación I2C es muy popular y muchos dispositivos disponen el mismo protocolo de comunicación, incluyendo el microcontrolador utilizado ATMEGA16 que viene con un modulo de comunicación I2C integrado, este protocolo permite la comunicación de un buen numero de dispositivos por las mismas líneas de comunicación SCL, SDA; en el caso específico del LM92 es posible controlar hasta 4 sensores por las mismas líneas de comunicación configurando el sensor por medio de hardware en los pines A0 y A1 del LM92. El esquema general del LM92 se muestra en la Figura 20[LM92].

Con base al diagrama esquemático de la Figura 20 se diseño una tarjeta PCB con configuración distinta para cada sensor en las líneas A0 y A1 con el objetivo que sean diferenciados en el protocolo I2C, A0 y A1 diferencia cada sensor LM92 cambiando su dirección de acceso, por esta razón estos determinan el numero de

<sup>1</sup> Tienda virtual de dispositivos electrónicos. Pagina WEB: <http://www.digikey.com/>

sensores que pueden ser colgados de las mismas líneas de comunicación, si seleccionamos una configuración distinta para cada sensor, en total, es posible colgar 4 sensores en el mismo protocolo I2C. En la Figura 21 se encuentra el diseño final del PCB y la vista del mismo en 3D.

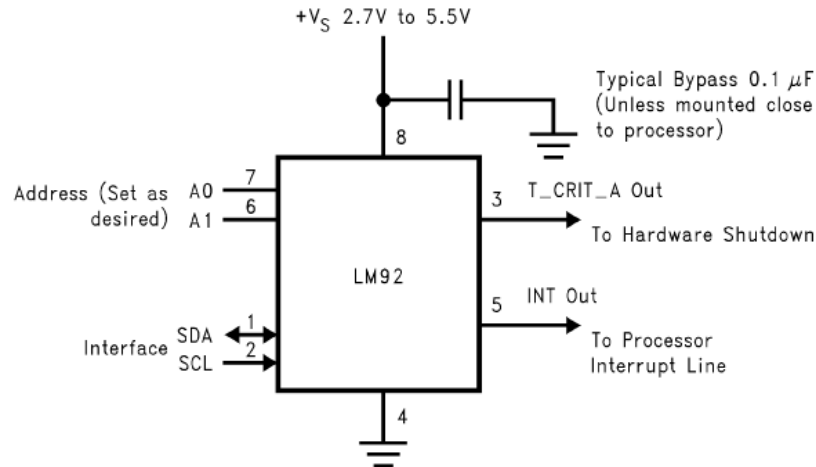


Figura 20, Configuración de pines y diagrama esquemático del LM92.  
 Fuente: Hoja de datos del LM92

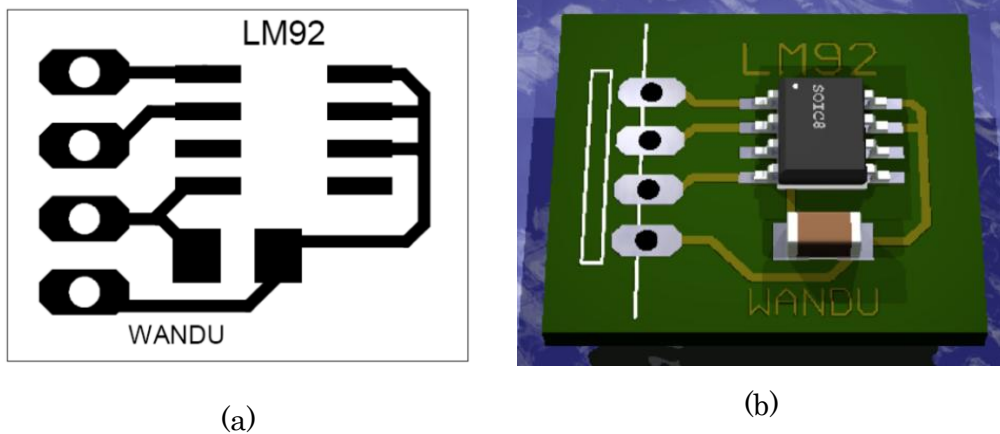


Figura 21, PCB final del LM92 (a) vista normal. (b) vista en 3D  
 Fuente: el autor

### ► Sensor de temperatura y humedad SHT11

Es necesario utilizar un sensor para medir la humedad en el galpón y debido a que esta no es la variable a controlar se realizara una única medición en el galpón, el sensor SHT11 fabricado por SENSIRION incluye un sensor polímero capacitivo para la medición de humedad relativa y un sensor bandgap de temperatura conectado a un convertidor analógico digital de 14 bits y a una interfaz digital de dos líneas. En otras palabras realiza la función de medir

temperatura (-40°C a 123.8 °C) y humedad relativa (0% a 100%) con una exactitud de  $\pm 3.0\%RH$  y  $\pm 4.0^\circ C @ 25^\circ C$  respectivamente.

El protocolo de comunicación es propio de SENSIRION y semejante al protocolo I2C, la resolución es de 12 bits en humedad relativa y 14 bits en temperatura configurable en la programación; puede ser alimentado desde 2.4 a 5.5 voltios con un consumo típico  $550\mu A$  durante la medición y  $28\mu A$  en promedio [SHT11]. En la Figura 22 podemos ver la presentación del sensor en su empaquetado SMD comparado al tamaño de un fosforo de seguridad.



Figura 22, Sensor de temperatura y humedad SHT11.  
Fuente: Hoja de datos del SHT11

El circuito de interfaz con el microcontrolador consta de alimentación y líneas de comunicación mostradas en la Figura 23, este circuito fue implementado en una tarjeta PCB mediante Eagle (ver Figura 24).

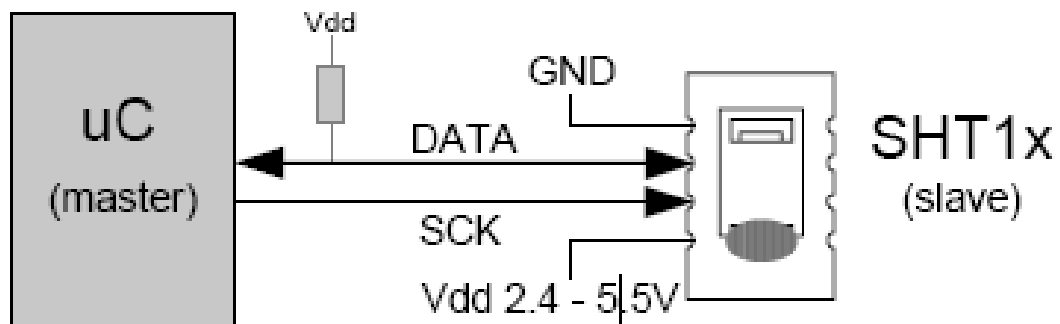


Figura 23, Circuito de interfaz SHT11,  
Fuente: Hoja de datos del SHT11

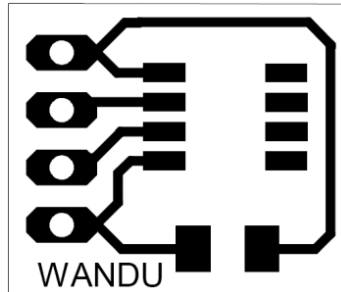


Figura 24, PCB final para el sensor SHT11.  
Fuente: el autor

### ► Sensor de temperatura “TERMOCUPLA”

La termocupla es un dispositivo que se forma con la unión de dos metales que crean una diferencia de voltaje entre los terminales, estos son capaces de medir temperaturas elevadas. La termocupla tipo J es una de las más utilizadas y mas económicas, la unión es formada por hierro – constantán y alcanza a medir temperaturas desde  $-200^{\circ}\text{C}$  a  $700^{\circ}\text{C}$ <sup>1</sup>. En el TR01 se utilizada para medir la temperatura cerca del quemador, esta temperatura puede sobrepasar los  $400^{\circ}\text{C}$  [ROMERO] y como no es necesario conocer la temperatura exacta no hace falta un acondicionamiento de señal robusto, se debe recalcar que el objetivo fundamental de la termocupla en el TR01 es determinar el estado de la criadora (encendido / apagado).

#### ● Circuito acondicionador de la termocupla

Se utilizo un amplificador operacional configurado como amplificador diferencial, esta es la combinación entre la configuración inversora y no inversora, ideal en circuitos de acondicionamiento de señal para la termocupla porque rechaza la entrada de modo común y realiza la diferencia amplificada por un factor, luego se aprovecha el segundo opam para realizar una sintonía en el circuito ajustando la ganancia para que el dispositivo de medida detecte la señal como un valor lógico. En la Figura 25 podemos ver la configuración del opamp donde  $V_a$  es el voltaje entregado por la termocupla tipo J.

Teniendo en cuenta que se desea conocer el estado del quemador (encendido / apagado) no es necesario conocer el valor exacto de la temperatura, lo que indica que no es necesario utilizar amplificador de instrumentación. El amplificador operacional utilizado es el TLC252C fabricado por Texas Instruments, trabaja con alimentación simple o doble, es *rail to rail*, de bajo voltaje (1.4V a 16V) y

<sup>1</sup> [http://www.sapiensman.com/medicion\\_de\\_temperatura/termocuplas.htm](http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/termocuplas.htm) revisado en mayo de 2008

tiene un consumo típico de corriente de  $300\mu\text{A}$  @  $1.4\text{V}$ . En el encapsulado SOIC8 vienen empaquetados dos opamp con las mismas especificaciones (ver Figura 26).

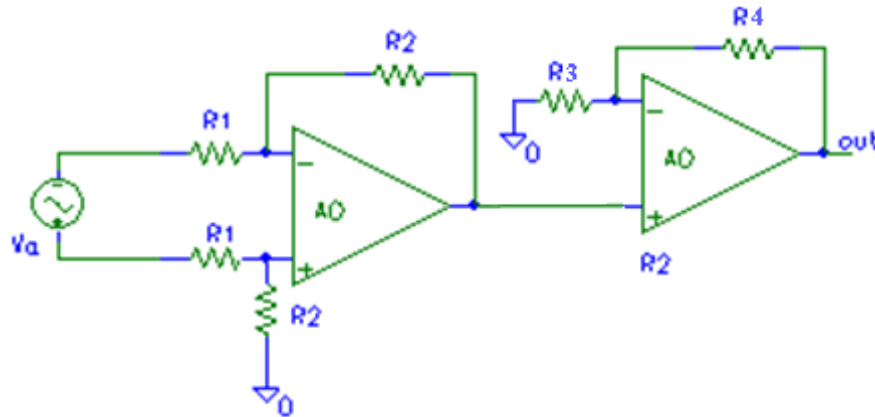


Figura 25, Configuración amplificador diferencial.

Fuente: el autor

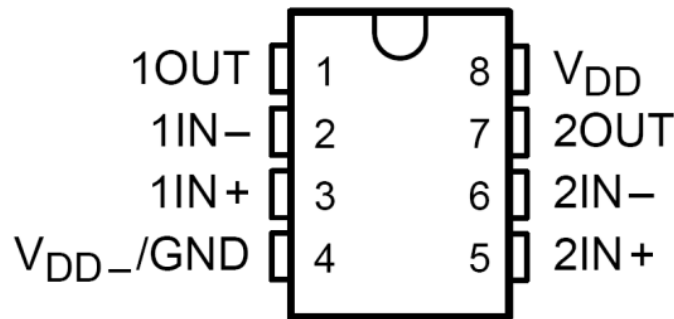


Figura 26, Configuración de los pines del TLC252.

Fuente: Hoja de datos del TLC252

### ► Memoria EEPROM

Se utilizó una memoria EEPROM para almacenar los datos de temperatura, humedad y estado de la criadora, es necesario contar 27 KB para guardar las variables mencionadas cada 6 minutos durante 16 días, por esta razón se selecciona la memoria AT24C256 que tiene un tamaño de 32.768 bytes. El AT21C256 se alimenta desde  $1.8\text{V}$  a  $5.5\text{V}$ , tiene un consumo típico en modo lectura  $1\text{mA}$  @  $5\text{V}$  –  $400\text{KHz}$  y escritura  $2\text{mA}$  @  $5\text{V}$  –  $400\text{KHz}$ . El protocolo de comunicación que utiliza el AT24C256 es I2C, igual que los sensores de temperatura LM92, por esta razón utilizaría las mismas líneas de comunicación simplificando el diseño de la tarjeta PCB final. En la Figura 27 podemos ver la distribución de los pines del AT24C256.

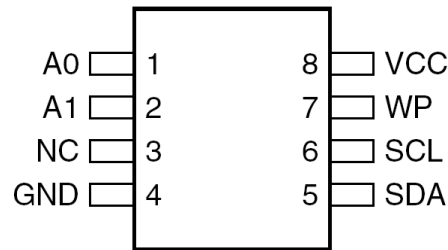


Figura 27, distribución de los pines del AT24C256.

Fuente: Hoja de datos del AT24C256

### ► Interfaz USB - USART

Fue indispensable fabricar un dispositivo de medición que trabaje con el puerto USB del computador debido a que las mediciones se realizan directamente en el galpón y los computadores portátiles no cuentan con puerto serial integrado. Se selecciono el dispositivo FT232 que simula un puerto serial (USART) mediante el puerto USB del computador. El chip FT232R es la versión mejorada de esta familia de chips y ahora trae interno el oscilador y algunas resistencias de configuración que eran necesarios para conectar externamente en la versión anterior del chip, sumado a esto trae integrado el regulador de voltaje permitiendo un rango de alimentación desde 3.3V a 5.25V con un consumo típico de 15mA en operación y 70 $\mu$ A modo de espera [FT232].

Es necesario instalar los drivers del chip en el sistema operativo utilizado, FTDICHP facilita los drivers para cada sistema operativo (Windows, Linux, MAC) en su página web, una vez instalados los drivers se configura el puerto virtual (COM) de acuerdo a las necesidades y se trabaja de igual manera que en un puerto serial de un computador de escritorio. En la Figura 28 podemos ver el esquema de configuración para el correcto funcionamiento del chip.

#### 2.3.3. Diseño general de hardware del TR01

Teniendo en cuenta los diseños por separado de cada etapa, se diseño una tarjeta PCB que integrara a todas. Las etapas que componen el dispositivo de medición son: microcontrolador, circuito acondicionador de la termocupla, memoria EEPROM y la interfaz USB-USART. Adicionalmente la tarjeta PCB tiene algunos switch de selección, leds de señalización y puerto de programación para el microcontrolador, así como puerto para cada uno de los periféricos. El diseño general funciona a 3 voltios a excepción del FT232R que se alimenta directamente del puerto USB del computador. Un aspecto importante es que la tarjeta general debe contar con baterías ya que el computador no estará presente



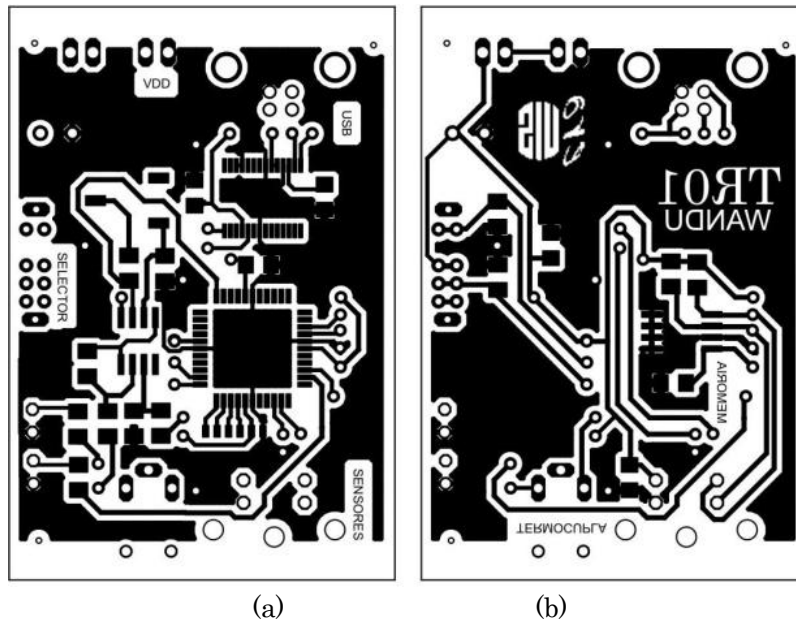


Figura 30, PCB final del TR01. (a) Top. (b) Bottom.

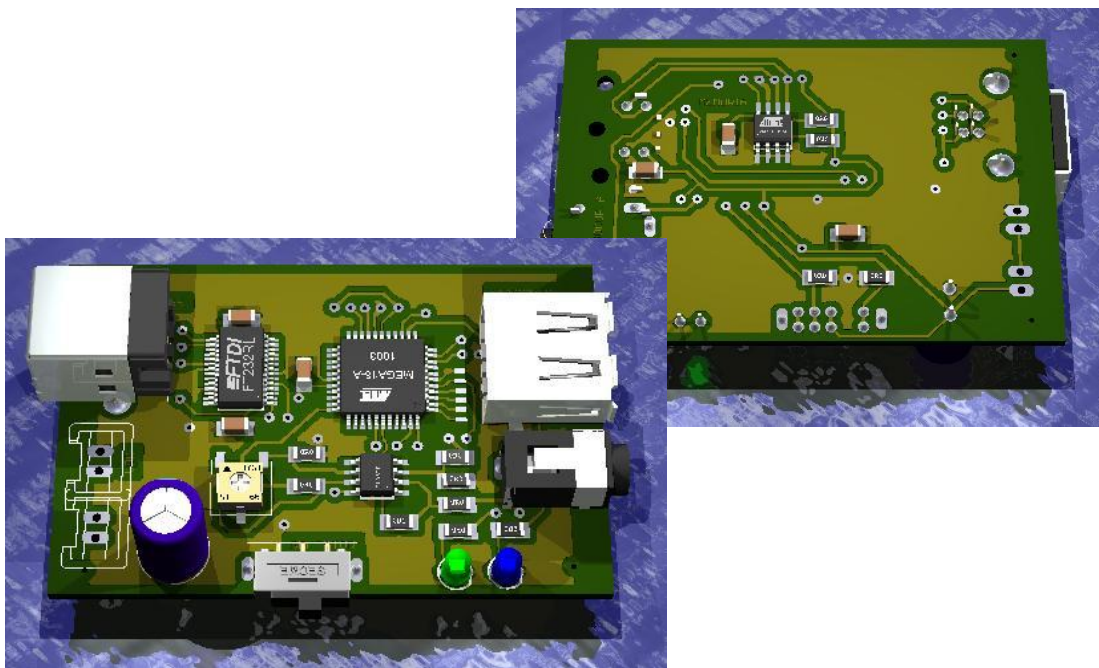


Figura 31, PCB final del TR01 en 3D TOP y BOTTOM.

## 2.4. Diseño de la interfaz de usuario

Se desarrollo una interfaz en LabView para graficar y guardar los datos de temperatura, esta interfaz es de uso general para que el técnico del galpón pueda monitorear el proceso sin la necesidad de conocer códigos complejos de programación y pueda hacerlo cuando se requiera. Adicional se diseñó la adquisición de datos en MatLab debido a que en este software permite analizar

los datos y tiene la posibilidad de hacer toda clase operaciones con ellos, este software requiere conocimientos avanzados de programación y por tanto es utilizado únicamente para la validación experimental del proyecto de grado.

### 2.4.1. Interfaz LabView

LabView es un software que brinda herramientas necesarias para crear la interfaz de usuario: recibir, graficar y guardar los datos del dispositivo de medición en tiempo real, la descarga total de los datos al final de la medición y su posterior almacenamiento en un archivo compatible con Excel. Después de realizar la interfaz se compila creando un único archivo ejecutable, donde  $\forall$  es suficiente instalar únicamente el run-time de LabView para ejecutarlo en cualquier computador. La interfaz tiene varios comandos de control, algunos son necesarios configurarlos para el correcto funcionamiento del programa y otros permiten manipular la visualización del historial de los datos y otras opciones. En la Tabla 7 está definido cada uno de los comandos de control e indicadores en la interfaz mostrada en la Figura 32.



(a)



(b)

Figura 32, Interfaz de usuario LabView. (a) Registro en tiempo real. (b)Descargar datos del TR01.

### DEFINICIÓN DE COMANDOS E INDICADORES DE LA INTERFAZ LABVIEW

1	<p>Pestañas de selección: Existen dos pestañas “Registro en tiempo real y descargar datos del TR01” cada una se selecciona dando clic en la pestaña correspondiente y luego en seleccionar, la diferencia del resultado de cada pestaña se observa en la Figura 32 (a) y (b) respectivamente.</p>
2	<p>Puerto: En este campo se debe configurar el puerto serial de computador ya sea físico o virtual; es necesario configurarlo antes de dar comienzo a la programa porque de lo contrario no hará conexión con el TR01.</p>
3	<p>PARAR: Presione este botón para detener la ejecución del programa, es necesario presionarlo al finalizar para que los datos sean guardados en un archivo.</p>

4	Indicador grafico: En los espacios indicados se grafican las variables de interés en función del tiempo, todas ellas tienen diferentes propiedades dependientes de la variable representada, la variable que indica el estado de la criadora se representa con valores simbólicos de manera digital (encendido/apagado).
5	Barra de desplazamiento: Es posible desplazar el eje horizontal de la grafica mediante este comando, otras propiedades de la grafica pueden utilizarse dando clic derecho directamente en la grafica.
6	Tablero histórico de datos: en este tablero se muestran los datos históricos de temperatura en forma vectorial, se actualiza cada vez que recibe un dato del TR01.
7	Activación del desplazamiento: Con este comando es posible activar la barra de desplazamiento en los vectores del tablero de datos históricos o seleccionar el modo de actualización automática.
8	Tablero actual de variables: En este tablero se muestra grafica y numéricamente el valor actual de temperatura, humedad y estado de la criadora.
9	Guardar en: En este control debe indicarse la dirección y nombre del archivo en el cual se guardaran los datos, puede ser escrito durante el proceso de medición, el valor por defecto es C:\datos.xls.

Tabla 7, Descripción de los comandos de la interfaz LabView.

### ► Descripción del código de programación

El código de programación en LabView tiene un entorno totalmente grafico, además cuenta con muchas funciones incorporadas que simplifican la tarea al programador. El código de programación consta de cinco etapas básicas: selección de actividad, manejo del puerto serial, operaciones básicas, graficas e indicadores y guardar los datos.

#### 2.4.2. Adquisición de datos MatLab

Mediante MatLab fue posible desarrollar un código de adquisición de datos con el objetivo de aplicar operaciones y manipular totalmente los datos recibidos por el TR01; MatLab ofrece un software que exige un alto conocimiento de programación y conocimiento en operaciones vectoriales, por lo tanto este software fue realizado para uso exclusivo del autor del proyecto para la

verificación experimental, la interfaz en MatLab al igual que la interfaz en LabView utiliza el puerto serial de computador (virtual o físico).

## 2.5. Pruebas y análisis de datos

Con el TR1 se realizó una prueba en la granja *El Tabacal* de CAMPOLLO ubicada en la mesa de los santos, donde la temperatura del ambiente es inferior a los 25°C regularmente, en la Figura 33 se visualiza la grafica de la temperatura de los 5 primeros días (120 horas) de crianza, la primera muestra fue tomada a las 12 de la noche del primer día y continua hasta llegar a las 120 horas de muestreo, la grafica muestra que la temperatura es muy inestable y oscila fuera del rango de confort del pollo como se indica en la Tabla 1.

En la grafica se puede observar que la temperatura oscila desde los 25.7°C hasta los 27.7°C cuando debería estar alrededor de 30°C hasta el tercer día de crianza. Después del tercer día (72 horas) la temperatura puede bajar hasta los 28 grados, pero la curva registrada indica que no hay cambios en el control de temperatura a través del tiempo en los 5 días de muestreo. En la grafica no se muestra la curva del estado de la criadora en el tiempo ya que es un nivel lógico y en la prueba se pudo comprobar que estuvo encendida durante los cinco días de medición.

La Figura 34 muestra la instalación del TR01 en uno de los galpones de la granja *El Tabacal* de CAMPOLLO, allí se puede observar la distribución de los sensores referenciados en la Figura 33: los sensores 1, 4, 3, 5 estas distanciados a 50 cm entre sí, el sensor 2 esta distanciado 80 cm respecto al sensor 1 y la altura de la criadora es 130 cm. En la Figura 35 se muestra la ubicación de la termocupla en la criadora.

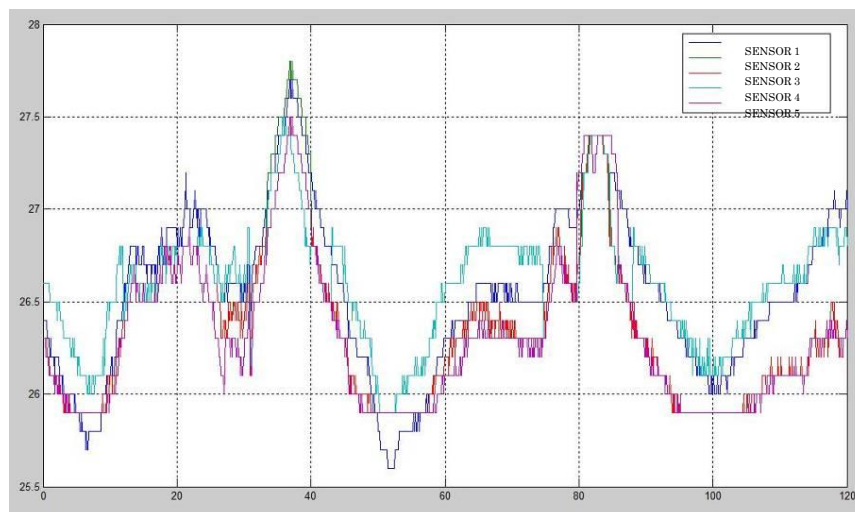


Figura 33, Comportamiento de la temperatura en la granja EL TABACAL.

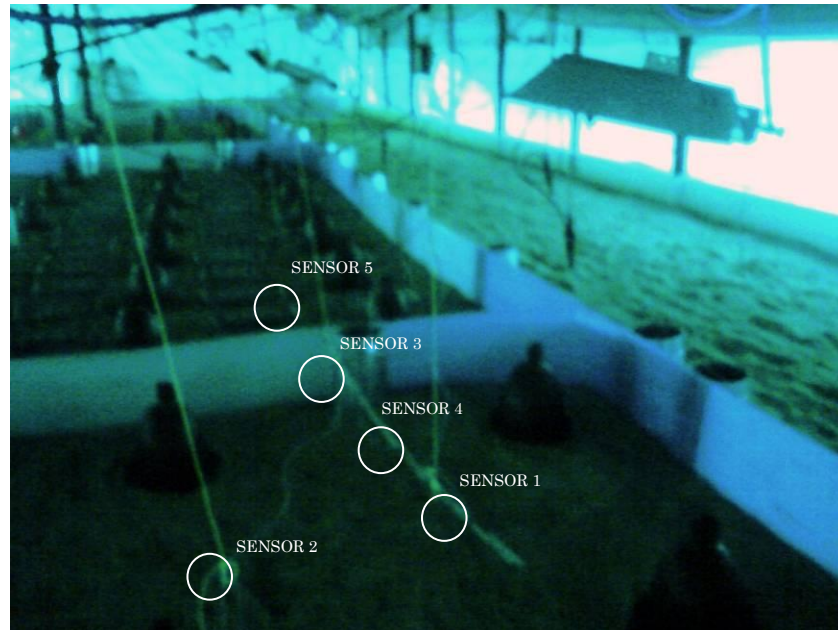


Figura 34, Distribución de los sensores



Figura 35, Ubicación de la termocupla en la criadora.

La Figura 36 muestra la curva de temperatura de los 5 primeros días de crianza registrada por el sensor 1, cada color simboliza un día diferente indicado en la parte superior - derecha de la grafica. La prueba realizada en CAMPOLLO indica que es necesaria la regulación del gas ya que aunque la criadora siempre permaneció encendida en los 5 días, los niveles de temperatura no eran los adecuados para la crianza.

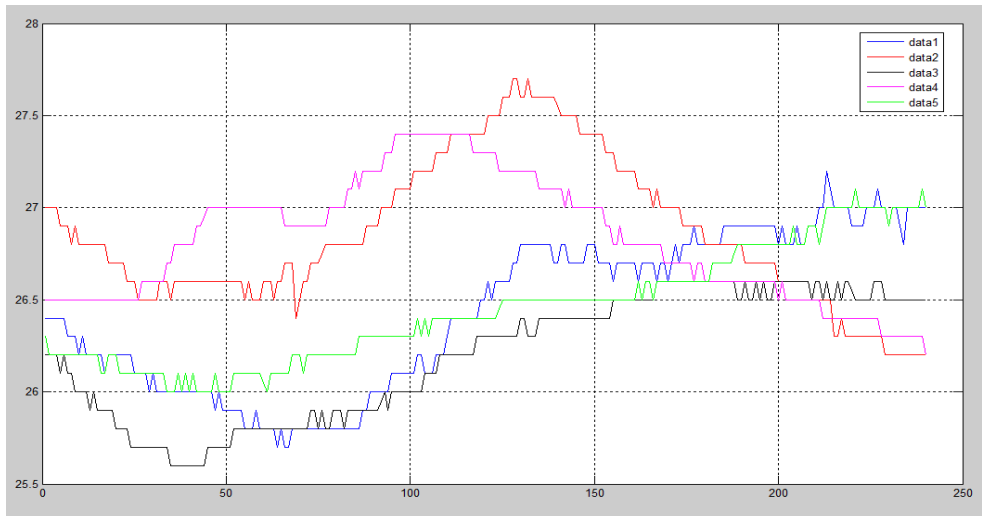


Figura 36, Grafica de temperatura de los 5 primeros días de crianza del sensor 1.

En la Figura 37 se muestra la distribución de las criadoras en el galpón, cada criadora puede albergar de 800 a 1000 pollos y para un galpón como el que esta mostrado en la figura (15000 pollos) se necesitan cerca de 15 criadoras.



Figura 37, Distribución de las criadoras en el galpón.

Adicional a las pruebas en la granja de CAMPOLLO se realizo una prueba en una granja Avícola en la ciudad de Moniquira, donde se encontró otro tipo de control. Esta granja igualmente presenta resultados no deseados, en la Figura 38 podemos visualizar el estado de la criadora que posiblemente sea controlada en función del tiempo, es decir, sea encendida o apagada a horas determinadas,

además es visible que falta regulación en el paso de gas y en la grafica se pueden visualizar los falsos encendidos y falsos apagados que se comentaron en la primera hipótesis.

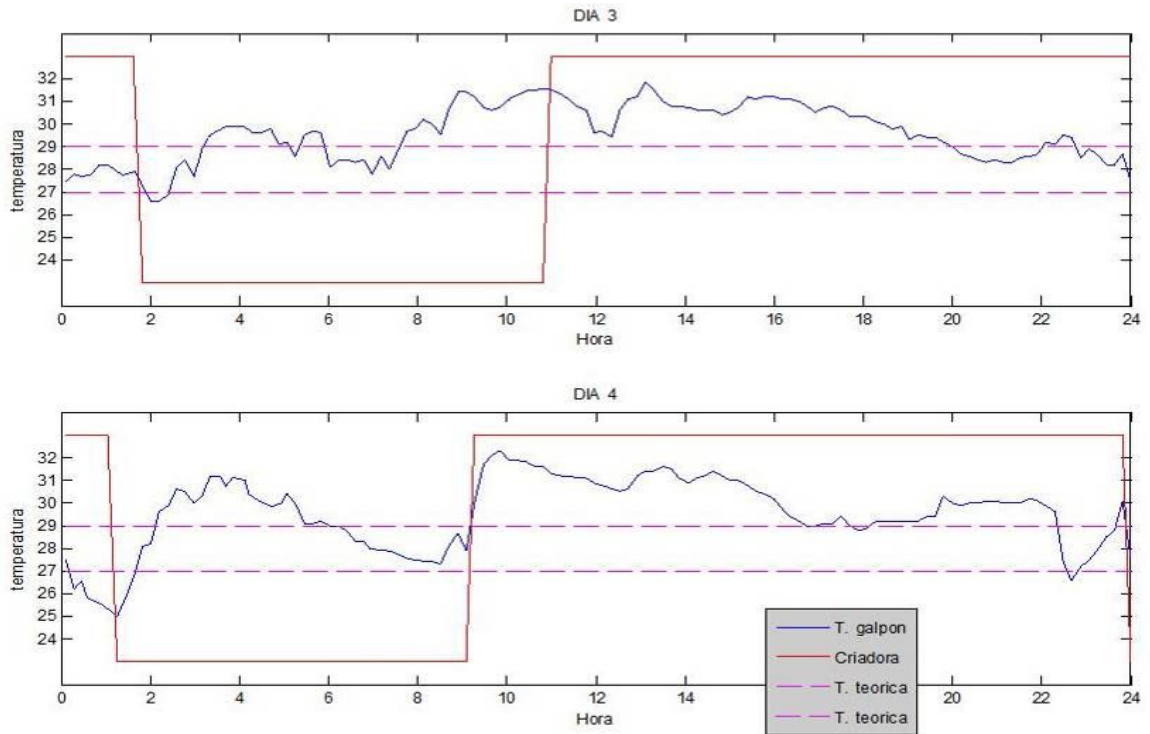


Figura 38, Comportamiento de la temperatura en la graja de Moniquira.

# Capitulo 3

## Tipología del control de temperatura y diseño general del controlador de temperatura CT01

El propósito principal de este capítulo es mostrar el proceso de selección de la tipología controlador para la criadora infrarroja a gas, por esta razón se estudiarán conceptos básicos de control automático de procesos, algunas tipologías existentes en la teoría de control y por último definir el sistema general del CT01.

### 3.1. Sistema de control del CT01

El sistema de control utilizado para el controlador de temperatura CT01 fue lazo cerrado o realimentado porque es robusto a los cambios de temperatura y perturbaciones del ambiente, se utilizara la combinación de un PID debido a las ventajas que presenta y que requiere el diseño del control de temperatura en el galpón, la parte integral disminuirá el error y la parte derivativa ayudara a acelerar el tiempo de establecimiento y posteriormente cuando el sistema se encuentre estable hará los cambios de temperatura mucho más suaves.

En algunos galpones el control de la criadora es basado en el tiempo, es decir por lazo abierto, los granjeros proponen horarios de encendido o apagado de las criadoras con base en un horario, esto fue observado en las pruebas realizadas en un galpón del municipio de Moniquirá vereda el *Maciegal* mostrando el encendido de la criadora en la Figura 38. Teniendo en cuenta las perturbaciones, en este caso los cambios climáticos, las corrientes de aire, el efecto invernadero o la capacidad calórica de la combustión sería inútil proponer un sistema de

control de lazo abierto para este sistema ya que no es inmune a las perturbaciones.

El sistema de control se compone de un controlador, la planta y el sensor, la interconexión de la Figura 39 muestra un sistema de control por lazo cerrado, este sistema es el utilizado para el CT01 debido a que es un sistema que presenta varias perturbaciones, entre ellas las corrientes de aire, los cambios climáticos, los manejos del galpón, la temperatura corporal de los pollos, entre otros.

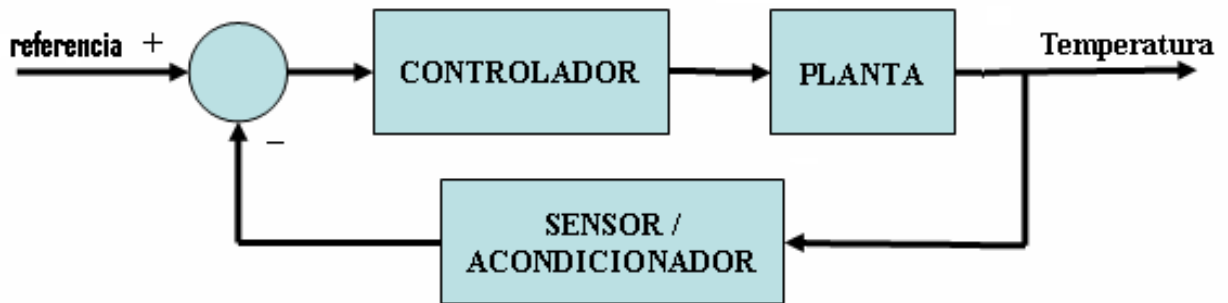


Figura 39, Diagrama de bloques del sistema de control.

### ► Caracterización de la planta del CT01

Para realizar un diseño de control es necesario caracterizar la planta y el sensor o acondicionador. La función de transferencia del sensor o acondicionador es una constante proporcional a la temperatura ya que se utilizará el mismo sensor empleado en el TR01, acogiéndose a las ventajas que presenta la transmisión de datos de forma digital.

En el CT01 la planta se entiende por el conjunto de quemador y válvula de paso de gas y para su caracterización se seguirá el método explicado en la sección 1.5.3. por medio de la interfaz de usuario diseñada en LabView contemplada en el capítulo 2. Se registró la respuesta al escalón de la planta de una criadora en el galpón tomando la temperatura en tiempo real para construir un modelo de primer orden (ver ubicación de los sensores respecto a la criadora en la Figura 40 donde la criadora está ubicada a 1.2 metros de altura y la válvula de la criadora está abierta al 100% a una presión de 7.5 kg-cm<sup>2</sup>); en la Figura 41 se encuentra la grafica que se adquirió del proceso de caracterización, aunque no está graficado el escalón, en la interfaz se observó que el inicio del escalón es en la muestra número 200 “cada muestra está separada en 2.52 segundos”.

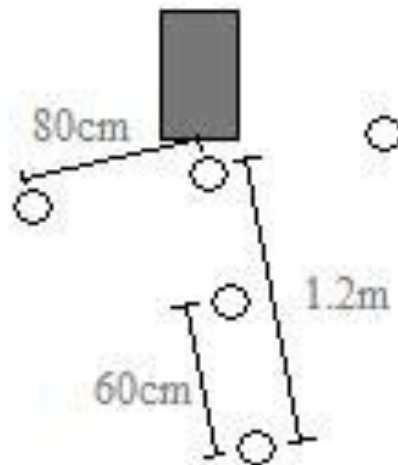


Figura 40, Distribución de los sensores de temperatura respecto a la criadora.

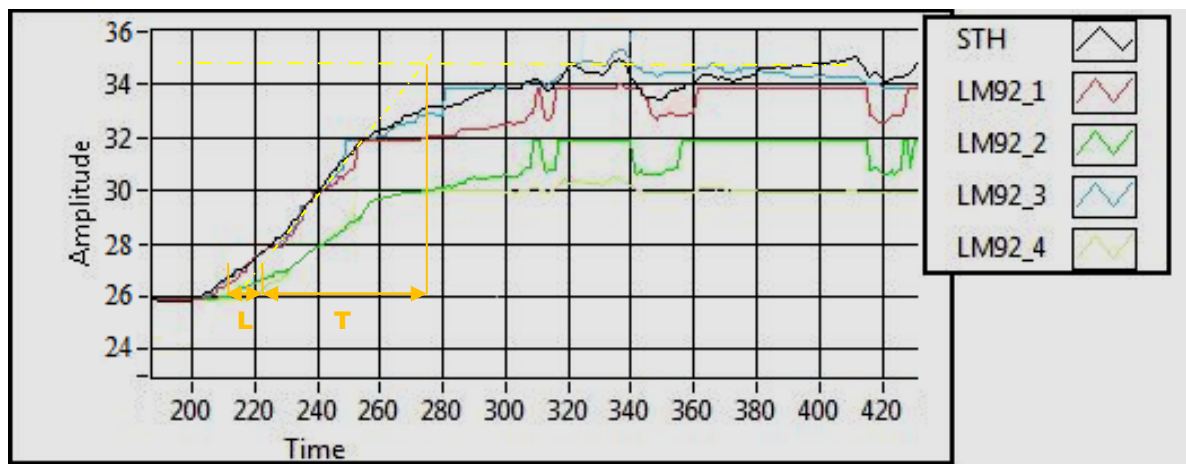


Figura 41, Grafica obtenida de LabView en la caracterización de la criadora.

Se seleccionó la curva obtenida del sensor STH11 por su definición y además porque el sensor que se ubicó directamente debajo de la criadora. De la caracterización de la planta se obtuvo las constantes de la respuesta transitoria de primer orden, constante de tiempo ( $T=60 \cdot 2.52$  seg) de 151.2 segundos, un tiempo de retardo ( $L=13 \cdot 2.52$  seg) de 32.76 segundos y ganancia (K) de 0.345 siguiendo el método explicado anteriormente y tomando la entrada escalón con una amplitud de 100%. A continuación se expone la función de transferencia de la planta según las reglas de sintonización de Ziegler y Nichols con algunas consideraciones realizadas por el autor ya que el proceso de temperatura empieza a temperatura ambiente, de allí se obtuvo la siguiente función de transferencia:

$$G(s) = \frac{0.345 * e^{-32.76s}}{151.2 * s + 1}$$

Esta función de transferencia se analizó en SIMULINK, una aplicación gráfica de MatLab que permite simular diversos sistemas representados en bloques, el diagrama diseñado para la simulación se observa en la Figura 42 donde el bloque *step* es configurado inicialmente en 75% para alcanzar el valor inicial de la prueba (aproximadamente 26°C) y luego es colocado al 100% para comprobar la veracidad de la caracterización de la planta; de allí se obtiene la Figura 43, resultado de la simulación.

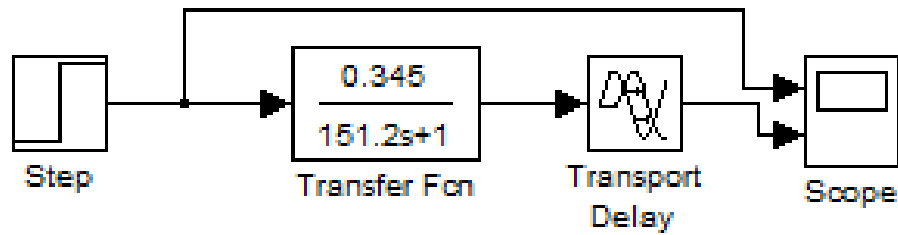


Figura 42, Diagrama diseñado en SIMULINK para la simulación de la planta.

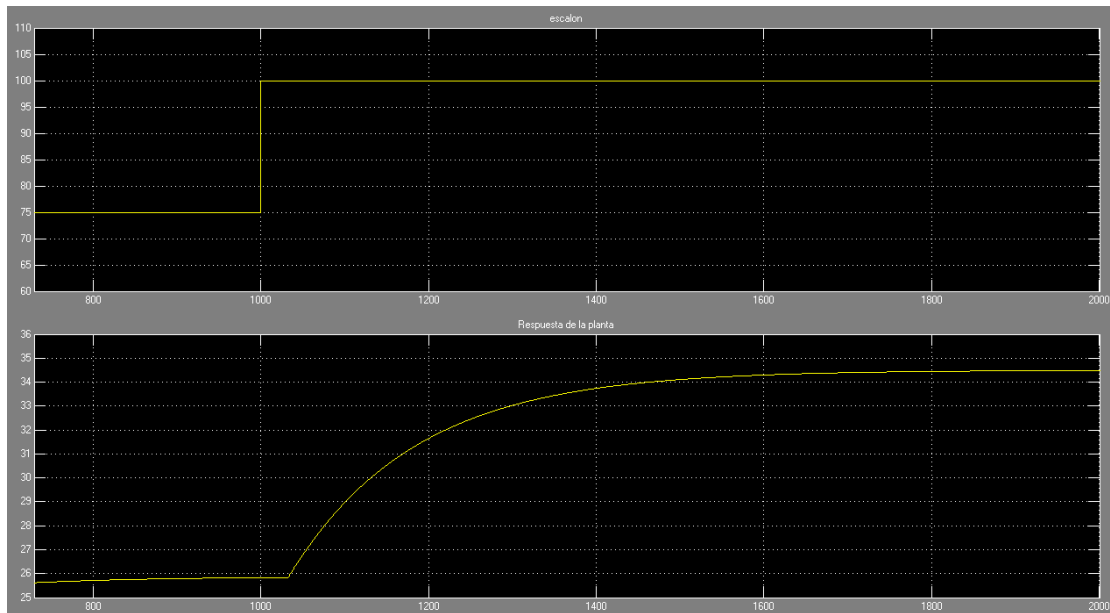


Figura 43, Gráfica del resultado de la simulación de la planta en SIMULINK.

## 3.2. Diseño del controlador

El diseño de este controlador se desarrolló de forma analógica y luego fue transformado a discreto aprovechando que algunas partes del control seleccionadas son discretas, tales como sensor y actuador (ver capítulo 4). Debido a que muchos controladores deben ajustarse en su sitio de trabajo.

Aplicando las reglas de sintonización a la planta del controlador de temperatura CT01 se obtuvo los siguientes valores de constantes para el controlador PI (tipología seleccionada en la sección 3.2.2) donde  $K_p=4.18$  y  $T_i=109.2$  aplicados en la siguiente ecuación:

$$G(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i \cdot s} \right)$$

$$G(s) = 0.9 \frac{T}{L} \left( 1 + \frac{0.3}{L \cdot s} \right)$$

$$G(s) = 4.18 \left( 1 + \frac{1}{109.2s} \right)$$

Posteriormente se simuló el controlador obtenido en SIMULINK obteniendo la gráfica de la respuesta esperada con el controlador PI con sobre impulso. El diseño del diagrama de simulación se encuentra en la Figura 44 y el resultado de la simulación en la Figura 45, en donde se ve claramente la respuesta del sistema generando el sobre impulso en la señal de salida, además se observa el porcentaje de apertura de la válvula con un porcentaje de apertura en estado estable de aproximadamente 92%, es preciso aclarar que por limitaciones mecánicas y de diseño el máximo porcentaje de apertura es 100%.

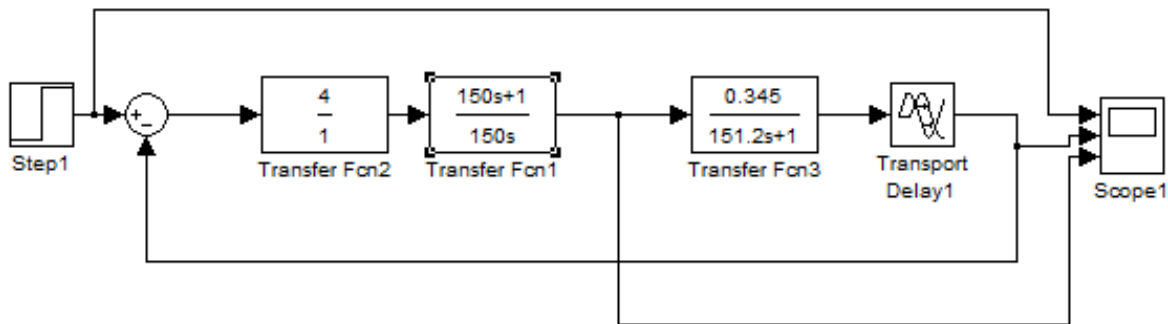


Figura 44, Diagrama de simulación en SIMULINK con el controlador PI.

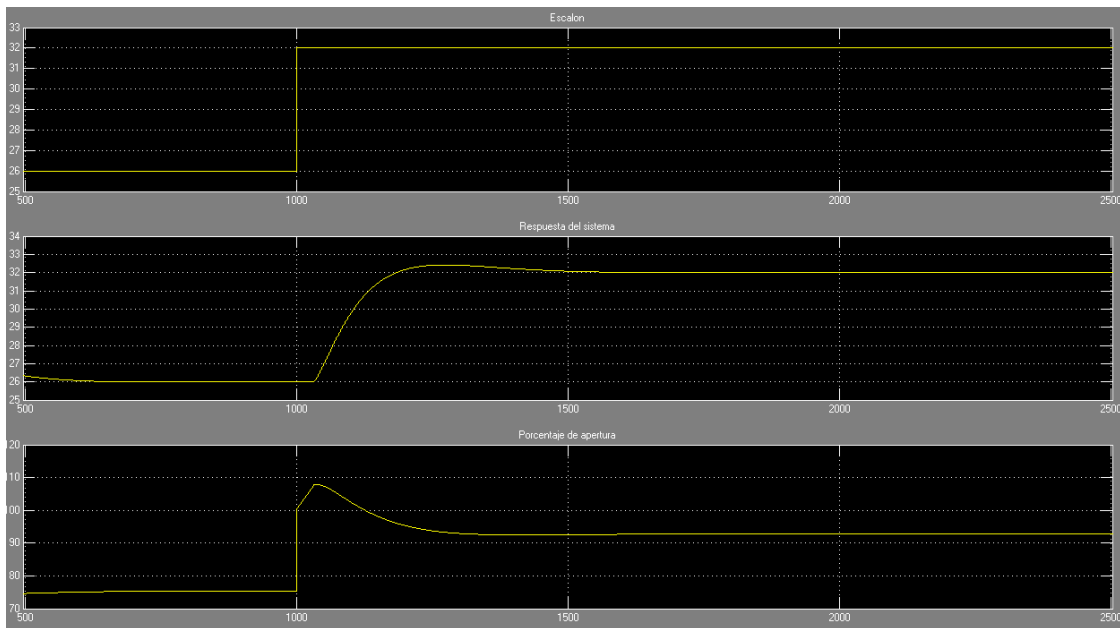


Figura 45, Grafica de la simulación controlador PI en SIMULINK.

Mediante modificaciones de prueba y error en MatLab y aproximando los valores de las constantes se cambiaron los parámetros  $K_p$  y  $T_i$  del controlador para obtener la respuesta sobre amortiguada que requiere el controlador, esto con el fin de evitar o disminuir el sobre impulso de temperatura. Se concluyo que basta con aumentar la constante  $T_i$  para quitar el sobre-impulso de la respuesta, por esta razón se decidió asignar  $T_i=150$  y  $K_p=4$ , en la Figura 46 se visualiza la curva respuesta arrojada por SIMULINK.

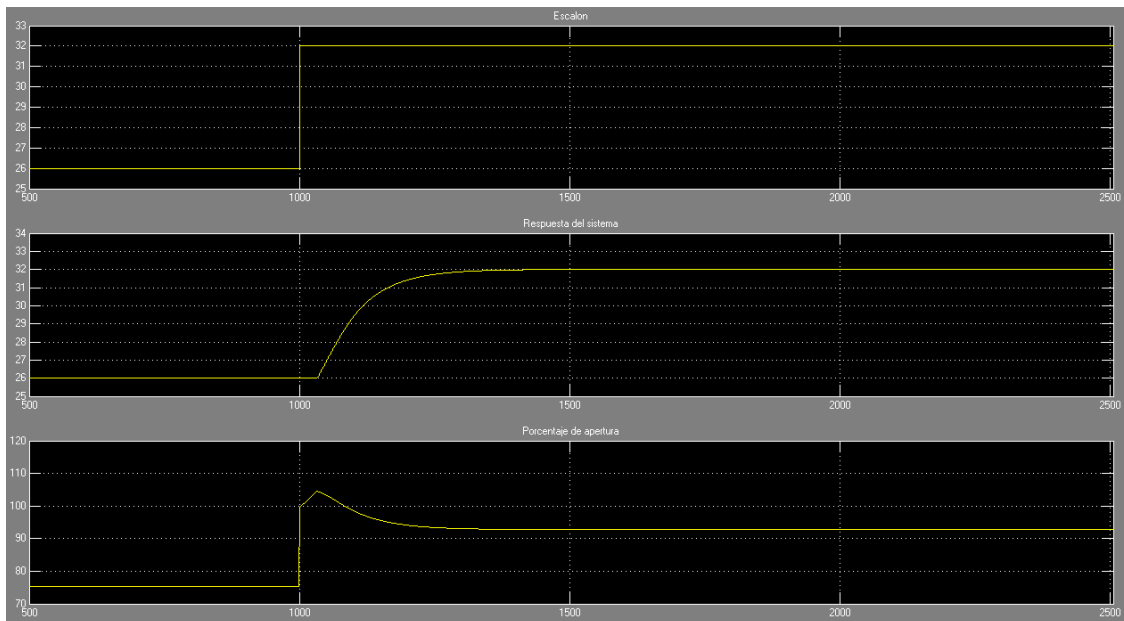


Figura 46, Grafica del controlador PI mediante sintonización en SIMULINK.

### 3.3. Transformación del controlador PI a discreto

Mediante matlab se realizó la transformación del PI a discreto mediante la herramienta `c2d` (conversión de modelos en tiempo continuo a tiempo discreto), para utilizar esta función se requiere únicamente de la función de transferencia y el tiempo de muestreo. Adicionalmente se utilizó la herramienta TF para acondicionar la función de transferencia del PI a los requisitos de la función `c2d`, el código de transformación en MatLab fue:

```
>> num=numerador del PI
>> den=denominador del PI
>> G=TF(num,den);
>> Gz=c2d(G,t); %tiempo de muestreo en segundos
```

Considerando un tiempo de muestreo de 5 segundos obtenemos la siguiente función de transferencia en el dominio de Z:

$$G(z) = \frac{4 \cdot Z - 3.8}{Z - 1}$$

#### 3.3.1. Transformación del controlador a ecuación en diferencias

Para implementar esta función de transferencia en el microcontrolador es necesario convertirla en una ecuación en diferencias, a continuación se muestra el proceso matemático de conversión.

$$(z - 1)y(z) = (4z - 3.8)e(z)$$

$$(1 - z^{-1})y(z) = (4 - 3.8z^{-1})e(z)$$

$$y[n] - y[n - 1] = 4 \cdot e[n] - 3.8 \cdot e[n]$$

$$y[n] = y[n - 1] + 4 \cdot e[n] - 3.8 \cdot e[n - 1]$$

Donde  $y[n]$  es el valor entregado por el controlador y  $e[n]$  es el error hallado mediante la diferencia del valor deseado y el valor actual de a temperatura.

# Capítulo 4

## Implementación electrónica, interfaz de usuario e implementación mecánica del CT01

Este capítulo describe la implementación electrónica y mecánica del controlador de temperatura que comprende la selección de dispositivos electrónicos, el diseño general de los PCB, la interfaz y el desarrollo del sistema mecánico, entre otros.

### 4.1. Implementación electrónica del CT01

La implementación electrónica del controlador comprende el diseño general de la tarjeta, selección de dispositivos, la descripción del código de programación y la interfaz de usuario.

#### 4.1.1. Selección e interconexión de dispositivos

La selección e interconexión de los dispositivos utilizados en el controlado de temperatura es muy similar la selección del TR01, sin embargo se enuncian superficialmente estos dispositivos que se seleccionaron en el TR01 y se explica detalladamente los dispositivos de uso exclusivo del CT01.

##### ► Microcontrolador

El microcontrolador seleccionado será el mismo utilizado en el TR01, el primer criterio de selección fue realizar todo el proyecto con una misma familia tal como se describió en el capítulo 2 e igualmente como ocurre en el TR01, trabajar con microcontroladores de la misma familia simplifica la elaboración del código de programación teniendo en cuenta que hay mayor trabajo al incursionar en una nueva familia de microcontroladores. El ATMEGA16 sobrepasa los puertos que necesita el CT01 pero el código de programación es el que limita la

elección de éste. Para más información sobre el microcontrolador o la familia ver sección 3.2.

► **Sensores de temperatura**

De igual forma se utilizara un único sensor de temperatura LM92, ya antes descrito en el capítulo 2 y relacionado con el diseño del controlador en el capítulo 3, de igual manera no necesita circuito acondicionador de señal. Para detectar el estado de la criadora (encendido/apagado) se utilizara la misma configuración para una termocupla tipo J con un opamp TLC252 de Texas Instruments, para ver propiedades e interconexión en la sección 3.2.

► **Reloj de tiempo real**

El reloj de tiempo real es utilizado para llevar la cuenta del número de días desde que se enciende el CT01, esta condición es requerida en el diseño ya que la temperatura en el galpón debe disminuir según la Tabla 1. El DS1307 es un reloj de tiempo real con protocolo de comunicación I2C al igual que la mayoría de dispositivos trabajados en el proyecto, este dispositivo cuenta con registros de lectura y escritura de: año, mes, día, hora, minuto y segundos, trabaja a 5 voltios y necesita un cristal externo de 32.768kHz, reconoce como niveles lógicos en alto los voltajes mayores a 2 voltios y por esta razón podemos trabajar el protocolo I2C a 3 voltios tal como se maneja en los otros dispositivos I2C. En la Figura 47 se observa la configuración propuesta en la hoja de datos del DS1307, en el CT01 la alimentación del DS1307 será diferente al microcontrolador y protocolo I2C ya que el microcontrolador es alimentado con 3.3V y el DS1307 a 5V; en la Figura 48 se muestra la distribución de los pines del reloj de tiempo real.

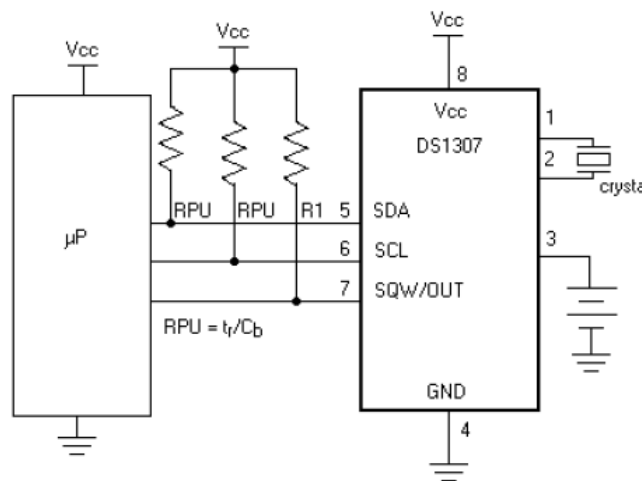


Figura 47, Configuración del DS1307.

Fuente: Hoja de datos del DS1307

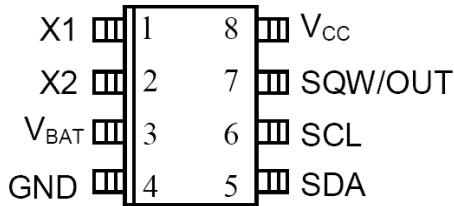


Figura 48, Distribución de pines del DS1307.

Fuente: Hoja de datos del DS1307

### ► Reguladores de voltaje

El circuito del CT01 será conectado a la red eléctrica por medio de un adaptador que entregara entre 6V y 9V, por esta razón es necesario regular el voltaje a cada uno de los dispositivos del CT01, entre los voltajes necesarios se encuentra un voltaje de 3.3 voltios necesario para alimentar el microcontrolador, sensores de temperatura, LCD, opamp, entre otros; y 5 voltios necesarios para alimentar el servomotor y el reloj de tiempo real.

Se seleccionaron dos reguladores de voltaje: el LD1117E33 y el AP1117E50, cada uno de estos proporciona corriente superior a los 800mA con un consumo típico de 5mA y empaquetado SOT23, este regulador tiene un desempeño superior comparado a reguladores ordinarios como los reguladores de la serie 78XX ya que este LDO seleccionado es un regulador de voltaje de baja disipación. El circuito de polarización se muestra en la Figura 49.

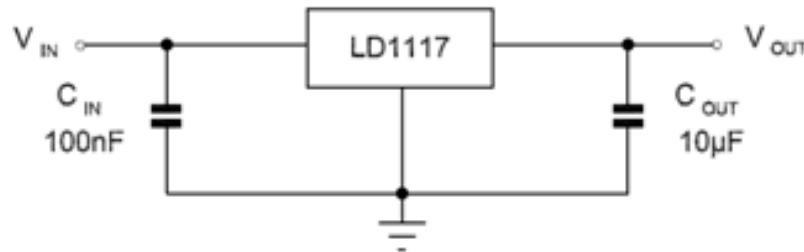


Figura 49, Circuito de polarización del LD1117 y AP1117.

Fuente: Hoja de datos del LD1117.

### ► Puente rectificador

Se incluyo un puente rectificador de onda completa en la alimentación del CT01 para prevenir daños en el dispositivo por conexión errónea de del adaptador, de esta manera no importa la polarización de adaptador porque el puente rectificador adecua el voltaje para el correcto funcionamiento. Se utilizo dispositivo DF04S que maneja una corriente máxima de 1A, superficial y tiene la configuración de pines mostrada en la

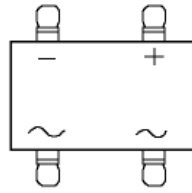


Figura 50, Distribución de los pines del DF04.  
Fuente: hoja de datos del DS04

### 4.1.2. Sistema de potencia para la generación de la chispa

Este sistema se realizó aparte del sistema de control debido a que el embobinado (pila o panela<sup>1</sup>) funciona a 110 VAC y los dispositivos utilizados en este montaje pueden generar calor e interferencia con el circuito de control. El montaje del sistema de potencia consta de una configuración de optoacoplador y triac para habilitar el paso de corriente hacia el embobinado, en la Figura 51 se encuentra el circuito realizado para conmutar el paso de corriente hacia el embobinado<sup>2</sup>.

Adicionalmente en la tarjeta de potencia se incluyó un conector para el servomotor con la única función de hacer un puente entre la tarjeta principal del CT01 y el servomotor. En la Figura 52 se encuentra el PCB diseñado para la etapa de potencia y en la Figura 53 en tercera dimensión.

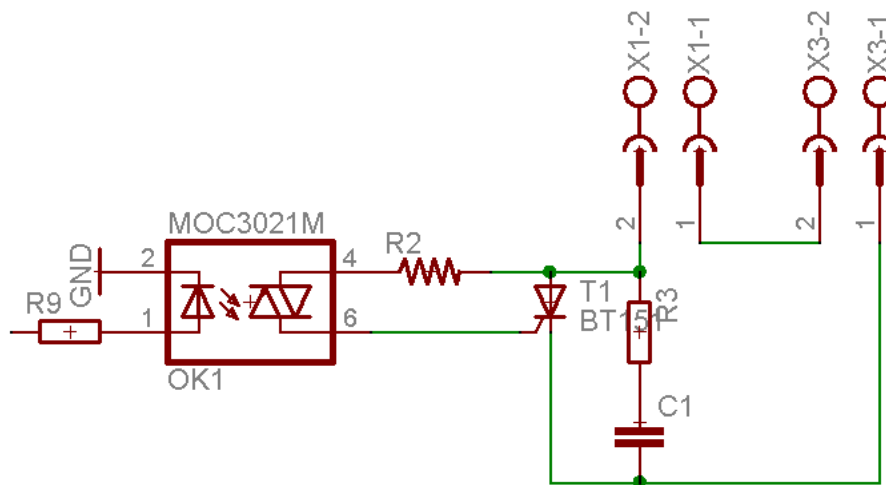


Figura 51, Circuito de potencia para el CT01.

<sup>1</sup> Palabras utilizadas por los comerciantes para describir el circuito y embobinado que genera la chispa.

<sup>2</sup> El generador de la chispa fue adquirido en el mercado local y los comerciantes no dan referencias del dispositivo.

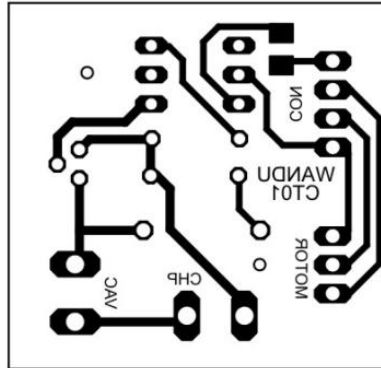


Figura 52, PCB de la tarjeta de potencia del CT01.

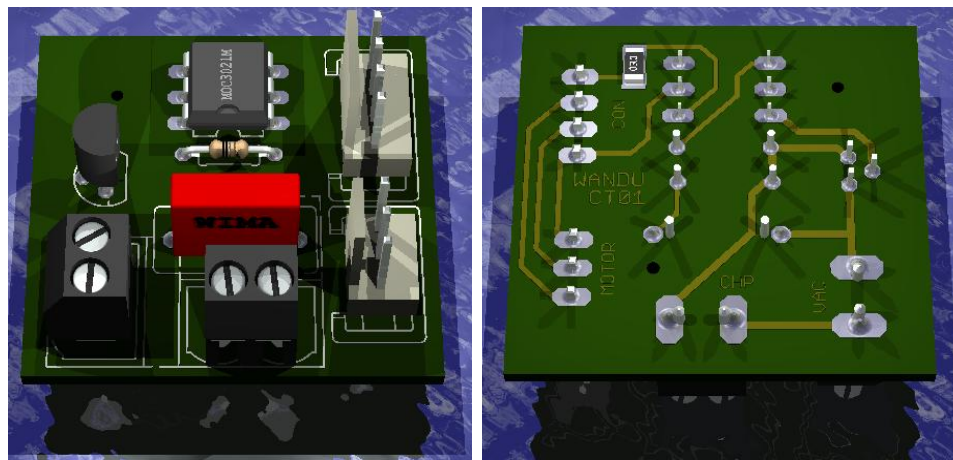


Figura 53, PCB de la tarjeta de potencia del CT01 en 3D.

### 4.1.3. Interfaz de usuario

La interfaz de usuario permite configurar el CT01. Constará de un LCD de 96x68 pixeles, este es controlado por el dispositivo STE2007, con un protocolo serial de 2 líneas (CLK y DAT), el voltaje de alimentación debe estar entre 2.4 y 3.6 voltios (una razón por la cual se eligió este LCD es porque son superiores a los que convencionalmente se consiguen en el mercado local y por su disponibilidad ya que son los que utilizan los celulares de Nokia 1100). La interfaz contará con tres botones de selección que permiten el cambio de ajustes al controlador.

En el LCD se imprime el modo de control (automático/manual), el valor del set\_point que puede ser cambiado por el usuario y la temperatura actual tal como se muestra en la Figura 54. El usuario puede cambiar dos variables en el controlador: el modo de operación y el valor deseado de temperatura o el número del día de crianza para que el controlador trabaje con los niveles teóricos de temperatura.

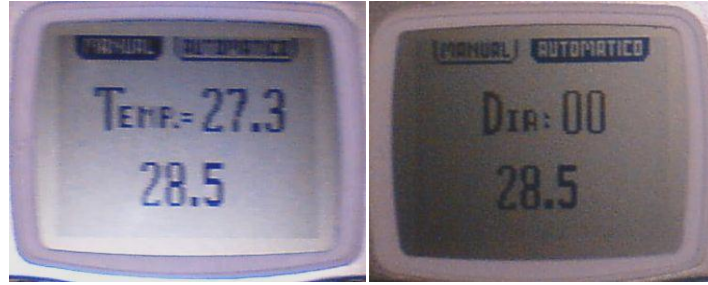


Figura 54, Lcd de la interfaz del TR01.

La comunicación con LCD se realiza por medio de tres líneas, ellas son: reloj, datos y reset, el STE2007 direcciona horizontal y verticalmente un byte que representa 8 pixeles del display, cada letra o número que se desea imprimir en él debe ser diseñado por completo pixel a pixel, exigiendo un gran tamaño de memoria para lograr robustez en la imagen. En la Figura 55 se muestra el PCB de la interfaz y en la Figura 56 en tercera dimensión.

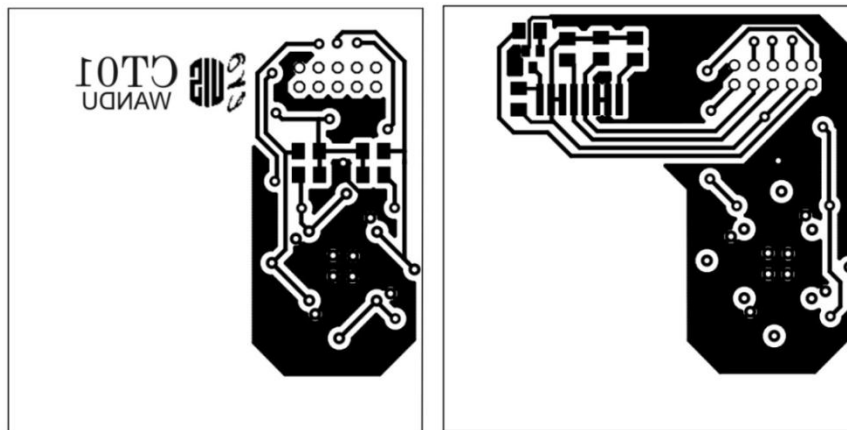


Figura 55, PCB de la interfaz del CT01. a) Bottom. b) Top.

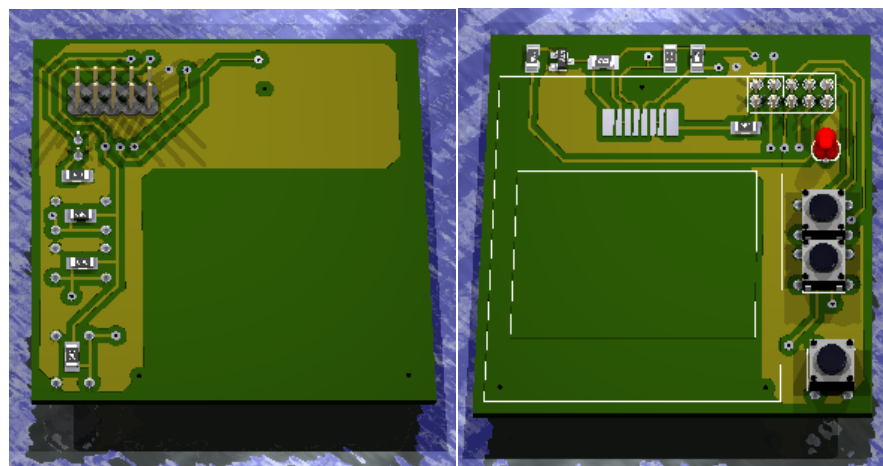


Figura 56, PCB de la interfaz del CT01 en 3D. a) Bottom. b) Top.

#### 4.1.4. Diseño general del hardware del CT01

El diseño general del controlador de temperatura consta de tres tarjetas PCB, estas son: tarjeta principal, tarjeta de potencia y tarjeta de interfaz, dos de estas ya fueron explicadas en la sección 4.1.2 y 4.1.3 y por eso esta sección se centrará en explicar el diseño de la tarjeta principal.

La tarjeta principal, consta de un puerto I2C para un sensor de temperatura, un puerto de entrada para una termocupla tipo J, un puerto de entrada para la alimentación (6 a 9 voltios), un puerto de salida para la tarjeta de potencia y un puerto de salida para la tarjeta de interfaz. Los dispositivos, polarización e interconexión de cada uno de ellos se explican en la sección 4.1.1, en la Figura 57 se muestra la interconexión esquemática total del CT01. El diseño de la tarjeta principal tiene algunos puntos clave de funcionamiento y diseño que permiten que actúe correctamente, entre ellos: un puerto de programación para el microcontrolador ATMEGA16, el cual cuenta con un potenciómetro que ajusta la ganancia de la señal de la termocupla, un sócalo para una batería de 3 voltios tipo moneda para el reloj de tiempo real, un puente rectificador de onda completa en la alimentación, entre otros. En la Figura 58 se muestra el diseño final para el PCB de la tarjeta de control del CT01 y en la Figura 59 en tercera dimensión.

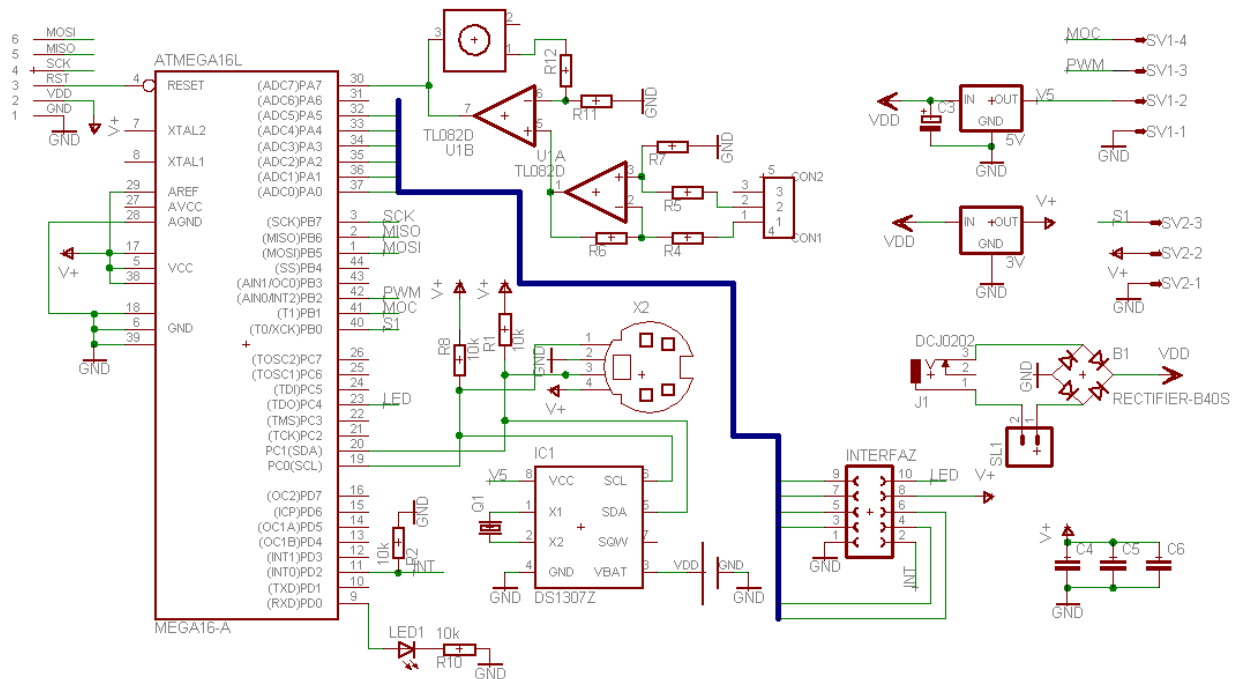


Figura 57, Diagrama esquemático general del CT01.

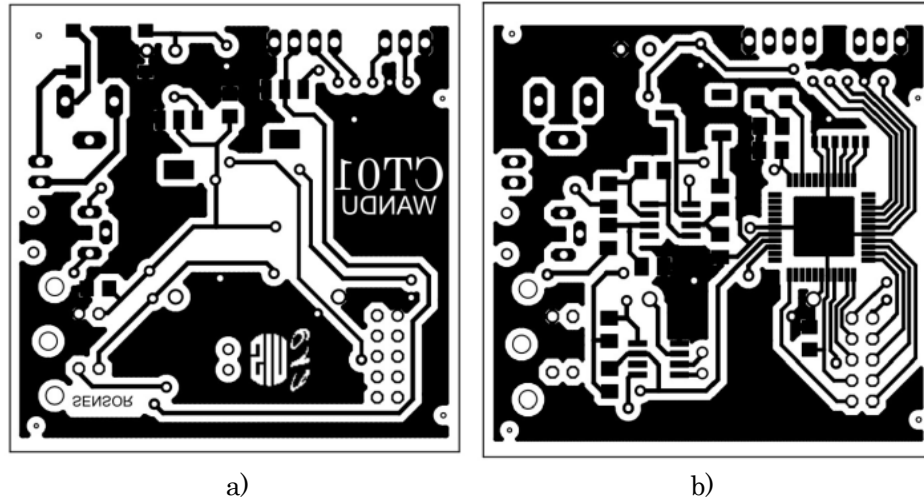


Figura 58, PCB de la tarjeta de control del CT01. a) Bottom. b) Top.

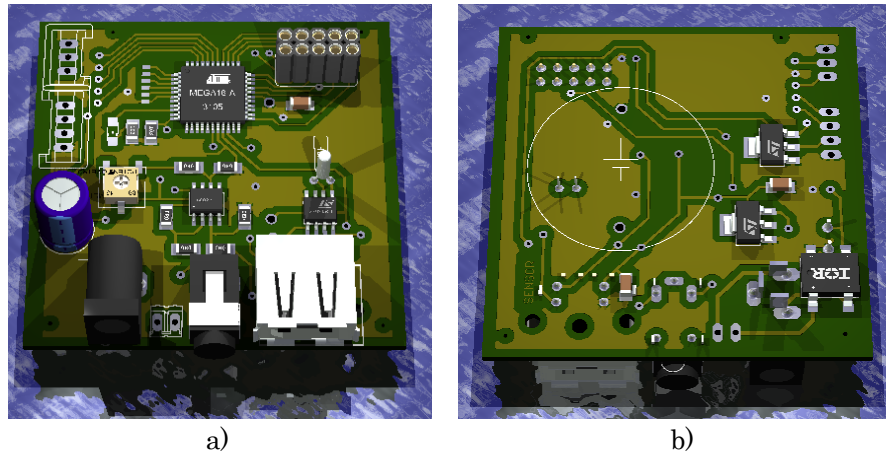


Figura 59, PCB de la tarjeta de control en 3D. a) Top. b) Bottom.

## 4.2. Descripción del código de programación del CT01

La programación del CT01 está basada en una interrupción de tiempo interna del microcontrolador, con base en esta interrupción se condicionan los 5 segundos requeridos en el diseño del controlador de temperatura, además la misma interrupción es acondicionada para condicionar la entrada de los botones de control de la interfaz. El código siempre está refrescando en el LCD el dato de temperatura actual del proceso, vigilando el estado de la criadora (encendido/apagado) y eventualidades de menor importancia y se desvía a atender la interrupción para revisar los eventos de importancia.

El controlador se implementa por medio de una ecuación en diferencias que halla el valor de porcentaje de apertura, este se envía al servomotor para cambiar el ángulo de posición. En el protocolo I2C se encuentra colgada un reloj

de tiempo real que sirve para determinar y actualizar automáticamente el día de crianza y así variar el valor de `set_point`.

El manejo del LCD fue el proceso más tedioso en el desarrollo del código de programación debido a que este es un código extenso y fácilmente podía rebotar el tamaño máximo de la memoria del microcontrolador, por esta razón se utilizó la memoria interna del microcontrolador para guardar gran parte de los letreros enviados al LCD y no ocuparan espacio en la pila de código.

### 4.3. Implementación mecánica

La implementación mecánica consta de la adaptación de un servomotor a una válvula de paso de gas de una criadora comercial (ALOSAN), a esta válvula se le hizo una abrazadera fundida en acrílico con alto grado de densidad que permite sujetar el servomotor firmemente a la válvula, adicionalmente se fundieron un par de engranajes con relación 2:3 para accionar la válvula.

El proceso de diseño mecánico está realizado de una forma artesanal pues la abrazadera principal fue hecha inicialmente como molde en jabón, posteriormente se hizo el molde de la abrazadera en negativo con alginato y luego fundido con este molde en acrílico. Los engranajes fueron copiados de igual manera, primero en alginato y luego fundidos en acrílico.

#### 4.3.1. Servomotor HS311

Este servomotor se posiciona a un ángulo determinado que depende de la señal de PWM que se le proporcione, en la Tabla 8 se encuentran algunos valores de los tiempos requeridos por el servomotor para posicionarse, los valores intermedios de posición pueden hallarse mediante una regla de tres simple. En la Tabla 9 se encuentran algunas características del servomotor.

Duración del nivel alto [ms]	Ángulo [grados]
0,3	0
1,5	90
2,3	180
0,75	45

Tabla 8, Tiempos en el PWM vs Posición del servomotor.

<b>CARACTERISTICAS DEL HS-311</b>	
Sistema de Control	Control por Anchura de Pulso. 1,5 ms al centro
Tensión de funcionamiento	4,8V a 6 V
Velocidad a 6V	0,15 Seg /60 grados sin carga
Fuerza a 6V	3,5 Kg · cm
Corriente en reposo	7,7 mA
Corriente en funcionamiento	180 mA sin carga
Corriente Máxima	800 mA
Zona Neutra	5 $\mu$ sec
Rango Trabajo	1100 a 1900 $\mu$ sec
Dimensiones	40 x 20 x 36,5 mm
Peso	43 g
Rodamiento Principal	Plástico
Engranajes	Plástico
Longitud del cable	300 mm

Tabla 9, Características del HS 311.

Fuente: <http://www.superrobotica.com/S330160.htm> revisado en mayo de 2008

# Capitulo 5

## Conclusiones y recomendaciones

Gracias al apoyo de Campollo y el grupo ERA de la Universidad Industrial de Santander se pudo culminar este proyecto obteniendo las siguientes conclusiones y recomendaciones.

### 5.1. Conclusiones de las pruebas

1. El CT01 es capaz de mantener la temperatura en un rango de  $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$  sobre el valor de temperatura deseado, condición que lo hace optimo para ejercer el control de temperatura necesario por los avicultores para la crianza de los pollos.
2. El CT01 puede controlar la temperatura de los 21 días del proceso crianza ajustando automáticamente el valor de temperatura deseado de acuerdo a la tabla de valores recomendados por el servicio técnico de AVIGEN.
3. El dispositivo TR01 fue fundamental para el comienzo de este proyecto, pues por medio de él se pudo comprobar que el manejo del control de la temperatura en las grajas avícolas presenta deficiencias:
  - a. La temperatura es muy inestable y la mayor parte del tiempo no se mantiene dentro de los rangos teóricos recomendados para la crianza del pollo.
  - b. El manejo de la criadora como instrumento de control de temperatura no resultó ser el más apropiado. Pues en algunos su control se hace con base en el tiempo y en otros por métodos empíricos poco fiables para el control térmico.
4. En la prueba realizada en la granja avícola “Maciegal” del municipio de Moniquira la criadora es controlada con base en el tiempo.

5. En la granja “*El tabacal*” de Campollo el control realizado es basado en el método empírico explicado en la sección 1.1.3.
6. El dispositivo TR01 funciona a 2.5 voltios con un consumo típico de 20mA, condición que lo hace portable, característica importante para este tipo de aplicaciones.
7. El TR01 puede ser utilizado como herramienta en procesos investigativos relativos al control térmico o de humedad.
8. El CT01 fue diseñado para ejercer controles de temperatura en rangos inferiores a la temperatura ambiente, sin embargo, puede ser utilizado en galpones ubicados en climas donde la temperatura ambiente en ocasiones supere el umbral superior del valor deseado, pues en estos casos se comprobó que el CT01 asegura el apagado de criadora, lo cual no siempre ocurre con los métodos que se usan actualmente en granjas avícolas.

## 5.2. Conclusiones del diseño y construcción del TR01 y CT01

1. La familia de microcontroladores ATMEGA resultó ser muy eficiente, en este proyecto se utilizaron gran parte de sus módulos internos tales como:
  - a. Los microcontroladores ATMEGA son de bajo consumo y alto rendimiento.
  - b. El TIMER de 16 bit que permite establecer el periodo de la señal más largo o mayor exactitud en periodos cortos.
  - c. Los conversores ADC de 10 bits presentan excelente resolución a la medición de la señal de la termocupla.
  - d. Los módulos de comunicación serial asíncrona e I2C simplifican el código de programación y dan fiabilidad a la transmisión de datos.
  - e. El microcontrolador posee una memoria EEPROM interna que ofrece una mayor capacidad de almacenamiento de variables. En este proyecto se utilizó para guardar los caracteres numéricos del LCD, lo cual redujo el tamaño del código de programación en un 40% aproximadamente.

2. El uso de dos sensores de temperatura diferentes (LM92 y HST11) en un mismo proyecto, permitió comprobar la exactitud de los mismos, su estabilidad y repetitividad.
3. El sensor de temperatura y humedad HST11 presenta mejores características de medición en estabilidad y precisión (con respecto al sensor LM92).
4. El sensor de temperatura LM92 presenta mayor rapidez en su respuesta (con respecto al sensor HST11).
5. El uso del dispositivo de comunicación USB FT232, simplifica considerablemente el tamaño del PCB comparado a la utilización de un MAX232 para la transmisión de datos al PC por protocolo serial, además presta mayores ventajas en el manejo del TR01 ya que puede ser conectado a cualquier computador que tenga puerto USB.
6. LabView:
  - a. Es posible utilizar LabView para la transmisión de datos al computador desde un dispositivo electrónico (en este caso el TR01) y su posterior exportación a otro formato (en este caso a .xls).
  - b. LabView cuenta con módulos y herramientas de diseño en un entorno grafico que facilitan el diseño de aplicaciones.
  - c. Las aplicaciones en LabView se pueden convertir en ejecutables que funcionan sin necesidad del software completo.
7. MatLab es una herramienta apropiada para la adquisición de datos y permite la manipulación total de los datos para mejor visualización, comparación de las señales o cualquier operación sobre ellas. (Todo esto se utilizó en el dispositivo TR01 diseñado durante este proyecto).
8. El LCD (STE2007):
  - a. El manejo del LCD de 96x68 pixeles requiere únicamente dos líneas de comunicación (línea de datos y reloj) facilitando su implementación.

- b. En driver del LCD (STE2007) los voltajes de polarización y el manejo de resistencias adicionales son un punto crítico para el correcto funcionamiento del mismo.
  - c. Para el código de programación se hace necesario disponer de grandes cantidades de memoria especialmente en el diseño de caracteres alfanuméricos que permitan trabajar el LCD con más versatilidad.
9. La aplicación de las interrupciones temporales en el CT01 fue fundamental en el diseño, pues ellas permiten calcular el tiempo de muestreo aplicado a la ecuación en diferencias del controlador PI.
10. El controlador de temperatura cuenta con un control en lazo abierto al utilizar el reloj de tiempo real. Su uso es fundamental para determinar el número de días de crianza y así cambiar automáticamente el set\_point en el controlador PI.

### 5.3. Recomendaciones

1. El control temperatura realizado es individual (un sensor con una criadora), se cree conveniente plantear modelos que permitan controlar la temperatura en el galpón por zonas determinadas o de ser posible la totalidad del área del galpón.
2. Una granja avícola cuenta con varios galpones y sólo un supervisor quien vigila las condiciones ambientales, por esta razón se propone evaluar el monitoreo y control de las criadoras de forma inalámbrica desde un dispositivo portable.
3. Los galpones ubicados en clima caliente necesitan bajar la temperatura del galpón la mayoría del tiempo y primordialmente después del día 15 de crianza, se considera apropiado realizar un mecanismo y control que disminuya la temperatura y funcione en conjunto con el CT01 para proporcionar un control robusto de temperatura.

# Bibliografía

[**NAVARRO**] NAVARRO ALCOCER, Casta. Curso De Avicultura. Rivas, Nicaragua. 2002. Escuela internacional de agricultura y ganadería.

[**ROMERO**] ROMERO, Néstor y JONES, Erik. Estudio del incremento de la velocidad de crecimiento de los pollos de levante a través del uso de un sistema automático de control de temperatura. Bucaramanga, 2003. Trabajo de grado (Ing. Química). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Químicas.

[**AVIAGEN**] Manual de manejo de pollo de engorde ROSS. Servicio técnico AVIAGEN. Noviembre de 2002, Sitio en Internet: <http://www.avicolacolombiana.com/content/view/144/67/>. Revisado: mayo de 2008.

[**OGATA**] Ogata, Katsuhiko. Ingeniería de control moderna. University of Minnesota. Mexico, 1998. Tercera edición. PRETINCE-HALL

[**UNR**] Apuntes de teoría de control Universidad Nacional del Rosario. Profesor titular: Ing. Juan Carlos Nachez, e-mail: [jcnachez@fceia.unr.edu.ar](mailto:jcnachez@fceia.unr.edu.ar). Sitio en Internet: <http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/~con2/Links.htm>. Revisado en mayo de 2008.

# Anexo A. Validación Experimental

Este anexo muestra las pruebas realizadas en un galpón de la empresa Campollo “Chimita” al controlador de temperatura CT01. El registro de temperatura TR01 fue el dispositivo que permitió la captura de las graficas en función del tiempo para analizar los cambios de la respuesta del controlador debido a los cambios de constantes del control PI y el set\_point

La primera prueba se realizo aplicando  $K_p=4$  y  $K_i=150$  al controlador tal como se diseño con el método de sintonización. La respuesta tiene sobre impulso y un tiempo de establecimiento aproximado de 6 minutos (ver Figura 60), la ecuación en diferencias utilizada es<sup>1</sup>:

$$y[n] = y[n - 1] + 4 \cdot e[n] - 3.8 \cdot e[n - 1]$$

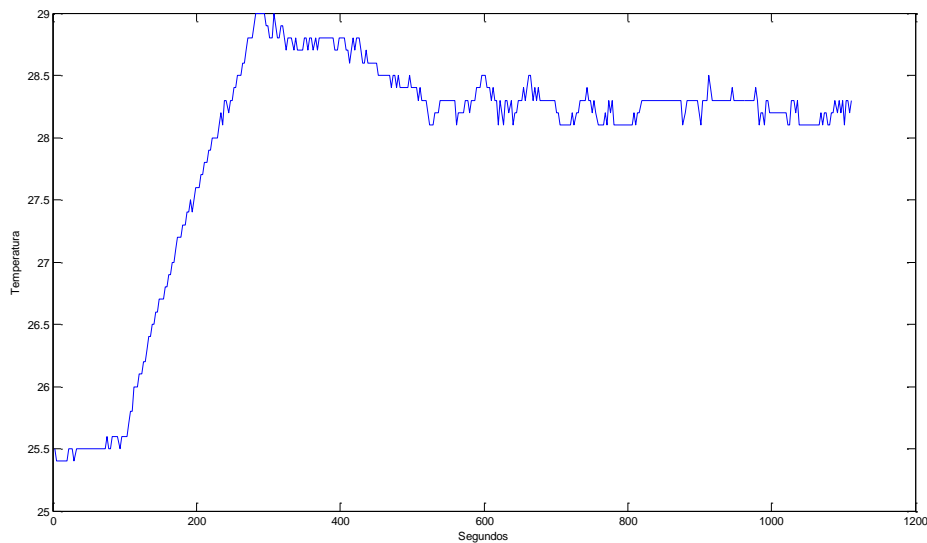


Figura 60, Respuesta transitoria del CT01 con  $K_p=4$ ,  $K_i=150$  y  $\text{set\_point}=28^\circ\text{C}$ .

Posteriormente se modifico el controlador teniendo en cuenta las simulaciones realizadas en el diseño del controlador, se aumento la constante integral  $K_i=175$  manteniendo la parte proporcional del controlador, de esta manera se redujo el sobre impulso y disminuyo el tiempo de establecimiento de la respuesta (ver Figura 61), la ecuación en diferencias utilizada es<sup>2</sup>:

$$y[n] = y[n - 1] + 4 \cdot e[n] - 3.9 \cdot e[n - 1]$$

---

<sup>1</sup> Ecuación de diferencias CASO 1

<sup>2</sup> Ecuación en diferencias CASO 2

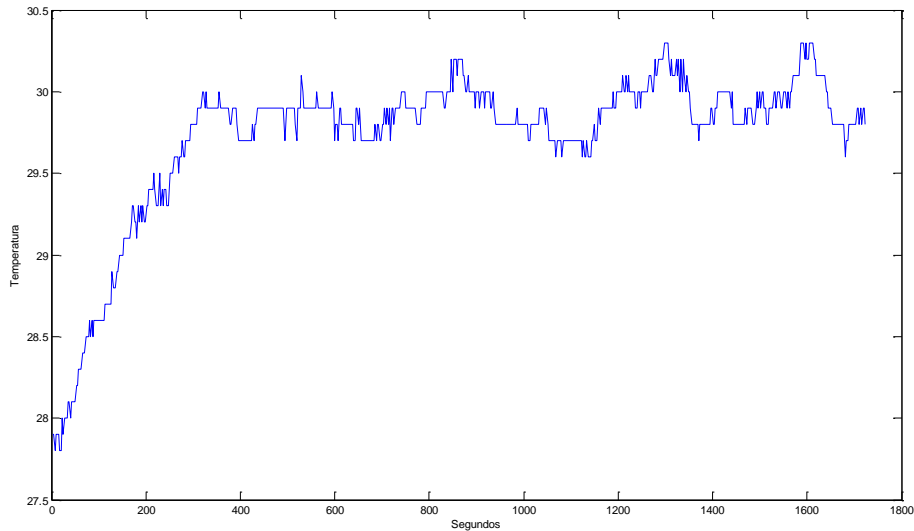


Figura 61, Respuesta transitoria del CT01 con  $K_p=4$ ,  $K_i=175$  y  $set\_point=30^\circ\text{C}$ .

Las siguientes graficas muestran el comportamiento de la temperatura en el foco y en el radio de acción de la criadora, por se utilizaron 4 sensores de temperatura para graficar la temperatura en 4 puntos de interés, adicionalmente se instalo la termocupla al TR01 para graficar el comportamiento o estado del quemador en función del tiempo.

La Figura 62 se obtuvo aplicando la ecuación en diferencias del CASO 1, mostrando estabilidad en la temperatura en  $29^\circ\text{C}$  (valor deseado) en el foco de acción de la criadora (sensor SHT y LM92-3) y disminuye  $1^\circ\text{C}$  aprox. a 75 cm del foco de ambos lados de la criadora (sensor LM92-1 y LM92-2). La curva “criadora” muestra el estado simbólico del quemador.

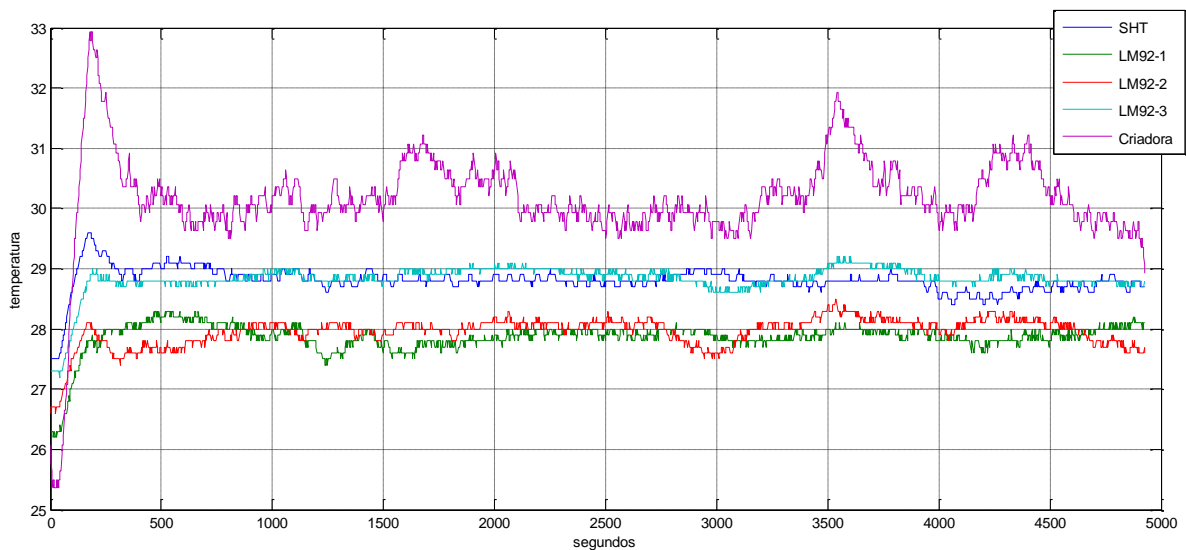


Figura 62, Respuesta del CT01 con  $K_p=4$ ,  $K_i=150$  y  $set\_point=29^\circ\text{C}$ .

La Figura 63 se obtuvo aplicando la ecuación en diferencias del CASO 2, mostrando estabilidad en la temperatura en 30°C (valor deseado) en el foco de acción de la criadora (sensor SHT y LM92-3) y disminuye 1.5°C aprox. a 75 cm del foco de ambos lados de la criadora (sensor LM92-1 y LM92-2). La curva “termocupla” muestra el estado simbólico del quemador.

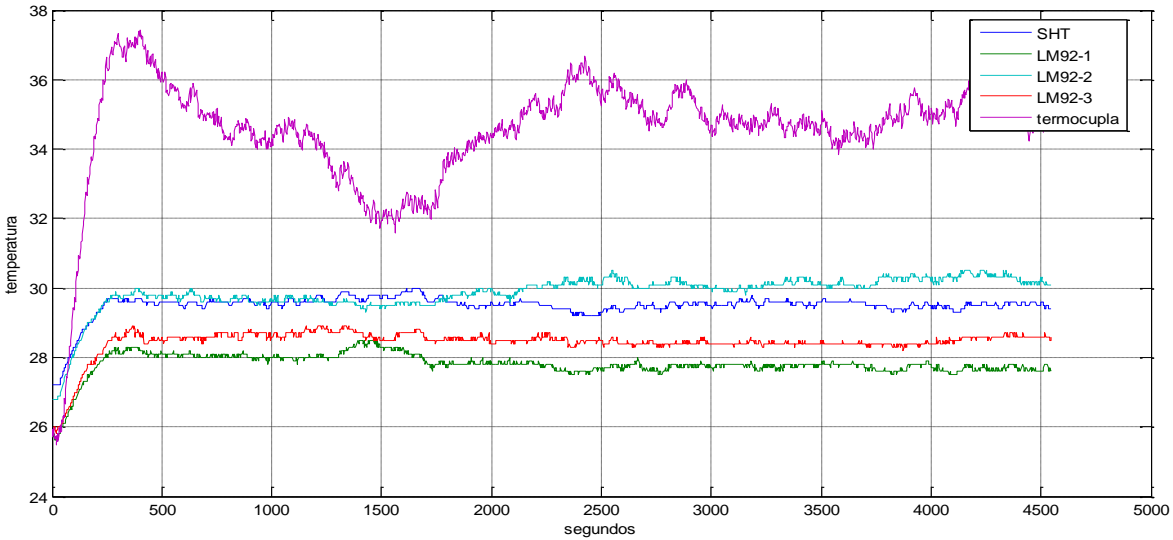


Figura 63, Respuesta del CT01 con  $K_p=4$ ,  $K_i=175$  y  $set\_point=30^\circ C$ .

La Figura 64 se obtuvo aplicando la ecuación en diferencias del CASO 2, mostrando estabilidad en la temperatura en 29°C (valor deseado) en el foco de acción de la criadora (sensor SHT y LM92-3), la temperatura se mantiene a 40cm (sensor LM92-2) y disminuye 1°C aprox. a 75 cm del foco al lado de la criadora (sensor LM92-1). La curva “termocupla” muestra el estado simbólico del quemador.

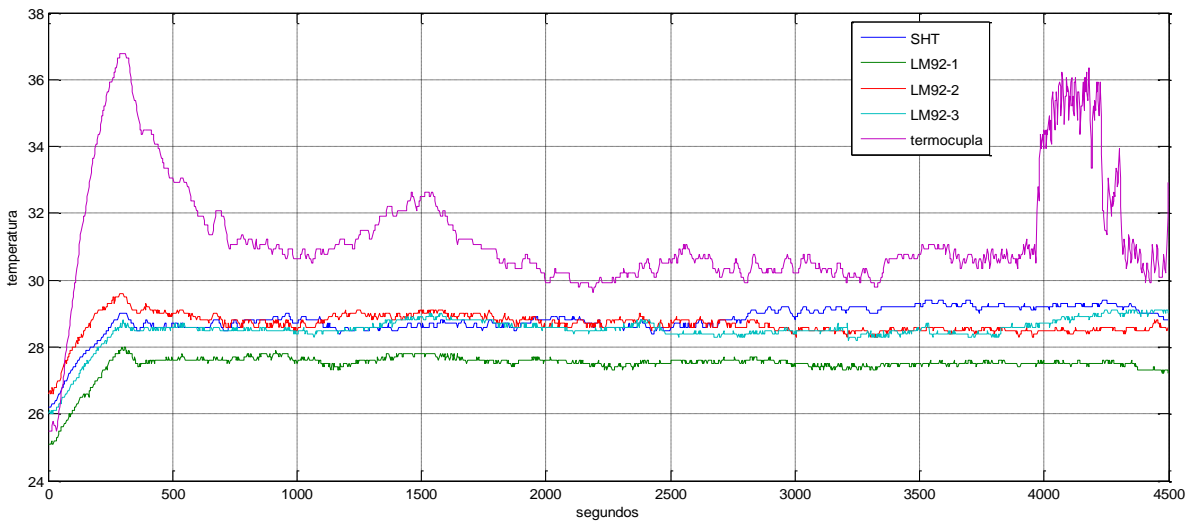


Figura 64, Respuesta del CT01 con  $K_p=4$ ,  $K_i=175$  y  $set\_point=29^\circ C$

Se realizo una última prueba aplicando la ecuación en diferencias del CASO 1 mostrada en la Figura 65 donde se cambio el punto de control de temperatura, es decir, se controlo la temperatura a 40 cm en vista frontal a la criadora, allí se colocaron tres sensores para corroborar los datos medidos (sensor LM92-2, LM92-3 y SHT) y un sensor en el foco de acción de la criadora (sensor LM92-1); la figura muestra la estabilidad en la temperatura en 29°C (valor deseado a 40cm) y se observa como la temperatura en el foco de acción se eleva mas de 1°C. La curva “temperatura” muestra el estado simbólico del quemador.

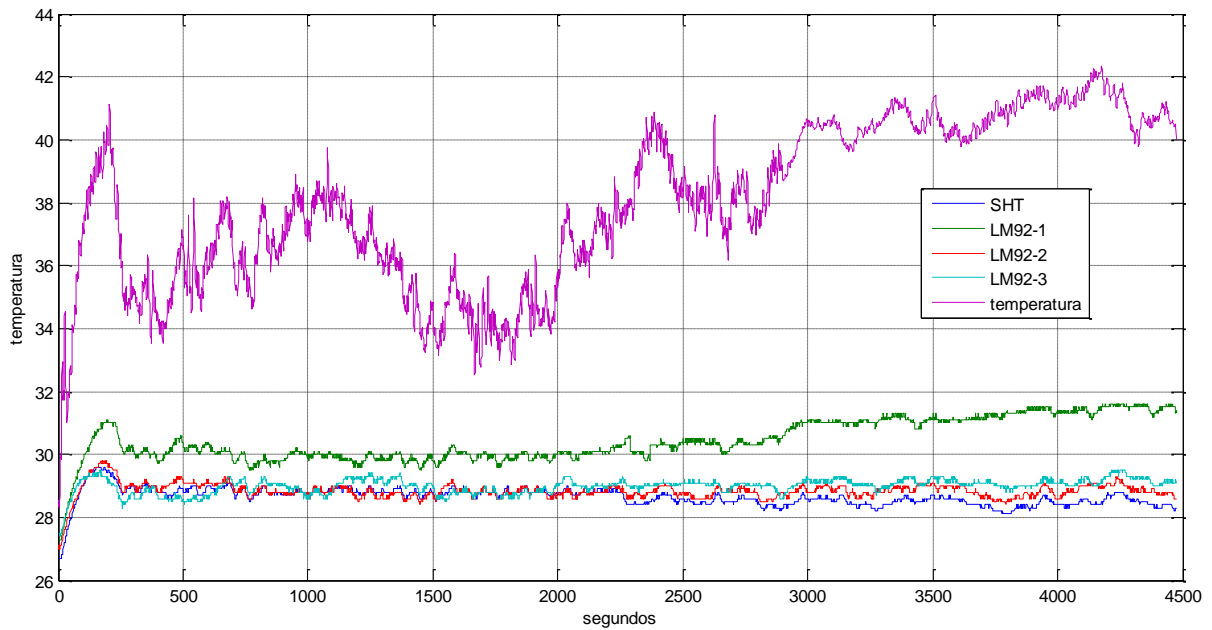
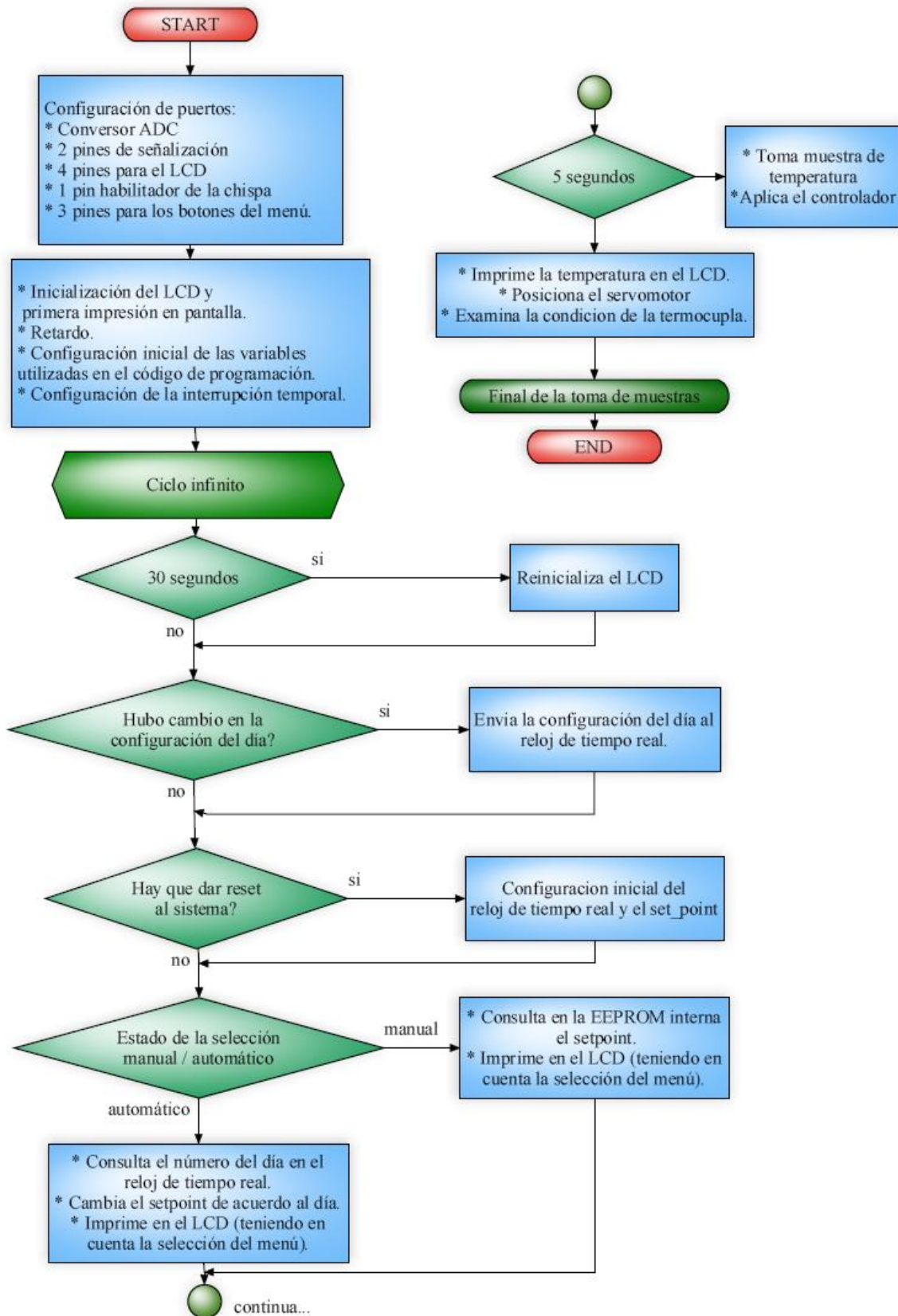
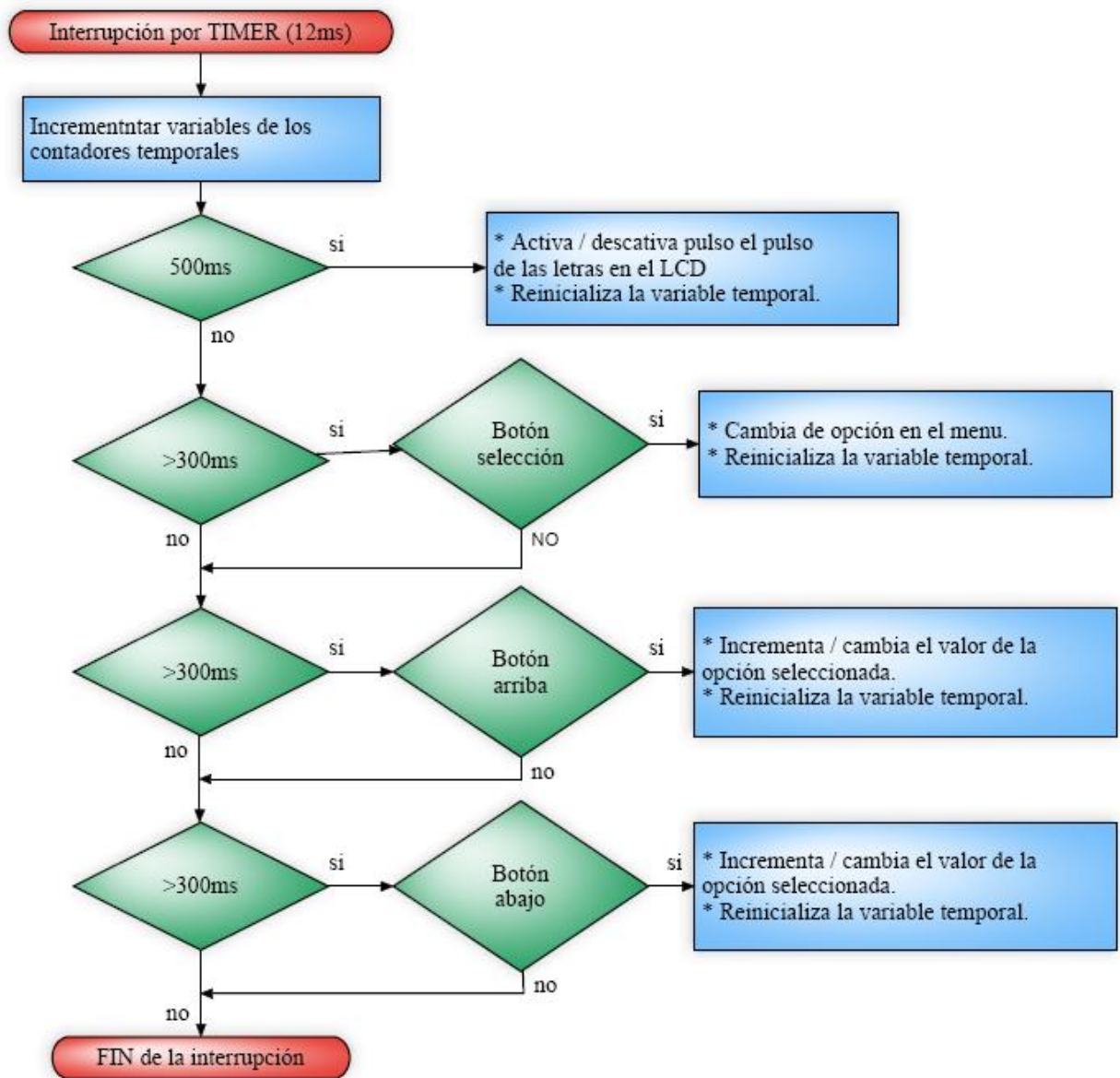


Figura 65, Respuesta del CT01 con  $K_p=4$ ,  $K_i=150$  y  $set\_point=29^\circ\text{C}$

# Anexo B. Diagramas de flujo del CT01





# Anexo C. Diagrama de flujo del TR01

