



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE:**

**“INGENIERO EN ELECTRÓNICA DIGITAL Y TELECOMUNICACIONES”**

**TEMA: AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA DE ALGODÓN DE AZÚCAR**

**AUTOR: MARCOS DAVID PACHECO UTRERAS**

**TUTOR: Mg. René Ernesto Cortijo Leyva**

**AÑO: 2018**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL**

**APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de tutor del trabajo de titulación certifico:

Que el trabajo de titulación “**AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA DE ALGODÓN DE AZÚCAR.**”, presentado por el Sr. Marcos David Pacheco Utreras, estudiante de la carrera de Electrónica Digital y Telecomunicaciones, reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Tribunal de Grado, que se designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Quito D.M. Febrero del 2018

TUTOR

.....

Ing. Rene Ernesto Cortijo Leyva, Mg

## **AGRADECIMIENTO**

A mi madre y hermana, por su paciencia y apoyo incondicional durante el desarrollo de este proyecto de tesis.

## **DEDICATORIA**

A mi hijo, con mucho amor le dedico todo mi esfuerzo y trabajo puesto en el desarrollo de este proyecto.

## Índice

Introducción .....	1
Antecedentes .....	1
Planteamiento del problema.....	2
Formulación del problema .....	2
Justificación .....	4
Objetivo General.....	4
Objetivos Específicos.....	4
Descripción de los Capítulos .....	4
Capítulo 1.....	6
Fundamentación Teórica.....	6
1.1.    Automatización .....	6
1.2.    Sistemas de Control Automático.....	6
1.3.    Clasificación de los sistemas de control.....	6
1.3.1.    Sistemas de control en lazo abierto.....	7
1.3.2.    Sistemas de control en lazo cerrado.....	7
1.4.    Controlador PID .....	7
1.4.1.    Acción proporcional.....	8
1.4.2.    Acción integral.....	8
1.4.3.    Acción derivativa .....	9
1.5.    Modulación por ancho de pulsos PWM.....	9
1.6.    Sensores.....	9

1.7. Actuadores.....	10
1.7.1. Actuadores electromagnéticos .....	10
1.7.2. Relés.....	10
1.8. Resistencias de calentamiento .....	10
Capítulo 2.....	11
Propuesta.....	11
2.1. Introducción .....	11
2.2. Diseño del control de temperatura .....	11
2.2.1. El control de temperatura de la Máquina de Algodón de Azúcar.....	11
2.2.2. Modelado matemático del Proceso Térmico.....	13
2.2.3. Obtención de la Función de Transferencia .....	14
2.2.4. Modelado del sistema utilizando MATLAB® .....	19
2.2.5. Diseño matemático del Controlador de Temperatura .....	21
2.3. Sistema de Control Electrónico.....	28
2.3.1. Etapa de Control - Menú.....	29
2.3.2. Etapa de Control - Actuadores.....	33
2.3.3. Etapa de Control – Temperatura.....	36
Capítulo 3.....	41
Implementación.....	41
3.1. Desarrollo.....	41
3.2. Implementación.....	41

3.2.1.	Módulo de Control.....	41
3.2.2.	Módulo de Temperatura.....	43
3.2.3.	Módulo de Potencia .....	45
3.2.4.	Módulo de Relés .....	45
3.2.5.	Tablero de Control .....	46
3.2.6.	Tarjeta de Interfaz .....	47
3.3.	Pruebas de Funcionamiento .....	49
3.3.1.	Dosificado de Azúcar.....	49
3.3.2.	Control de Temperatura .....	51
3.3.3.	Pruebas del sistema.....	52
3.4.	Análisis de resultados.....	53
3.4.1.	Resultados .....	53
3.4.2.	Análisis Económico .....	56
	Conclusiones y Recomendaciones.....	59
•	Conclusiones .....	59
•	Recomendaciones .....	60
	Referencias Bibliográficas .....	62

## Lista de Figuras

<i>Figura 1.</i> Arquitectura para la Automatización de la Máquina de Algodón de Azúcar.....	3
<i>Figura 2.</i> Diagrama de bloques de los sistemas de control. ....	3
<i>Figura 3.</i> Sistema de Control en Lazo Cerrado. ....	8
<i>Figura 4.</i> Diagrama de Bloques del Sistema Térmico de la Máquina de Algodón de Azúcar. .....	12
<i>Figura 5.</i> Control de Temperatura con el uso de un termostato. ....	12
<i>Figura 6.</i> Resistencia Térmica de la Máquina de Algodón de Azúcar.....	13
<i>Figura 7.</i> Esquema de la resistencia térmica. ....	13
<i>Figura 8.</i> Diagrama de bloques del proceso térmico. ....	14
<i>Figura 9.</i> Variables de entrada y salida en la resistencia térmica.....	14
<i>Figura 10.</i> Respuesta de un sistema de 1er Orden a la entrada de un escalón unitario. Método de la curva de reacción (Cohen y Coon).....	17
<i>Figura 11.</i> Curva de reacción de la resistencia térmica.....	18
<i>Figura 12.</i> Método de la curva de reacción. Obtención de los valores de $K$ , $\tau$ y $t_s$ gráficamente.....	19
<i>Figura 13.</i> Señal de entrada $u_1$ (escalón unitario) y señal de salida del sistema $y_1$ . Resultado obtenido con la función <i>ident</i> de MATLAB®.....	20
<i>Figura 14.</i> Señal de salida modelada. Resultado obtenido con MATLAB®. ....	20
<i>Figura 15.</i> Diagrama de bloques del Sistema de Control en lazo cerrado. ....	21
<i>Figura 16.</i> Sistema en lazo cerrado en el dominio de Laplace. ....	21
<i>Figura 17.</i> Curva de respuesta de la Planta con un Controlador P en lazo abierto. Resultado obtenido con MATLAB®.....	24
<i>Figura 18.</i> Curva de respuesta de la planta con ajustes sobre el control P en lazo abierto. Resultado obtenido con MATLAB®.....	24



<i>Figura 19.</i> Curva de respuesta de la Planta con un Controlador PI. Resultado obtenido con MATLAB®.....	25
<i>Figura 20.</i> Curva de respuesta de la Planta con un Controlador PI con ajustes. Resultado obtenido con MATLAB®.....	25
<i>Figura 21.</i> Sistema de control de la planta en lazo cerrado con entrada escalón. Sistema implementado en la herramienta Simulink de MATLAB®. ....	26
<i>Figura 22.</i> Curva de respuesta del sistema con Controlador P (a) sin ajustes y (b) con ajustes de ganancia. Gráficas obtenidas con la herramienta Simulink de MATLAB®.....	27
<i>Figura 23.</i> Curva de respuesta del sistema con Controlador PI (a) sin ajustes y (b) con ajustes de ganancia. Gráficas obtenidas con la herramienta Simulink de MATLAB®.....	28
<i>Figura 24.</i> Diagrama de Flujo de la Etapa de Control - Menú. ....	30
<i>Figura 25.</i> Circuito de la Etapa de Control - Menú. ....	31
<i>Figura 26.</i> Diagrama de flujo Etapa de Control - Actuadores.....	34
<i>Figura 27.</i> Circuito de la Etapa de Control - Actuadores. ....	35
<i>Figura 28.</i> Diagrama de Flujo Etapa de Control - Temperatura.....	37
<i>Figura 29.</i> Circuito Etapa de Control - Temperatura. ....	38
<i>Figura 30.</i> Diagrama del circuito de Potencia. ....	40
<i>Figura 31.</i> Módulo de Control.....	41
<i>Figura 32.</i> Tarjeta con display LCD. ....	42
<i>Figura 33.</i> Tarjeta Pulsadores. (a) Vista frontal, (b) Vista posterior. ....	42
<i>Figura 34.</i> (a) Driver motor PAP, (b) Motor PAP unipolar. ....	43
<i>Figura 35.</i> Módulo de Temperatura.....	44
<i>Figura 36.</i> Sensor de Temperatura MLX90614. ....	44
<i>Figura 37.</i> Módulo de Potencia. ....	45
<i>Figura 38.</i> TRIAC BT138 con disipador de calor. ....	45

<i>Figura 39.</i> Módulo de 2 relés. ....	46
<i>Figura 40.</i> Tablero de Control. ....	46
<i>Figura 41.</i> Tablero de Control. (a) vista frontal, (b) vista posterior. ....	47
<i>Figura 42.</i> Tarjeta de Interfaz. ....	47
<i>Figura 43.</i> Diagrama de Bloques - Dosificador de Azúcar. ....	50
<i>Figura 44.</i> Diagrama de bloques de la etapa de control de temperatura. ....	52
<i>Figura 45.</i> Mensajes display: a) Inicial b) Al oprimir la tecla MONEDA c) Para escoger el color del azúcar. ....	54
<i>Figura 46.</i> Colores seleccionados: a) amarillo b) azul c) rojo. ....	54
<i>Figura 47.</i> Mensaje en display. a) Para escoger el segundo color de azúcar. b) Mensaje final. ....	54
<i>Figura 48.</i> Secuencia de operación del sistema de automatización. ....	55
<i>Figura 49.</i> Curva de temperatura de la resistencia térmica con controlador Proporcional Integral PI. ....	56

### **Lista de Tablas**

Tabla 1 Parámetros obtenidos con los Controladores P y PI en lazo abierto. ....	26
Tabla 2 Pinout microcontrolador Etapa de Control – Menú. ....	32
Tabla 3 Motores a pasos - Accionamiento. ....	33
Tabla 4 Pinout microcontrolador Etapa de Control – Actuadores. ....	34
Tabla 5 Pinout de la tarjeta de Interfaz. ....	48
Tabla 6 Cable de conexión DB_15 - 8 pines. ....	48
Tabla 7 Lista de precios de equipos y materiales. ....	57

## Lista de Anexos

ANEXO A. Cronograma de Trabajo .....	65
ANEXO B. Programación del PIC del módulo de Control .....	67
ANEXO C. Programación del PIC del módulo Actuadores .....	73
ANEXO D. Programación del PIC del módulo de Temperatura.....	78
ANEXO E. Sensor Infrarrojo MLX90614.....	83
ANEXO F. TRIAC BT138 serie E .....	90
ANEXO G. Optoacoplador MOC3021 .....	95
ANEXO H. Microcontrolador PIC 16F877A .....	100
ANEXO I. Driver para motores a pasos ULN200xA .....	104
ANEXO J. Diagrama Electrónico.....	108

## **Resumen**

Este trabajo presenta el diseño e implementación para la Automatización de una Máquina de Algodón de Azúcar, en el que se consideran tres objetivos: el control de temperatura para la elaboración del algodón de azúcar a través de un controlador Proporcional Integral (PI), utilizando modelado matemático, simulación e implementación electrónica; la dosificación del azúcar, empleando motores a pasos controlados electrónicamente para abastecer la cantidad adecuada para la elaboración de un algodón de azúcar; y la entrega del producto terminado. En la parte experimental de este trabajo, se hace uso de la herramienta matemática Matlab® para la simulación del controlador Proporcional Integral. Se utiliza el software Proteus para el diseño de los esquemas electrónicos, la simulación del software y la construcción de las placas de circuito impreso. Además, los códigos de programación para los microcontroladores PIC 17F877A utilizados, son desarrollado sobre el compilador microC PRO. El resultado final es el montaje de un prototipo funcional de una máquina de algodón de azúcar con un sistema de control PI.

## **Abstract**

This project presents the design and implementation of an automation system applied to a Cotton Candy Machine, focusing in three main objectives: mathematical modeling, simulation and electronic implementation of a Proportional Integral (PI) controller for temperature control in a cotton candy elaboration process; dosing of sugar using stepper motors with electronic controller to supply the adequate quantity for the elaboration of cotton candy; and delivery of the end-product. In the experimental section of this work, the simulation of the Proportional Integral controller was developed in the mathematical tool Matlab®. Proteus software was used for the design of electronic schemes, software simulation and the construction of printed circuit boards. In addition, the programming codes for PIC 17F877A microcontrollers used were developed on the microC PRO compiler. The final result is a complete functional model of the cotton candy machine with PI control system.

## **Introducción**

Para la propuesta de este proyecto, previamente se investigó en el mercado local el tipo de máquinas de algodón de azúcar existentes, encontrándose modelos que van del uso doméstico hasta modelos de uso industrial, con modos de funcionamiento eléctrico o a gas y diseñadas para que el proceso de elaboración sea en su totalidad a través de un operador. Se pueden encontrar máquinas completamente automatizadas a la venta en el mercado internacional, sin embargo no existe documentación específica relacionada con la automatización de este tipo de maquinaria, por tal razón la idea de este trabajo de tesis.

El algodón de azúcar muy popular en todo el mundo, es un caramelo cuyo componente principal es el azúcar. El producto se consigue al verter azúcar sobre un recipiente temperado que lo derrite y que gira a gran velocidad y que por efectos de la fuerza centrífuga lo expulsa por una serie de agujeros al contorno del recipiente. Al entrar en contacto con el aire se solidifica formando hilos finos similares al algodón los cuales son recogidos por el operador de la máquina por medio de un palo, un cono y en algunas ocasiones con la mano. Este caramelo es muy vendido en ferias, fiestas infantiles y otros eventos festivos, sin embargo muchas veces se desconoce cómo fue elaborado, pues se compra empaquetado.

## **Antecedentes**

La venta de alimentos en ferias y mercados no debe dejar de cumplir una serie de requisitos sanitarios imprescindibles que garanticen que el consumidor tenga acceso a productos con todas las garantías higiénicas y de seguridad. Con la automatización se pretende reducir el contacto directo con la máquina y con la materia prima al momento de elaborar el algodón, la producción se vuelve más higiénica y reduce casi en su totalidad riesgos de contaminación del producto puesto que será elaborado en un área cerrada que evitará el ingreso de impurezas.

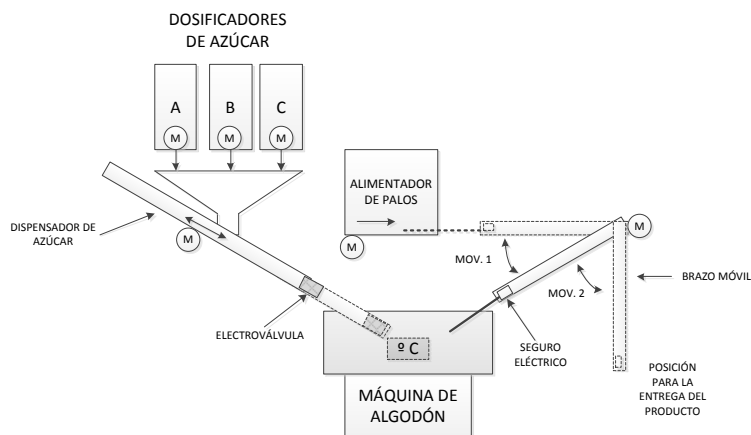
La automatización de este producto tiene muchas ventajas respecto a la elaboración manual pues no requiere de un operador permanente. Una máquina automatizada puede estar disponible las 24 horas del día y en cualquier lugar donde se disponga de energía eléctrica. Por otra parte aumenta la eficiencia energética y el uso de materias primas al conseguir el control de todos los procesos y al lograr una reducción en los costes asociados a suministros y stock respectivamente, consiguiendo mejorar la capacidad de producción con una mayor calidad del producto. También, incrementa la seguridad del personal al impedir la exposición a las altas temperaturas que se requieren para la obtención del algodón, así como se evitan posibles accidentes al momento de operar la máquina manualmente.

### **Planteamiento del problema**

La elaboración manual del algodón de azúcar al aire libre puede contaminar el producto y causar en el consumidor enfermedades gastrointestinales por la entrada al cuerpo de microbios, bacterias y microorganismos que generalmente se localizan en el medio ambiente, se suma la falta de aseo del operario o su inconciencia al elaborar el producto sabiendo que se encuentra con algún tipo de enfermedad.

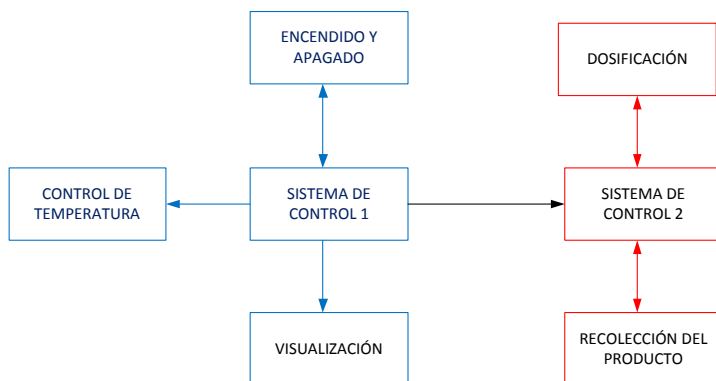
### **Formulación del problema**

Se plantea la idea de diseñar, construir e implementar un sistema electrónico y mecánico que permitan la automatización para la elaboración del algodón de azúcar a partir de una máquina de algodón de azúcar eléctrica. La figura 1 muestra la posible arquitectura que se pretende implementar.



*Figura 1.* Arquitectura para la Automatización de la Máquina de Algodón de Azúcar. Fuente Elaboración y Formulación propia.

El dispositivo de control se desarrolló sobre microcontroladores programables PIC debido a que en el mercado existen una gran variedad, a un bajo costo, con herramientas de desarrollo fáciles de usar y con documentación técnica completa. Se hizo uso del compilador MicroC PRO para la configuración ya que contiene todas las funciones ANSI C para dispositivos PIC y debido a que es un potente compilador con optimizaciones avanzadas, una gran cantidad de bibliotecas de software y hardware y herramientas que facilitarán el trabajo. Los dispositivos de control permitieron controlar automáticamente diferentes actuadores como motores, sensores, etc., en los procesos de control de temperatura, dosificado de azúcar y dispensado del producto terminado. La figura 2 muestra el diagrama de bloques general del sistema a implementar.



*Figura 2.* Diagrama de bloques de los sistemas de control. Fuente Elaboración y Formulación propia.



## **Justificación**

Los algodones de azúcar que son producidos de forma automática con procesos básicos previamente establecidos, aumentan la eficiencia energética y el uso de la materia prima que aquellos algodones elaborados de forma manual.

El diseño de un control automático para la elaboración de un algodón de azúcar que permite controlar los parámetros de temperatura, dosificación y expendio de azúcar mejora la capacidad de producción con una mayor calidad del producto que aquellos elaborados de manera artesanal.

El desarrollo de un software que permite el expendio automático de un algodón de azúcar, admite una mayor disponibilidad del producto que aquella que requiere de un obrero para la elaboración y expendio del producto.

## **Objetivo General**

Implementar la automatización de una máquina de algodón de azúcar.

## **Objetivos Específicos**

Estudiar los diferentes tipos de Controladores para determinar el más propicio para el control de la temperatura y el expendio de azúcar.

Diseñar un sistema electrónico para controlar la temperatura y el expendio de azúcar.

Implementar un prototipo.

Realizar pruebas para determinar el funcionamiento del sistema.

## **Descripción de los Capítulos**

Este documento está conformado por tres capítulos. En el capítulo 1 se redactan las definiciones más importantes que involucran el tema del proyecto para lograr un buen entendimiento de la propuesta. Se abordan conceptos generales como: La Automatización, los Sistemas de Control y sus formas básicas, Controlador Proporcional, Integral y Derivativo, la modulación por Ancho de Pulso, motores AC y DC, Sensores, Actuadores. En

el capítulo 2 se detalla la propuesta del diseño, su estructura, el hardware y software utilizados, así como los diagramas y los cálculos. Por último, el capítulo 3 corresponde a la implementación del proyecto en el que se describe las etapas del proyecto, las pruebas realizadas y los resultados obtenidos.

## Capítulo 1

### Fundamentación Teórica

#### 1.1. Automatización

La automatización está definida por la Real Academia de las Ciencias Físicas y Exactas como el “conjunto de métodos y procedimientos para sustituir las tareas físicas y mentales previamente programadas de un operador”.

Considérese que un proceso es la parte del sistema que realiza una transformación de la materia prima bajo ciertas condiciones, dando lugar a la salida del material en forma de producto. Se conocen tres tipos de procesos:

- Procesos continuos.- Se caracterizan por entregar ininterrumpidamente el producto elaborado, por ejemplo, la generación de electricidad o la purificación del agua.
- Procesos discretos.- Son aquellos cuyos productos de salida son en forma de unidades o número finito de piezas, por ejemplo la fabricación de un modelo de automóvil.
- Procesos batch.- La salida del proceso se da en cantidades o en lotes de material, por ejemplo medicamentos o bebidas gaseosas.

#### 1.2. Sistemas de Control Automático

El control automático de sistemas se ha presentado como un aporte significativo de tecnología para satisfacer las formas de supervisión, regulación, tratamiento y control de los trabajos comprendidos en procesos de producción. Un sistema de control automático es una interconexión de componentes que forman un conjunto denominado sistema, siendo esta configuración capaz de dirigirse por sí misma.

#### 1.3. Clasificación de los sistemas de control

A los sistemas de control se los pueden clasificar en dos tipos; sistemas de lazo abierto y sistemas de lazo cerrado.

### **1.3.1. Sistemas de control en lazo abierto**

Son aquellos cuya acción de control depende de la entrada del sistema, son conocidos como sistemas no automáticos. Normalmente utilizan algún actuador para obtener la respuesta de salida deseada y generalmente están regulados en función del tiempo.

### **1.3.2. Sistemas de control en lazo cerrado**

Los sistemas en lazo cerrado dependen de la señal de entrada y de la señal de salida para realizar la acción de control, utilizan la señal de salida como retroalimentación a la entrada del sistema. Se los conoce como sistemas automáticos. Estos sistemas logran obtener un mejor control al comparar la señal de salida con la señal de referencia de entrada del sistema, la diferencia proporcional entre las señales debe ser retroalimentada al sistema para corregir el error

### **1.4. Controlador PID**

Un controlador PID (Proporcional Integrativo Derivativo) es un circuito de control en lazo cerrado, utilizado generalmente en la industria para la automatización de sistemas. La figura 3 corresponde a un diagrama de bloques de un sistema en lazo cerrado en el que el controlador “C” es alimentado por una señal de error “e” dada por la diferencia entre la señal de entrada “r” y la señal de salida “y” con la cual se alimenta al sistema que se desea controlar. El controlador disminuye la señal de error cada vez que se ajusta la entrada del sistema.

El controlador PID está compuesto por los parámetros proporcional, integral y derivativo, que dependiendo de la característica del controlador, el valor de alguno de ellos puede ser cero, por ejemplo en un controlador proporcional los parámetros integral y derivativo son cero y en un controlador PI solo el derivativo será cero.

El cambio realizado sobre cualquiera de los parámetro afecta alguna de las característica de la salida del sistema, como el tiempo de establecimiento, la sobre oscilación, el

amortiguamiento, etc., que por más que se ajusten, no se logrará obtener un controlador PID ideal, es decir que reduzca estas características a cero, sino que tratará de ajustarlo a un punto medio para cumplir con las especificaciones pretendidas.

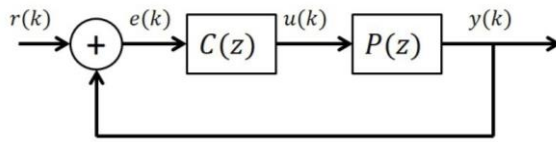


Figura 3. Sistema de Control en Lazo Cerrado.

### 1.4.1. Acción proporcional

Esta acción genera cambios inmediatos y proporcionales en la salida del controlador respecto a los cambios que se presenten en la entrada del mismo, es decir, la señal de salida está directamente relacionada con la señal de error presente a la entrada del controlador y dependerá del porcentaje de cambio en la medición. A este porcentaje se le conoce como ganancia del sistema proporcional  $K_p$  y puede ser expresado como

$$K_p = \Delta \text{ salida} / \Delta \text{ entrada}$$

Al inverso de la ganancia  $K_p$  se la conoce como “banda proporcional” y es definida como la cantidad de cambio de entrada requerida para provocar un cambio en la salida al 100%.

### 1.4.2. Acción integral

La acción integral provoca cambios en la señal de salida respecto del tiempo en forma proporcional a la señal de error. Es decir, elimina completamente el error acumulado en el tiempo por la acción proporcional cambiando la señal de salida las veces necesarias. Como resultados de esta acción, en la señal de salida esperada se obtienen tiempos de establecimiento elevados, periodos de oscilación mayores y una respuesta más lenta.

Matemáticamente, la acción integral está dada por

$$T_i = \text{Velocidad de Salida} / \text{Error de entrada}$$

### **1.4.3. Acción derivativa**

La acción derivativa realiza un desplazamiento de la señal de salida proporcional al porcentaje al cual cambia la entrada. Esta acción reaccionará tan pronto como cambie la señal de entrada en el tiempo, modificando la señal de salida en proporción a la tasa de cambio de entrada. La acción derivativa matemáticamente se expresa como

$$Td = \text{Desplazamiento de salida} / \text{Velocidad de entrada}$$

Junto con las otra acciones de control, se logra disminuir el exceso de sobre oscilaciones en la señal de salida.

### **1.5. Modulación por ancho de pulsos PWM**

La modulación por ancho de pulso PWM (pulse width modulation) es un tipo de señal periódica de energía que modifica su ciclo de trabajo para enviar información o para variar la cantidad de energía enviada a una carga.

Son muy utilizadas en circuitos digitales que requieren emular una señal analógica, así como para regular el ángulo de giro, la velocidad o la dirección de motores eléctricos. Se puede mencionar como algunas de sus aplicaciones; en el control de servomotores que cambian de posición de acuerdo al ancho de pulso recibido, en el ajuste de intensidad de un LED RGB muy utilizado en pantallas LED para definir los colores.

### **1.6. Sensores**

Los sensores son dispositivos que permiten capturar información externa para convertirla generalmente en impulsos eléctricos, de manera que puedan ser medidos y tratados por una unidad de control. Sus características principales están definidas por: el tipo de salida, la sensibilidad, la linealidad, el rango máximo y mínimo, el tiempo de respuesta, la exactitud, el margen de error, la repetitividad y la resolución.

Están dispuestos por componentes activos y componentes pasivos que varían su magnitud en función de alguna variable física o química. En el mercado existe una gran variedad de

sensores para infinidad de aplicaciones, entre los que se puede mencionar: sensores por ultrasonido, de infrarrojos, de presión y fuerza, de temperatura, etc.

## **1.7. Actuadores**

En un sistema de gestión electrónica los sensores son los elementos encargados de obtener la información, es decir, proporcionan las señales de entrada a la Unidad de Control para que ésta pueda determinar la acción de salida. Esta salida es convertida en una señal eléctrica que se envía a un actuador que la convertirá en otra forma de energía.

### **1.7.1. Actuadores electromagnéticos**

Los actuadores electromagnéticos basan su funcionamiento en el magnetismo, se encuentran constituidos por una bobina y un émbolo de material ferro magnético. La ventaja de este tipo de actuadores radica en su velocidad de respuesta ya que realizan movimientos muy rápidos y lineales al no disponer de partes móviles adicionales al émbolo. En contraste, su alcance es limitado de pocos milímetros y no es posible controlar la posición o velocidad del émbolo. Son utilizados en timbres, cerraduras eléctricas, válvulas electrónicas.

### **1.7.2. Relés**

Un relé es un interruptor accionado electromagnéticamente. Consta de un circuito de mando de bajo consumo a través del cual se acciona un electroimán que permitirá la apertura o cierre de los contactos del relé en cuyos terminales externos se conecta la carga que se desea controlar permitiendo o no el paso de la corriente eléctrica.

## **1.8. Resistencias de calentamiento**

Son resistencias generalmente construidas de níquel que transforman a la energía eléctrica que circula por ellas en calor. La aplicación más común se encuentra en la industria y en el hogar como en planchas, cafeteras, tostadoras, calefactores, cocinas, hornos, etc. Su temperatura puede ser regulada por medio de relés térmicos, termocuplas o elementos electrónicos.

## Capítulo 2

### Propuesta

#### 2.1. Introducción

En la elaboración manual de un algodón de azúcar, un operario tiene que realizar tareas como el encendido de la máquina, la puesta del azúcar y la recolección del producto. Con este trabajo se pretende conseguir que todas las operaciones manuales sean realizadas por la máquina, por lo que la propuesta para la automatización se plantea de la siguiente manera:

- ▶ diseño del control de temperatura
- ▶ diseño del sistema de control electrónico para:
  - el encendido y apagado automático de la máquina de algodón de azúcar
  - la dosificación de azúcar y,
  - la recolección del producto

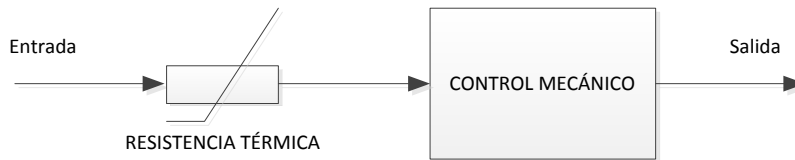
#### 2.2. Diseño del control de temperatura

##### 2.2.1. El control de temperatura de la Máquina de Algodón de Azúcar

Una parte importante para la elaboración del algodón de azúcar, es encontrar la temperatura óptima en la que el azúcar se convierta en algodón y lograr mantenerla constante en el envase donde se deposita la materia prima en la que se desarrolla el producto. Para realizar un diseño adecuado del control de temperatura, se debe encontrar el modelo matemático de la planta, por tal razón es importante conocer el funcionamiento del sistema la máquina de algodón de azúcar que se desea controlar.

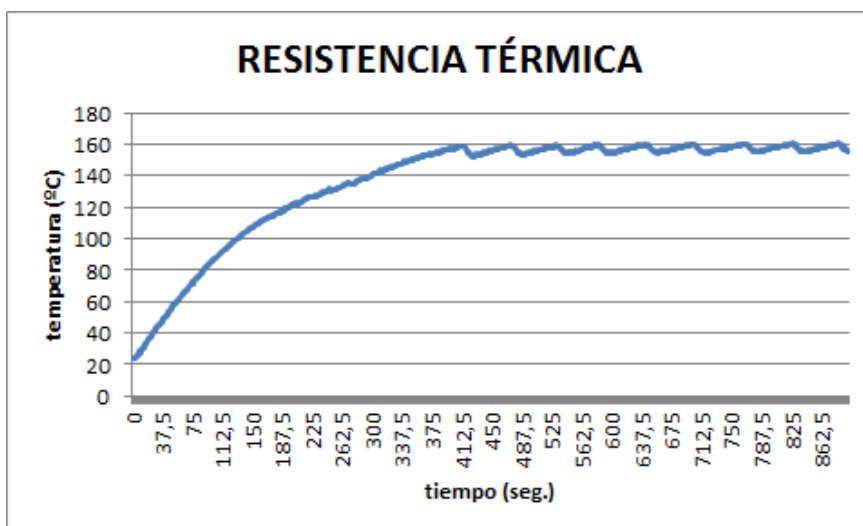
El sistema a controlar está constituido por una resistencia térmica que gira por la acción de un motor AC a través de una banda y utiliza un termostato mecánico como control para limitar el incremento de temperatura. La figura 4 muestra el diagrama de bloques del sistema térmico de la máquina de algodón de azúcar.





*Figura 4.* Diagrama de Bloques del Sistema Térmico de la Máquina de Algodón de Azúcar. Fuente Elaboración y Formulación Propia

La resistencia térmica es alimentada con 110 V y tiene un consumo de corriente de 8 A generando una potencia que es disipada en forma de calor. El control mecánico, constituido por un termostato ON/OFF normalmente cerrado, deja pasar la corriente hacia la resistencia térmica hasta alcanzar cierta temperatura, luego de lo cual se abre (estado OFF) impidiendo el paso de la corriente y provocando que la temperatura de la resistencia térmica disminuya gradualmente. Una vez que internamente el termostato recupera su condición inicial por el cambio de temperatura, se cierra nuevamente y deja circular corriente hacia la resistencia térmica ocasionando que la temperatura aumente nuevamente. Este proceso se repite continuamente y su curva de respuesta se presenta en la figura 5.



*Figura 5.* Control de Temperatura con el uso de un termostato. Fuente Elaboración y Formulación propia.

El diente de sierra que se observa en la gráfica corresponde al accionar del termostato, cuyo comportamiento hace que se obtenga algodón de azúcar cuando la temperatura se encuentra del punto medio del diente de sierra hacia arriba, cuando la temperatura está por debajo del punto medio no se produce el algodón de azúcar.

Uno de los propósitos de éste trabajo es implementar un controlador que permita mantener constante la temperatura, reduciendo los altibajos que presenta el termostato.

### 2.2.2. Modelado matemático del Proceso Térmico

La figura 6 muestra la resistencia térmica de la máquina de algodón de azúcar.



Figura 6. Resistencia Térmica de la Máquina de Algodón de Azúcar. Fuente Elaboración y Formulación propia.

La figura 7 describe un esquema de la resistencia térmica con las variables involucradas y en la figura 8 se presenta el diagrama de bloques correspondiente.

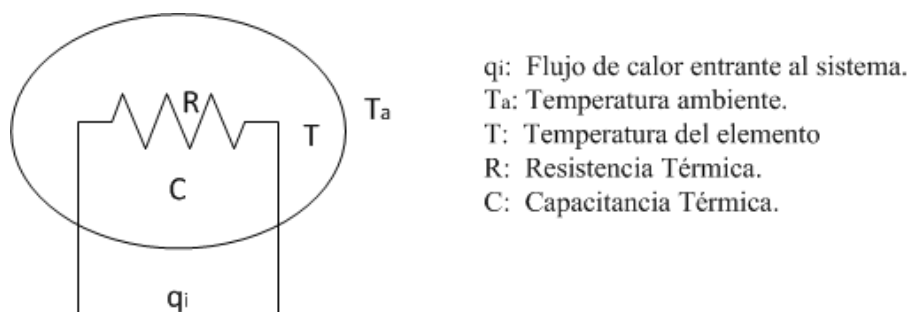


Figura 7. Esquema de la resistencia térmica. Fuente Elaboración y Formulación propia.

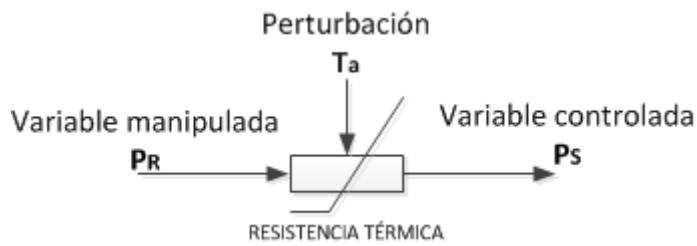


Figura 8. Diagrama de bloques del proceso térmico. Fuente Elaboración y Formulación propia.

### 2.2.3. Obtención de la Función de Transferencia

Para comprender la dinámica de una resistencia térmica, se presentan el modelado y análisis de un sistema térmico simple. Se parte del modelado de una red generalizada que presenta dos tipos de variables, las que se obtiene de los elementos del sistema y que requiere de dos puntos para medirse conocidas como transvariable, y las que se propagan a través de los elementos del sistema y que requieren de un solo punto para su medición, a las que se les conoce como pervariables.

El flujo de calor que produce la resistencia térmica representa la fuente pervariable y la temperatura ambiente la fuente transvariable, El diagrama de bloques de la figura 9, muestra cómo actúan las variables de entrada y salida del proceso térmico, a partir del cual se deducirá la función de transferencia del sistema.

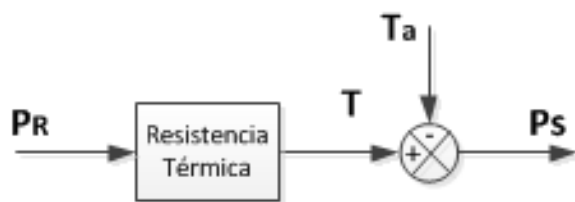


Figura 9. Variables de entrada y salida en la resistencia térmica. Fuente Elaboración y Formulación propia.

Para mantener una temperatura constante, el consumo de energía de la resistencia térmica aumentará o disminuirá de acuerdo a la temperatura externa que actúe sobre ella, esto se transforma en una variación de potencia denominada ( $P_s$ ) o potencia de salida, relacionada

con la diferencia entre la temperatura de la resistencia térmica y la temperatura ambiente, multiplicada por una constante de temperatura.

$$P_S = K_T(T - T_a) \quad (1)$$

Donde:

$P_S$  – Potencia de salida de la resistencia térmica

$K_T$  – Constante de pérdida de calor en el ambiente

$T$  – temperatura de la resistencia térmica

$T_a$  – temperatura del ambiente

A continuación, se determinará la relación existente entre la variación de calor respecto a la variación del tiempo con la potencia de entrada y la potencia de salida de la planta, que viene dada por:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = P_R - P_S \quad (2)$$

Reemplazando la ecuación (1) en (2) y aplicando la derivada se obtiene,

$$\frac{dQ}{dt} = P_R - K_T(T - T_a) \quad (3)$$

De las leyes de la termodinámica, toda variación de temperatura está relacionada con la variación de calor que el sistema requiere, es decir:

$$\Delta Q = C * \Delta T$$

$$\frac{dQ}{dt} = C \frac{dT}{dt} \quad (4)$$

Donde  $C$  es la constante térmica de la resistencia.

Igualando la ecuación 4 y 5, y despejando en función de la temperatura se tiene,

$$C \frac{dT}{dt} = P_R - K_T(T - T_a) \quad (5)$$

$$C \frac{dT}{dt} + TK_T = P_R + K_T T_a$$

Se aplica la transformada de Laplace a la ecuación diferencial (6) para obtener la función de transferencia.

$$\mathcal{L}\left\{C \frac{dT}{dt} + TK_T\right\} = \mathcal{L}\{P_R + K_T T_a\}$$

$$CsT(s) + K_T T(s) = P_R(s) + K_T T_a(s)$$

$$T(s)[Cs + K_T] = P_R(s) + K_T T_a(s)$$

$$\frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} = \frac{T(s)}{P_R(s) + K_T T_a(s)} = \frac{1}{Cs + K_T}$$

$$G(s) = \frac{1}{Cs + K_T}$$

$$\text{si: } K_T = \frac{1}{R}$$

$$G(s) = \frac{K_T}{RCs + 1}$$

$$G(s) = \frac{K_T}{\tau s + 1} \quad (6)$$

La ecuación (6) que corresponde a un sistema de primer orden, representa la función de transferencia de un sistema térmico, donde  $\tau$  es la constante de tiempo y  $K$  la ganancia del sistema.

Un sistema de primer orden tiene una función de transferencia de la forma:

$$G(s) = \frac{K}{Ts + 1}$$

Su respuesta a una entrada escalón unitario está dada por la ecuación (7) y cuya curva característica se muestra en la figura 10:

$$y(t) = K(1 - e^{-t/T}) \quad (7)$$

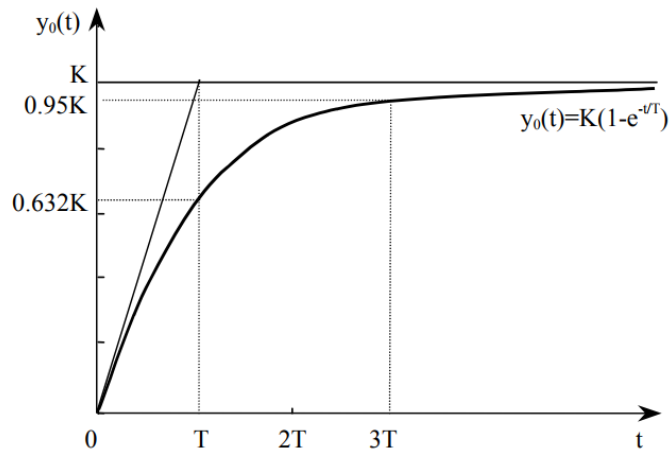


Figura 10. Respuesta de un sistema de 1er Orden a la entrada de un escalón unitario. Método de la curva de reacción (Cohen y Coon).

donde:

K: Ganancia estática, se define como el valor final ante la entrada escalón unitario.

T: Constante de tiempo (al 63% de su valor final)

3T: Tiempo de establecimiento (tiempo en que la respuesta empieza a estabilizarse)

Para la obtención del modelado matemático se parte de la ecuación (7).

Haciendo uso del sensor de temperatura infrarrojo MLX90614, cuyas especificaciones y características técnicas se encuentran en el Anexo E y con ayuda de una placa Arduino UNO y la librería facilitada por el fabricante del sensor, se adquirieron los datos de la temperatura con muestras tomadas cada 0,5 segundos. Los datos experimentales se graficaron en Excel, obteniéndose la curva de variación de la temperatura de la resistencia térmica respecto al tiempo, figura 11, observándose que es una respuesta típica de un sistema de primer orden y de la cual se hallarán los valores de K y  $\tau$  al aplicar una señal de entrada del tipo escalón unitario.

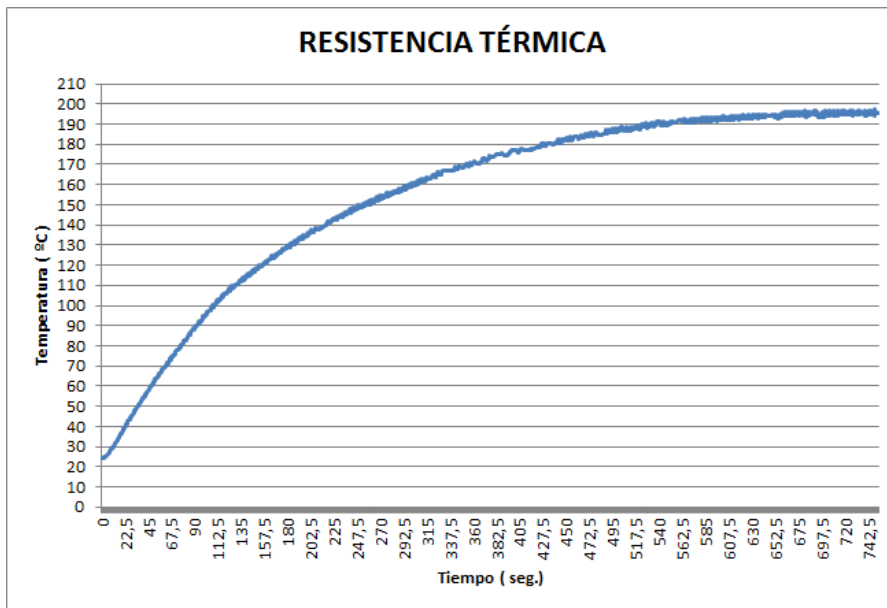


Figura 11. Curva de reacción de la resistencia térmica. Fuente Elaboración y Formulación propia.

De la figura 11 podemos obtener el valor de K trazando una línea paralela al eje del tiempo tangente en el infinito al valor máximo de temperatura de la resistencia térmica, es decir el valor de K será ligeramente mayor al valor de estabilización de la temperatura de la resistencia térmica. Como el valor de estabilización de la resistencia térmica es aproximadamente 197 °C, se asume un valor de K igual a 200.

El valor de la constante de tiempo  $\tau$  se obtiene sobre la gráfica, para ello se observa el tiempo correspondiente a un valor del 63% de la ganancia K. Como la respuesta del sistema comienza en 24 °C y no en 0 °C,  $\tau$  se calcula de la siguiente manera:

$$63,2\% K = (\text{temperatura final} - \text{temperatura inicial}) * 63,2\% + 24 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$63,2\% K = (200 \text{ } ^\circ\text{C} - 24 \text{ } ^\circ\text{C}) * 0,632 + 24 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$63,2\% K = 135,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Por tanto, el valor de 135 °C según la figura 11, corresponde a un valor en el vector tiempo de 202 segundos que es el valor de  $\tau$ .

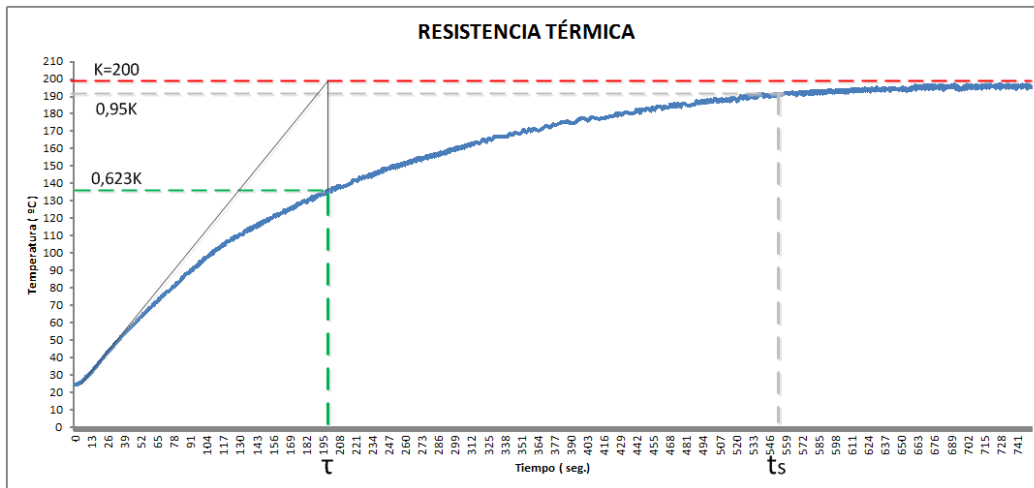


Figura 12. Método de la curva de reacción. Obtención de los valores de K,  $\tau$  y  $t_s$  gráficamente. Fuente Elaboración y Formulación propia.

El tiempo en el cual la respuesta se estabiliza se toma a partir de un 95% del valor de la ganancia, por tanto

$$95\% K = (\text{temperatura final} - \text{temperatura inicial}) * 95\% + 24 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$95\% K = (200 \text{ }^\circ\text{C} - 24 \text{ }^\circ\text{C}) * 0,95 + 24 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$95\% K = 191,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

Valor que corresponde aproximadamente a 595 segundos.

Reemplazando los valores obtenidos de K,  $\tau$  y  $t_s$  en la ecuación (6), obtenemos la función de transferencia

$$G(s) = \frac{200}{202s + 1}$$

#### 2.2.4. Modelado del sistema utilizando MATLAB®

Una manera de comprobar que los datos calculados matemáticamente son correctos, es a través del uso de las funciones de la herramienta matemática MATLAB®.

A partir de los datos experimentales y aplicando una entrada escalón unitario, la función *ident* de MATLAB® calcula la función de transferencia estimando la salida del sistema con la función escalón. La figura 13 muestra la señal de entrada *u1* (escalón unitario) y la señal



de salida del sistema  $y1$ , mientras que en la figura 14 se observa el modelo de salida del sistema con una estimación del 97.3 % a la señal de salida original.

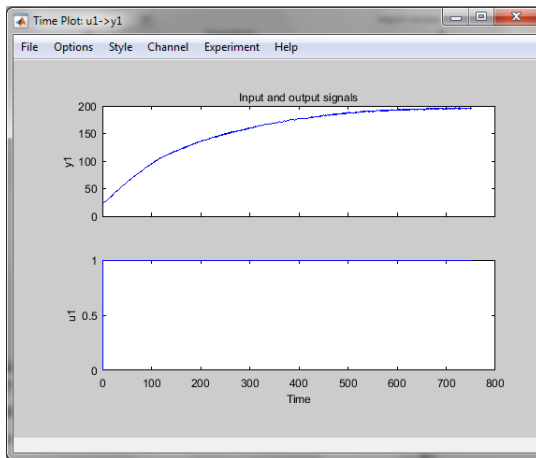


Figura 13. Señal de entrada  $u1$  (escalón unitario) y señal de salida del sistema  $y1$ . Resultado obtenido con la función *ident* de MATLAB®.

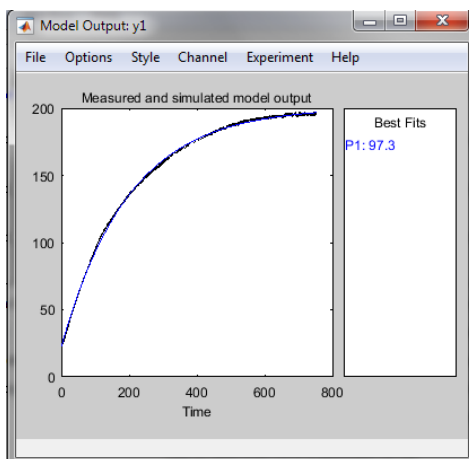


Figura 14. Señal de salida modelada. Resultado obtenido con MATLAB®.

La función de transferencia estimada por MATLAB® es

$$G(s) = \frac{200.8}{195.65 s + 1}$$

Si se comparan los resultados obtenidos matemáticamente con los resultados de MATLAB®, entonces podemos corroborar que la función de transferencia corresponde a un sistema de primer orden y que los valores de  $K$  y  $\tau$  calculados difieren mínimamente debido a

las aproximaciones realizadas. Siendo un sistema de primer orden, no se requiere de una acción derivativa para el controlador ya que con las acciones proporcional e integral se logra controlar tanto el transitorio como el estacionario del sistema.

### 2.2.5. Diseño matemático del Controlador de Temperatura

Para establecer la acción de control del sistema, es importante regular la temperatura mediante técnicas de control digital, para lo cual se utilizarán Controladores del tipo P o PI con modelado en tiempo continuo.

La representación del sistema a implementar para el control de temperatura de la máquina de azúcar se muestra en el diagrama de bloques de la figura 15.

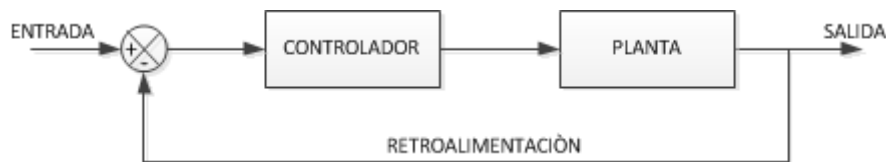


Figura 15. Diagrama de bloques del Sistema de Control en lazo cerrado. Fuente Elaboración y Formulación propia.

El diagrama de bloques en el dominio de Laplace se muestra en la figura 16, en la que se considera una retroalimentación unitaria que representa a la señal enviada por un sensor de temperatura, mientras que  $P(s)$  será un controlador del tipo Proporcional o Proporcional Integral. La planta  $G(s)$  corresponde a la función de transferencia obtenida en el apartado 2.5 de este documento,  $e(s)$  es la señal de error y  $k(s)$  la señal de control.

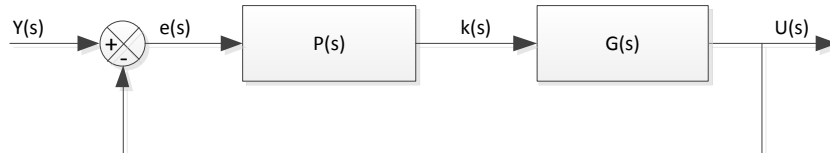


Figura 16. Sistema en lazo cerrado en el dominio de Laplace. Fuente Elaboración y Formulación propia.

La función de transferencia de la figura 16 viene dada por

$$\mathbf{F. T} = \frac{\mathbf{U}(s)}{\mathbf{Y}(s)} = \frac{\mathbf{P}(s) * \mathbf{G}(s)}{\mathbf{P}(s) * \mathbf{G}(s) + \mathbf{1}} \quad (8)$$

Considerando con un controlador PI y un sistema de primer orden en tiempo continuo, cuyas funciones de transferencia están dadas respectivamente por

$$\mathbf{P}(s) = \frac{s\mathbf{K}_P + \mathbf{K}_I}{s} \quad (9)$$

$$\mathbf{G}(s) = \frac{\mathbf{K}}{\tau s + 1} \quad (10)$$

Reemplazando (9) y (10) en (8) se obtiene la función de transferencia del sistema de control

$$\mathbf{F. T} = \frac{\frac{s\mathbf{K}_P\mathbf{K}}{\tau} + \frac{\mathbf{K}_I\mathbf{K}}{\tau}}{s^2 + s\frac{(\mathbf{K}_P\mathbf{K} + 1)}{\tau} + \frac{\mathbf{K}_I\mathbf{K}}{\tau}} \quad (11)$$

Para cumplir con los parámetros de desempeño es necesario igualar los polos de la respuesta del sistema en lazo cerrado a los polos deseados (ecuación (11)), donde  $\xi$  es el coeficiente de amortiguamiento y  $W_n$  es la frecuencia natural.

$$\mathbf{Polos}(s) = s^2 + 2\xi W_n s + W_n^2 \quad (12)$$

Entonces, igualando término a término la ecuación (12) con los polos de la ecuación (11)

se tiene

$$s^2 = s^2$$

$$\frac{(\mathbf{K}_P\mathbf{K} + 1)}{\tau} = 2\xi W_n$$

$$\frac{\mathbf{K}_I\mathbf{K}}{\tau} = W_n^2$$

Por tanto, se obtiene los valores de las ganancias proporcional e integral

$$\mathbf{K}_P = \frac{(2\xi W_n \tau - 1)}{\mathbf{K}} \quad (13)$$

$$(14)$$

$$K_I = \frac{W_n^2 \tau}{K}$$

Los polos deseados del sistema cumplen con dos parámetros de desempeño que son el máximo sobre impulso  $M_p$  y el tiempo de establecimiento  $t_s$  de la salida del sistema.

En el caso de considerar un Controlador  $P(s)$  tipo Proporcional y un sistema de primer orden en tiempo continuo  $G(s)$ , cuyas funciones de transferencia están dadas respectivamente por

$$P(s) = K_P \quad (15)$$

$$G(s) = \frac{K}{\tau s + 1} \quad (16)$$

La función de transferencia del sistema de control será

$$F.T = \frac{K_P K}{\tau s + (K_P K + 1)} \quad (17)$$

Sin embargo, para el diseño del controlador se hará uso la función App PID Tuner de MATLAB®, que es una función diseñada para implantar controlador dinámicos de tipo P, PI, PID en tiempo continuo. A través de esta función, se pretende hallar un Controlador que presente el mejor desempeño a las necesidades del sistema, es decir, que logre estabilizar la temperatura deseada en el menor tiempo posible.

Los datos conseguidos con la estimación de la planta serán aplicados a los controlador tipo P y PI de los cuales se obtendrán las curvas en lazo abierto para posteriormente analizar sus comportamientos en lazo cerrado a través de la herramienta SIMULINK de MATLAB®.

### **2.2.5.1. Respuesta de la planta en lazo abierto con Controlador P.**

Ingresando los datos de la *señal estimada* en la función App PID Tuner sobre un Controlador de tipo Proporcional, se obtuvo la curva de la figura 17 en la que se aprecia una curva de respuesta que no es la esperada ya que alcanza como valor máximo el 67,1% de la curva deseada.

Realizando ajustes en el parámetro de “*tiempo de respuesta*” de la función App PID Tuner que prácticamente hace referencia al aumento o disminución de la ganancia  $K_p$  del controlador, se logra mejorar la curva de respuesta alcanzando un valor máximo de 94,7% de la señal estimada. Esto era de esperarse, pues los controladores de este tipo presentan una respuesta con un cierto error remanente que el sistema es incapaz de compensar.

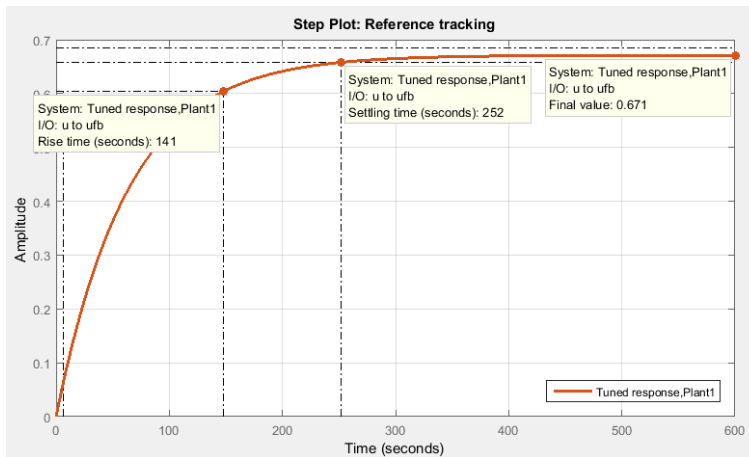


Figura 17. Curva de respuesta de la Planta con un Controlador P en lazo abierto. Resultado obtenido con MATLAB®.

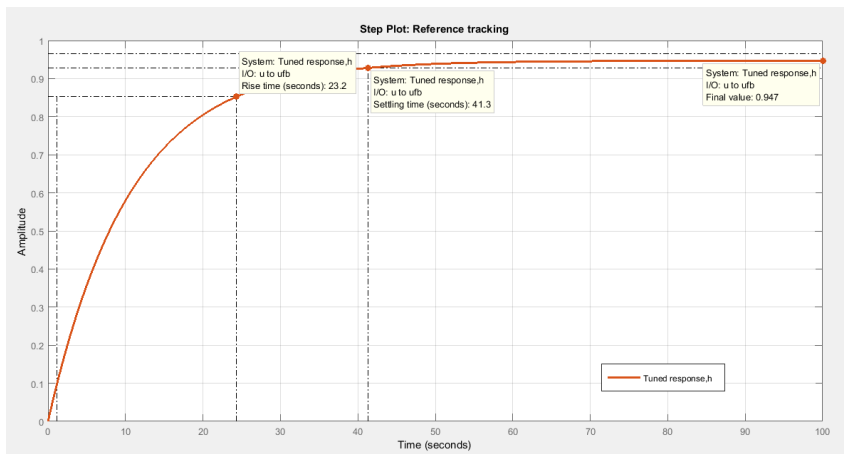


Figura 18. Curva de respuesta de la planta con ajustes sobre el control P en lazo abierto. Resultado obtenido con MATLAB®.

### 2.2.5.2. Respuesta de la planta en lazo abierto con Controlador PI.

La curva de respuesta de la planta que se obtiene con un Controlador PI, presenta un sobreimpulso de un 13,8% sobre el valor de estabilización que se desea alcanzar, provocando que la señal demore en estabilizarse. ,

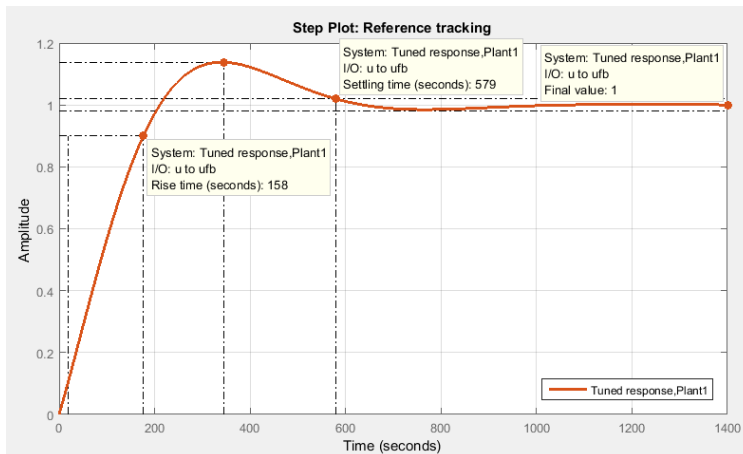


Figura 19. Curva de respuesta de la Planta con un Controlador PI. Resultado obtenido con MATLAB®.

La mejor respuesta obtenida con un controlador del tipo PI luego de realizar ajustes sobre los parámetros *tiempo de respuesta* y *comportamiento transitorio* se observa en la figura 19. Se puede destacar la estabilización de la señal a partir de los 170 segundos, con un sobre impulso del 0.435 %.

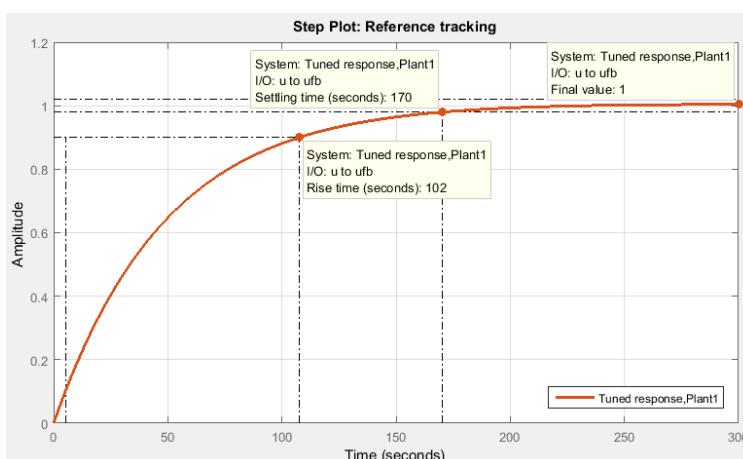


Figura 20. Curva de respuesta de la Planta con un Controlador PI con ajustes. Resultado obtenido con MATLAB®.

Tabla 1  
*Parámetros obtenidos con los Controladores P y PI en lazo abierto.*

Parámetros	P	P con ajustes	PI	PI con ajustes
Kp	0.010172	0.019861	0.0051911	0.020042
Ki	0	0	7.9629e-05	0.00011014
Tiempo de subida	141 seg.	86.2 seg.	158 seg.	102 seg.
Tiempo de estabilización	252 seg.	153 seg.	579 seg.	170 seg.
Sobreimpulso	0%	0%	13.8%	0.435%
Amplitud Pico de la señal	0.671	0.8	1.14	1.0

Valores obtenidos con la herramienta App PID Tuner de MATLAB®

### 2.2.5.3. Simulación del comportamiento de los Controladores obtenidos.

Con los controladores P y PI obtenidos en lazo abierto y con el uso de la herramienta gráfica SIMULINK® de MATLAB®, se configura el sistema en lazo cerrado de la figura 21 con retroalimentación unitaria y entrada escalón con paso de 0 segundos, referencia de 100 °C y con muestreo de 0,5 segundos.

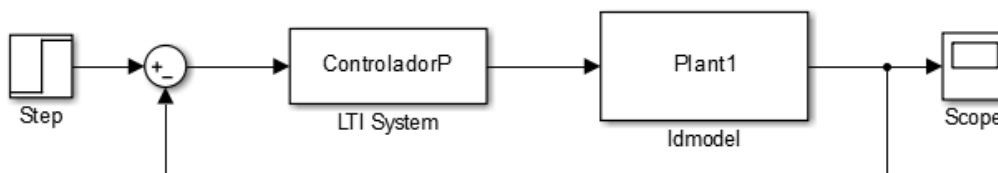


Figura 21. Sistema de control de la planta en lazo cerrado con entrada escalón. Sistema implementado en la herramienta Simulink de MATLAB®.

A continuación se presentan las curvas de respuesta del sistema con el controlador P para diferentes valores de  $K_p$ . Como se observa, la figura 22 (a) presenta un mayor error que la figura 22 (b) respecto al valor de referencia. El aumento de la ganancia en el controlador hace que el error disminuya y que mejore el tiempo de respuesta de estabilización de la temperatura. Con este tipo de controlador no se logra alcanzar el punto de referencia a pesar

de aumentar el valor de la ganancia  $K_p$ , dado que la acción del controlador resulta proporcional al error.

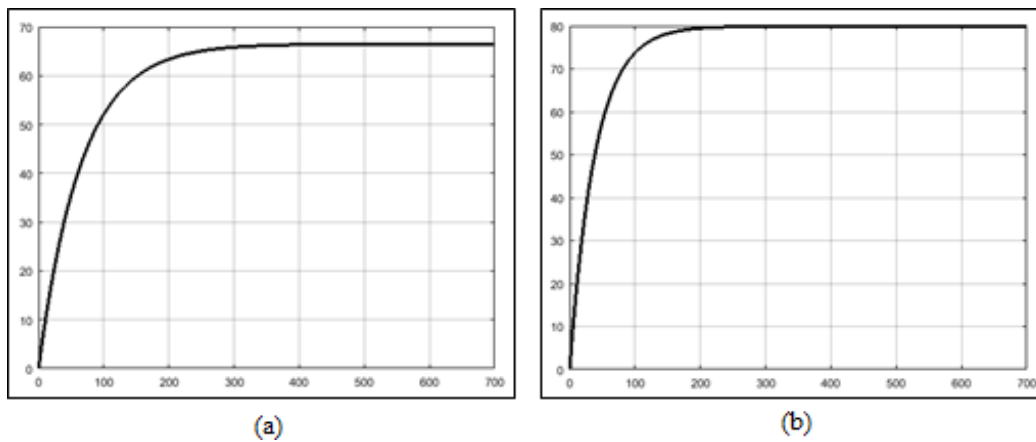


Figura 22. Curva de respuesta del sistema con Controlador P (a) sin ajustes y (b) con ajustes de ganancia.

Gráficas obtenidas con la herramienta Simulink de MATLAB®.

Con los controlador PI, las curvas de respuesta del sistema alcanzan el nivel de referencia esperado, no obstante como se observa en la figura 23 (a), la curva presenta un sobreimpulso que en la práctica significa un aumento de temperatura en la resistencia térmica y que implica un retardo considerable en la estabilización de la temperatura en el nivel de referencia requerido.

Con la variación de las ganancias Proporcional  $K_p$  e Integral  $K_i$  se puede reducir el sobreimpulso y al mismo tiempo mejora el tiempo de estabilización tal como se muestra en la figura 23 (b). Con el ajuste de las ganancias, en la simulación se pueden alcanzar tiempos de estabilización de temperatura muy rápidos y mantener el nivel de referencia con sobreimpulsos despreciables.

Sin embargo, en la práctica dependerá del comportamiento característico del elemento a controlar, que en este caso corresponde a la resistencia térmica.



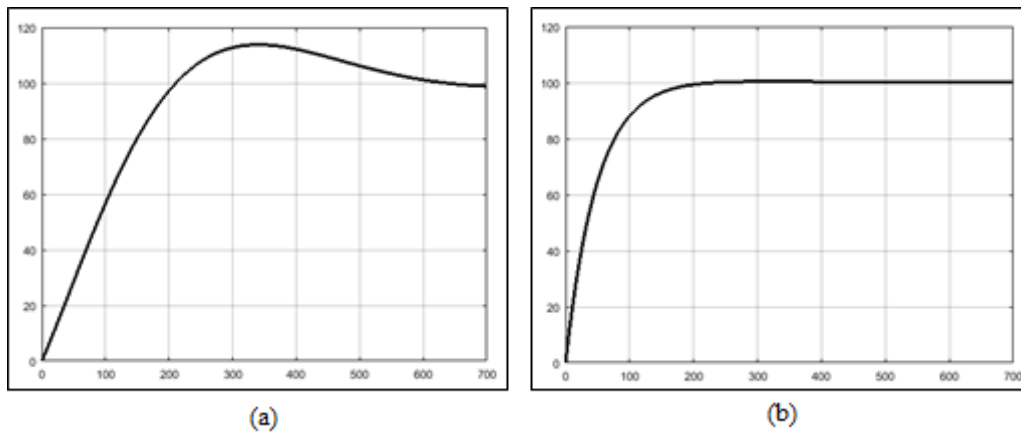


Figura 23. Curva de respuesta del sistema con Controlador PI (a) sin ajustes y (b) con ajustes de ganancia.

Gráficas obtenidas con la herramienta Simulink de MATLAB®.

Los resultados de este análisis demuestran que el controlador adecuado para ser implementado es el del tipo Proporcional Integral. Con las pruebas experimentales que se desarrollarán en el Capítulo 3, se hallarán los valores de las ganancias  $K_p$  y  $K_i$  adecuadas para mantener la temperatura estable con el mejor tiempo de estabilización, acorde a las características de la resistencia térmica, que permitirán la elaboración del algodón de azúcar.

### 2.3.Sistema de Control Electrónico

Para el diseño del sistema de control de la máquina de algodón de azúcar, se parte del diagrama de bloques mostrado en la figura 2, en el que se plantea manejar tres etapas de control dependientes entre ellas para su accionar. Cada etapa operará con un microcontrolador PIC 16F877A por ser un dispositivo muy versátil, eficiente y práctico, que posee varios puertos de entrada y salida, soporta modo de comunicación serial, tiene una amplia memoria para datos y programa, memoria reprogramable y otras características que se pueden encontrar en el datasheet, en el Anexo H. Como se mencionó en la Formulación del Problema, se hará uso del compilador MicroC PRO para la programación del microcontrolador.

### 2.3.1. Etapa de Control - Menú

En esta etapa se desarrollará la interacción hombre máquina a través de un MENÚ, en el cual el usuario seleccionará por medio de pulsadores dos de tres colores disponibles que tendrá el algodón de azúcar. Los estados de selección de los colores y del proceso de elaboración se mostrarán en una pantalla LCD de 2 líneas de 16 caracteres (2x16).

Adicionalmente, tendrá comunicación con la etapa de control – Actuadores por comunicación serial, y con la etapa de control – Temperatura por medio de la activación/desactivación de puertos entre los microcontroladores.

#### 2.3.1.1. Diagrama de Flujo.

La manera en que se ejecutarán las acciones de esta etapa se muestran en el Diagrama de Flujo de la figura 24. La secuencia del proceso es la siguiente:

- a. En la primera línea del LCD aparecerá el mensaje “Inserte Moneda” y en la segunda línea se mostrará “1 Dólar”. El mensaje permanecerá mientras el operario no oprima el botón MONEDA, que simula el insertar una moneda.
- b. Cuando el operario presiona el botón MONEDA, en la pantalla aparecerá el mensaje “Seleccione Primer Color” y se podrá seleccionar cualquiera de los 3 colores de azúcar disponibles oprimiendo el botón del color deseado.
- c. Al oprimir uno de los botones de los colores del azúcar, se realiza la comunicación serial con el microprocesador de la etapa de control – Actuadores, solicitando el dispensado del color seleccionado. Al mismo tiempo, en el LCD aparecerá en la primer línea el mensaje “Primer Color: ..color seleccionado”, y en la segunda línea “Dispensando....”.
- d. Una vez culminado el dispensado del primer color, aparecerá en el LCD el mensaje “Seleccione Segundo Color” y se podrá seleccionar cualquiera de los 3 colores de azúcar disponibles oprimiendo el botón del color deseado.

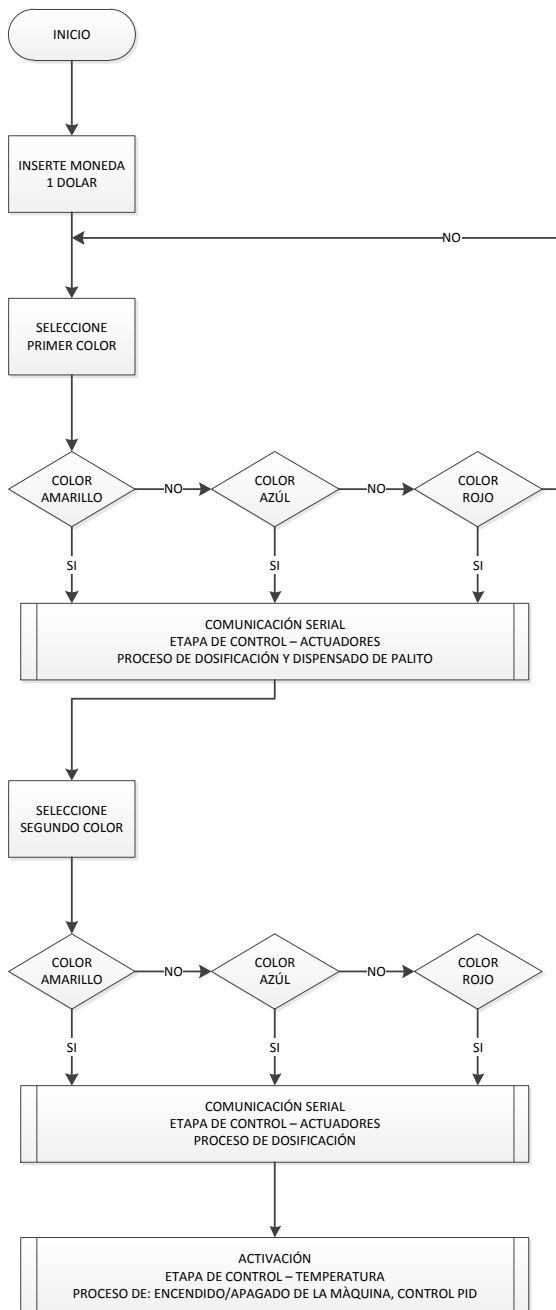


Figura 24. Diagrama de Flujo de la Etapa de Control - Menú. Fuente Elaboración y Formulación propia.

- e. Seleccionado el segundo color de azúcar, se realiza la comunicación serial con el microprocesador de la etapa de control – Actuadores, solicitando el dispensado del color seleccionado. Al mismo tiempo, en el LCD aparecerá en la primer línea el mensaje “Segundo Color: ..color seleccionado” y en la segunda línea “Dispensando....”.

- f. Culminado el dispensado del segundo color de azúcar, se mostrará en el LCD el mensaje “Algodón en” en la primera línea y “Proceso” en la segunda línea hasta que el producto se encuentre listo y se apague la máquina.

### 2.3.1.2. Circuito de la Etapa de Control – Menú.

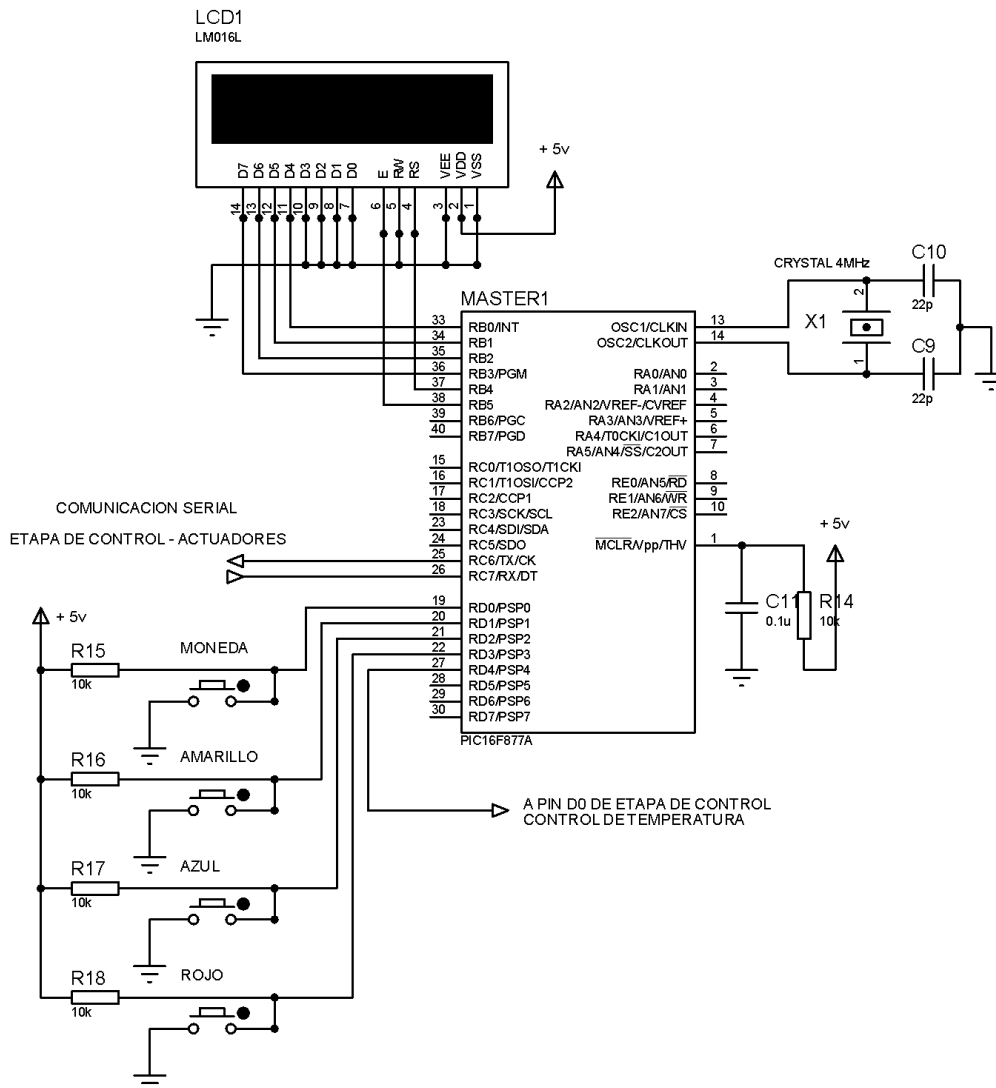


Figura 25. Circuito de la Etapa de Control - Menú. Fuente Elaboración y Formulación Propia

Un display LCD 2x16 conectado a los puertos B0 a B5, mostrará los mensajes de texto programados en el PIC. Los pulsadores utilizados para la selección de los colores de azúcar y la simulación de la moneda son del tipo normalmente abierto (NA) y se encuentran conectados a los puertos D0 a D3 del pic 16F877A, configurados como entradas. La señal de

entrada a los pines del pic asignados a los pulsadores, permanecerán en un nivel alto (+ 5v) a través de una resistencia conectada a la entrada de cada puerto para evitar un cortocircuito cuando se oprima el pulsador. Cuando se presiona un pulsador, el puerto correspondiente se pone en nivel bajo (0v) y activa las operaciones programadas en el microcontrolador.

Tabla 2  
*Pinout microcontrolador Etapa de Control – Menú.*

<b>Pin</b>	<b>Puerto</b>	<b>Función</b>	<b>Estado</b>	<b>Descripción</b>
19	D0	Entrada	Alto	Pulsador Moneda
20	D1	Entrada	Alto	Pulsador color Amarillo
21	D2	Entrada	Alto	Pulsador color Azul
22	D3	Entrada	Alto	Pulsador color Rojo
25	C6	Tx		Transmisión serial. Dato
26	C7	Rx		Recepción serial. Reloj
27	D4	Salida	Bajo	Activa Etapa de Control - Temperatura
33	B0	Dato		Dato 1 a LCD
34	B1	Dato		Dato 2 a LCD
35	B2	Dato		Dato 3 a LCD
36	B3	Dato		Dato 4 a LCD
37	B4	RS		Selección de registro LCD
38	B5	EN		Habilita luz estroboscópica en LCD

---

Microcontrolador PIC 16F877A.

### **2.3.1.3. Programación.**

En el Anexo B se describe el código de programación de la etapa de control – Menú, desarrollado en el compilador MicroC PRO v.7.1.0., de acuerdo al Diagrama de flujo de la figura 24.

### 2.3.2. Etapa de Control - Actuadores

Es la encargada de realizar la dosificación del azúcar.

El accionamiento de mecanismos electromecánicos como motores a pasos, se ejecuta en esta etapa cuando el microcontrolador reciba a través de la comunicación serial los datos provenientes de la etapa de control – Menú para realizar el dosificado del color de azúcar seleccionado.

La función de cada motor a pasos es permitir la salida del azúcar seleccionado de manera controlada hacia el recipiente térmico con ayuda de algún tipo de mecanismo.

Para conseguir el giro de los motores en sentido horario, es necesario accionar sus arrollamientos tal como se indica en la tabla 3, y recorriendo la secuencia en forma inversa, el motor girará en sentido anti horario.

Tabla 3  
*Motores a pasos - Accionamiento*

<b>Fase</b>	<b>Bobina 1</b>	<b>Bobina 2</b>	<b>Bobina 3</b>	<b>Bobina 4</b>
1	ON	ON	OFF	OFF
2	OFF	ON	ON	OFF
3	OFF	OFF	ON	ON
4	ON	OFF	OFF	ON

Accionamiento de doble paso

#### 2.3.2.1. Diagrama de flujo.

Cuando se recibe el dato enviado por la etapa de control – Menú a través del puerto de comunicación serial, pin 26 (RC7/RX/DT), el microcontrolador lo lee, lo identifica y activa o desactiva los puertos asociados al dato, dispensando el azúcar de color seleccionado en el menú. Esta etapa únicamente recibe datos y ejecuta acciones, no transmite datos.

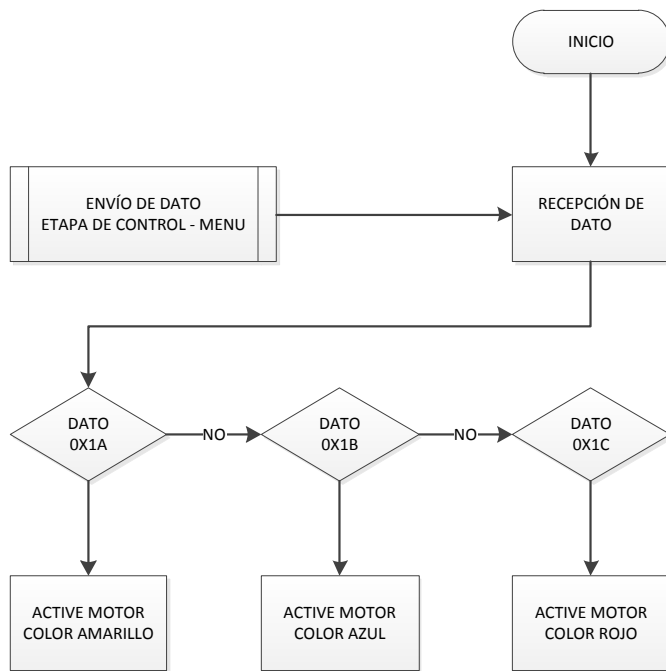


Figura 26. Diagrama de flujo Etapa de Control - Actuadores. Fuente Elaboración y Formulación propia.

### 2.3.2.2. Circuito de la Etapa de Control – Actuadores.

En esta etapa también se utiliza un microcontrolador PIC 16F877A, en el cual, sus pines de comunicación Serial, reciben el dato enviado por la etapa de control – Menú, pin 25 Tx y pin 26 Rx. Para que la comunicación se establezca entre los microcontroladores, el pin de transmisión Tx de una de las etapas debe conectarse con el pin de recepción Rx de la otra etapa, y viceversa.

Tabla 4

Pinout microcontrolador Etapa de Control – Actuadores

Pin	Puerto	Función	Estado	Descripción
19 - 22	D0 – D3	Salida	Bajo	Motor 3 – color Rojo
25	C6	Tx		Transmisión serial. Dato
26	C7	Rx		Recepción serial. Reloj
33 - 36	B0 – B3	Salida	Bajo	Motor 1 – color Amarillo
37 - 40	B4 – B7	Salida	Bajo	Motor 2 – color Azul

Microcontrolador PIC 16F877A.

Los motor a pasos requiere de cuatro señales de control para establecer el giro hacia la derecha o hacia la izquierda, y debido a que las señales enviadas por el pic no tienen la suficiente potencia para accionar directamente el movimiento del motor, se utiliza una etapa amplificadora constituida por un circuito integrado ULN2003A, que dispone en su interior de un arreglo de siete transistores Darlington con emisor común e incluye diodos de supresión de tensión para las cargas inductivas. Por cada Darlington se puede manejar corrientes pico de 500 mA en corriente continua. El datasheet del circuito integrado se encuentra en el Anexo I.

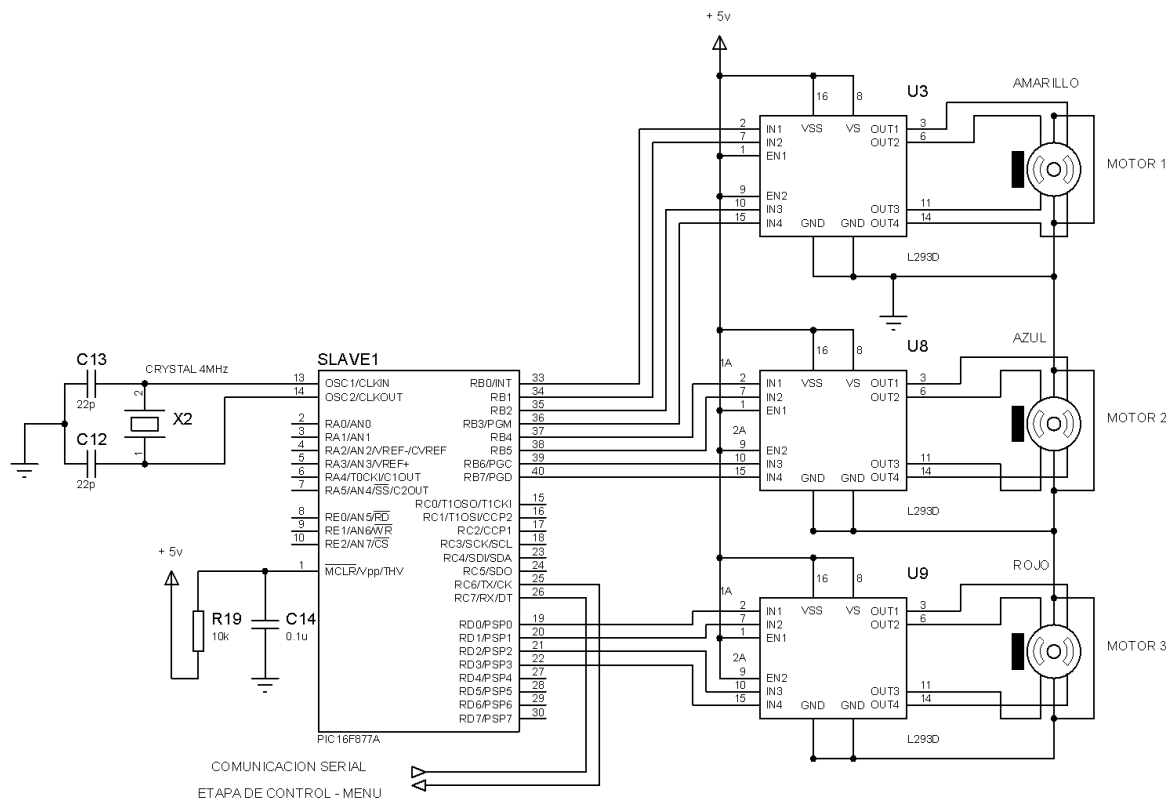


Figura 27. Circuito de la Etapa de Control - Actuadores. Fuente Elaboración y Formulación Propia.

### 2.3.2.3. Programación.

Consta de tres etapas: se inicia con la declaración de las variables globales; se construye la función principal *void main ()*, donde se efectúa la lectura del dato recibido a través de la comunicación serial y la comparación para determinar la operación a ejecutar; y por último, se



definen las subrutinas para el movimiento de los motores. El código de programación desarrollado en el compilador MicroC PRO v.7.1.0. se presenta en el Anexo C.

### **2.3.3. Etapa de Control – Temperatura**

El control de temperatura de la resistencia térmica de la máquina de algodón de azúcar y el encendido y apagado automático del motor AC se concentra en esta etapa. Se encuentra constituida por un circuito digital y un circuito de potencia que se describen en los siguientes numerales.

Al conectar la máquina de algodón a 110V, el controlador Proporcional Integral inicia su operación elevando la temperatura de la resistencia térmica a 50 °C mientras no se oprima el botón MONEDA del menú. El precalentamiento de la resistencia térmica permitirá que el tiempo del proceso que requiere normalmente la elaboración de algodón de azúcar disminuya.

Cuando se oprime el botón MONEDA, el nivel de referencia del controlador PI cambia a 150 °C, temperatura en la cual el azúcar se transforma en algodón. En el transcurso del tiempo que le toma pasar de 50 °C a 150 °C a la resistencia térmica, que es aproximadamente de 4 minutos, el operador seleccionará los colores del azúcar en la Etapa de Control – Menú que serán dosificados por la etapa de control – Actuadores. Cuando en la Etapa de Control – Menú es seleccionado el segundo color de azúcar, arrancará el giro del motor AC, que por medio de la fuerza centrífuga, expulsará el azúcar en forma de algodón.

Una vez que la temperatura en la resistencia alcance los 150 °C, ésta se mantendrá por 1 minuto, tiempo que demora el motor en expulsar del envase todo el azúcar en forma de algodón. Luego, la temperatura empezará a descender al nivel de referencia inicial (50° C) mientras que el motor permanecerá encendido por 20 segundos para que la temperatura en la resistencia disminuya para evitar que sufra deformaciones en el material.

Si el botón MENU es seleccionado seguidamente luego de que se obtuvo el primer algodón de azúcar, el nivel de referencia del controlador PI será nuevamente de 150° C y la resistencia térmica alcanzará ese nivel rápidamente debido a que su temperatura estará sobre los 130° C, puesto que el proceso de enfriamiento característico de la resistencia es muy lento, por tanto la elaboración de los siguientes algodones de azúcar será mucho más rápida.

En el diagrama de flujo de la figura 28, se describe el proceso que realiza la Etapa de Control – Temperatura.

### 2.3.3.1. Diagrama de flujo.

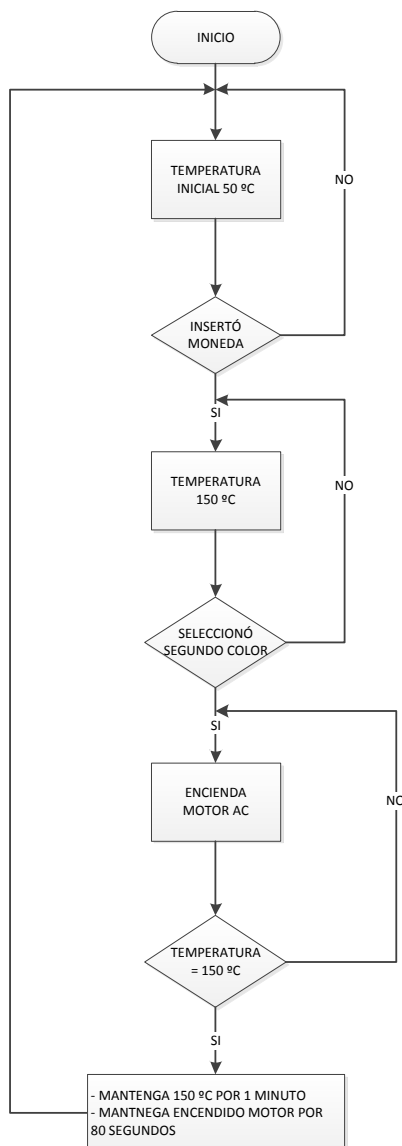


Figura 28. Diagrama de Flujo Etapa de Control - Temperatura. Fuente Elaboración y Formulación propia.

### 2.3.3.2. Circuito de la Etapa de Control – Temperatura.

Este circuito se compone de un microcontrolador PIC 16F877A, en el que se desarrolla el código del controlador Proporcional Integral, cuya señal es enviada a la etapa de potencia para regular la temperatura de la resistencia térmica a través de la salida PWM, pin 17 puerto C2/ CCP1 del microcontrolador.

El pin 19 puerto D0, recibe un estado alto del puerto D4 del microcontrolador de la etapa de control – Menú como señal indicadora para que el nivel de referencia del controlador PI cambie a 150 °C e inicie el incremento de temperatura de la resistencia térmica, cuando el puerto cambia a estado bajo, la temperatura deberá empezar a descender al nivel de referencia de 50 °C.

Cuando por el puerto D5 del microcontrolador de la etapa de control – Menú se envía un estado alto al puerto D2 del microcontrolador de la etapa de control – Temperatura hace que el pin 21 puerto D2 pase de estado bajo a estado alto y active el relé para accionar el movimiento del motor AC a través del pin 20 puerto D1, si el estado del puerto pasa a bajo, el motor se apaga.

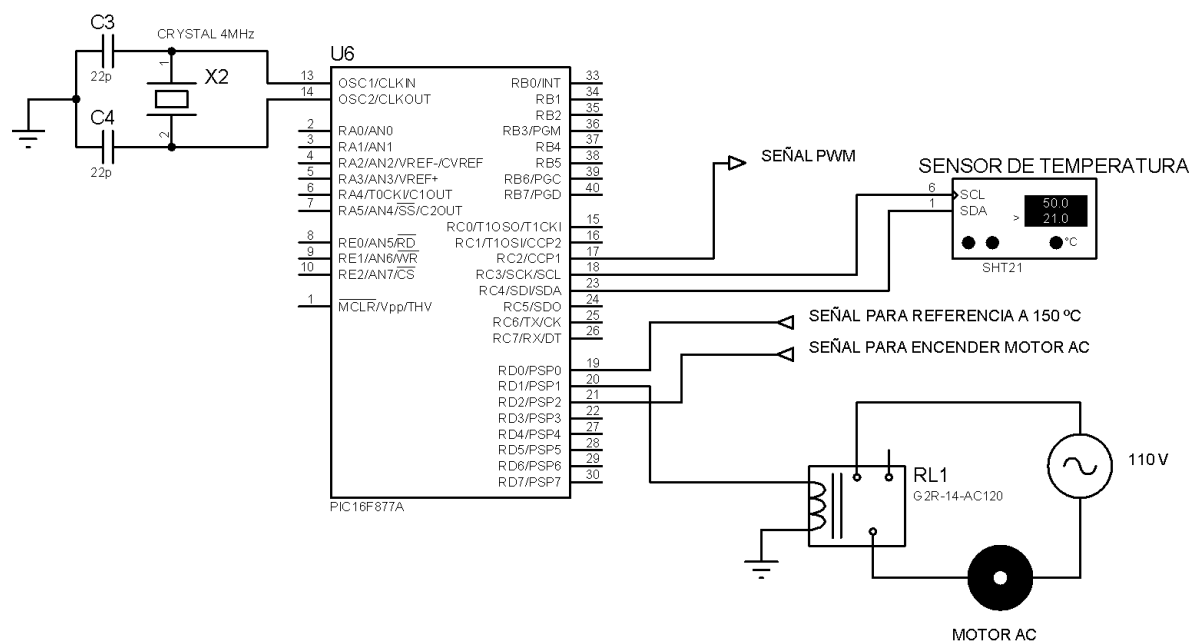


Figura 29. Circuito Etapa de Control - Temperatura. Fuente Elaboración y Formulación propia.

El sensor MLX90614, tomará muestras de la temperatura en la resistencia térmica cada 0,5 segundos que serán procesadas junto con la señal de entrada, el modelo de la planta y el controlador PI para obtener la señal de salida de control de temperatura a través del puerto PWM que regulará el calentamiento en la resistencia térmica con ayuda de la etapa de potencia.

#### **2.3.3.3. Programación.**

En el Anexo D se muestra el código de programación de la etapa de control de temperatura de acuerdo al diagrama de flujo de la figura 28 y desarrollado en el compilador MicroC PRO v.7.1.0.

#### **2.3.4. Circuito de potencia para el Control de Temperatura.**

La etapa de potencia, consiste en regular el flujo de corriente hacia la resistencia térmica de manera que aumente o disminuya su temperatura. Para el diseño del circuito se consideran las características técnicas de la resistencia térmica que son:

- Voltaje de operación: 120 Vac
- Corriente máxima: 8 A
- Resistencia: 2 a 4 ohmios

Como la resistencia térmica trabaja en corriente alterna, el elemento de potencia adecuado para controlar el flujo de corriente será un TRIAC, debido a que es un semiconductor que conduce en los dos sentidos, es decir es bidireccional y al igual que un tiristor tiene dos estados de funcionamiento: bloqueo y conducción. Pasa de estado de bloqueo al de conducción al aplicar un impulso en su compuerta y de conducción a bloqueo al disminuir la corriente por debajo de la intensidad de mantenimiento  $I_H$ .

Se utilizará un optoacoplador para aislar el circuito de potencia del circuito de control. Este componente electrónico convierte una señal eléctrica en luz y viceversa, está compuesto por un emisor LED y un receptor separados por un aislamiento eléctrico que evita el paso de

falsas lecturas ocasionadas por descargas accidentales o ruido eléctrico que pueden causar daños en los componentes electrónicos.

La característica principal que debe cumplir el TRIAC es el de soportar la corriente máxima requerida por la resistencia térmica o mayor. En este caso, se hará uso del TRIAC BT138 cuya corriente normal de operación alcanza los 12 A. Se utilizará el optoacoplador MOC3021 que al igual que el TRIAC son muy comunes en el mercado. Las características técnicas del TRIAC y el optoacoplador se encuentran en los Anexos F y G respectivamente.

La figura 30 muestra el diagrama del circuito a implementar, las resistencias R3 y R4 limitan la corriente de entrada al optoacoplador y a la compuerta del TRIAC en 15 mA y 10 mA respectivamente, que son las corrientes máximas de operación. La señal PWM generada por un microcontrolador, ejecutará las acciones del control proporcional de la planta del sistema. Al variar su frecuencia de operación aumentará o disminuirá el flujo de corriente en el optoacoplador que a su vez controlará el cierre o apertura de la compuerta del TRIAC dejando circular la corriente necesaria exigida por el controlador PI hacia la resistencia térmica para mantener el nivel de temperatura deseado.

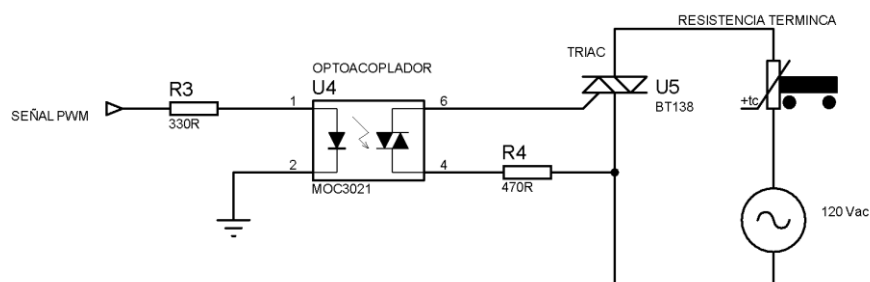


Figura 30. Diagrama del circuito de Potencia. Fuente Elaboración y Formulación propia.

## Capítulo 3

### Implementación

#### 3.1. Desarrollo

La implementación se realiza sobre una máquina de algodón de azúcar eléctrica, que requiere de un operario para la elaboración del producto. Por tal razón, fue necesaria la construcción de una estructura para el albergue de la máquina junto con los circuitos electrónicos, los actuadores, los envases para el almacenaje del azúcar y el soporte del palo para la recolección del algodón. La estructura permitirá que el algodón de azúcar se elabore en un ambiente cerrado, evitando el contacto con el polvo.

#### 3.2. Implementación

##### 3.2.1. Módulo de Control

El módulo de control está compuesto por la etapa de control - Menú y la etapa de control Actuadores, montadas sobre una misma placa. Cada etapa está conformada por un microcontrolador PIC 16F877A operado con un oscilador de 4 Mhz con sus respectivos elementos de polarización.

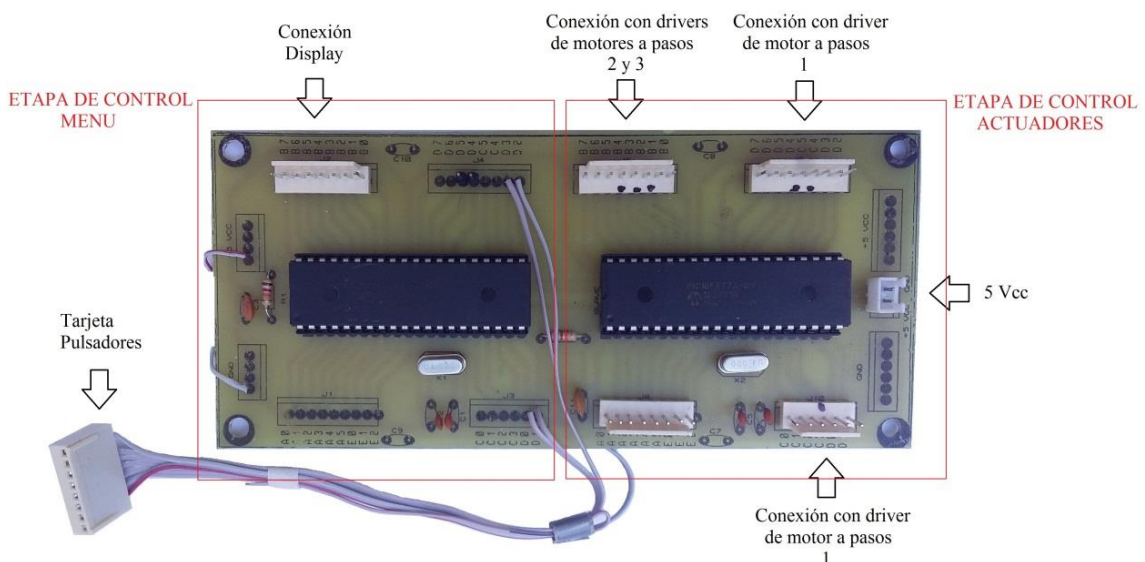


Figura 31. Módulo de Control. Fuente Elaboración y Formulación propia.

Como se observa en la figura 31, todos los puertos de entrada/salida de los microcontroladores están dispuestos en la placa, con la finalidad de facilitar el uso de los puertos libres en caso de agregar funcionalidades a cualquiera de las etapas, sin necesidad de reemplazar la placa. Los pines 24 y 25 de los microcontroladores, que corresponden a los puertos de comunicación serial, son los únicos conexiados en la placa por medio de pistas.

La tarjeta que contiene al display LCD y la tarjeta de los pulsadores, son conectados a los puertos B0 a B5 y D0 a D3 del PIC de la etapa de control – Menú respectivamente. Los 5 pulsadores que contiene la tarjeta son: uno para el inicio del proceso que simula el ingreso de una moneda, un pulsador por cada color de azúcar y uno de reserva que podría ser utilizado para aumentar un color de azúcar más para ser seleccionado.

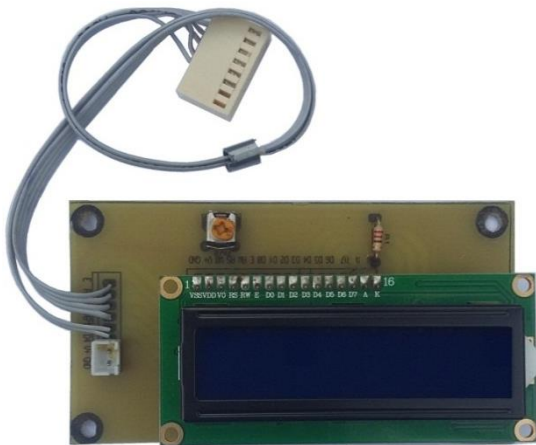


Figura 32. Tarjeta con display LCD. Fuente Elaboración y Formulación propia.

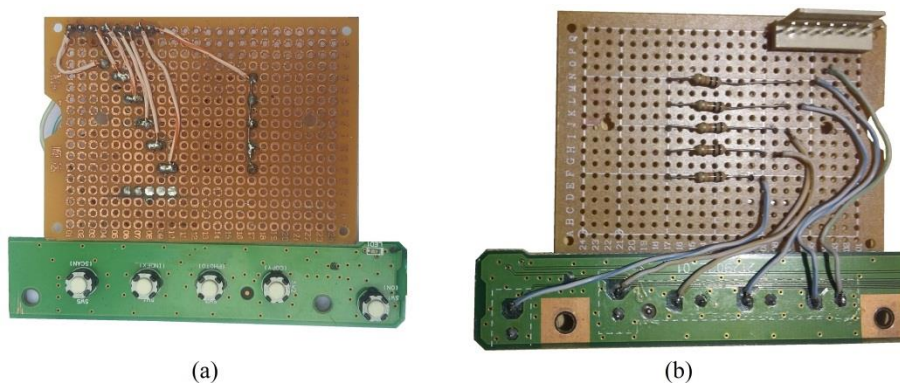


Figura 33. Tarjeta Pulsadores. (a) Vista frontal, (b) Vista posterior. Fuente Elaboración y Formulación propia.

A la etapa de control – Actuadores, se conectan los módulos de control de los motores a pasos (drivers). En los pines de entrada (IN) del primer driver se conectan los pines de salida D0 a D3 del pic. Los puertos del pic B0 a B3 se conectan al segundo driver y los puertos B4 a B7 al tercer driver.

A cada driver se conecta un motor a pasos de las siguientes características:

- Tipo: Unipolar
- Voltaje de alimentación: 5 a 12 Vcc
- Número de fases: 4
- Frecuencia: 100 Hz
- Ángulo por paso: 5.625 °
- Aumento de torque: 64/1



(a)



(b)

Figura 34. (a) Driver motor PAP, (b) Motor PAP unipolar. Fuente Elaboración y Formulación propia.

### 3.2.2. Módulo de Temperatura

El módulo de temperatura se muestra en la figura 35, al igual que el módulo de control, en la placa se encuentran dispuestos todos los puertos de entrada/salida del microcontrolador. El LED permanecerá encendido siempre que la placa se encuentre energizada. En los puertos B0 a B5 se puede conectar un LCD para visualizar la temperatura que registra el sensor de temperatura.



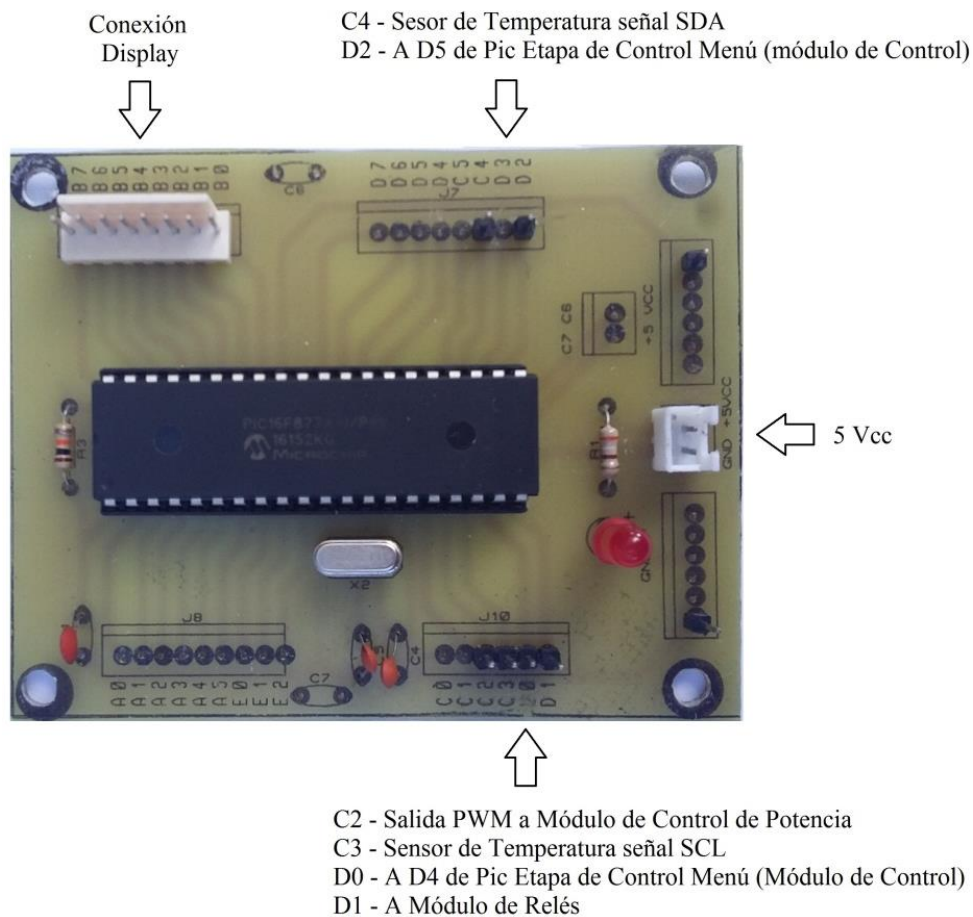


Figura 35. Módulo de Temperatura. Fuente Elaboración y Formulación propia.

El sensor de temperatura MLX90614, figura 33, mantendrá una separación menor a 1 centímetro de separación respecto a la resistencia térmica para efectuar una lectura más precisa. La alimentación a 5 Vcc y las señales SCL (Señal de reloj) y SDA (señal de datos) que requiere el sensor, son tomadas del módulo de temperatura.



Figura 36. Sensor de Temperatura MLX90614. Fuente Elaboración y Formulación propia.

### 3.2.3. Módulo de Potencia

El TRIAC BT138 se conecta a los terminales A1, A2 y G de la placa. En el terminal IN AC se conecta la fase de la alimentación AC a 110 V, y en el terminal RT se conecta uno de los extremos de la Resistencia Térmica. El LED indica la actividad de la señal PWM.

El módulo se instala en el interior de la máquina de algodón de azúcar para facilitar la conexión con la resistencia térmica y la alimentación AC.

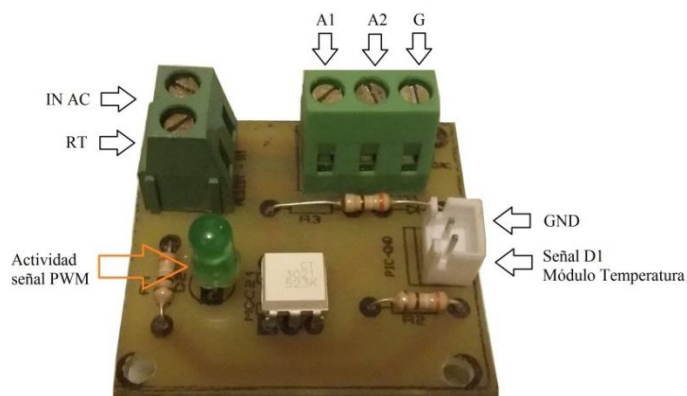


Figura 37. Módulo de Potencia. Fuente Elaboración y Formulación propia.



Figura 38. TRIAC BT138 con disipador de calor. Fuente Elaboración y Formulación propia.

### 3.2.4. Módulo de Relés

El módulo contiene dos relés, cada uno con las siguientes características:

- Señal de activación: 5 Vcc
- Corriente de consumo: 20 mA
- Corriente máxima: 10 A a 120 Vac

- Contactos: 3 (Común, NA, NC)

La señal proveniente del puerto D1 del módulo de temperatura activa los dos relés, el primero enciende el motor AC y el segundo enciende una lámpara durante el proceso de elaboración del algodón.

El motor AC y la lámpara son conectados a los contactos normalmente abiertos NA del respectivo relé.



Figura 39. Módulo de 2 relés. Fuente Elaboración y Formulación propia.

### 3.2.5. Tablero de Control

El tablero de control está conformado por el módulo de control, el módulo de temperatura, la tarjeta de display LCD y la tarjeta de los pulsadores. Adicionalmente, cuenta con un puerto DB-15 como interfaz para el envío y recepción de las señales hacia el módulo de relés, el módulo de potencia y el sensor de temperatura.

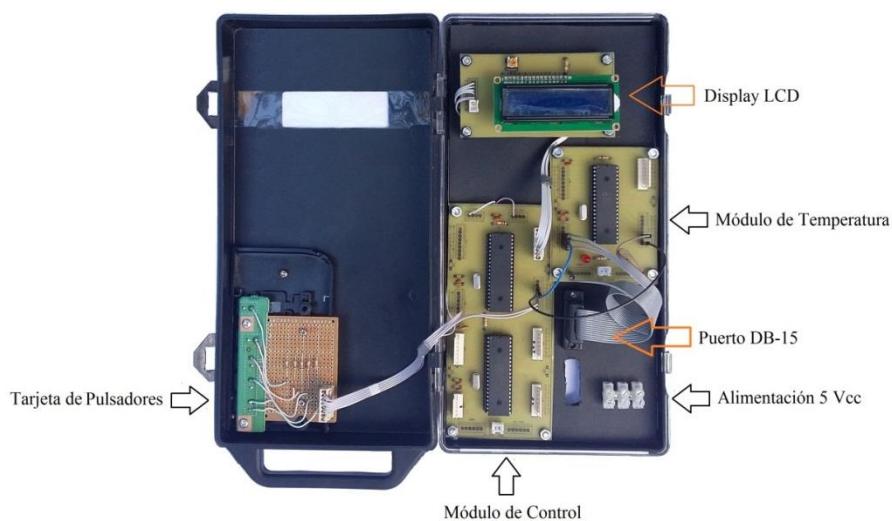


Figura 40. Tablero de Control. Fuente Elaboración y Formulación propia.

La conexión con los drivers de los motores a pasos, se conectan al módulo de control utilizando un bus de datos de 12 líneas. Cada módulo y tarjeta del tablero se alimentan con 5 voltios DC.

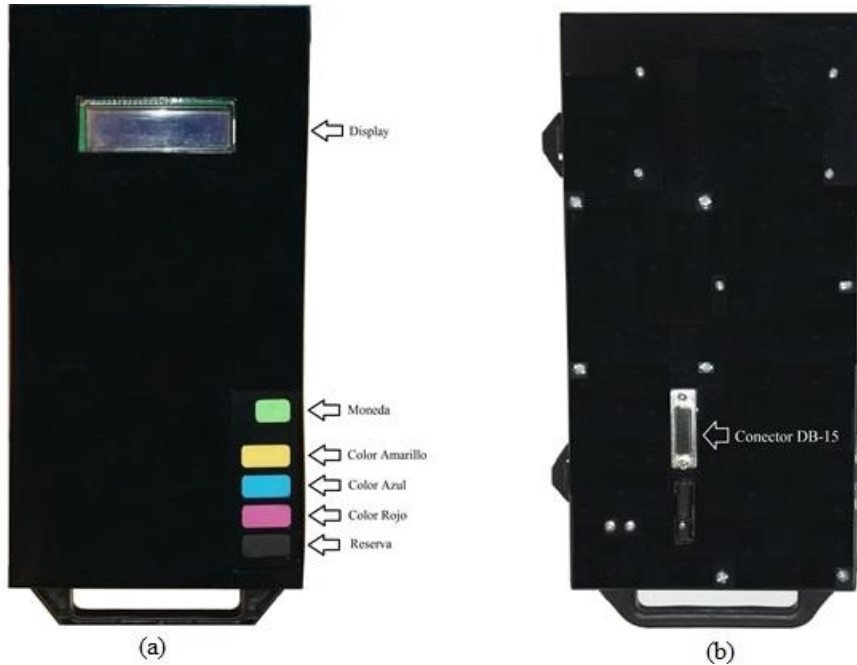


Figura 41. Tablero de Control. (a) vista frontal, (b) vista posterior. Fuente Elaboración y Formulación propia.

### 3.2.6. Tarjeta de Interfaz

A la tarjeta de interfaz se conecta el cable proveniente del tablero de control que contiene la alimentación DC y las señales para la activación de los módulos de relés, de potencia y del sensor de temperatura. Se instala dentro de la máquina de algodón de azúcar.

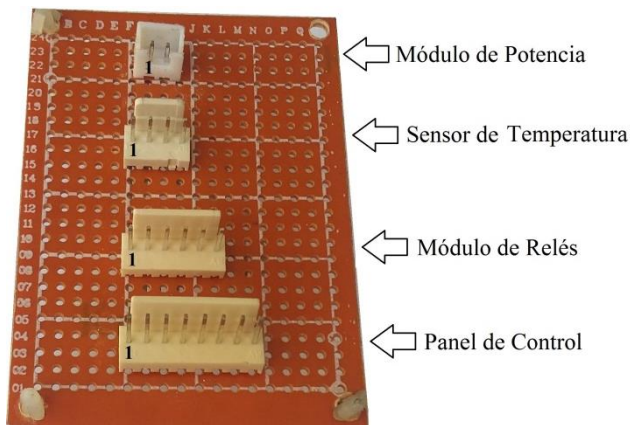


Figura 42. Tarjeta de Interfaz. Fuente Elaboración y Formulación propia.

La siguiente tabla detalla el pinout de cada conector.

Tabla 5  
*Pinout de la tarjeta de Interfaz*

	Señales:	Vcc	GND	D1	libre	SCL	SDA	PWM
Panel de Control		1	2	3	4	5	6	7
Módulo de Relés		1	2	3	4			
Sensor de Temperatura		1	2			3	4	
Módulo de Potencia			1					2

Tarjeta de Interfaz.

El cable de conexión entre el panel de control y la tarjeta de Interfaz consta en sus extremos de un conector macho tipo DB-15 para la conexión con el tablero de control y un conector hembra recto de 8 pines para la conexión con la tarjeta de interfaz. La correspondencia entre los terminales se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 6  
*Cable de conexión DB\_15 - 8 pines*

Señal	DB-15	8 pines
Vcc	1	1
GND	8	2
D1	3	3
Libre	4	4
SCL	10	5
SDA	9	6
PWM	2	7
Libre	5	8

Conexión entre Tablero de Control y Tarjeta de Interfaz

### 3.3. Pruebas de Funcionamiento

Para las pruebas efectuadas en el software y hardware desarrollado en esta tesis se utilizó el método heurístico de ensayo y error.

Haciendo uso del software Proteus, en el que se diseñó el esquema electrónico, se simuló la programación del software de cada etapa y del sistema en conjunto. Una vez obtenidos los resultados esperados en la simulación, se realizaron pruebas reales, las cuales se describen a continuación.

#### 3.3.1. Dosificado de Azúcar

##### 3.3.1.1. Pruebas de Software

Con estas pruebas se verificó el funcionamiento del módulo de pulsadores, la comunicación serial entre los PIC's del módulo de control y la presentación de los mensajes de texto en el display, para lo cual se conectaron a la placa del módulo de control el display, el módulo de pulsadores y los motores a pasos. Se llevaron a cabo las siguientes pruebas:

- a. Se prendió la fuente de alimentación para comprobar el funcionamiento de los microcontroladores, encendiéndose el display, mostrando el mensaje “Inserte Moneda”, “Un Dolar” en la primer y segunda línea respectivamente.
- b. Se pulsaron los botones correspondientes a los colores; amarillo, azul y rojo sin que el sistema de control ejecute ninguna acción.
  - a. Al oprimir el botón MONEDA, cambió el mensaje inicial del display por “Seleccione”, “Primer Color” en la primera y segunda línea respectivamente.
- c. Ejecutado el paso anterior, se seleccionó el primer color a través de los pulsadores activándose el movimiento del motor a pasos del color seleccionado, mostrando en el display el mensaje “Primer Color:” en la primera línea y el nombre del color seleccionado en la segunda línea “Amarillo, Azul o Rojo”.

- d. Finalizado el giro del motor a pasos, apareció en el display el mensaje “Seleccione” y “Segundo Color” en la primera y segunda línea respectivamente.
- e. Se seleccionó el segundo color a través de los pulsadores activándose el movimiento del motor a pasos del color seleccionado, mostrando en el display el mensaje “Segundo Color:” en la primera línea y el nombre del color seleccionado en la segunda línea “Amarillo, Azul o Rojo”.
- f. Una vez finalizado el movimiento del motor a pasos, en el display se mostró el mensaje “Espere...” por 60 segundos, consecutivamente el mensaje “Inserte Moneda” “Un Dolar”.

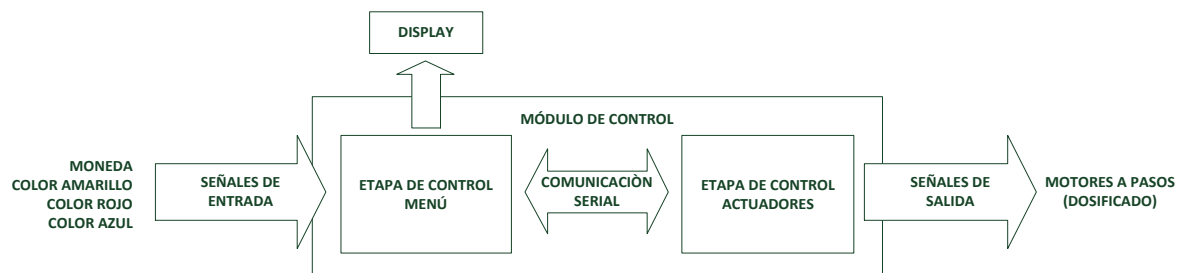


Figura 43. Diagrama de Bloques - Dosificador de Azúcar. Fuente Elaboración y Formulación propia.

### 3.3.1.2. Pruebas de Hardware

Se comprobó el funcionamiento del hardware del dosificador, el cual utiliza un motor a pasos para permitir o impedir el paso del azúcar que se encuentra dispuesto sobre un envase.

Las pruebas efectuadas fueron las siguientes:

- a. Se comprobó el accionamiento del motor a pasos al oprimir uno de los pulsadores que selecciona el color de azúcar.
- b. Se verificó la salida del azúcar por la cavidad del envase una vez iniciado el movimiento del motor.

- c. Se evidenció que luego de ejecutar cierto número de pasos, el motor regresa automáticamente a su posición inicial cerrando la cavidad del envase e impidiendo la salida del azúcar.
- d. Se examinó si la cantidad de azúcar desprendida del envase es la medida adecuada para la elaboración de un algodón de azúcar.

### 3.3.2. Control de Temperatura

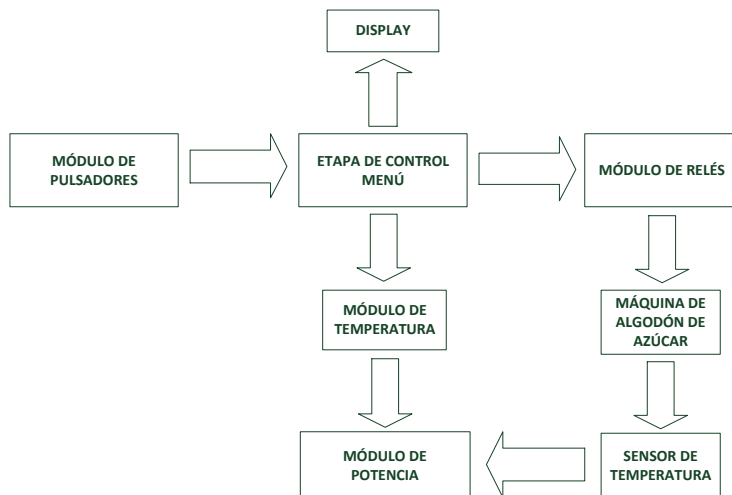
La etapa de control de temperatura está conformada por: el módulo de control, el módulo de temperatura (controlador PI), el módulo de potencia, el módulo de relés, el sensor infrarrojo, el módulo de pulsadores y la máquina de algodón de azúcar, cuyas interacciones se aprecian en el diagrama de bloques de la figura 44.

Las pruebas ejecutadas fueron las siguientes:

- a. Se comprobó que al encender la fuente de alimentación DC, la resistencia térmica aumenta su temperatura desde la temperatura ambiente (21° C) hasta los 113° C en aproximadamente 2 minutos y 20 segundos, sobrepasando el primer set point programado a 50° C. Con esta prueba se constató el funcionamiento del módulo de potencia, cuya operación reacciona a las señales PWM enviadas por el PIC haciendo que el TRIAC actúe en la zona de saturación para permitir el paso de la corriente hacia la resistencia térmica provocando el aumento su temperatura o en la zona de corte para impedir el paso de la corriente, ocasionando que la temperatura en la resistencia térmica disminuya.
- b. Una vez que la temperatura descendió hasta los 45° C, se verificó la operatividad del controlador PI programado en el PIC, ya que las señales PWM situaban al TRIAC en zona de corte o saturación hasta conseguir estabilizar la temperatura a los 50° C con una variación de 0,5° C.



- c. Al oprimir el pulsador MONEDA, aumentó la temperatura en la resistencia térmica hasta los 150° C en la que fue estabilizada por el controlador PI.
- d. Al seleccionar en el menú el segundo color de azúcar, se esperaba que el motor AC de la máquina de algodón de azúcar entrara en movimiento una vez que en el módulo de relés se recibiera la señal de activación proveniente del PIC de la etapa de control Menú, sin embargo esto no sucedió, detectándose el inconveniente en la forma de comunicación entre los PIC's, pues se esperaba que la señal de salida en estado alto de un pin del PIC activara la señal de entrada en un pin del otro PIC. Por tal razón, se decidió utilizar la comunicación serial entre los PIC's.



*Figura 44.* Diagrama de bloques de la etapa de control de temperatura. Fuente Elaboración y Formulación propia.

### 3.3.3. Pruebas del sistema

Una vez realizados las modificaciones de software y hardware de las etapas anteriormente descritas, se realizó la prueba conjunta del sistema, en la que se observó un funcionamiento correcto del sistema de control y del sistema de dosificación, sin embargo, el comportamiento de la etapa de potencia presentó problemas en el arranque del motor AC de la máquina,

debido a que la cantidad de energía requerida para su normal funcionamiento era absorbida por la resistencia térmica.

Estas pruebas sugirieron modificaciones en la secuencia de funcionamiento de la etapa de potencia que son comandadas por la etapa de control por lo que se modificó la programación en el PIC de la etapa de control.

### **3.4. Análisis de resultados**

A continuación, se puntualizan los resultados obtenidos sobre el sistema de automatización y se realiza un análisis económico para establecer la factibilidad de desarrollar este tipo de implementación en el mercado nacional.

#### **3.4.1. Resultados**

Luego de realizar varios ajustes en las diferentes etapas que intervienen en la automatización de la máquina, se consiguieron resultados satisfactorios.

La secuencia definitiva de funcionamiento del sistema se muestra en el diagrama de bloques de la figura 48.

En las siguientes figuras se muestran en orden de aparición los mensajes desplegados en el display de acuerdo a la secuencia de ejecución del programa y a la selección que realice el operador.

La figura 45 a) muestra el mensaje inicial en el display para que el operario presione el botón MONEDA dando inicio al proceso de elaboración del algodón de azúcar. El mensaje de la figura 45 b) aparece una vez que se presiona el botón MONEDA y estará presente por dos minutos, tiempo que le toma a la resistencia térmica en alcanzar la temperatura adecuada para que el azúcar se combierta en algodón.

Seguidamente aparece el mensaje de la figura 45 c) para que el operario seleccione el primer color de azúcar, el mensaje permanecerá en el display hasta que se oprima cualquier botón correspondiente a los colores de azúcar disponibles.

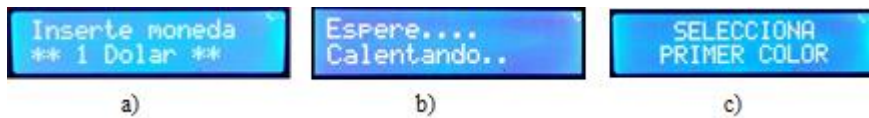


Figura 45. Mensajes display: a) Inicial b) Al oprimir la tecla MONEDA c) Para escoger el color del azúcar.

Fuente Elaboración y Formulación propia.

Los mensajes de las figuras 46 a), b) o c) aparecen según la selección hecha por el operador al oprimir los botones de los colores correspondientes.



Figura 46. Colores seleccionados: a) amarillo b) azul c) rojo. Fuente Elaboración y Formulación propia.

Al seleccionar el primer color y una vez culminado el dispensado del azúcar, aparecerá el mensaje de la figura 47 a) que permanecerá en el display hasta que el operador oprima uno de los botones de los tres colores de azúcar disponibles, seguidamente se mostrará el mensaje correspondiente al color seleccionado, figura 46, luego del dispensado se aparecerá el mensaje de la figura 47 b) por 30 segundos. Posteriormente, empieza nuevamente la secuencia iniciando desde la figura 45 a).



Figura 47. Mensaje en display. a) Para escoger el segundo color de azúcar. b) Mensaje final. Fuente Elaboración y Formulación propia.

La gráfica de la figura 49, muestra el resultado de la acción del controlador PI sobre el control de temperatura de la resistencia térmica. Como se puede observar, la curva de temperatura en el tiempo muestra un sobre impulso inicial respecto al punto de

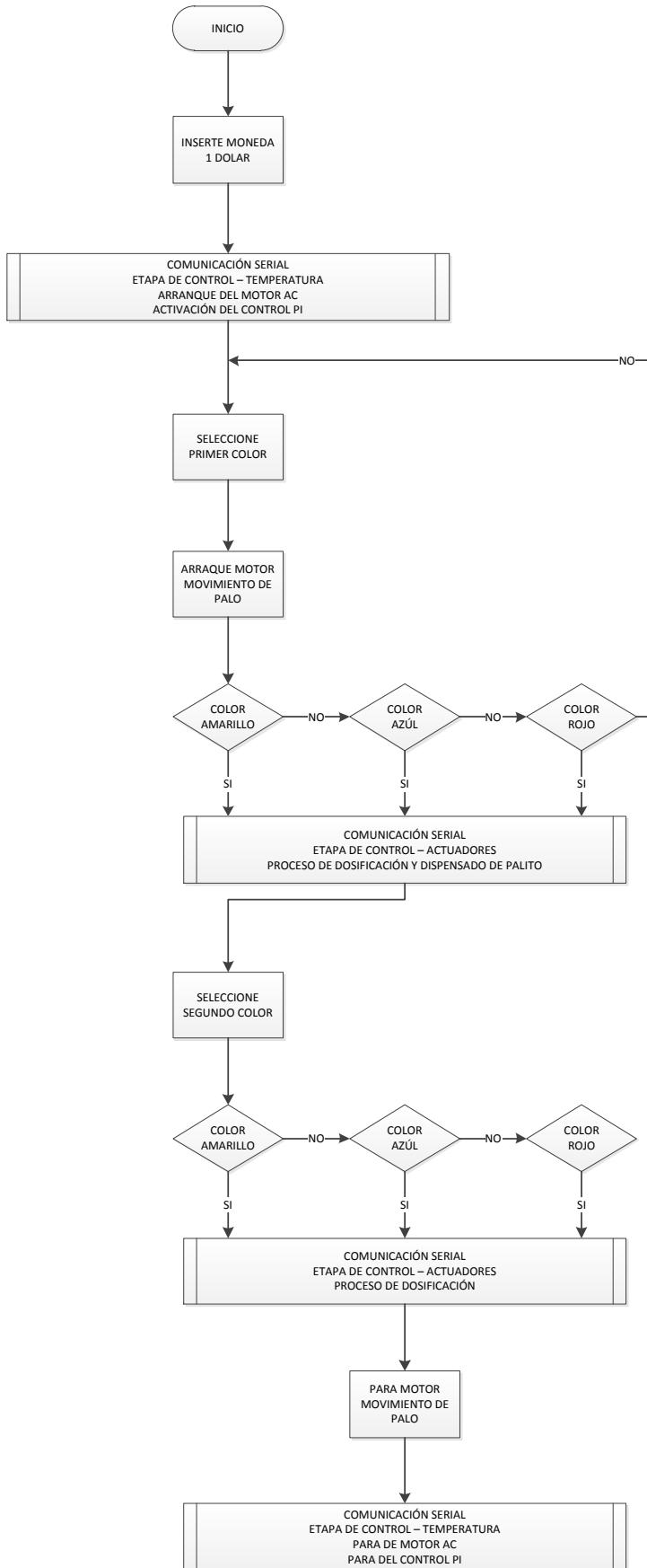


Figura 48. Secuencia de operación del sistema de automatización. Fuente Elaboración y Formulación propia.

referencia, no obstante, cuando la temperatura desciende y alcanza el punto de referencia, el controlador la regula y la mantiene estable.

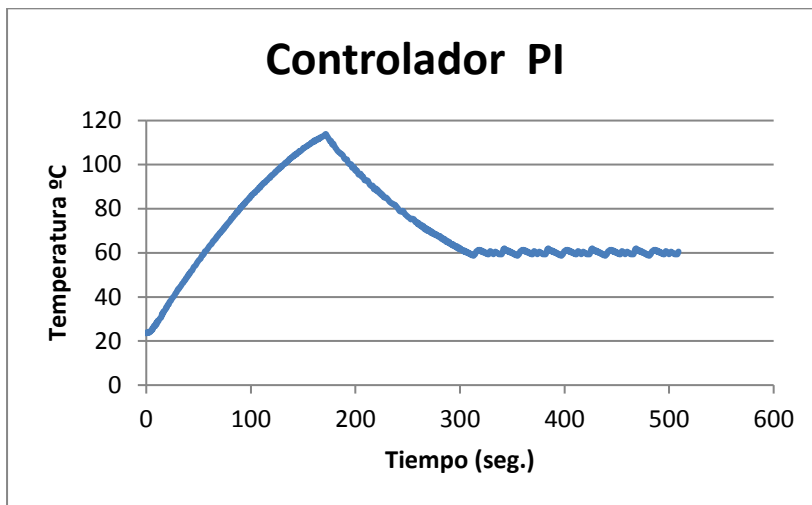


Figura 49. Curva de temperatura de la resistencia térmica con controlador Proporcional Integral PI. Fuente Elaboración y Formulación propia.

### 3.4.2. Análisis Económico

A continuación se detallan los precios de los equipos y materiales utilizados en el presente proyecto con el fin de realizar un análisis económico que permita determinar si automatizar una máquina de algodón de azúcar en el mercado nacional es rentable. Tabla 7.

Es importante mencionar que en la lista se hace referencia solo a aquellos materiales que finalmente forman parte de la máquina terminada.

En el mercado Chino por ejemplo, una máquina automatizada fluctúa entre los 900 y 1200 dólares precio FOB, cuyo valor se incrementa en aproximadamente un 40% o más para la venta al público en el mercado ecuatoriano, es decir entre 1200 y 1680 dólares.

Si al precio de los materiales se le suma el valor por concepto de mano de obra y un porcentaje de ganancia, el valor comercial superaría al valor de una máquina China de venta Ecuador. Pese a esto, se debe considerar que el costo de la implementación se reduciría si se aumenta el número de máquinas a construir ya que se reducirían los costos de los materiales.

Tabla 7  
*Lista de precios de equipos y materiales.*

<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio Total</b>
Máquina de algodón de azúcar	1	550.00	550.00
Mueble dimensionado	1	410.00	410.00
Motores a pasos	3	6.00	18.00
Driver motor a pasos	3	3.50	3.50
Sensor infrarrojo MXL90615	1	20.00	20.00
PIC 16f877A	3	6.50	19.50
Placas impresas	4	5.50	22.00
Display LCD 2x16	1	4.75	4.75
Cable de energía 3x10 AWG	5	1.80	9.00
Cable de datos tipo FLAT	3	0.60	1.80
Envases de azúcar plásticos	3	0.90	2.70
Envase plástico rectangular	3	0.70	2.10
Embudo plástico	1	5.00	5.00
Fuente de alimentación 5V	1	35.00	35.00
Tablero metálico	1	5.25	5.25
Motor DC 5V	1	7.00	7.00
TRIAC	1	3.50	3.50
		<b>SUBTOTAL</b>	<b>1119.10</b>
		<b>IVA 12%</b>	<b>134.29</b>
		<b>TOTAL</b>	<b>1253,39</b>

Adicionalmente, el hecho de que la máquina sea construida en el país le da un valor agregado muy importante al ofrecer una garantía técnica y mantenimiento especializado, a diferencia de las máquinas importadas cuya máxima garantía es de un año contra defectos de fábrica y de las cuales es difícil encontrar repuestos o personal calificado para dar un correcto mantenimiento preventivo o correctivo.

## Conclusiones y Recomendaciones

- **Conclusiones**

Culminado el presente proyecto y luego de haber analizado los resultados, se desprenden las siguientes conclusiones en función de los objetivos específicos planteados.

- Después de realizar el estudio y evaluar los diferentes tipos de controladores, se determinó que un Controlador Proporcional Integral PI se ajusta apropiadamente a los requerimientos para el proceso de elaboración de un algodón de azúcar, ya que estabiliza la temperatura en el nivel de referencia deseado, así como proporciona un buen rechazo a las perturbaciones inducidas por el azúcar (descenso de temperatura) al entrar en contacto con la resistencia térmica.
- En el diseño del sistema electrónico para controlar la temperatura y el expendio de azúcar, se utilizaron 3 microcontroladores PIC 16F877A de Microchip. En el primer PIC, se programó el menú para la lectura de la moneda (simulada por un pulsador) así como la selección de los colores de azúcar utilizando señales de entrada procedentes de pulsadores. En el segundo, se programó el controlador PI, se utilizó la librería para la operación del sensor de temperatura infrarrojo para la toma de datos de temperatura en la resistencia térmica y se habilitó la señal PWM para controlar la etapa de potencia. Utilizar un microcontrolador por cada etapa de control redujo el porcentaje de uso de memoria RAM en los PICs y el aumento en la velocidad de procesamiento de los datos al reducir el tamaño de los programas. Adicionalmente, facilitó la realización de cambios en la programación.
- Se implementó un prototipo para el funcionamiento de la máquina de algodón de azúcar sobre una estructura cerrada para evitar la contaminación del producto con impurezas presentes en el ambiente. Además, para que cualquier individuo pueda hacer uso de la máquina, se colocó el módulo de pulsadores en una posición accesible.



También, se instaló el sistema de dosificado de tal manera que se consiguió que el azúcar caiga sobre la resistencia térmica y en la porción adecuada. Adicionalmente, se incorporó un soporte para sujetar el palo en el cual se enrolla automáticamente el algodón.

- Finalmente, con el propósito de validar y verificar el funcionamiento del prototipo implementado, se realizaron pruebas cuyos resultados fueron satisfactorios y de los cuales se pudo determinar que:
  - La temperatura óptima para conseguir que el azúcar se convierta en algodón es de  $134^{\circ}$  C cuando el sensor infrarrojo se encuentra a 1,5 cm de separación de la resistencia térmica.
  - Los valores de los parámetros  $K_p$  y  $K_i$  utilizados para el controlador PI que mejores resultados presentaron en la parte práctica fueron obtenidos de las simulaciones realizadas en Matlab, con los cuales se obtiene un sobreimpulso de un 30% del valor de la temperatura deseada cuando la temperatura inicial en la resistencia térmica es de aproximadamente  $20^{\circ}$  C. El sobreimpulso disminuye si la temperatura inicial en la resistencia térmica es mayor.
  - El diseño del sistema de dosificación permitió que el azúcar se dispense lenta y controladamente, ocasionando una reducción de temperatura en la resistencia térmica muy leve que es corregida rápidamente por el controlador PI.

- **Recomendaciones**

- Una automatización involucra diseño electrónico, diseño mecánico, diseño estructural, entre otros, por tal razón para la implementación de este tipo de proyectos se recomienda recurrir a la ayuda de profesionales en las distintas especialidades para

que aporten con ideas y sugerencias que evitarán gastos innecesarios y ahorro de tiempo.

- El prototipo implementado no es completamente automático ya que necesita de un sistema para el dispensado del palo recolector del algodón y la entrega o envasado del producto, por tal razón se recomienda realizar trabajos relacionados con estas necesidades.

### Referencias Bibliográficas

Académica, F. d. (31 de Agosto de 2016). *Tutorías con Ingenio Universidad Nacional*.

Obtenido de Simulink - Simulación de una función de transferencia en un lazo de control.: <https://www.youtube.com/watch?v=Jk1yXyeE9m8>

Álamo Cantarero, T. (s.f.). *Diseño del Controlador PID*. Sevilla: Universidad de Sevilla - Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática.

Anónimo. (s.f.). *7 Función de Transferencia - sistemas de primer orden*. Obtenido de [http://www.cartagena99.com/recursos/alumnos/apuntes/7\\_FUNCION\\_DE\\_TRANSFERENCIA\\_PRIMER\\_ORDEN.pdf](http://www.cartagena99.com/recursos/alumnos/apuntes/7_FUNCION_DE_TRANSFERENCIA_PRIMER_ORDEN.pdf)

Blog, P. (15 de Abril de 2011). *Project Blog*. Obtenido de Improving the Beginner's PID – Introduction: <http://brettbeauregard.com/blog/2011/04/improving-the-beginners-pid-introduction/>

Castaño, S. (10 de Octubre de 2015). *Tutorial 13.1. PWM - Programación de PIC en CCS C (PIC C)*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=mSXIBQ9dVkg>

Castaño, S. (15 de Febrero de 2016). *Tutorial 16. Control PID en Microcontrolador - Programación de PIC en CCS C (PIC C)*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=9EmSybiSmOU>

Daneri, P. A. (2008). *PLC: Automatización y Control Industrial*. Editorial Hispano Americana.

Dorf, R. C., & Bishop, R. H. (2011). *Modern control systems*. New Jersey: Editorial - Pearson Education, Inc.

Franco, R. (17 de Marzo de 2016). *Controladores P y PI (Matlab y Simulink) - Sesión 1A*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=q8GJgkzg0tQ>

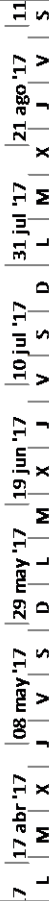
Franco, R. (17 de Marzo de 2016). *Youtube*. Obtenido de Controladores P y PI (Matlab y Simulink) - Sesión 1A: <https://www.youtube.com/watch?v=q8GJgkzg0tQ>

- Kuo, B. C. (1996). *Sistemas de Control Automático*. México: Editorial PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA, S.A. edición en español.
- Mesalva. (11 de Julio de 2016). *Me Salva! MIP02 - Modelo de Proceso Térmico - Sistemas de Control*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=x7TxQcxqux4>
- Ochoa Moreno, D. A., & León Rodríguez, B. S. (2012). Identificación y diseño de un controlador para un sistema de control de temperatura de agua de un tanque . *Tesis*. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral - Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación.
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de Control Moderna*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A. - edición en español.
- Osorio, C. (26 de Marzo de 2015). *Extracción de modelos dinámicos directamente de datos experimentales con Matlab*. Obtenido de [https://www.youtube.com/watch?v=\\_ZuFC35Tfzk](https://www.youtube.com/watch?v=_ZuFC35Tfzk)
- Penagos Plazas, J. R. (2010). *Cómo programar en lenguaje C los microcontroladores PIC16F88, PIC16F628A y PIC16F877A*. Quito.
- Plazas, J. R. (2010). *Cómo programar en lenguaje C los microcontroladores PIC 16F88, 16F628A y 16F877A*. Quito.
- Ricardo, P. P. (2010). *Cómo programar en lenguaje C los microcontroladores PIC16F88, 16F877A y 16F877A*. Quito.
- Ruge Ruge, I. A. (s.f.). Método básico para implementar un controlador digital PPID en un microcontrolador PIC para desarrollo de aplicaciones a bajo costo. Fusagasuga, Colombia.
- Suárez Bonilla, F. D. (Junio de 2009). Diseño y construcción de un sistema de control de temperatura para una incubadora de huevos de aves de corral. *Tesis*. Costa Rica: Universidad de Costa Rica - Escuela de Ingeniería Eléctrica.

# ANEXOS

**ANEXO A.**  
**Cronograma de Trabajo**

Id	EDT	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
1	1		<b>PROYECTO PIC</b>	73,25 días	mar 11/04/17	jue 31/08/17
2	1.1		Definición de plan de Proyecto de Tesis	18,25 días	mar 11/04/17	mar 16/05/17
3	1.1.1		Investigación del tema del proyecto a	4,88 días	mar	mar
4	1.1.2		Elaboración del documento del plan del	5,13 días	mar	sáb 29/04/17
5	1.1.3		Rectificación y corrección del plan	5,38 días	sáb 29/04/17	lun 08/05/17
6	1.1.4		Elaboración del cronograma de tareas	4 días	lun 08/05/17	mar 16/05/17
7	1.1.5		Entrega de documento	0 días		
8	1.2		<b>Recopilación de Información</b>	15,5 días	mar 16/05/17	vie 16/06/17
9	1.2.1		<b>Tecnologías y sistemas de control</b>	10 días	mar 16/05/17	sáb 03/06/17
10	1.2.1.1		Tipos de Procesos	10 días	mié 17/05/17	lun 05/06/17
11	1.2.1.2		Elementos necesarios	10 días	mié 17/05/17	lun 05/06/17
12	1.2.1.3		Equipos	10 días	mié 17/05/17	lun 05/06/17
13	1.2.1.4		Software	10 días	mié 17/05/17	lun 05/06/17
14	1.2.1.5		Fin de fase	0 días	mar 16/05/17	mar 16/05/17
15	1.2.2		<b>Análisis de la información</b>	5 días	lun 05/06/17	vie 16/06/17
16	1.2.2.1		Datos técnicos	5 días	lun 05/06/17	vie 16/06/17
17	1.2.2.2		Determinar los dispositivos	5 días	lun 05/06/17	vie 16/06/17
18	1.2.2.3		fin de fase	0 días	vie 16/06/17	vie 16/06/17
19	1.2.3		fin de fase	0 días		
20	1.3		<b>Diseño</b>	15 días	vie 16/06/17	sáb 15/07/17
21	1.3.1		Diagrama de flujo	2 días	vie 16/06/17	dom 18/06/17
22	1.3.2		Diseño del sistema de control	5 días	dom 18/06/17	mié 28/06/17
23	1.3.3		Diseño de la interfaz	5 días	vie 30/06/17	sáb 08/07/17
24	1.3.4		Simulación	3 días	sáb 08/07/17	sáb 15/07/17
25	1.3.5		fin de fase	0 días	sáb 15/07/17	sáb 15/07/17
26	1.4		<b>Pruebas de laboratorio</b>	11 días	sáb 15/07/17	sáb 05/08/17
27	1.4.1		compra de materiales	5 días	sáb 15/07/17	dom 23/07/17
28	1.4.2		armado en protoboard	2 días	dom 23/07/17	vie 28/07/17
29	1.4.3		programación	2 días	sáb 29/07/17	lun 31/07/17
30	1.4.4		pruebas y ajustes	2 días	lun 31/07/17	sáb 05/08/17
31	1.4.5		fin de fase	0 días	sáb 05/08/17	sáb 05/08/17
32	1.5		<b>Implementación</b>	13 días	sáb 05/08/17	mar 29/08/17
33	1.5.1		diseño y elaboración de tarjeta electrón	3 días	sáb 05/08/17	vie 11/08/17
34	1.5.2		aramado de prototipo	5 días	vie 11/08/17	sáb 19/08/17
35	1.5.3		pruebas y ajustes	5 días	sáb 19/08/17	mar 29/08/17
36	1.5.4		fin de fase	0 días	mar 29/08/17	mar 29/08/17
37	1.6		<b>Documentación</b>	41,25 días	vie 16/06/17	jue 31/08/17
38	1.6.1		Elaboración del documento	39,63 días	vie 16/06/17	mié 30/08/17
39	1.6.2		fin de fase	41 días	vie 16/06/17	mié 30/08/17



**ANEXO B.**  
**Programación del PIC del módulo de Control**



```

// Declaración de variables para módulo LCD

sbit LCD_EN at RB5_bit;
sbit LCD_RS at RB4_bit;
sbit LCD_D7 at RB3_bit;
sbit LCD_D6 at RB2_bit;
sbit LCD_D5 at RB1_bit;
sbit LCD_D4 at RB0_bit;

// Pin direction
sbit LCD_EN_Direction at TRISB5_bit;
sbit LCD_RS_Direction at TRISB4_bit;
sbit LCD_D7_Direction at TRISB3_bit;
sbit LCD_D6_Direction at TRISB2_bit;
sbit LCD_D5_Direction at TRISB1_bit;
sbit LCD_D4_Direction at TRISB0_bit;
// Fin de declaración de variables de LCD

// variables para la comunicación serial
unsigned char colorA = 0x1A;
unsigned char colorB = 0x1B;
unsigned char colorC = 0x1C;
unsigned char azucar = 0x1D; // dispensa palo en PIC esclavo 1
unsigned char TEMP_ON = 0xAA; // aumenta la temperatura PIC esclavo 2 a 120 °C
unsigned char TEMP_OFF = 0xBB; // disminuye la temperatura PIC esclavo 2 a 80 °C

// variables globales
int i, x=1, contador=0; //estaban asignadas como tipo char (probar si funciona cambiando a int)
int vini_port;

// variables para texto
char txt1[] = "PRIMER COLOR";
char txt2[] = "SEGUNDO COLOR";
char txt3[] = "Color:AMARIL";
char txt4[] = "Color: AZUL";
char txt5[] = "Color: ROJO";
char txt6[] = "Espere...";
char txt7[] = "Elaborando";
char txt8[] = "Algodon....";
char txt9[] = "SELECCIONA";
char txt10[] = "VACIO";
char txt11[] = "ELIJA OTRO";
char txt12[] = "Calentando..";
char txt13[] = "EL ALGODON";
//unsigned char datoRX = 0;

#define PAUSA 20 //Pausa de 20ms entre pasos.

/*void vacio_()
{
    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); // Clear display
    Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF); // Cursor off
    Lcd_Out(1,1,txt10); // Write text in first row
    Lcd_Out(2,1,txt11);
    Delay_ms (9000);
} */
void color_C() // COLOR ROJO
{
    UART1_Write(colorC);
    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); // Clear display

```

```

    Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF); // Cursor off
    Lcd_Out(1,1,txt5);        // Write text in first row
    Lcd_Out(2,1,txt6);
    Delay_ms (8000);        // Espera 9 segundos
}
void color_B()              // COLOR AZUL
{
    UART1_Write(colorB);
    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);    // Clear display
    Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF); // Cursor off
    Lcd_Out(1,1,txt4);      // Write text in first row
    Lcd_Out(2,1,txt6);
    Delay_ms (8000);
}
void color_A()              // COLOR AMARILLO
{
    UART1_Write(colorA);
    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);    // Clear display
    Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF); // Cursor off
    Lcd_Out(1,1,txt3);      // Write text in first row
    Lcd_Out(2,1,txt6);      // Write text in second row
    Delay_ms (8000);
}
void in_contador_1()
{
    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);    // Clear display
    Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF); // Cursor off
    Lcd_Out(1,1,txt1);     // Write text in first row
    Delay_ms (1000);
}
void in_contador_2()
{
    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);    // Clear display
    Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF); // Cursor off
    Lcd_Out(1,1,txt2);     // Write text in first row
    Delay_ms (1000);        // Tiempo de espera de 1 seg.
}
void fin_contador()
{
    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);    // Clear display
    Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF); // Cursor off
    Lcd_Out(1,1,txt7);     // Write text in first row
    Lcd_Out(2,1,txt8);     // Write text in second row

    //UART1_Write(TEMP_OFF); // Temperatura: cambia a ciclo de 80 °C
    //Delay_ms (1000);
    //PORTD.F5 = 0;          // MOTOR: enciende
    //Delay_ms (7000);      // MOTOR: tiempo para que arranque 10 segundos
    //UART1_Write(TEMP_ON); // Temperatura: retorna a ciclo de 120°C
    //UART1_Write(azucar);  // dispensa azucar
    Delay_ms (12000);      // TIEMPO: MOTOR y Temperatura encendidos por 150 segundos
    PORTD.F4 = 1;         // palo: enciende gira
    UART1_Write(TEMP_OFF); // Temperatura: cambia a ciclo de 80 °C, MOTOR permanece
encendido
    Delay_ms (10000);      // TIEMPO: 25 segundos de enfriamiento de la resistencia con MOTOR
encendido
    PORTD.F5 = 1;
    Delay_ms (500);        // lcd
    /*Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); // Clear display

```

```

    Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF);    // Cursor off
    Lcd_Out(1,1,txt12);          // Write text in first row
    Lcd_Out(2,1,txt13);          // Write text in second row
    Delay_ms (8000); */
    contador=0;
    x=0;
}

void if_moneda()
{
if(Button(&PORTD,0,1,0))        //SI SE OPRIME EL PULSADOR PUERTO D0="MONEDA"
{
    PORTD.F5 = 0;                // MOTOR: enciende
    Delay_ms (8000);             // MOTOR: tiempo para que arranque 10 segundos
    UART1_Write(TEMP_ON);        // aumenta temperatura 150°C
    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);         // Clear display
    Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF);    // Cursor off
    Lcd_Out(1,1,txt6);           // Write text in first row
    Lcd_Out(2,1,txt12);

    //Delay_ms (200);
    //UART1_Write(palo);         // dispensa el palo
    Delay_ms (40000);            //
    while(x==1)
    {
        if(contador==0)
        {
            Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); // Clear display
            Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF); // Cursor off
            Lcd_Out(1,4,txt9);    // Write text in first row
            Lcd_Out(2,3,txt1);    // Write text in second row
        }
        if(contador==1)
        {
            Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); // Clear display
            Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF); // Cursor off
            Lcd_Out(1,4,txt9);    // Write text in first row
            Lcd_Out(2,2,txt2);    // Write text in second row
        }

        vini_port=100;

        if(Button(&PORTD,1,1,0)) //D1= pulsador color Amarillo
        {
            contador++;
            vini_port = 20;
        }
        if(Button(&PORTD,2,1,0)) //D2= pulsador color Azul
        {
            contador++;
            vini_port = 30;
        }
        if(Button(&PORTD,3,1,0)) //D3= pulsador color Rojo
        {
            contador++;
            vini_port = 40;
        }

        switch(vini_port)
        {

```

```

case 20:
    if(contador==2)
    {
        in_contador_2();
        color_A();
        fin_contador();
    }
    if(contador==1)
    {
        PORTD.F4 = 0;           // palo: enciende gira
        in_contador_1();
        color_A();
    }
    //Delay_ms (1000);
break;

case 30:
    if(contador==2)
    {
        in_contador_2();
        color_B();
        fin_contador();
    }
    if(contador==1)
    {
        PORTD.F4 = 0;           // palo: enciende gira
        in_contador_1();
        color_B();
    }
break;

case 40:
    if(contador==2)
    {
        in_contador_2();
        color_C();
        fin_contador();
    }
    if(contador==1)
    {
        PORTD.F4 = 0;           // palo: enciende gira
        in_contador_1();
        color_C();
    }
break;
} //switch(vini_portA)
Delay_ms(200);
} //fin del while(1)
} //fin del if(Button(&PORTD,7,1,0))
} // fin void if_moneda()

void main()
{

    TRISD = 0b00001111;        // ASIGNACION DE PUERTOS D0 A D3 COMO ENTRADAS (1) y
D4 A D7 COMO SALIDAS (0)
    PORTD = 0b00111111;        // ESTADO DE PUERTOS ESTADO BAJO(0) Y ALTO (1)

    Lcd_Init();                // Initialize LCD

```

```

Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);          // Clear display
Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF);
Delay_ms(200);

UART1_Init(9600); // Initialize UART module at 9600bps
Delay_ms(200); // Wait for UART module to stabilize

while(1)
{
    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);          // Clear display
    Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF);    // Cursor off
    Lcd_Out(1,1,"Inserte moneda"); // Write text in first row
    Lcd_Out(2,1,"** 1 Dolar **"); // Write text in second row
    Delay_ms(300);
    x=1;

    for(i=0;i<3;i++)              // Move text to the right 4 times
    {
        Lcd_Cmd(_LCD_SHIFT_RIGHT); //Desplaza la pantalla hacia la derecha (no el texto)
        Delay_ms(300);
        if_moneda();
    }
    for(i=0;i<3;i++)              // Move text to the right 4 times
    {
        Lcd_Cmd(_LCD_SHIFT_LEFT);  //Desplaza la pantalla hacia la derecha (no el texto)
        Delay_ms(300);
        if_moneda();
    }

} // fin while(1)
} //fin void main()

```

**ANEXO C.**  
**Programación del PIC del módulo Actuadores**

```

// ACCIONA LOS MOTORES

//unsigned char vacio = 0xAA;
//int sensor1=0, sensor2=0, sensor3=0;
int i;          //antes char
unsigned char var_in;
void motor_1();
void motor_2();
void motor_3();
void motor_4();
void motor1();
void motor11();
void motor12();
void motor13();
void motor2();
void motor3();      //Cuatro pasos derecha (horario).
void motor4();
void motor14();

#define PAUSA 3      //Pausa de 3ms entre pasos.

void motor_1()
{
    for (i=1;i<=120;i++)
        motor1();
    PORTB=0x00;      //Apagar el motor.
    Delay_ms(1200); //Pausa de 500ms al final del movimiento.
    for (i=1;i<=120;i++)
        motor11();
    PORTB=0x00;      //Apagar el motor.
    Delay_ms(1200); //Pausa de 500ms al final del movimiento.
}
void motor_2()
{
    for (i=1;i<=120;i++)
        motor2();
    PORTB=0x00;      //Apagar el motor.
    Delay_ms(1200); //Pausa de 500ms al final del movimiento.
    for (i=1;i<=120;i++)
        motor12();
    PORTB=0x00;      //Apagar el motor.
    Delay_ms(1200); //Pausa de 500ms al final del movimiento.
}
void motor_3()
{
    for (i=1;i<=120;i++)
        motor3();
    PORTD=0x00;      //Apagar el motor.
    Delay_ms(1200); //Pausa de 500ms al final del movimiento.
    for (i=1;i<=120;i++)
        motor13();
    PORTD=0x00;      //Apagar el motor.
    Delay_ms(1200); //Pausa de 500ms al final del movimiento.
}
void motor_4()
{
    for (i=1;i<=120;i++)
        motor4();
    PORTA=0x00;      //Apagar el motor.
    Delay_ms(2200); //Pausa de 500ms al final del movimiento.
}

```

```

    for (i=1;i<=120;i++)
    motor14();
    PORTA=0x00;    //Apagar el motor.
    Delay_ms(2200);    //Pausa de 500ms al final del movimiento.
}

void motor1()
{
    PORTB=0x03;
    Delay_ms(PAUSA);
    PORTB=0x06;
    Delay_ms(PAUSA);
    PORTB=0x0C;
    Delay_ms(PAUSA);
    PORTB=0x09;
    Delay_ms(PAUSA);
}

void motor11()
{
    PORTB=0x09;
    Delay_ms(PAUSA);
    PORTB=0x0C;
    Delay_ms(PAUSA);
    PORTB=0x06;
    Delay_ms(PAUSA);
    PORTB=0x03;
    Delay_ms(PAUSA);
}

void motor2()
{
    PORTB=0x30;
    Delay_ms(PAUSA);
    //PORTD=0b1000;
    //Delay_ms(PAUSA);
    PORTB=0x60;
    Delay_ms(PAUSA);
    //PORTD=0b0100;
    //Delay_ms(PAUSA);
    PORTB=0xC0;
    Delay_ms(PAUSA);
    //PORTD=0b0010;
    //Delay_ms(PAUSA);
    PORTB=0x90;
    Delay_ms(PAUSA);
    //PORTD=0b0001;
    //Delay_ms(PAUSA);
}

void motor12()
{
    PORTB=0x90;
    Delay_ms(PAUSA);
    PORTB=0xC0;
    Delay_ms(PAUSA);
    PORTB=0x60;
    Delay_ms(PAUSA);
    PORTB=0x30;
    Delay_ms(PAUSA);
}

```



```
}  
  
void motor3()  
{  
  PORTD=0x03;  
  Delay_ms(PAUSA);  
  //PORTD=0b1000;  
  //Delay_ms(PAUSA);  
  PORTD=0x06;  
  Delay_ms(PAUSA);  
  //PORTD=0b0100;  
  //Delay_ms(PAUSA);  
  PORTD=0x0C;  
  Delay_ms(PAUSA);  
  //PORTD=0b0010;  
  //Delay_ms(PAUSA);  
  PORTD=0x09;  
  Delay_ms(PAUSA);  
  //PORTD=0b0001;  
  //Delay_ms(PAUSA);  
}
```

```
void motor13()  
{  
  PORTD=0x09;  
  Delay_ms(PAUSA);  
  PORTD=0x0C;  
  Delay_ms(PAUSA);  
  PORTD=0x06;  
  Delay_ms(PAUSA);  
  PORTD=0x03;  
  Delay_ms(PAUSA);  
}
```

```
void motor4()  
{  
  PORTA=0x03;  
  Delay_ms(PAUSA);  
  PORTA=0x06;  
  Delay_ms(PAUSA);  
  PORTA=0x0C;  
  Delay_ms(PAUSA);  
  PORTA=0x09;  
  Delay_ms(PAUSA);  
}
```

```
void motor14()  
{  
  PORTA=0x09;  
  Delay_ms(PAUSA);  
  PORTA=0x0C;  
  Delay_ms(PAUSA);  
  PORTA=0x06;  
  Delay_ms(PAUSA);  
  PORTA=0x03;  
  Delay_ms(PAUSA);  
}
```

```
void main()
```

```

{
  TRISA = 0x00;           //Estado inicial del puerto A salida
  PORTA = 0x00;           //Puerto A en estdo bajo (0).
  TRISB = 0x00;           //Estado inicial del puerto B salida
  PORTB = 0x00;           //Puerto B como salida.
  TRISD = 0b00000000;     //ASIGNACION DE PUERTOS D0 A D3 COMO ENTRADAS (1) y D4
A D7 COMO SALIDAS (0)
  PORTD = 0b00000000;     //ESTADO DE PUERTOS COMO ENTRADAS (0) Y SALIDAS (1)

  UART1_Init(9600); // Initialize UART module at 9600bps
  Delay_ms(200); // Wait for UART module to stabilize

  while(1)
  { // Endless loop
  //  sensor1=PORTD.F4;
  //  sensor2=PORTD.F5;
  //  sensor3=PORTD.F6;

  if (UART1_Data_Ready())
  { // If data is received,
    var_in = UART1_Read();// read the received data,

    if(var_in == 0x1D)      // DISPENSA AZUCAR
    {
      motor_4();
    }

    if(var_in == 0x1A)
    {
      motor_1();           // COLOR AMARILLO
    }
    if(var_in == 0x1B)
    {
      motor_2();           // COLOR AZUL
    }
    if(var_in == 0x1C)
    {
      motor_3();           // COLOR ROJO
    }
  }
}
}

```

**ANEXO D.**  
**Programación del PIC del módulo de Temperatura**

```

#define BOOL unsigned char

#define TRUE 1
#define FALSE 0

// LCD module connections
sbit LCD_EN at RB5_bit;
sbit LCD_RS at RB4_bit;
sbit LCD_D7 at RB3_bit;
sbit LCD_D6 at RB2_bit;
sbit LCD_D5 at RB1_bit;
sbit LCD_D4 at RB0_bit;

// Pin direction
sbit LCD_EN_Direction at TRISB5_bit;
sbit LCD_RS_Direction at TRISB4_bit;
sbit LCD_D7_Direction at TRISB3_bit;
sbit LCD_D6_Direction at TRISB2_bit;
sbit LCD_D5_Direction at TRISB1_bit;
sbit LCD_D4_Direction at TRISB0_bit;
// End LCD module connections

// Ir Termo click constants
const _IR_THERMO_ADDR = 0x5A;
const _OBJ_TEMP      = 0x07;

// Globals
float Temp, InputValue, SetPoint;
unsigned char tempON, tempOFF;
float PID_Kp, PID_Ki, PID_Kd;
float PID_Integrated;
float PID_Prev_Input;
float PID_MinOutput, PID_MaxOutput;
float Result;
char txt [6];
char text[5];
BOOL PID_First_Time;

//PID
void Reset_PID()
{
  PID_Integrated = 0.0;
  PID_Prev_Input = 0.0;
  PID_First_Time = TRUE;
}
float PID_Calculate(float Setpoint, float InputValue)
{
  float Err, ErrValue, DiffValue, Result;

  Err = SetPoint - InputValue;

  FloatToStr(Err, txt);
  //Lcd_Out(2, 12, txt);

  // --- calculate proportional value ---
  ErrValue = Err * PID_Kp;

  // --- Calculate integrated value ---
  PID_Integrated = PID_Integrated + (Err * PID_Ki);
  // limit it to output minimum and maximum

```

```

if (PID_Integrated < PID_MinOutput)
    PID_Integrated = PID_MinOutput;
if (PID_Integrated > PID_MaxOutput)
    PID_Integrated = PID_MaxOutput;

// --- calculate derivative value ---
if (PID_First_Time)
{
    // to avoid a huge DiffValue the first time (PID_Prev_Input = 0)
    PID_First_Time = FALSE;
    PID_Prev_Input = InputValue;
}
DiffValue = (InputValue - PID_Prev_Input) * PID_Kd;
PID_Prev_Input = InputValue;

// --- calculate total ---
Result = ErrValue + PID_Integrated - DiffValue; // mind the minus sign!!!
// limit it to output minimum and maximum
if (Result < PID_MinOutput)
    Result = PID_MinOutput;
if (Result > PID_MaxOutput)
    Result = PID_MaxOutput;
PWM1_Set_Duty(Result);    // Set current duty for PWM1
//FloatToStr(Err, txt);
//Lcd_Out(2, 12, txt);
return (Result);
//Delay_ms(1000);
}

void Init_PID(float Kp, float Ki, float Kd, float MinOutput, float MaxOutput)
{
    PID_Kp    = Kp;
    PID_Ki    = Ki;
    PID_Kd    = Kd;
    PID_MinOutput = MinOutput;
    PID_MaxOutput = MaxOutput;
    PID_Integrated = 0.0;
    PID_Prev_Input = 0.0;
    PID_First_Time = TRUE;
}

/*****
*****
* Function ReadSensor(char Temp_Source)
* -----
* Overview: Function Reads Ir Thermo sensor via I2C interface
* Input: Temp_Source 0x06 for Ambient temperature
*         0x07 for Target temperature
* Output: Value that's proportional to Temperature in Kelvin degrees
*****
*****/
float ReadSensor(char Temp_Source){
    unsigned int Temp_var;

    I2C1_Start();    // issue I2C start signal
    I2C1_Wr(_IR_THERMO_ADDR << 1); // send byte via I2C (device address << 1)
    I2C1_Wr(Temp_Source);    // send byte (data address)
    I2C1_Repeated_Start();    // issue I2C signal repeated start
    I2C1_Wr(_IR_THERMO_ADDR << 1); // send byte (device address << 1)
    Temp_var = I2C1_Rd(0);    // Read the data (NO acknowledge)
    Temp_var = (I2C1_Rd(0) << 8) + Temp_var;

```

```

I2C1_Stop();          // issue I2C stop signal
//Delay_ms(500);
return Temp_var;
}

/*****
*****
* Function Display_Temperature(char Temp_Source, float temperature)
* -----
* Overview: Function Displays temperature on LCD
* Input: Temp_Source 0x06 for Ambient temperature
*        0x07 for Target temperature
*        temperature value of temperature that will be written on LCD
* Output: Nothing
*****/
void Display_Temperature(char Temp_Source, float temperature){

FloatToStr(temperature, text); // Convert temperature into string
if (text[1] == '.')           // display it with only two decimals
    text[4] = 0;
if (text[2] == '.')
    text[5] = 0;
if (text[3] == '.')
    text[6] = 0;

strcat(text, " ");           // add Celsius degree mark

if (Temp_Source == _OBJ_TEMP)
    Lcd_Out(2, 1, text);
}

// Main
void main() {

//Configuracion del PWM
TRISC2_bit = 0;              //RC2 COMO SALIDA (PWM)
TRISD0_bit = 1;              //como entrada
PORTD.F0 = 0;                // estado bajo
//TRISD7_bit = 0;            //como SALIDA para verificar en Proteus el cambio de 80 a 120 ---luego
borrar---
//TRISD1_bit = 0;            //como SALIDA para verificar en Proteus el cambio de 120 a 80 ---luego
borrar---

// LCD
Lcd_Init();                  // performs Lcd initialization
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);        // clear Lcd
Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF);   // set cursor off
Lcd_Out(1,1,"Initialising I2C");

//I2C PARA SENSOR IR
I2C1_Init(50000);           // performs I2C initialization
Delay_ms(1000);

// INICIO PWM
PWM1_Init(1000);             //Inicializa el PWM1 a 1KHz
Delay_ms(100);
PWM1_Start();                // start PWM1
//Delay_ms(100);

```

```

PWM1_Set_Duty(0);           //Ancho de pulso inicia en 0

// COMUNICACION SERIAL
UART1_Init(9600); // Initialize UART module at 9600bps
Delay_ms(500); // Wait for UART module to stabilize

Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
Lcd_Out(1,1,"Init OK");
Delay_ms(500);

Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
//Lcd_Out(1,1,"Amb. t: ");
Lcd_Out(1,1,"Obj. t:");
Lcd_Out(1,10,"Err:");
//Lcd_Out(2,7," ");
Reset_PID();
Init_PID(2.0,0.01,0.0,0.0,145.0); //maquina GRIS

Delay_ms(500);

while (1)
{
  if (UART1_Data_Ready())
  {
    tempON = UART1_Read();// read the received data,
  }
  while(tempON == 0xAA)
  {
    if (UART1_Data_Ready())
    {
      tempOFF = UART1_Read();// read the received data,
      if (tempOFF == 0xBB)
        tempON = 0xBB;
    }
    SetPoint = 136 ; //MAQUINA GRIS
    Lcd_Out(2, 11, txt);
    Temp = ReadSensor(_OBJ_TEMP); // Read Ambient temperature
    Temp = (Temp * 0.02) - 273.15; // Convert result in Celsius degrees
    InputValue = Temp;
    Display_Temperature(_OBJ_TEMP, Temp); // Display result
    PID_Calculate(Setpoint,InputValue);
    Delay_ms(600);
  }

  SetPoint = 80; //MAQUINA ROJA Y GRIS
  Lcd_Out(2, 11, txt);
  Temp = ReadSensor(_OBJ_TEMP); // Read Objet temperature
  Temp = (Temp * 0.02) - 273.15; // Convert result in Celsius degrees
  InputValue = Temp;
  Display_Temperature(_OBJ_TEMP, Temp); // Display result
  PID_Calculate(Setpoint,InputValue);
  Delay_ms(600);
}
}

```

**ANEXO E.**  
**Sensor Infrarrojo MLX90614**





# MLX90614 family

Single and Dual Zone  
Infra Red Thermometer in TO-39

## Features and Benefits

- Small size, low cost
- Easy to integrate
- Factory calibrated in wide temperature range: -40 to 125 °C for sensor temperature and -70 to 380 °C for object temperature.
- High accuracy of 0.5°C over wide temperature range (0..+50°C for both Ta and To)
- High (medical) accuracy calibration optional
- Measurement resolution of 0.02°C
- Single and dual zone versions
- SMBus compatible digital interface
- Customizable PWM output for continuous reading
- Available in 3V and 5V versions
- Simple adaptation for 8 to 16V applications
- Power saving mode
- Different package options for applications and measurements versatility
- Automotive grade

## Applications Examples

- High precision non-contact temperature measurements;
- Thermal Comfort sensor for Mobile Air Conditioning control system;
- Temperature sensing element for residential, commercial and industrial building air conditioning;
- Windshield defogging;
- Automotive blind angle detection;
- Industrial temperature control of moving parts;
- Temperature control in printers and copiers;
- Home appliances with temperature control;
- Healthcare;
- Livestock monitoring;
- Movement detection;
- Multiple zone temperature control – up to 100 sensors can be read via common 2 wires
- Thermal relay/alert
- Body temperature measurement

## Ordering Information



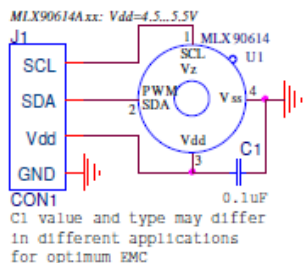
Part No. MLX90614 X X X  
(1) (2) (3)

(1) Supply Voltage:  
A - 5V power  
(adaptable for 12V)  
B - 3V power

(2) Number of thermopiles:  
A – single zone  
B – dual zone

(3) Package type:  
A – Filter inside  
B – Filter outside

## 1 Functional diagram



MLX90614 connection to SMBus

Figure 1 Typical application schematics

## 2 General Description

The MLX90614 is an Infra Red thermometer for non contact temperature measurements. Both the IR sensitive thermopile detector chip and the signal conditioning ASSP are integrated in the same TO-39 can.

Thanks to its low noise amplifier, 17-bit ADC and powerful DSP unit, a high accuracy and resolution of the thermometer is achieved.

The thermometer comes factory calibrated with a digital PWM and SMBus output.

As a standard, the 10-bit PWM is configured to continuously transmit the measured temperature in range of -20 to 120 °C, with an output resolution of 0.14 °C.

The POR default is SMBus interface



## **MLX90614 family**

*Single and Dual Zone  
Infra Red Thermometer in TO-39*

### ***General description (continued)***

The MLX90614 is built from 2 chips developed and manufactured by Melexis:

The Infra Red thermopile detector MLX81101.

The signal conditioning ASSP MLX90302, specially designed to process the output of IR sensor.

The device is available in an industry standard TO-39 package.

Thanks to the low noise amplifier, high resolution 17-bit ADC and powerful DSP unit of MLX90302 high accuracy and resolution of the thermometer is achieved. The calculated object and ambient temperatures are available in RAM of MLX90302 with resolution of 0.01 °C. They are accessible by 2 wire serial SMBus compatible protocol (0.02°C resolution) or via 10-bit PWM (Pulse Width Modulated) output of the device.

The MLX90614 is factory calibrated in wide temperature ranges: -40 to 125 °C for the ambient temperature and -70 to 382.2 °C for the object temperature. The 10-bit PWM is as a standard configured to transmit continuously the measured object temperature for an object temperature range of -20 to 120 °C with an output resolution of 0.14 °C. The PWM can be easily customized for virtually any range desired by customer by changing the content of 2 EEPROM cells. This has no effect on the factory calibration of the device.

The PWM pin can also be configured to act as a thermal relay (input is  $T_o$ ), thus allowing for an easy and cost effective implementation in thermostats or temperature (freezing/boiling) alert applications. The temperature threshold is user programmable. In an SMBus system this feature can act as a processor interrupt that can trigger reading all slaves on the bus and to determine the precise condition.

As a standard, the MLX90614 is calibrated for an object emissivity of 1. It can be easily customized by the customer for any other emissivity in the range 0.1-1.0 without the need of recalibration with a black body.

The thermometer is available in 2 supply voltage options: 5V compatible or 3V (battery) compatible. The 5V can be easily adopted to operate from a higher supply voltage (8-16V, for example) by use of few external components (refer to "Applications information" section for details).

An optical filter (long-wave pass) that cuts off the visible and near infra-red radiant flux is integrated in the package to provide sunlight immunity.



## MLX90614 family

Single and Dual Zone  
Infra Red Thermometer in TO-39

### 3 Glossary of Terms

PTAT	Proportional To Absolute Temperature sensor (package temperature)
PTC	Positive Temperature Coefficient sensor (package temperature)
POR	Power On Reset
HFO	High Frequency Oscillator (RC)
DSP	Digital Signal Processing
FIR	Finite Impulse Response. Digital filter
IIR	Infinite Impulse Response. Digital filter
IR	Infra-Red
PWM	Pulse With Modulation
DC	Duty Cycle (of the PWM) ; Direct Current (for settled conditions specifications)
FOV	Field Of View
SDA,SCL	Serial DATA, Serial CLock – SMBus compatible communication pins
T <sub>a</sub>	Ambient Temperature measured from the chip – (the package temperature)
T <sub>o</sub>	Object Temperature, 'seen' from IR sensor
ESD	Electro-Static Discharge
EMC	Electro-Magnetic Compatibility
TBD	To Be Defined

Note: sometimes the MLX90614xxx is referred to as "the module".

### 4 Maximum ratings

Parameter.	MLX90614AAA MLX90614ABA	MLX90614BAA MLX90614BBA	MLX90614AAB MLX90614ABB	MLX90614BAB MLX90614BBB
Supply Voltage, V <sub>DD</sub> (over voltage)	7V	5V	7V	5V
Supply Voltage, V <sub>DD</sub> (operating)	5.5 V	3.6V	5.5V	3.6V
Reverse Voltage	0.4 V			
Operating Temperature Range, T <sub>A</sub>	-40 to +125°C		-40...+85°C	
Storage Temperature Range, T <sub>S</sub>	-40...+125 °C		-40...+105°C	
ESD Sensitivity (AEC Q100 002)	2kV			
DC current into SCL/Vz (Vz mode)	2 mA			
DC sink current, SDA/PWM pin	25 mA			
DC source current, SDA/PWM pin	25 mA			
DC clamp current, SDA/PWM pin	25 mA			
DC clamp current, SCL pin	25 mA			

Table 1: Absolute maximum ratings for MLX90614

Exceeding the absolute maximum ratings may cause permanent damage. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

### 5 Pin definitions and descriptions

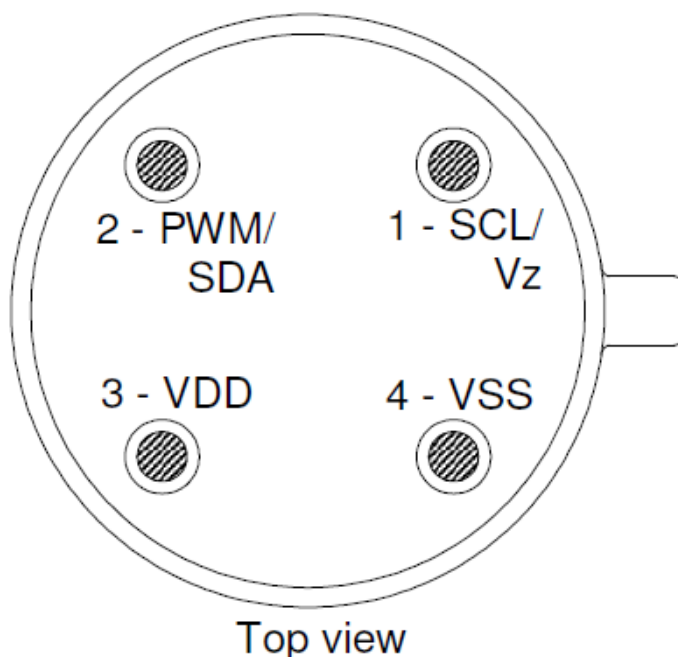


Figure 2: Pin description

Pin Name	Function
VSS	Ground. The metal can is also connected to this pin.
SCL / Vz	Serial clock input for 2 wire communications protocol. 5.7V zener is available at this pin for connection of external bipolar transistor to MLX90614A to supply the device from external 8 -16V source.
PWM / SDA	Digital input / output. In normal mode the measured object temperature is available at this pin Pulse Width Modulated.
VDD	External supply voltage.

Table 2: Pin description MLX90614

*Note: for +12V (+8...+16V) powered operation refer to the Application information section. For EMC and isothermal conditions reasons it is highly recommended not to use any electrical connection to the metal can except by the Vss pin.*

*With the SCL/Vz and PWM/SDA pins operated in 2-wire interface mode, the input Schmidt trigger function is automatically enabled.*

## 6 Electrical Specifications

### 6.1 MLX90614Axx

All parameters are preliminary for  $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $V_{DD} = 5\text{V}$  (unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Units
<b>Supplies</b>						
External supply	$V_{DD}$		4.5	5	5.5	V
Supply current	$I_{DD}$	No load			1	mA
Supply current (programming)	$I_{DDpr}$	No load, erase/write EEPROM operations			1.5	mA
Zener voltage	$V_Z$	$I_Z = 75 \dots 400\text{ }\mu\text{A}$	5.6	5.75	5.8	V
Zener voltage	$V_Z(T_A)$	$I_Z = 70 \dots 400\text{ }\mu\text{A}$ , full temperature range	5.15	5.75	6.24	V
<b>Power On Reset</b>						
POR level	$V_{POR}$	Power-up, power-down and brown-out	2.7	3.0	3.3	V
$V_{DD}$ rise time	$T_{POR}$	Ensure POR signal			3	ms
Output valid (result in RAM)	$T_{valid}$	After POR		0.15		s
<b>Pulse width modulation<sup>1</sup></b>						
PWM resolution	$PWM_{res}$	Data band		10		bit
PWM output period	$PWM_{T,def}$	Factory default, internal oscillator factory calibrated		1.024		ms
PWM period stability	$dPWM_T$	Internal oscillator factory calibrated, over the entire operation range and supply voltage	-4		+4	%
Output high Level	$PWM_{HI}$	$I_{source} = 2\text{ mA}$	$V_{DD} - 0.2$			V
Output low Level	$PWM_{LO}$	$I_{sink} = 2\text{ mA}$			$V_{SS} + 0.2$	V
Output drive current	$I_{drivePWM}$	$V_{out,H} = V_{DD} - 0.8\text{V}$		20		mA
Output sink current	$I_{sinkPWM}$	$V_{out,L} = 0.8\text{V}$		20		mA
Output settling time	$T_{set}$	100 pF capacitive load, full operating $T_A$ range		500	TBD	ns
Output settling time	$T_{setRC}$	220 Ohm in series with 47nF load on the wire, full $T_A$ operating range	20		50	us

Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Units
<b>SMBus compatible 2-wire interface<sup>2</sup></b>						
Input high voltage	V <sub>IH</sub>		1.8	2	2.2	V
Input high voltage	V <sub>IH</sub> (Ta,V)	Over temperature and supply	1.6		2.4	V
Input low voltage	V <sub>IL</sub>		0.7	1.0	1.3	V
Input low voltage	V <sub>IL</sub> (Ta,V)	Over temperature and supply	0.5		1.5	V
Output low voltage	V <sub>OL</sub>	SDA pin in open drain mode, over temperature and supply, I <sub>sink</sub> = 2mA			0.2	V
SCL leakage	I <sub>SCL,leak</sub>	V <sub>SCL</sub> =4V, Ta=+85°C			30	µA
SDA leakage	I <sub>SDA,leak</sub>	V <sub>SDA</sub> =4V, Ta=+85°C			0.3	µA
SCL capacitance	C <sub>SCL</sub>				10	pF
SDA capacitance	C <sub>SDA</sub>				10	pF
Slave address	SA	Factory default		5Ah		hex
SMBus Request	t <sub>REQ</sub>	SCL low	1.024			ms
Timeout, low	T <sub>timeout,L</sub>	SCL low			30	ms
Timeout, high	T <sub>timeout,H</sub>	SCL high			50	µs
Acknowledge setup time	T <sub>suac</sub> (MD)	8-th SCL falling edge, Master	0.5		1.5	µs
Acknowledge hold time	T <sub>hdac</sub> (MD)	9-th SCL falling edge, Master	1.5		2.5	µs
Acknowledge setup time	T <sub>suac</sub> (SD)	8-th SCL falling edge, Slave	2.5			µs
Acknowledge hold time	T <sub>hdac</sub> (SD)	9-th SCL falling edge, Slave	1.5			µs
<b>EEPROM</b>						
Data retention		Ta = +85°C	10			years
Erase/write cycles		Ta = +25°C	100,000			Times
Erase/write cycles		Ta = +125°C	10,000			Times
Erase cell time	T <sub>erase</sub>			5		ms
Write cell time	T <sub>write</sub>			5		ms

Notes: All the communication and refresh rate timings are given for the nominal calibrated HFO frequency and will vary with this frequency's variations.

1. All PWM timing specifications are given for single PWM output (factory default for MLX90614xAx). For the extended PWM output (factory default for the MLX90614xBx) each period has twice the timing specifications (refer to the PWM detailed description section). With large capacitive load lower PWM frequency is recommended. Thermal relay output (when configured) has the PWM DC specification and can be programmed as push-pull, or NMOS open drain. PWM is free-running, power-up factory default is SMBus, refer to 7.6, "Switching between PWM and SMBus communication" for details..

2. For SMBus compatible interface on 12V application refer to Application information section. SMBus compatible interface is described in details in the SMBus detailed description section. Maximum number of MLX90614xxx devices on one bus is 127, higher pullup currents are recommended for higher number of devices, faster bus data transfer rates, and increased reactive loading of the bus.

MLX90614xxx is always a slave device on the bus. MLX90614xxx can work in both low-power and high-power SMBus communication.

All voltage are with respect to the V<sub>SS</sub> (ground) unless otherwise noted.

Power saving mode is not available on the 5V version (MLX90614Axx).

**ANEXO F.**  
**TRIAC BT138 serie E**

## Triacs sensitive gate

## BT138 series E

### GENERAL DESCRIPTION

Glass passivated, sensitive gate triacs in a plastic envelope, intended for use in general purpose bidirectional switching and phase control applications, where high sensitivity is required in all four quadrants.

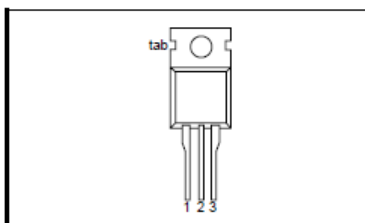
### QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	MAX.	MAX.	MAX.	UNIT
$V_{DRM}$	Repetitive peak off-state voltages	500E 500	600E 600	800E 800	V
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current	12	12	12	A
$I_{TSM}$	Non-repetitive peak on-state current	95	95	95	A

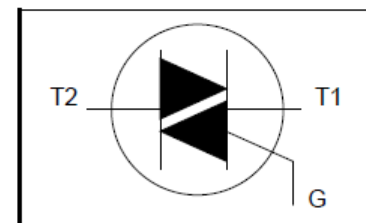
### PINNING - TO220AB

PIN	DESCRIPTION
1	main terminal 1
2	main terminal 2
3	gate
tab	main terminal 2

### PIN CONFIGURATION



### SYMBOL



### LIMITING VALUES

Limiting values in accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.			UNIT
				-500 500 <sup>1</sup>	-600 600 <sup>1</sup>	-800 800	
$V_{DRM}$	Repetitive peak off-state voltages		-				V
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current	full sine wave; $T_{mb} \leq 99^\circ\text{C}$	-	12			A
$I_{TSM}$	Non-repetitive peak on-state current	full sine wave; $T_j = 25^\circ\text{C}$ prior to surge $t = 20\text{ ms}$	-	95			A
$I^2t$	$I^2t$ for fusing	$t = 16.7\text{ ms}$	-	105			A <sup>2</sup> s
$di_T/dt$	Repetitive rate of rise of on-state current after triggering	$t = 10\text{ ms}$ $I_{TM} = 20\text{ A}; I_G = 0.2\text{ A};$ $di_G/dt = 0.2\text{ A}/\mu\text{s}$	-	45			A <sup>2</sup> s
		T2+ G+	-	50			A/ $\mu\text{s}$
		T2+ G-	-	50			A/ $\mu\text{s}$
		T2- G-	-	50			A/ $\mu\text{s}$
		T2- G+	-	10			A/ $\mu\text{s}$
$I_{GM}$	Peak gate current		-	2			A
$V_{GM}$	Peak gate voltage		-	5			V
$P_{GM}$	Peak gate power		-	5			W
$P_{G(AV)}$	Average gate power	over any 20 ms period	-	0.5			W
$T_{stg}$	Storage temperature		-40	150			$^\circ\text{C}$
$T_j$	Operating junction temperature		-	125			$^\circ\text{C}$

<sup>1</sup> Although not recommended, off-state voltages up to 800V may be applied without damage, but the triac may switch to the on-state. The rate of rise of current should not exceed 15 A/ $\mu\text{s}$ .



**Triacs  
sensitive gate**

BT138 series E

**THERMAL RESISTANCES**

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$R_{th\ j-mb}$	Thermal resistance junction to mounting base	full cycle	-	-	1.5	K/W
$R_{th\ j-a}$	Thermal resistance junction to ambient	half cycle in free air	-	60	2.0	K/W
			-		-	K/W

**STATIC CHARACTERISTICS** $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$  unless otherwise stated

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$I_{GT}$	Gate trigger current	$V_D = 12\text{ V}$ ; $I_T = 0.1\text{ A}$				
		T2+ G+	-	2.5	10	mA
		T2+ G-	-	4.0	10	mA
		T2- G-	-	5.0	10	mA
		T2- G+	-	11	25	mA
$I_L$	Latching current	$V_D = 12\text{ V}$ ; $I_{GT} = 0.1\text{ A}$				
		T2+ G+	-	3.2	30	mA
		T2+ G-	-	16	40	mA
		T2- G-	-	4.0	30	mA
		T2- G+	-	5.5	40	mA
$I_H$	Holding current	$V_D = 12\text{ V}$ ; $I_{GT} = 0.1\text{ A}$	-	4.0	30	mA
$V_T$	On-state voltage	$I_T = 15\text{ A}$	-	1.4	1.65	V
$V_{GT}$	Gate trigger voltage	$V_D = 12\text{ V}$ ; $I_T = 0.1\text{ A}$	-	0.7	1.5	V
$I_D$	Off-state leakage current	$V_D = 400\text{ V}$ ; $I_T = 0.1\text{ A}$ ; $T_j = 125\text{ }^\circ\text{C}$	0.25	0.4	-	V
		$V_D = V_{DRM(max)}$ ; $T_j = 125\text{ }^\circ\text{C}$	-	0.1	0.5	mA

**DYNAMIC CHARACTERISTICS** $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$  unless otherwise stated

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$dV_D/dt$	Critical rate of rise of off-state voltage	$V_{DM} = 67\% V_{DRM(max)}$ ; $T_j = 125\text{ }^\circ\text{C}$ ; exponential waveform; gate open circuit	-	50	-	V/ $\mu\text{s}$
$t_{gt}$	Gate controlled turn-on time	$I_{TM} = 16\text{ A}$ ; $V_D = V_{DRM(max)}$ ; $I_G = 0.1\text{ A}$ ; $dI_G/dt = 5\text{ A}/\mu\text{s}$	-	2	-	$\mu\text{s}$

Triacs  
sensitive gate

BT138 series E

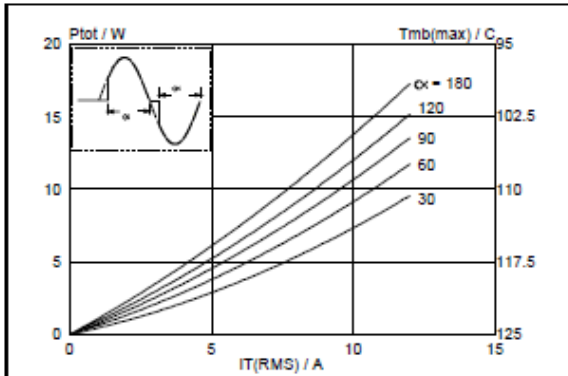


Fig. 1. Maximum on-state dissipation,  $P_{tot}$ , versus rms on-state current,  $I_{T(RMS)}$ , where  $\alpha$  = conduction angle.

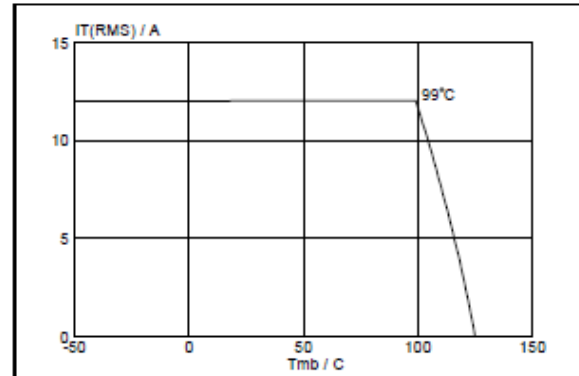


Fig. 4. Maximum permissible rms current  $I_{T(RMS)}$ , versus mounting base temperature  $T_{mb}$ .

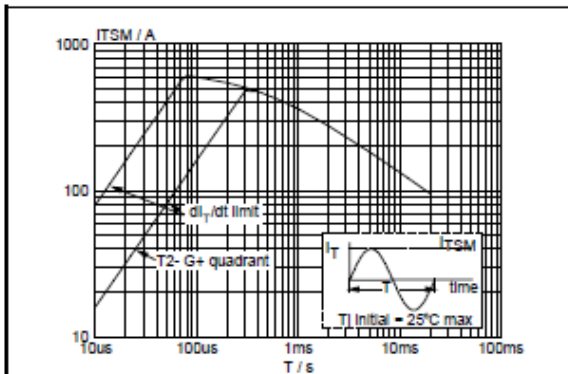


Fig. 2. Maximum permissible non-repetitive peak on-state current  $I_{TSM}$ , versus pulse width  $t_p$ , for sinusoidal currents,  $t_p \leq 20\text{ms}$ .

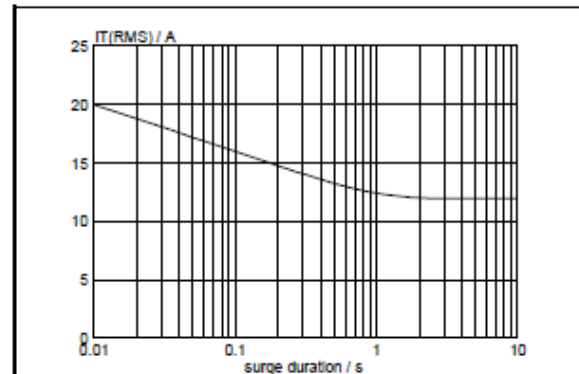


Fig. 5. Maximum permissible repetitive rms on-state current  $I_{T(RMS)}$ , versus surge duration, for sinusoidal currents,  $f = 50\text{ Hz}$ ;  $T_{mb} \leq 99^\circ\text{C}$ .

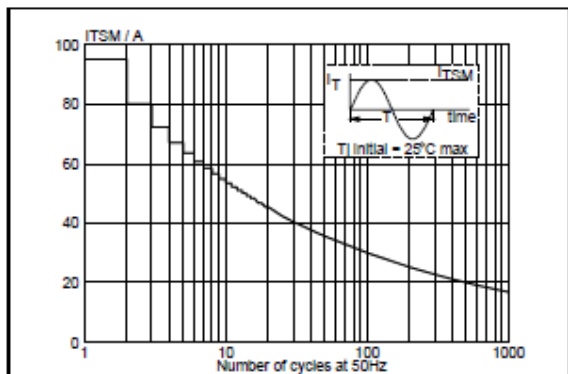


Fig. 3. Maximum permissible non-repetitive peak on-state current  $I_{TSM}$ , versus number of cycles, for sinusoidal currents,  $f = 50\text{ Hz}$ .

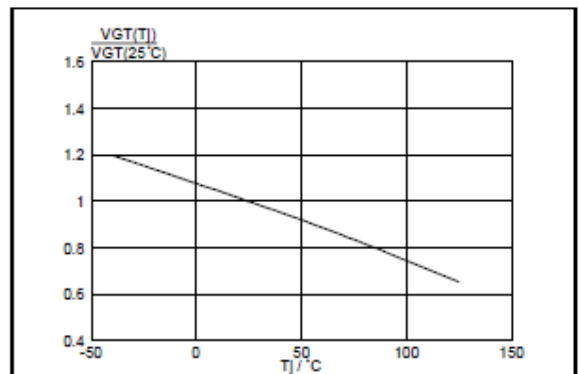
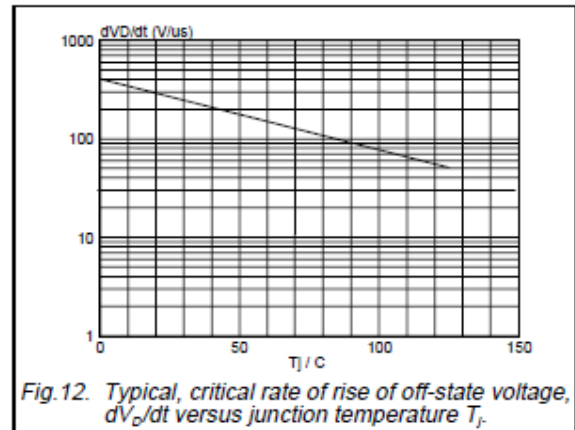
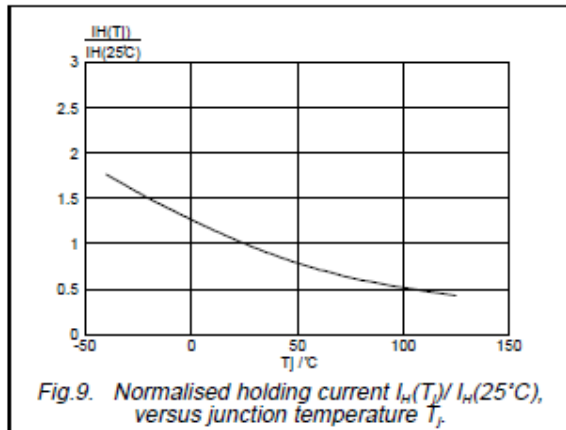
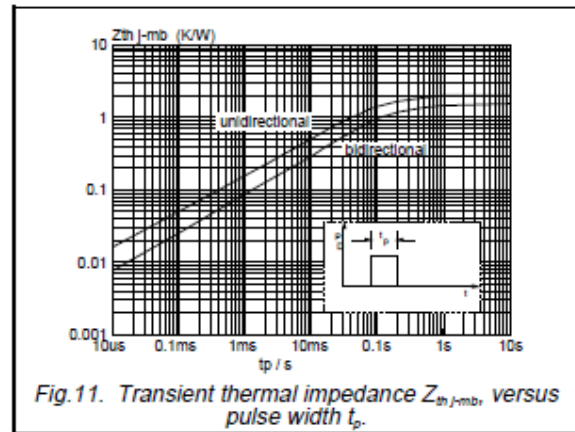
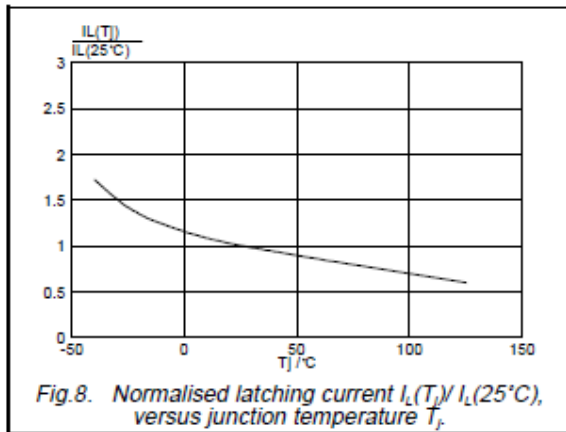
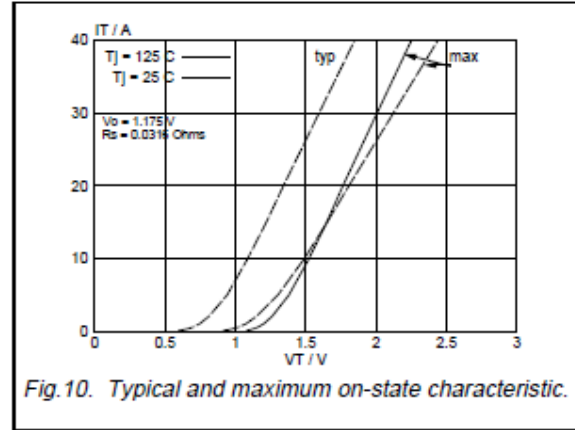
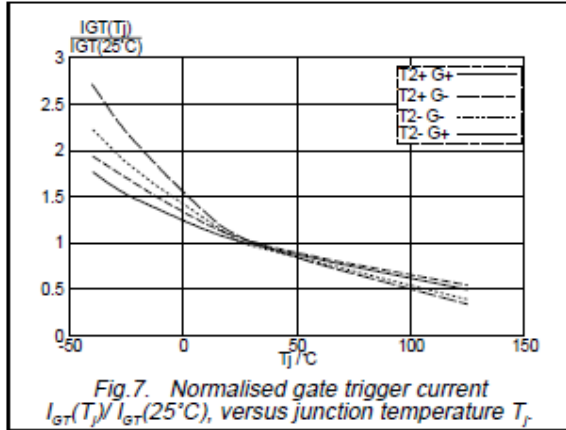


Fig. 6. Normalised gate trigger voltage  $V_{GT}(T_j) / V_{GT}(25^\circ\text{C})$ , versus junction temperature  $T_j$ .

Triacs  
sensitive gate

BT138 series E



**ANEXO G.**  
**Optoacoplador MOC3021**

**MOTOROLA**  
**SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA**

 Order this document  
 by MOC3020/D


## 6-Pin DIP Random-Phase Optoisolators Triac Driver Output (400 Volts Peak)

The MOC3020 Series consists of gallium arsenide infrared emitting diodes, optically coupled to a silicon bilateral switch.

- To order devices that are tested and marked per VDE 0884 requirements, the suffix "V" must be included at end of part number. VDE 0884 is a test option. They are designed for applications requiring isolated triac triggering.

Recommended for 115/240 Vac(rms) Applications:

- Solenoid/Valve Controls
- Lamp Ballasts
- Interfacing Microprocessors to 115 Vac Peripherals
- Motor Controls
- Static ac Power Switch
- Solid State Relays
- Incandescent Lamp Dimmers

**MAXIMUM RATINGS** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
--------	--------	-------	------

**INFRARED EMITTING DIODE**

Reverse Voltage	$V_R$	3	Volts
Forward Current — Continuous	$I_F$	80	mA
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Negligible Power in Triac Driver Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	100	mW
		1.33	mW/°C

**OUTPUT DRIVER**

Off-State Output Terminal Voltage	$V_{DRM}$	400	Volts
Peak Repetitive Surge Current ( $PW = 1\text{ ms}$ , 120 pps)	$I_{TSM}$	1	A
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	300	mW
		4	mW/°C

**TOTAL DEVICE**

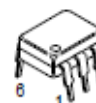
Isolation Surge Voltage <sup>(1)</sup> (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 Second Duration)	$V_{ISO}$	7500	Vac(pk)
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	330	mW
		4.4	mW/°C
Junction Temperature Range	$T_J$	-40 to +100	°C
Ambient Operating Temperature Range <sup>(2)</sup>	$T_A$	-40 to +85	°C
Storage Temperature Range <sup>(2)</sup>	$T_{stg}$	-40 to +150	°C
Soldering Temperature (10 s)	$T_L$	260	°C

- Isolation surge voltage,  $V_{ISO}$ , is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.
- Refer to Quality and Reliability Section in Opto Data Book for information on test conditions.

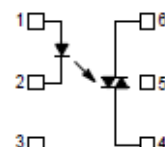
Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.  
GlobalOptoisolator is a trademark of Motorola, Inc.

**MOC3021**  
[IFT = 15 mA Max]  
**MOC3022**  
[IFT = 10 mA Max]  
**MOC3023\***  
[IFT = 5 mA Max]

\*Motorola Preferred Device

**STYLE 6 PLASTIC**


STANDARD THRU HOLE  
CASE 730A-04

**SCHEMATIC**


- ANODE
- CATHODE
- NC
- MAIN TERMINAL
- SUBSTRATE  
DO NOT CONNECT
- MAIN TERMINAL

**MOC3021 MOC3022 MOC3023**ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
<b>INPUT LED</b>					
Reverse Leakage Current ( $V_R = 3\text{ V}$ )	$I_R$	—	0.05	100	$\mu\text{A}$
Forward Voltage ( $I_F = 10\text{ mA}$ )	$V_F$	—	1.15	1.5	Volts
<b>OUTPUT DETECTOR (<math>I_F = 0</math> unless otherwise noted)</b>					
Peak Blocking Current, Either Direction (Rated $V_{DRM}^{(1)}$ )	$I_{DRM}$	—	10	100	nA
Peak On-State Voltage, Either Direction ( $I_{TM} = 100\text{ mA Peak}$ )	$V_{TM}$	—	1.8	3	Volts
Critical Rate of Rise of Off-State Voltage (Figure 7, Note 2)	$dv/dt$	—	10	—	$\text{V}/\mu\text{s}$
<b>COUPLED</b>					
LED Trigger Current, Current Required to Latch Output (Main Terminal Voltage = 3 V <sup>(3)</sup> )	$I_{FT}$	—	8	15	mA
MOC3021	—	—	—	10	
MOC3022	—	—	—	5	
Holding Current, Either Direction	$I_H$	—	100	—	$\mu\text{A}$

1. Test voltage must be applied within  $dv/dt$  rating.
2. This is static  $dv/dt$ . See Figure 7 for test circuit. Commutating  $dv/dt$  is a function of the load-driving thyristor(s) only.
3. All devices are guaranteed to trigger at an  $I_F$  value less than or equal to max  $I_{FT}$ . Therefore, recommended operating  $I_F$  lies between max  $I_{FT}$  (15 mA for MOC3021, 10 mA for MOC3022, 5 mA for MOC3023) and absolute max  $I_F$  (60 mA).

## TYPICAL ELECTRICAL CHARACTERISTICS

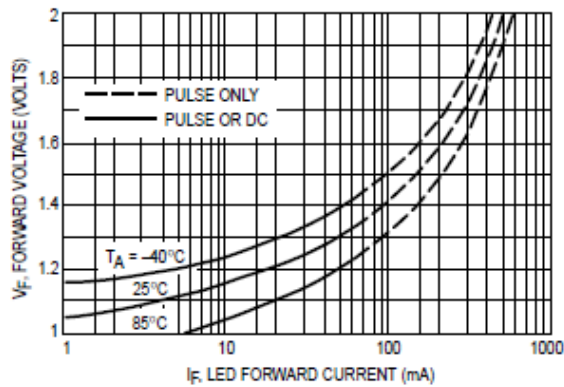
 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 

Figure 1. LED Forward Voltage versus Forward Current

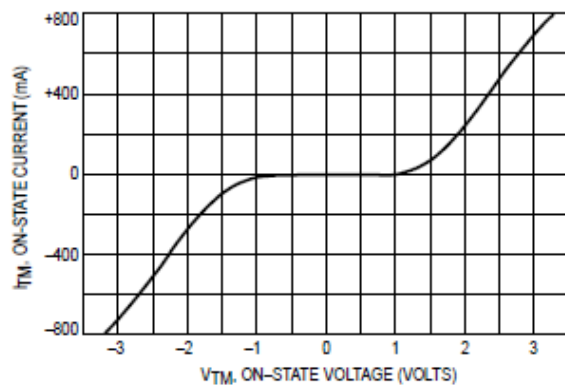


Figure 2. On-State Characteristics

**MOC3021 MOC3022 MOC3023**

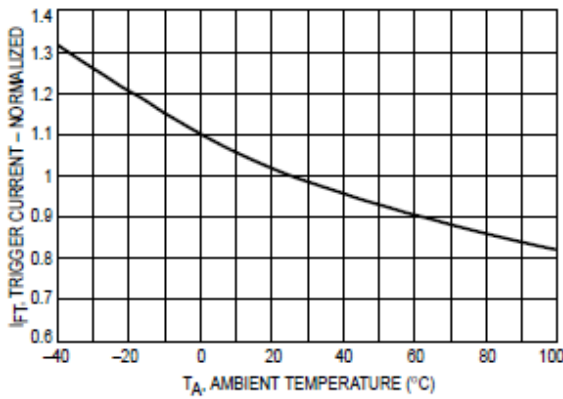


Figure 3. Trigger Current versus Temperature

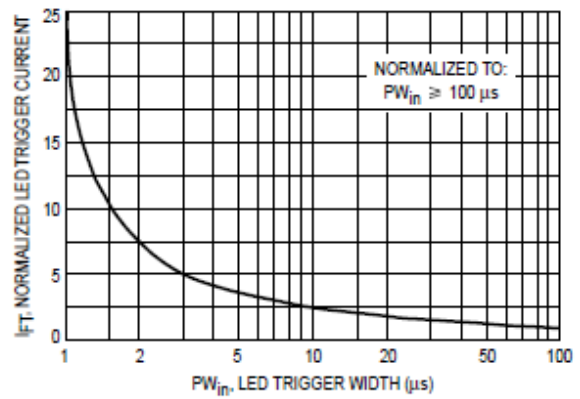


Figure 4. LED Current Required to Trigger versus LED Pulse Width

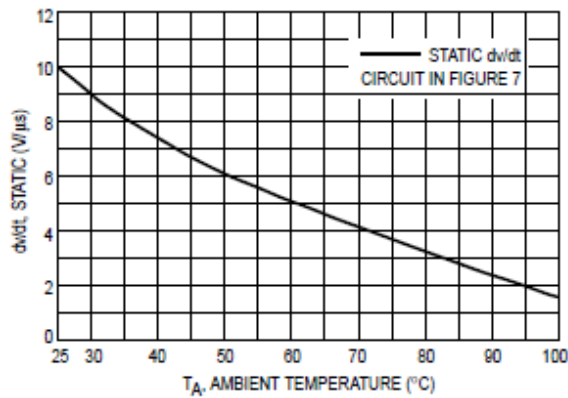


Figure 5. dv/dt versus Temperature

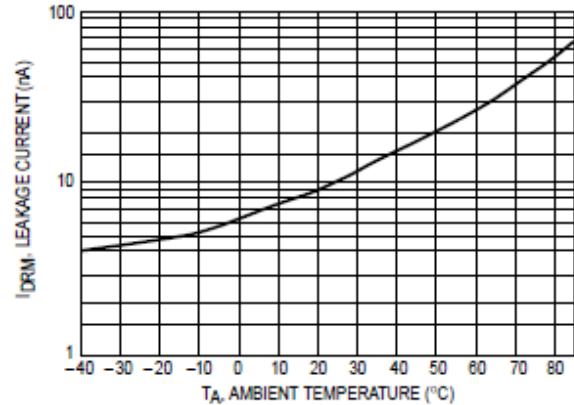
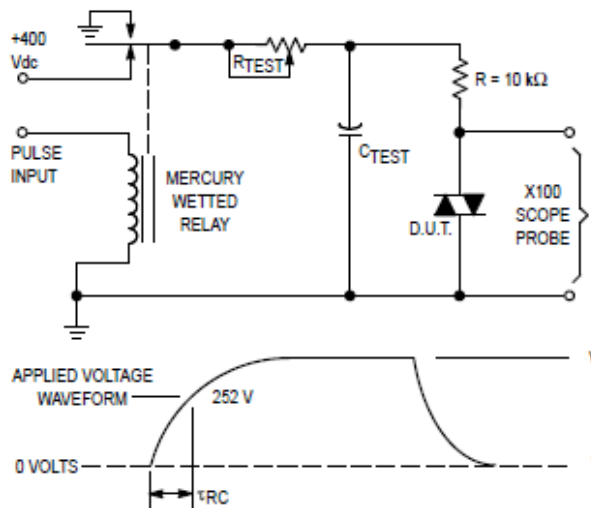
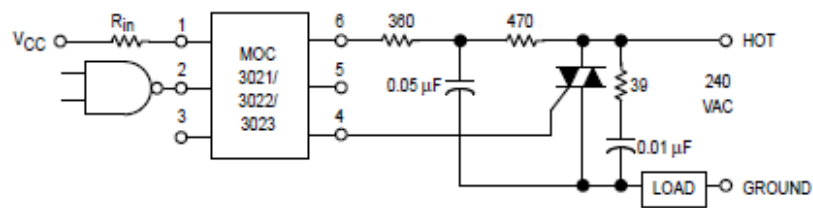


Figure 6. Leakage Current, IDRM versus Temperature



1. The mercury wetted relay provides a high speed repeated pulse to the D.U.T.
2. 100x scope probes are used, to allow high speeds and voltages.
3. The worst-case condition for static dv/dt is established by triggering the D.U.T. with a normal LED input current, then removing the current. The variable R<sub>TEST</sub> allows the dv/dt to be gradually increased until the D.U.T. continues to trigger in response to the applied voltage pulse, even after the LED current has been removed. The dv/dt is then decreased until the D.U.T. stops triggering. τ<sub>RC</sub> is measured at this point and recorded.

Figure 7. Static dv/dt Test Circuit

**MOC3021 MOC3022 MOC3023**

\* This optoisolator should not be used to drive a load directly. It is intended to be a trigger device only.

Additional information on the use of optically coupled triac drivers is available in Application Note AN-780A.

In this circuit the "hot" side of the line is switched and the load connected to the cold or ground side.

The 39 ohm resistor and 0.01  $\mu\text{F}$  capacitor are for snubbing of the triac, and the 470 ohm resistor and 0.05  $\mu\text{F}$  capacitor are for snubbing the coupler. These components may or may not be necessary depending upon the particular triac and load used.

Figure 8. Typical Application Circuit



**ANEXO H.**  
**Microcontrolador PIC 16F877A**



**PIC16F87XA**  
**Data Sheet**

28/40/44-Pin Enhanced Flash  
Microcontrollers



# PIC16F87XA

## 28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers

### Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873A
- PIC16F874A
- PIC16F876A
- PIC16F877A

### High-Performance RISC CPU:

- Only 35 single-word instructions to learn
- All single-cycle instructions except for program branches, which are two-cycle
- Operating speed: DC – 20 MHz clock input  
DC – 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of Flash Program Memory, Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM), Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to other 28-pin or 40/44-pin PIC16CXXX and PIC16FXXX microcontrollers

### Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler, can be incremented during Sleep via external crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
  - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
  - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
  - PWM max. resolution is 10-bit
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master mode) and I<sup>2</sup>C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address detection
- Parallel Slave Port (PSP) – 8 bits wide with external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for Brown-out Reset (BOR)

### Analog Features:

- 10-bit, up to 8-channel Analog-to-Digital Converter (A/D)
- Brown-out Reset (BOR)
- Analog Comparator module with:
  - Two analog comparators
  - Programmable on-chip voltage reference (VREF) module
  - Programmable input multiplexing from device inputs and internal voltage reference
  - Comparator outputs are externally accessible

### Special Microcontroller Features:

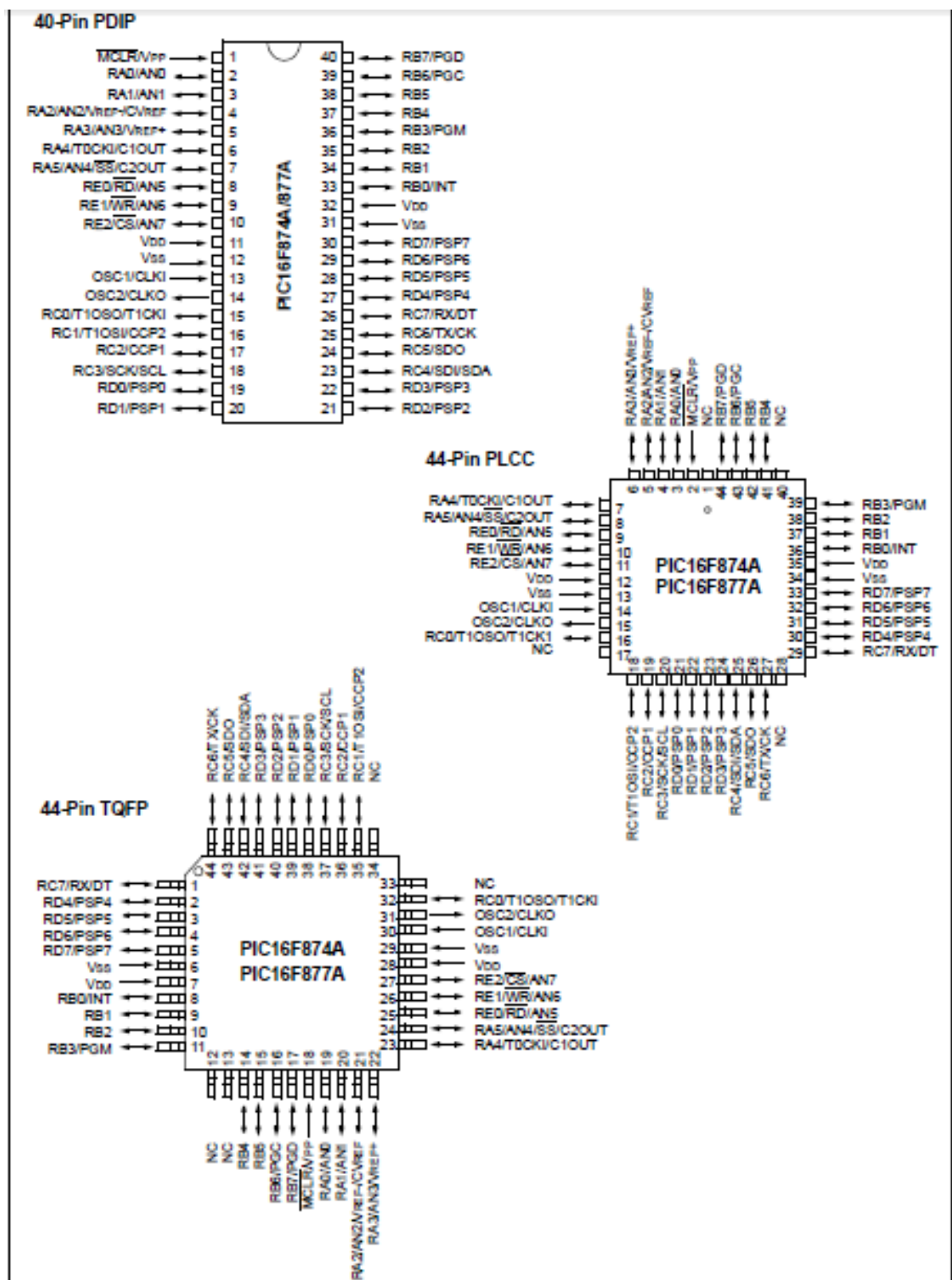
- 100,000 erase/write cycle Enhanced Flash program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM memory typical
- Data EEPROM Retention > 40 years
- Self-reprogrammable under software control
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- Single-supply 5V In-Circuit Serial Programming
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving Sleep mode
- Selectable oscillator options
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins

### CMOS Technology:

- Low-power, high-speed Flash/EEPROM technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)
- Commercial and Industrial temperature ranges
- Low-power consumption

Device	Program Memory		Data SRAM (Bytes)	EEPROM (Bytes)	I/O	10-bit A/D (ch)	CCP (PWM)	MSSP		USART	Timers 8/16-bit	Comparators
	Bytes	# Single Word Instructions						SPI	Master I <sup>2</sup> C			
PIC16F873A	7.2K	4096	192	128	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F874A	7.2K	4096	192	128	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F876A	14.3K	8192	368	256	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F877A	14.3K	8192	368	256	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2

# PIC16F87XA



**ANEXO I.**  
**Driver para motores a pasos ULN200xA**



## ULN2002A/ ULN2003A/ ULN2004A

HIGH VOLTAGE, HIGH CURRENT  
DARLINGTON TRANSISTOR ARRAYS

### Description

The ULN2002A, ULN2003A and ULN2004A are high voltage, high current Darlington arrays each containing seven open collector common emitter pairs. Each pair is rated at 500mA. Suppression diodes are included for inductive load driving, the inputs and outputs are pinned in opposition to simplify board layout.

Device options are designed to be compatible with common logic families:

ULN2002A (14-25V PMOS)

ULN2003A (5V TTL, CMOS)

ULN2004A (6-15V CMOS, PMOS)

These devices are capable of driving a wide range of loads including solenoids, relays, DC motors, LED displays, filament lamps, thermal print-heads and high-power buffers.

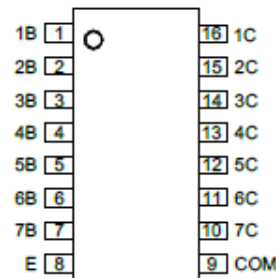
The ULN2002A, ULN2003A and ULN2004A are available in both a small outline 16-pin package (SO-16) and PDIP-16 package.

### Features

- 500mA Rated Collector Current (Single Output)
- High Voltage Outputs: 50V
- Output Clamp Diodes
- Inputs Compatible with Popular Logic Types
- Relay Driver Applications
- "Green" Molding Compound (No Br, Sb)
- **Totally Lead-Free & Fully RoHS Compliant (Notes 1 & 2)**
- **Halogen and Antimony Free. "Green" Device (Note 3)**

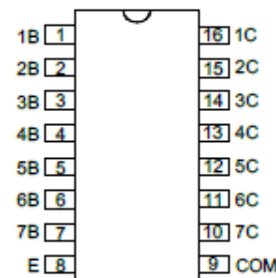
### Pin Assignments

(Top View)



SO-16

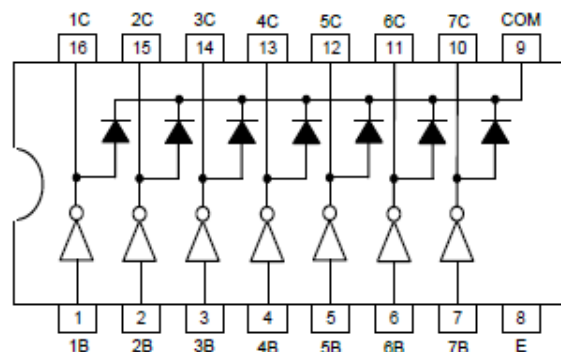
(Top View)



PDIP-16

- Notes:
1. No purposely added lead. Fully EU Directive 2002/95/EC (RoHS) & 2011/65/EU (RoHS 2) compliant.
  2. See [http://www.diodes.com/quality/lead\\_free.html](http://www.diodes.com/quality/lead_free.html) for more information about Diodes Incorporated's definitions of Halogen- and Antimony-free, "Green" and Lead-free.
  3. Halogen- and Antimony-free "Green" products are defined as those which contain <900ppm bromine, <900ppm chlorine (<1500ppm total Br + Cl) and <1000ppm antimony compounds.

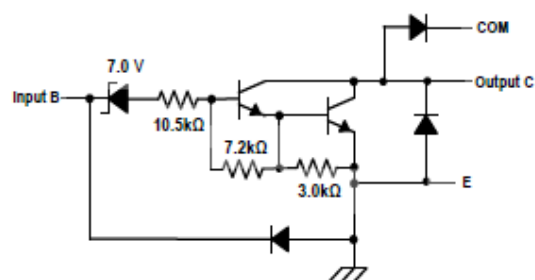
### Connection Diagram



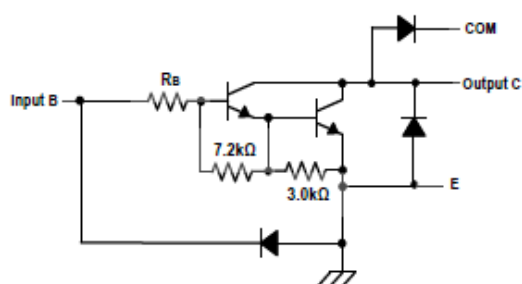
### Pin Descriptions

Pin Number SO-16/PDIP-16	Pin Name	Function
1	1B	Input Pair 1
2	2B	Input Pair 2
3	3B	Input Pair 3
4	4B	Input Pair 4
5	5B	Input Pair 5
6	6B	Input Pair 6
7	7B	Input Pair 7
8	E	Common Emitter (Ground)
9	COM	Common Clamp Diodes
10	7C	Output Pair 7
11	6C	Output Pair 6
12	5C	Output Pair 5
13	4C	Output Pair 4
14	3C	Output Pair 3
15	2C	Output Pair 2
16	1C	Output Pair 1

### Functional Block Diagram



ULN2002A



ULN2003A:  $R_a = 2.7k$   
 ULN2004A:  $R_a = 10.5k$

ULN2003A, ULN2004A



ULN2002A/ ULN2003A/ ULN2004A

**Absolute Maximum Ratings** (Note 4) (@ $T_A = +25^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified.)

Symbol	Parameter	Rating	Unit	
$V_{CC}$	Collector to Emitter Voltage	50	V	
$V_R$	Clamp Diode Reverse Voltage (Note 5)	50	V	
$V_I$	Input Voltage (Note 5)	30	V	
$I_{CP}$	Peak Collector Current	500	mA	
$I_{OK}$	Output Clamp Current	500	mA	
$I_{TE}$	Total Emitter Current	-2.5	A	
$\theta_{JA}$	Thermal Resistance Junction-to-Ambient (Note 6)	SO-16	63.0	$^\circ\text{C/W}$
		PDIP-16	50.0	
$\theta_{JC}$	Thermal Resistance Junction-to-Case (Note 7)	SO-16	12.0	$^\circ\text{C/W}$
		PDIP-16	15.0	
$T_J$	Junction Temperature	+150	$^\circ\text{C}$	
$T_{STG}$	Storage Temperature	-65 to +150	$^\circ\text{C}$	

- Notes:
- Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only. Functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.
  - All voltage values are with respect to the emitter/substrate terminal E, unless otherwise noted.
  - Maximum power dissipation is a function of  $T_J(\text{max})$ ,  $\theta_{JA}$  and  $T_A$ . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is  $P_D = (T_J(\text{max}) - T_A)/\theta_{JA}$ . Operating at the absolute maximum  $T_J$  of +150 $^\circ\text{C}$  can affect reliability.
  - Maximum power dissipation is a function of  $T_J(\text{max})$ ,  $\theta_{JC}$  and  $T_A$ . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is  $P_D = (T_J(\text{max}) - T_C)/\theta_{JC}$ . Operating at the absolute maximum  $T_J$  of +150 $^\circ\text{C}$  can affect reliability.

**Recommended Operating Conditions**

Symbol	Parameter	Min	Max	Unit
$V_{CC}$	Collector to Emitter Voltage	—	50	V
$T_A$	Operating Ambient Temperature	-40	+105	$^\circ\text{C}$

**Electrical Characteristics** (@ $T_A = +25^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified.)

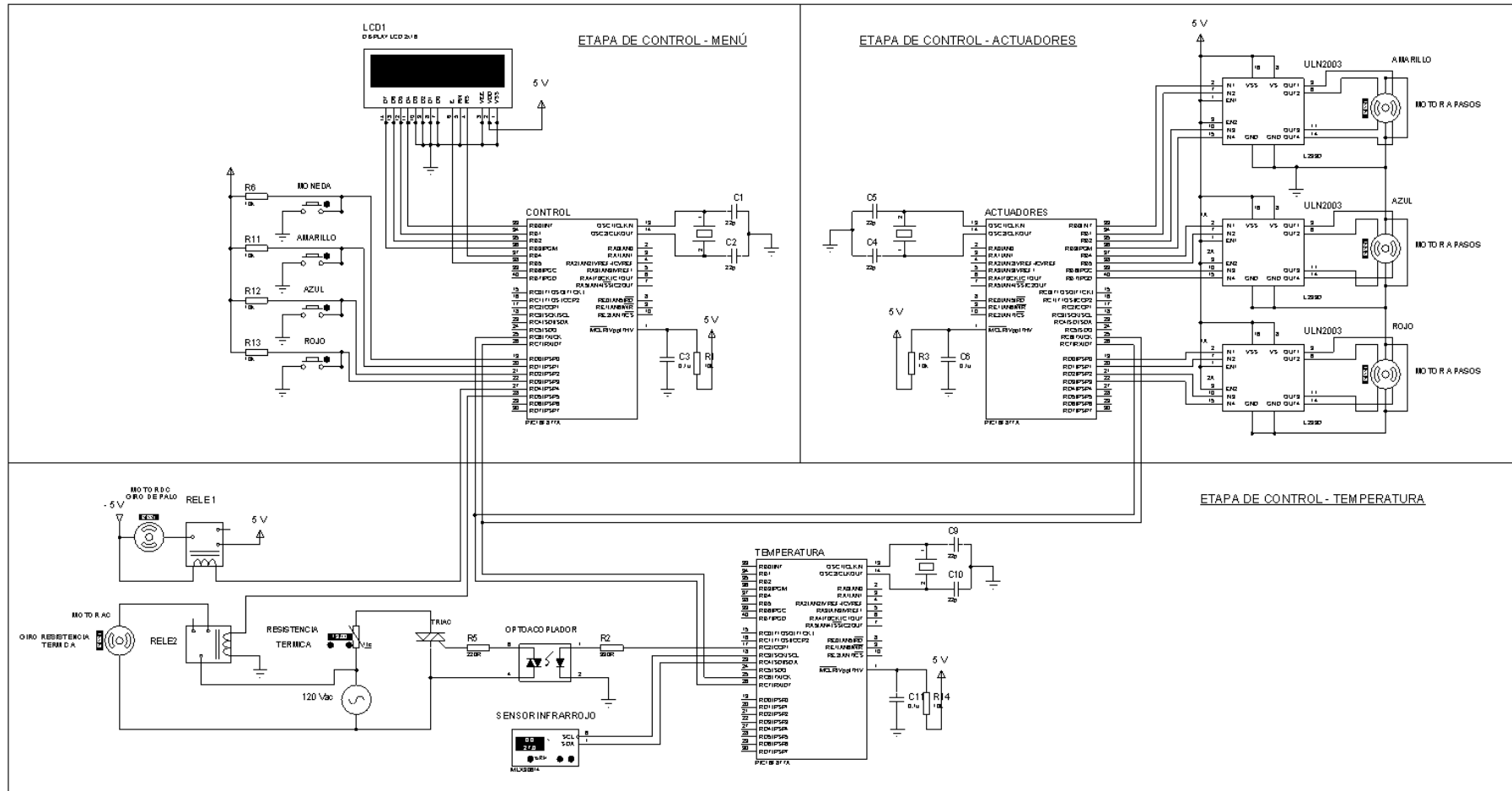
ULN2002A								
Symbol	Parameter	Test Figure	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit	
$V_{I(ON)}$	On State Input Voltage	6	$V_{CE} = 2V, I_C = 300\text{mA}$	—	—	13	V	
$V_{CE(SAT)}$	Collector Emitter Saturation Voltage	5	$I_I = 250\mu\text{A}, I_C = 100\text{mA}$	—	0.9	1.1	V	
			$I_I = 350\mu\text{A}, I_C = 200\text{mA}$	—	1	1.3		
			$I_I = 500\mu\text{A}, I_C = 350\text{mA}$	—	1.2	1.8		
$V_F$	Clamp Forward Voltage	8	$I_F = 350\text{mA}$	—	1.7	2	V	
$I_{CEX}$	Collector Cut-off Current	1	$V_{CE} = 50V, I_I = 0$	—	—	50	$\mu\text{A}$	
		2	$V_{CE} = 50V, T_A = +105^\circ\text{C}$	$I_I = 0$ $V_I = 6V$	—	—		100 500
$I_{I(OFF)}$	Off State Input Current	3	$V_{CE} = 50V, I_C = 500\mu\text{A}$	50	65	—	$\mu\text{A}$	
$I_I$	Input Current	4	$V_I = 17V$	—	0.82	1.25	mA	
$I_R$	Clamp Reverse Current	7	$V_R = 50V$	$T_A = +105^\circ\text{C}$	—	—	100	$\mu\text{A}$
				—	—	—	50	
$C_I$	Input Capacitance	—	$V_I = 0, f = 1\text{MHz}$	—	—	25	pF	



**ANEXO J.**  
**Diagrama Electrónico**

# CIRCUITO ELECTRÓNICO

## AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA DE ALGODÓN DE AZÚCAR



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL****APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de tutor del trabajo de titulación certifico:

Que el trabajo de titulación “**AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA DE ALGODÓN DE AZÚCAR.**”, presentado por el Sr. Marcos David Pacheco Utreras, estudiante de la carrera de Electrónica Digital y Telecomunicaciones, reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Tribunal de Grado, que se designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Quito D.M. Febrero del 2018

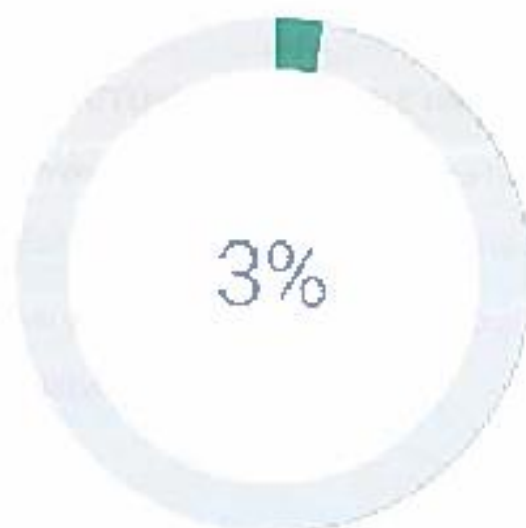
4  
TUTOR

.....  
Ing. Rene Ernesto Cortijo Leyva, Mg



PROYECTO de tesis 2018 Marcos Pac 

hace 13 horas



Similitud

4

0%

Paráfrasee

0%

Citas incorrecta

14

Coincidencias



**RIESGO MEDIO DE PLAGIO**

