

**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL DE
TEMPERATURA**

ANDRES DAVID CAICEDO GRAJALES

UNIVERSIDAD ECCI

FACULTAD DE INGENIERIA

COORDINACION DE INGENIERIA BIOMEDICA 2018

BOGOTA D.C

**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL DE
TEMPERATURA**

ANDRES DAVID CAICEDO GRAJALES

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL
TITULO DE TECNOLOGO EN ELECTROMEDICINA**

ASESOR: ANGEL VALETIN MOLINA MOJICA

UNIVERSIDAD ECCI

FACULTAD DE INGENIERIA

COORDINACION DE INGENIERIA BIOMEDICA 2018

BOGOTA D.C

Tabla de contenido

1. Introducción	1
2. Planteamiento del Problema	2
3. Objetivos	2
3.1. General.....	2
3.2. Específicos.....	2
4. Marco Teórico.....	3
5. Metodología	19
6. Presupuesto de Materiales	34
7. Resultados	35
8. Conclusiones	39
9. Recomendaciones	40
10. Bibliografía	41
11. Anexos.....	43

Lista de Figuras

Figura 1 Símbolo de la Resistencia Eléctrica

Figura 2 Partes de un Condensador Eléctrico

Figura 3 Tipos de configuraciones y estructura interna de un transistor BJT

Figura 4 Representación electrónica de un amplificador operacional

Figura 5 Símbolo y representación física del diodo semiconductor

Figura 6 Configuraciones del diodo semiconductor

Figura 7 Representación y estructura interna del integrado 555

Figura 8 Estados del 555 en configuración Astable

Figura 9 Esquema de un 555 configurado como Astable

Figura 10 Símbolo del pulsador

Figura 11 Circuito de aplicación de un optoacoplador en CA

Figura 12 Estructura interna de un Triac

Figura 13 Símbolo electrónico del Triac

Figura 14 Partes de un led y símbolo electrónico

Figura 15 Símbolo y representación física de un oscilador de cristal

Figura 16 Pines del microcontrolador PIC18F4550

Figura 17 Representación física de un ventilador de 12V

Figura 18 Representación física de un bombillo de 100W

Figura 19 Características del LM35

Figura 20 Partes del HIH4030

Figura 21 Representación física de una pantalla LCD 20x4

Figura 22 Representación de la función de un filtro

Figura 23 Ejemplo de un filtro activo

Figura 24 Respuesta de un filtro elimina banda y ecuaciones de funcionamiento

Figura 25 Diagrama de bloques del sistema

Figura 26 Filtro Rechaza Banda para los sensores de temperatura y humedad

Figura 27 Algoritmo de programación del microcontrolador PIC18F4550

Figura 28 Etapa de muestreo en la conversión A/D

Figura 29 Etapa de cuantización en la conversión A/D

Figura 30 Etapa de codificación en la conversión A/D

Figura 31 Esquema de conexión para el PIC18F4550

Figura 32 Etapa de Potencia para el Bombillo

Figura 33 Circuito PWM para el control de velocidad del ventilador

Figura 34 Instrucción a seguir para generar código hexadecimal

Figura 35 Programador para PIC

Figura 36 Comportamiento gráfico del control PID

Figura 37 Diagrama de funcionamiento de un control PID

Figura 38 Circuito de Aplicación de un control PID

Figura 39 Comportamiento del LM35 durante 10 min

Figura 40 Nivel de Calor del Bombillo de 100 W luego de 30 min

Figura 41 Circuito completo implementado a la caja de plástico

Figura 42 Circuito completo trabajando a 38°C

Figura 43 Ventilador implementado a la caja de plástico

Lista de Tablas

Tabla 1 Valores de capacitancia según la frecuencia del oscilador

Tabla 2 Presupuesto de materiales

Tabla 3 Cambio de intensidad del bombillo implementado luego de 10 min

Tabla 4 Cambio de intensidad en un bombillo de 100W luego de 30 min

Tabla 5 Respuesta del sensor LM35 en la practica

Glosario de Términos

Amplificador Operacional: Dispositivo electrónico que realiza operaciones matemáticas.

Astable: Es un circuito multivibrador que no tiene ningún estado estable, lo que quiere decir que tiene dos estados que son casi estables entre los que conmuta, permaneciendo en cada uno de ellos un tiempo determinado.

Bit: Es la unidad más pequeña de información. Forma parte del sistema binario y nos permite representar dos valores que son 0 y 1.

Bombillo: Es un objeto de vidrio que contiene un vacío y un alambre muy fino que usa resistencia de la electricidad para hacer luz.

Circuito 555: Es un circuito integrado que se utiliza para activar o desactivar circuitos durante intervalos de tiempo determinados.

Condensador: Componente electrónico que almacena carga eléctrica, para liberarla posteriormente.

Conversión A/D: Es la transcripción de señales analógicas en señal digital, con el objetivo de facilitar su procesamiento y hacer la señal resultante más inmune al ruido y otras interferencias a las que son más sensibles las señales analógicas.

Cultivo celular: Es un proceso mediante el cual ciertas células ya sean procariontas o eucariotas, pueden cultivarse en condiciones controladas.

Dimmer: Es un dispositivo el cual se encarga de manipular la intensidad de luz que emite una bombilla o foco.

Diodo: Dispositivo electrónico de dos electrodos por el que circula la corriente en un solo sentido.

Diodo LED: Es un diodo que cuando esta polarizado directamente emite una luz.

Filtro Electrónico: Son una variedad de circuitos selectivos en frecuencia, que permiten el paso de algunas frecuencias, mientras son atenuadas otras frecuencias.

Humedad Relativa: Es una propiedad que describe la cantidad de agua en el aire en forma de vapor, comparándolo con la cantidad máxima de agua que puede ser mantenida a una temperatura dada.

Microcontrolador: Es un circuito integrado programable capaz de ejecutar un único programa grabado en su memoria.

Oscilador de Cristal: Es un oscilador electrónico que utiliza la resonancia mecánica de un cristal vibratorio de materia piezoeléctrico para crear una señal eléctrica con una frecuencia precisa.

Optoacoplador: Es un componente electrónico que se utiliza como transmisor y receptor óptico, es decir que pueden transmitir de un punto a otro una señal eléctrica sin necesidad de conexión física ni cables mediante una señal de pulso o una luminosa.

Pantalla LCD: Es una pantalla delgada, formada por un determinado número de píxeles que se colocan delante de una fuente de luz. Este tipo de pantalla utiliza pequeñas cantidades de energía eléctrica y por eso las pantallas de LCD se utilizan en dispositivos con pilas o baterías.

Potenciómetro: Es un componente electrónico que nos permite variar la resistencia eléctrica de un circuito.

Relé: Es un dispositivo electromecánico que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que por medio de una bobina y un electroimán se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

Resistencia Eléctrica: es toda oposición que encuentra la corriente a su paso por un circuito eléctrico cerrado, atenuando o frenando el libre flujo de circulación de las cargas eléctricas o electrones.

Sensor: Es un dispositivo que capta magnitudes físicas como luz, temperatura, etc.

Temperatura: Es una magnitud física que refleja la cantidad de calor, ya sea de un cuerpo, de un objeto o del ambiente.

Transductor: Es un dispositivo que transforma una magnitud física en una señal eléctrica.

Transistor: Dispositivo electrónico que cierra o abre un circuito o amplifica una señal.

Triac: Es un interruptor electrónico utilizado para activar cargas de corriente alterna.

Ventilador: Es un instrumento o aparato que impulsa o remueve el aire de un espacio determinado.

Resumen

Se trabajó en el diseño e implementación de un sistema para el control de un cultivo celular. Los cultivos celulares manejan una temperatura de 37°C y 95% de humedad relativa. Para generar el ambiente se utilizó una caja de plástico con una base mayor de 21x21 cm, base menor de 16 cm y altura de 24 cm. Los circuitos se componen de 3 módulos , el primero consiste en la detección de las señales de temperatura y humedad las cuales son filtradas para luego ser enviadas al segundo módulo que consiste en un microcontrolador PIC el cual se encarga de recibir las señales para llevar a cabo la conversión análogo digital y posteriormente enviarlas a una pantalla LCD para visualizar los valores medidos por los sensores y como etapa final se configuraron dos salidas del PIC que se activan en caso de que haya un valor alto o bajo de temperatura en donde se utilizó un bombillo en caso de que haya una temperatura menor a 37°C y un ventilador en caso de que se registre una temperatura mayor a 37°C.

Palabras Clave: Diseño, Sensor, Cultivo, Celular, Control, Temperatura y Humedad.

1. Introducción

El cultivo celular es el proceso mediante el que células, ya sean células procariotas o eucariotas, pueden cultivarse en condiciones controladas, las células se propagan fuera del organismo de origen, estas permiten comprender mejor la fisiología celular, virología y la toxicología. En ingeniería de tejidos es de gran importancia ya que con ello se han construido diferentes estructuras de piel y órganos artificiales y también se han utilizado en la producción de vacunas. Las células de mamífero se mantienen a ciertas condiciones de temperatura, humedad, oxígeno y dióxido de carbono (CO₂). Ellas trabajan a una temperatura de 37°C con un nivel de oxígeno del 95% y un nivel de CO₂ del 5% en un ambiente húmedo. El presente proyecto trata sobre el diseño y construcción de un prototipo de incubadora celular de bajo costo en el cual se va trabajar en el control de las variables de temperatura y humedad.

La parte electrónica se divide en 3 módulos. El primero consiste en la detección de las señales de temperatura y humedad con sus respectivas etapas de filtrado las cuales se diseñaron por medio de amplificadores operacionales que consisten en un filtro Notch que se encarga de rechazar la frecuencia generada por la tomacorriente que es de 60 Hz. La señal de temperatura es tomada del sensor LM35 el cual tiene salida analógica, es decir que a cierto valor de temperatura tendremos un valor de voltaje respectivo. El sensor LM35 nos arroja 10 mV por cada grado centígrado es decir que a 37°C tendremos 370 mV. Como último la señal de humedad es tomada por medio del sensor HIH4030 que al igual que el LM35 es con salida analógica, este sensor nos entrega 3.268 V a 75.3% de humedad relativa según las especificaciones técnicas que aparecen en el anexo 5. La segunda etapa consiste en un microcontrolador PIC18F4550 el cual se programó en un lenguaje de programación llamado CCS. En el microcontrolador llegan las señales de los sensores ya filtradas para posteriormente llevar a cabo la conversión análogo digital y finalmente enviar los datos a una pantalla de cristal líquido (LCD) para mostrar los valores medidos de cada uno de los sensores. La tercera etapa consiste en los dispositivos que regulan la temperatura del sistema en donde se implementó un bombillo que se encarga de subir la temperatura en caso de que este por debajo de los 37°C y un ventilador que se activara en caso de registrar temperaturas mayores a 37°C.

Para el circuito del bombillo se implementó un optoacoplador en el cual llega la señal de activación cuando el PIC registre una temperatura menor a 37°C, la señal de activación es enviada a través del puerto RB5 del PIC y esto posteriormente activa el bombillo por medio

de un triac BT134. Y finalmente para el ventilador se implementó un circuito basado en un CI 555 que funciona como regulador, el cual permite controlar la velocidad del ventilador a través de un potenciómetro.

Al final del documento se encontrara una tabla la cual muestra detalladamente el costo de los materiales que se utilizaron para el proyecto.

2. Planteamiento del Problema

Los sistemas que permiten controlar las variables de ambientes controlados, muestran un aporte relevante en distintas áreas del conocimiento. Una de las variables más analizadas en sistemas de control es la temperatura (T°). El presente trabajo muestra un análisis de cómo se podría implementar un sistema que permita medir y controlar la temperatura, extrapolando éste a sistemas de medida para un ambiente celular en un laboratorio de bajo costo. Luego de hacer un estudio del arte relacionado con el tema en particular, surge la siguiente pregunta a fin de poder desarrollar el trabajo.

¿Es posible realizar un sistema de control de bajo costo que permita medir la temperatura, mostrando un alto grado de eficiencia en la medida obtenida?

3. Objetivos

3.1. General

- Diseñar e implementar un sistema de control de temperatura a bajo costo.

3.2. Específicos

- ✓ Analizar el tiempo que demora el bombillo en estabilizar el sistema de control.
- ✓ Lograr una estabilidad de 37°C en el sistema de control de manera permanente.
- ✓ Obtener una velocidad de muestreo rápida por parte del PIC18F4550 para las lecturas de los sensores.

- ✓ Encontrar la diferencia entre un control ON/OFF y un PID.

4. Marco Teórico

Para una mejor comprensión de lo que abarca el proyecto es necesario definir algunos conceptos clave.

4.1. Resistencia Eléctrica

Es la oposición que encuentra la corriente a su paso por un circuito eléctrico cerrado, atenuando o frenando el libre flujo de circulación de cargas eléctricas. Los electrones circulan por el circuito eléctrico de una forma más o menos organizada, de acuerdo con la resistencia que encuentren a su paso. A menor resistencia mejor será el orden de los electrones en el conductor, pero cuando la resistencia es alta comienzan a chocar entre ellos y empiezan a liberar energía en forma de calor. Para el cálculo de la resistencia eléctrica se utiliza la siguiente ecuación.

$$R = \frac{V}{I} \quad (1)$$

Donde V es el voltaje del circuito eléctrico y I corresponde a la corriente.

Para la medición de la resistencia se utiliza la unidad de medida ohmios que equivale a 1 V/A. Esta unidad de medida se simboliza como Ω .

El símbolo utilizado para la resistencia eléctrica es el que se muestra en figura 1.



Figura 1 Símbolo de la Resistencia Eléctrica

4.2. Condensador Eléctrico

Es un componente eléctrico que almacena carga eléctrica, para liberarla posteriormente. El condensador utiliza dos placas o superficies conductoras en forma de láminas separadas por un material dieléctrico el cual actúa como aislante. Estas láminas son las que se cargaran eléctricamente cuando conectemos el condensador a una batería o una fuente de voltaje. Las placas se cargaran con la misma cantidad de carga pero con distintos signos es decir



una parte positiva y negativa. El material dieléctrico que separa las láminas normalmente es de aire, tantalio, papel, aluminio, cerámica y otros plásticos, esto depende del tipo de condensador. El material dieléctrico es importante porque sirve para aislar componentes eléctricamente entre sí. En el caso del condensador separa las dos láminas con carga eléctrica.

La cantidad de carga eléctrica se mide en Faradios, pero como esta unidad es muy grande se utiliza otro tipo de notación la cual es de microfaradio 10 elevado a menos 6 faradios.

Dicha cantidad de carga que almacena el condensador se denomina capacidad del condensador y viene expresada por la siguiente formula:

$$C = \frac{q}{V} \quad (2)$$

En donde q es la carga de una de las dos placas y se mide en Culombios, V es el voltaje entre los dos extremos o placas y se mide en Voltios.

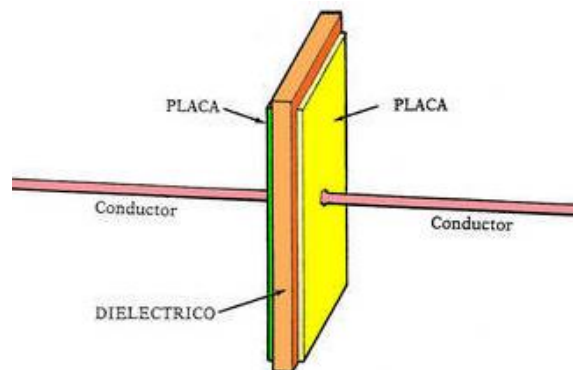


Figura 2 Partes de un Condensador Eléctrico

4.3. Transistor BJT

Es un dispositivo electrónico que regula el flujo de corriente o de tensión actuando como un interruptor o amplificador para señales electrónicas. Existen 2 tipos de configuraciones que a continuación se muestran en la figura 3.

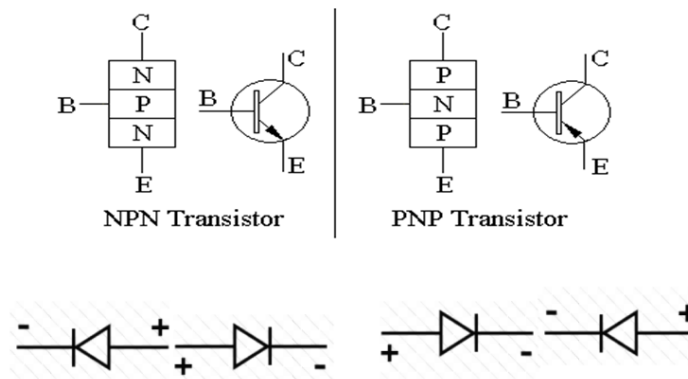


Figura 3 Tipos de configuraciones y estructura interna de un transistor BJT

El transistor se compone de una base un colector y un emisor como se observa en la figura 4. Como observamos el transistor por dentro tiene 2 diodos y es por esto que se habla de material tipo NPN o PNP.

La flecha del transistor nos puede indicar tres cosas:

- ✚ El terminal emisor.
- ✚ La configuración NPN o PNP.
- ✚ El sentido de la corriente.

4.4. Amplificador Operacional

Es un dispositivo electrónico que posee dos entradas activas referidas a masa (entrada diferencial). La entrada inversora (-), y la no inversora (+). Tiene una salida y se alimenta con tensión simétrica.

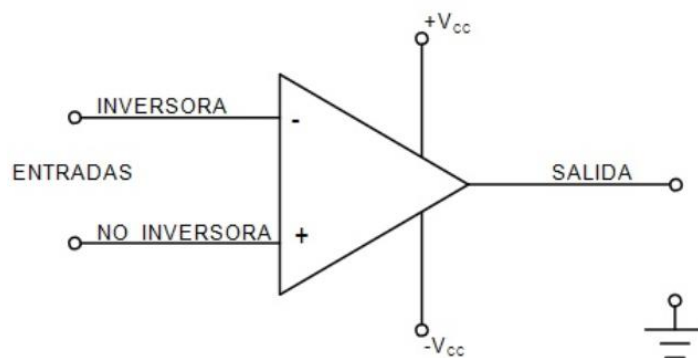


Figura 4 Representación electrónica de un amplificador operacional

Si la señal entra por la inversora la señal de salida aparecerá invertida 180° . La alimentación se realiza por medio de dos fuentes simétricas una $+V_{cc}$ y otra $-V_{cc}$ esto permite central la señal de salida respecto al nivel de referencia (Tierra).

Los amplificadores operacionales se utilizan para aumentar una señal, un ejemplo es que al amplificador lleguen 2V y a la salida se obtenga 4V.

4.5. Diodo Semiconductor

Es un componente electrónico que solo permite el paso de la corriente en un solo sentido.

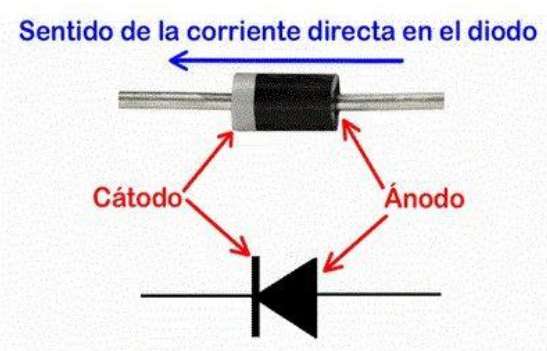


Figura 5 Símbolo y representación física del diodo semiconductor

Observando el símbolo del diodo se observan: A –ánodo y K –cátodo

Los diodos constan de dos partes, una llamada N y la otra llamada P, separados por una juntura llamada barrera o unión. Esta barrera es de 0,3 V en el diodo de germanio y de 0,7 V en el de silicio. El diodo puede trabajar de dos maneras diferentes:

Polarización Directa: Cuando la corriente que circula por el diodo sigue la ruta de la flecha o sea del ánodo al cátodo. En este caso el diodo se comporta como un cortocircuito.

Polarización Inversa: Cuando la corriente en el diodo desea circular en sentido opuesto a la flecha, es decir del cátodo al ánodo. En este caso el diodo se comporta como un circuito abierto.

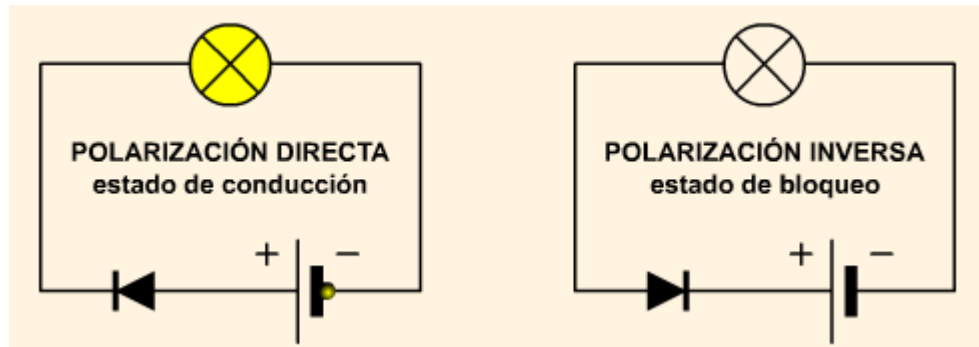


Figura 6 Configuraciones del diodo semiconductor

4.6. Circuito Integrado 555

Es un circuito electrónico complejo en forma de una pastilla pequeña de material semiconductor encapsulado o envasado en una sola pieza. Esta pieza es una carcasa de la que salen unas patillas que servirán para conectar el circuito integrado al circuito.

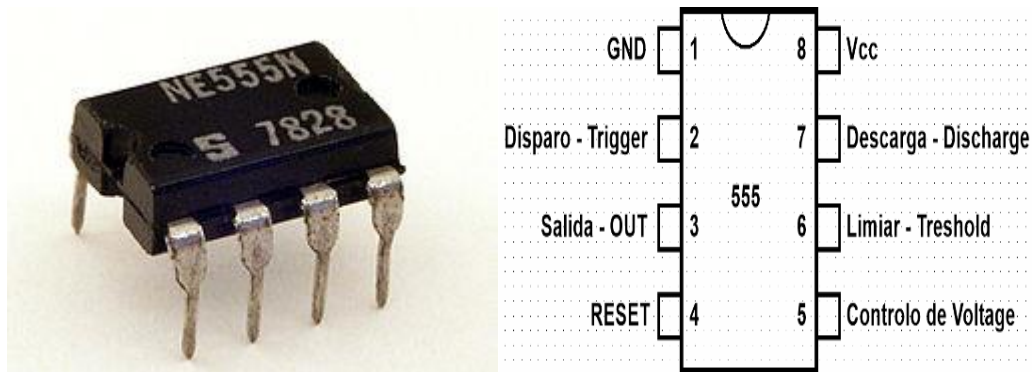


Figura 7 Representación y estructura interna del integrado 555

Este circuito integrado se utiliza para activar o desactivar circuitos durante intervalos de tiempo determinados, es decir se usa como temporizador. Las patillas del integrado cumplen ciertas funciones específicas.

- ✓ Patilla 1: Se conecta la tierra del circuito 0V.
- ✓ Patilla 2: Disparo se denomina esta hace que se active o no la señal de salida de la patilla 3.
- ✓ Patilla 3: Es la salida, esto depende de cómo configuremos el circuito integrado.

- ✓ Patilla 4: Reset. Si por algún motivo esta patilla no se utiliza hay que conectarla a V_{cc} para evitar que el 555 se reinicie.
- ✓ Patilla 5 : Control de Voltaje
- ✓ Patilla 6: Es una entrada a un comparador interno que tiene el 555 y se utiliza para poner la salida a nivel bajo.
- ✓ Patilla 7: Utilizado para descargar con efectividad el condensador externo utilizado por el temporizador para su funcionamiento.
- ✓ Patilla 8: Donde se conecta el voltaje o tensión de alimentación que va de 4.5 V a 18 V.

Circuito 555 Astable

En esta configuración el 555 no tiene estado posible, la salida 3 va cambiando continuamente entre el nivel bajo y el alto, independientemente del estado de la entrada del pin 2. El tiempo que estará la salida en alto y bajo dependerá de los componentes del circuito.

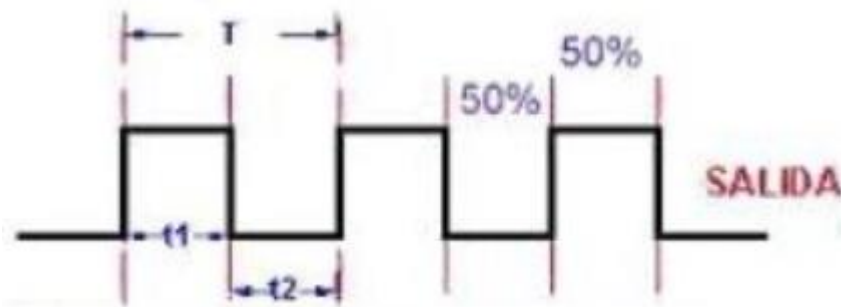


Figura 8 Estados del 555 en configuración Astable

Si se tuviera un led a la entrada y la salida este estaría encendiéndose y apagándose todo el tiempo, como vemos se genera una señal oscilante. El periodo de la onda es el tiempo que tarda en repetirse un estado determinado y en este caso será:

$$T = T_1 + T_2 \quad (3)$$

T_1 y T_2 no necesariamente deben ser el mismo tiempo, aunque en la gráfica de la figura es el mismo. Para calcular T_1 y T_2 utilizamos las siguientes ecuaciones:

$$T_1 = 0,693 * (R_1 + R_2) * C \quad (4)$$

$$T_2 = 0,693 * R_2 * C \quad (5)$$

T1 es el tiempo que estará en estado alto la salida es decir encendido el led y T2 es el tiempo que estará en estado bajo la salida el led apagado. La resistencia RB será la que nos determine el tiempo que estará la salida desactivada.

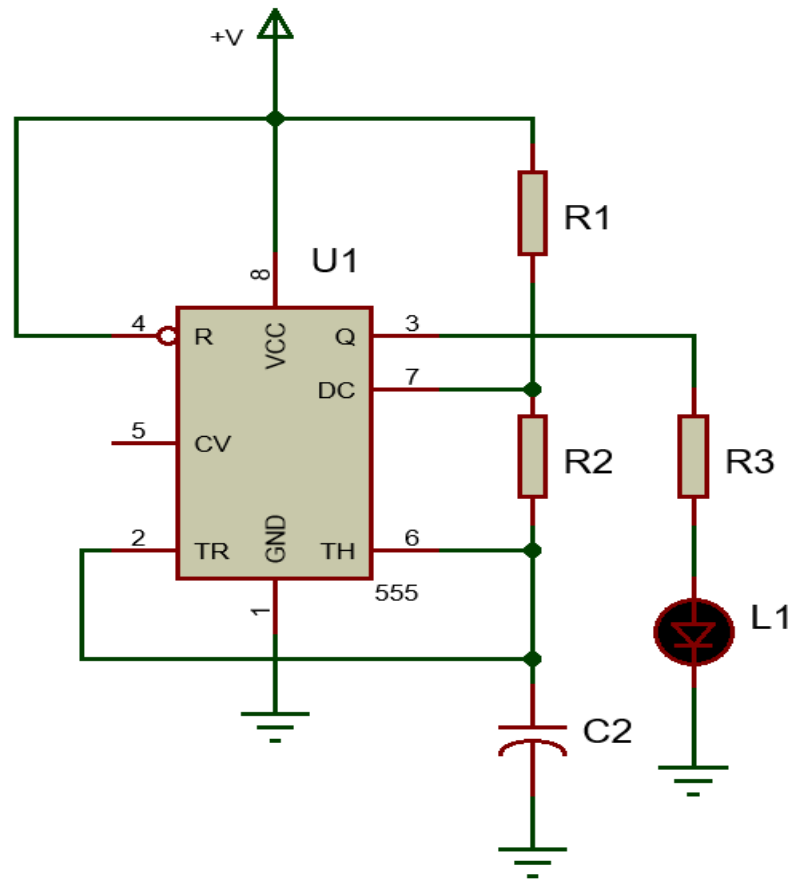


Figura 9 Esquema de un 555 configurado como Astable

Otra variable importante en esta configuración es la frecuencia que es el número de veces que se repite un periodo cada segundo. La fórmula utilizada para la frecuencia es la siguiente:

$$F = \frac{1}{T} = \frac{\sqrt{2}}{C(R_1 + 2R_2)} \quad (6)$$

Como vemos solamente es dividir el tiempo total del periodo T (estado alto y bajo), el valor que nos da la fórmula es Hertzios que nos dice las repeticiones cada segundo.

4.7. Pulsador

Es un dispositivo simple con dos posiciones, EN y AP (Encendido y Apagado).

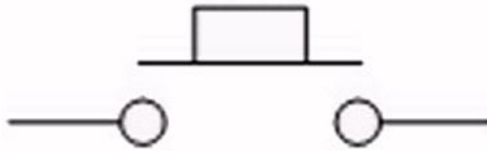


Figura 10 Símbolo del pulsador

4.8. Optoacoplador

Es un componente electrónico que se utiliza como transmisor y receptor óptico, es decir que pueden transmitir de un punto a otro una señal eléctrica sin necesidad de conexión física ni cables mediante una señal de pulso o una luminosa.

Estos suelen reemplazar los relés tradicionales. Se usan para aislar dos circuitos, uno que trabaja a poca tensión llamado circuito de control y el otro a alta tensión denominado circuito de potencia. Normalmente se utilizan señales provenientes de un 555 para enviarlas al optoacoplador y que active una carga en nuestro caso será la de un bombillo.

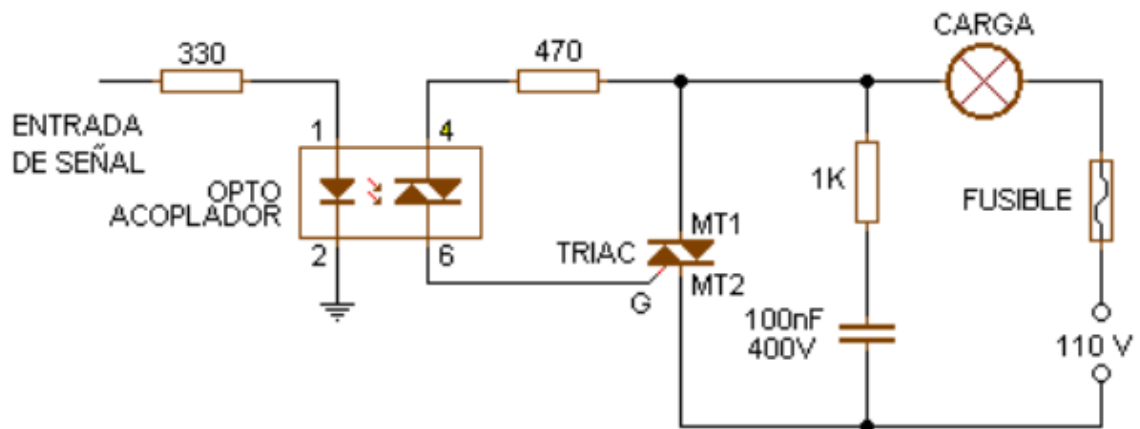


Figura 11 Circuito de aplicación de un optoacoplador en CA

4.9. Triac

Es un componente electrónico semiconductor de tres terminales utilizado para controlar la corriente. Su nombre viene del termino Triode for Alternating Current lo que traduce tríodo para corriente alterna.

Un triac se utiliza para controlar una carga de AC (Corriente Alterna), semejante a un transistor que se puede utilizar para controlar una carga de CC (Corriente Continua). Podemos definirlo como un interruptor electrónico pero para corriente alterna.

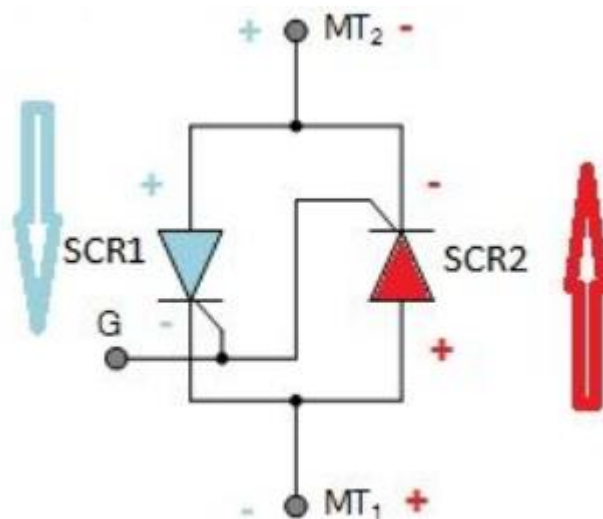


Figura 12 Estructura interna de un Triac

El triac es como un tiristor pero la diferencia está en que el tiristor es capaz de conducir en una sola dirección desde el ánodo al cátodo, el triac es un dispositivo bidireccional es decir que puede conducir por 2 direcciones la corriente.

El disparo del Triac se realiza aplicando una corriente a la patilla puerta. La puerta recibe una señal de pulso y el Triac funcionara como conductor y transmitirá la corriente en una u otra dirección.

La corriente dejara de circular en el triac cuando la corriente que pasa por los diodos caiga por debajo de un cierto valor llamado corriente umbral o de mantenimiento.

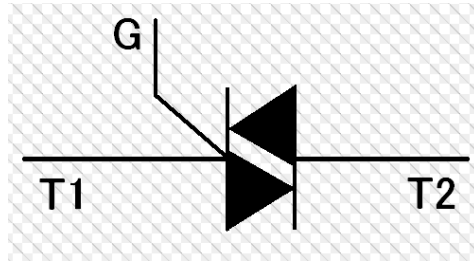


Figura 13 Símbolo electrónico del Triac

4.10. Diodo led

Es un diodo que cuando está polarizado directamente emite luz. Los diodos led tienen dos patillas de conexión, una larga y otra corta. Para que pase la corriente y emita luz se debe conectar la patilla larga al polo positivo y la corta al negativo. En caso contrario la corriente no pasará y no emitirá luz. Los diodos led trabajan a una tensión de 2V, si se desea conectar a una tensión mayor se debe colocar una resistencia en serie para que no se quemé. Para el cálculo de la resistencia se tiene en cuenta la corriente que el led necesita para su correcto funcionamiento.

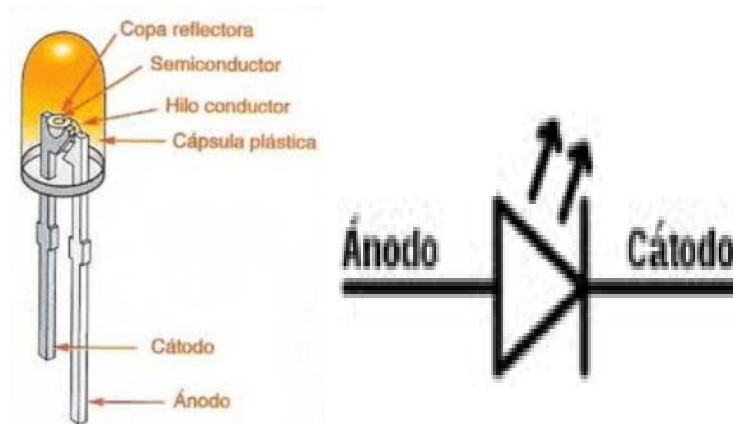


Figura 14 Partes de un led y símbolo electrónico

4.11. Oscilador de Cristal

Es un circuito indispensable para el funcionamiento del microcontrolador y el cual además define la velocidad a la cual se va a trabajar. Existen 3 modos de oscilador: el LP, XT y HS. El cristal debe ser conectado a los pines 13 y 14 del microcontrolador (Ver figura 31). Según el oscilador que utilizemos debemos colocar 2 capacitores que cumplen la función de ser una carga capacitiva para el cristal operando en modo de resonancia en paralelo, en el cual

este componente se comportara como una inductancia. Aparte sirven para asegurar la estabilidad de la oscilación.

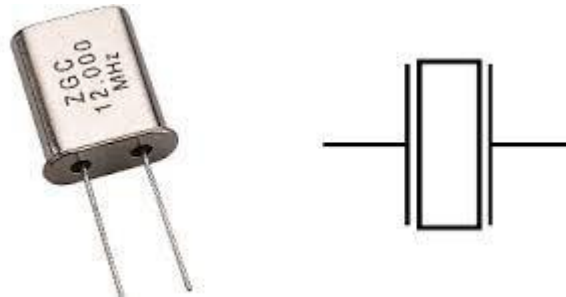


Figura 15 Símbolo y representación física de un oscilador de cristal

Según el valor de frecuencia del oscilador se elige el valor de los condensadores a partir de la Tabla 2.

Modo	Frecuencia	Osc1/CLKin	Osc2/CLKout
LP	32 kHz	68 - 100 pF	68 - 100 pF
	200 kHz	15 - 33 pF	15 - 33 pF
XT	2 MHz	15 - 33 pF	15 - 33 pF
	4 MHz	15 - 33 pF	15 - 33 pF
HS	4 MHz	15 - 33 pF	15 - 33 pF
	10 MHz	15 - 33 pF	15 - 33 pF

Tabla 1 Valores de capacitancia según la frecuencia del oscilador

4.12. Microcontrolador PIC

Es un circuito integrado, en cuyo interior toda la arquitectura de un computador, esto es CPU, memorias RAM, EEPROM, y circuitos de entrada y salida. Como tal un microcontrolador de fábrica, no realiza tarea alguna, este debe ser programado para que realice desde un simple parpadeo de un led hasta un sofisticado control de un robot. Un microcontrolador es capaz de realizar la tarea de muchos circuitos lógicos como compuertas AND, OR, NOT, NAND, conversores A/D, D/A, temporizadores, decodificadores, etc..., simplificando todo el diseño a una placa de reducido tamaño y pocos elementos.

Para el lenguaje de programación del PIC se va incorporar un programa denominado CCS Compiler que es un compilador C que contiene operadores estándar del lenguaje C y funciones incorporadas como:

- ✚ Temporizadores y módulos PWM.
- ✚ Convertidores A/D
- ✚ LCD Controladores

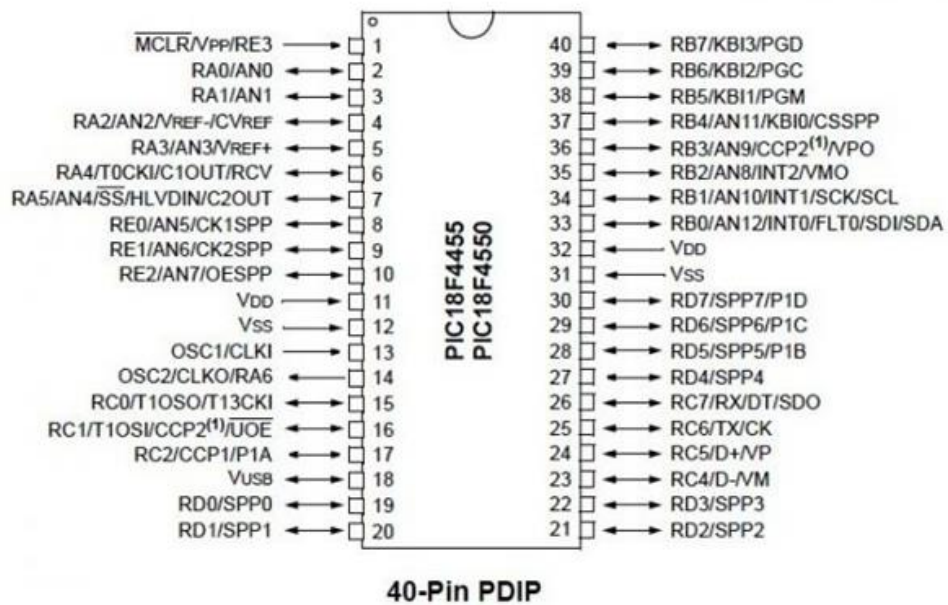


Figura 16 Pines del microcontrolador PIC18F4550

4.13. Ventilador

Aparato para ventilar o refrigerar un lugar impulsando aire a una presión moderada, generalmente mediante un motor que hace girar unas aspas. Se utilizara un ventilador de 12V.



Figura 17 Representación física de un ventilador de 12V

4.14. Bombillo

Es un globo de cristal en el que se ha hecho un vacío y dentro del cual se halla un filamento metálico que al ser atravesado por una corriente eléctrica emite luz visible. Se va trabajar con un bombillo de 100 W el cual va aumentando su temperatura con el tiempo.



Figura 18 Representación física de un bombillo de 100W

4.15. Sensor LM35

Es un sensor de temperatura con una precisión calibrada de 1°C y un rango que va desde los -55°C a 150°C , tiene salida lineal y equivale a $10\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$. Entre las características más importantes tenemos:

- Calibrado directamente en $^{\circ}\text{Celsius}$.

- Escala de Factor lineal.
- Opera entre 4 y 20 voltios de alimentación.
- Bajo auto-calentamiento.
- Exactitud garantizada 0.5 °C (a 25°C).

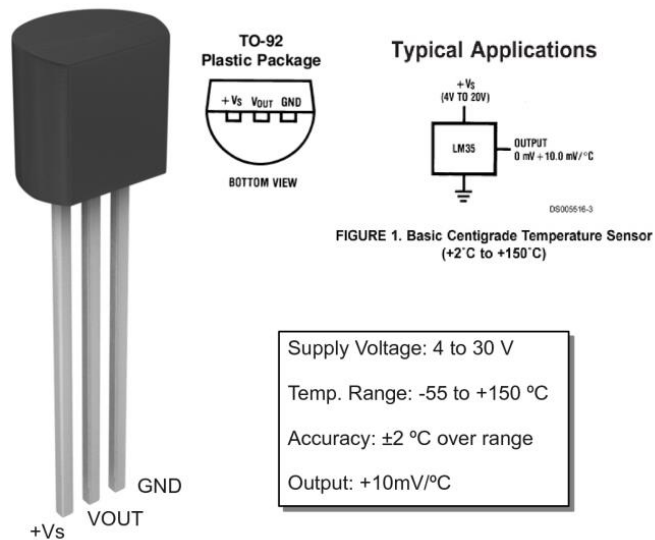


Figura 19 Características del LM35

4.16. Sensor de Humedad HIH4030

Es un sensor que mide la humedad relativa con salida analógica, a 0.958V tendremos 0% y a 3.268V se tendrá 73.3% de humedad relativa según las especificaciones técnicas.



Figura 20 Partes del HIH4030

4.17. Pantalla LCD

Es un dispositivo de visualización grafica para la presentación de caracteres, símbolos o incluso dibujos, dispone de 4 filas de 20 caracteres. Básicamente estas pantallas están integradas por diminutos puntos. Poseen dos capas de material polarizante. Entre las capas se introduce una solución de cristal líquido. Luego una señal eléctrica hace que los cristales se alineen de tal manera que impidan o no el paso de la luz. Cuando la pantalla se pone negra, todos sus cristales están alineados para que no pase luz.

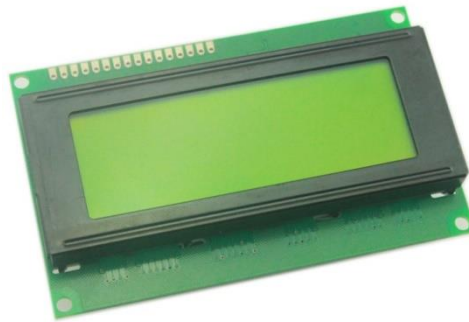


Figura 21 Representación física de una pantalla LCD 20X4

4.18. Filtros Activos

En general los filtros son una variedad de circuitos selectivos en frecuencia, que permiten el paso de algunas frecuencias, mientras son atenuadas las otras frecuencias.

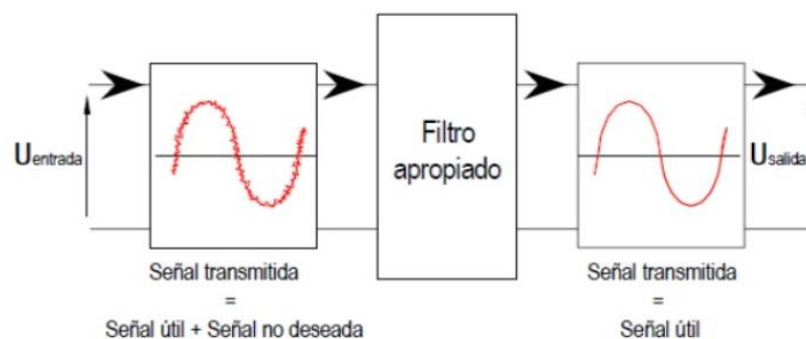


Figura 22 Representación de la función de un filtro

Los filtros activos utilizan un amplificador de alta ganancia junto con elementos RLC.

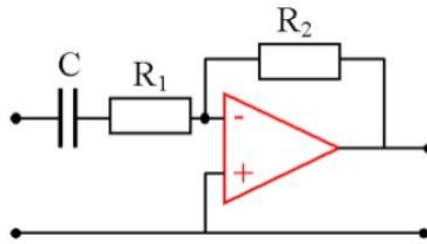


Figura 23 Ejemplo de un filtro activo

Las ventajas de los filtros activos son que permiten eliminar inductancias que en bajas frecuencias son voluminosas y aparte proporcionan una gran amplificación de la señal de entrada (ganancia), la cual es muy importante cuando se trabaja con señales de niveles muy bajas.

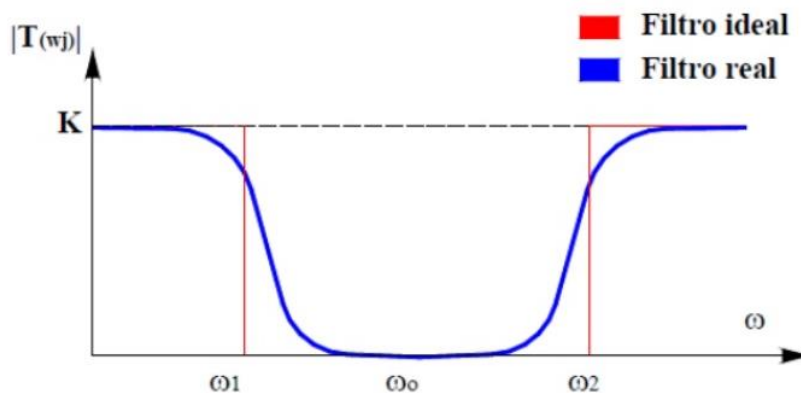
Los filtros activos se pueden clasificar en 4.

- Pasa bajo
- Pasa alto
- Pasa banda
- Rechaza banda

Para nuestro caso hablaremos del rechaza banda que es el que utilizaremos para el desarrollo del proyecto.

Filtro Rechaza Banda

Permite el paso de las frecuencias inferiores o superiores a dos frecuencias determinadas, que se denomina de corte inferior (FC1) y de corte superior (FC2), respectivamente. Son atenuadas las frecuencias comprendidas en la banda delimitada por estos 2 valores.



$$\omega_0 = \sqrt{\omega_1 \cdot \omega_2}$$

Ancho de banda de eliminación

$$\omega = \omega_2 - \omega_1$$

Figura 24 Respuesta de un filtro elimina banda y ecuaciones de funcionamiento

5. Metodología

Para el desarrollo del proyecto se va trabajar con una caja de plástico con una base mayor de 21x21 cm, base menor de 16 cm y altura de 24 cm aquí se colocaran los sensores y los dispositivos para la regulación de la temperatura y medición de la humedad. El tipo de control utilizado para el proyecto será el ON/OFF en el cual la señal de control solo puede tomar dos valores. Para nuestro caso los valores serán los de temperatura ya sean los mayores o menores a 37°C. Un control ON/OFF matemáticamente se expresa como:

$$u = \begin{cases} u_{max}, & e > 0 \\ u_{min}, & e < 0 \end{cases}$$

Formula 7 Ecuación matemática del control ON/OFF

Donde $e = y_{sp} - y$ (diferencia entre la referencia especificada por el operador y la salida medida del proceso) es el denominado error de control. Esta ley de control implica que siempre se usa la acción correctiva máxima. De esta manera, la variable manipulada tiene su valor más grande cuando el error es positivo y su valor más pequeño cuando el error es negativo. Este tipo de control muchas veces es apropiado para mantener una variable controlada cerca de valor de referencia que fue especificada.

A continuación se mostrara el diagrama de bloques de la figura 25 para entender mejor el sistema de control del cultivo celular.

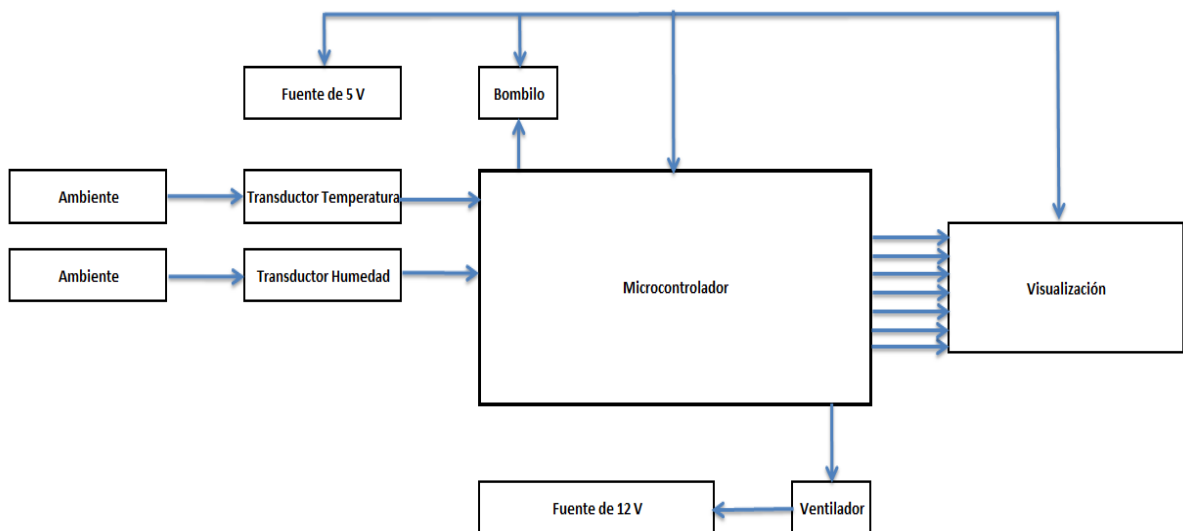


Figura 25 Diagrama de bloques del sistema

La parte electrónica comprende 3 módulos principales como se ve en el diagrama de bloques de la figura 25. El primer módulo consiste en medir las variables de temperatura y humedad para que luego los sensores transformen estas señales a un valor de tensión específico y que luego sean enviadas a una etapa de filtrado. Para el diseño del filtro definimos una frecuencia de corte de 60 Hz ya que el objetivo es rechazar la frecuencia generada por la toma eléctrica al conectar la fuente de voltaje.

Para el diseño del filtro debemos tener en cuenta la siguiente ecuación:

$$F_o = \frac{1}{2\pi RC} \quad (8)$$

Definiremos los siguientes valores para hallar la frecuencia central

$$R = 22 \text{ K}\Omega \text{ y } C = 120 \text{ nF}$$

$$F_o = \frac{1}{2\pi(120 \text{ nF})(22 \text{ K}\Omega)} = 60,3 \text{ Hz}$$

$$R_x = \frac{R}{2} = \frac{22 \text{ K}\Omega}{2} = 11 \text{ K}\Omega$$

$$C_x = 2C = 2(120 \text{ nF}) = 240 \text{ nF}$$

Como no existe condensador de este valor se utilizara uno de 220 nF

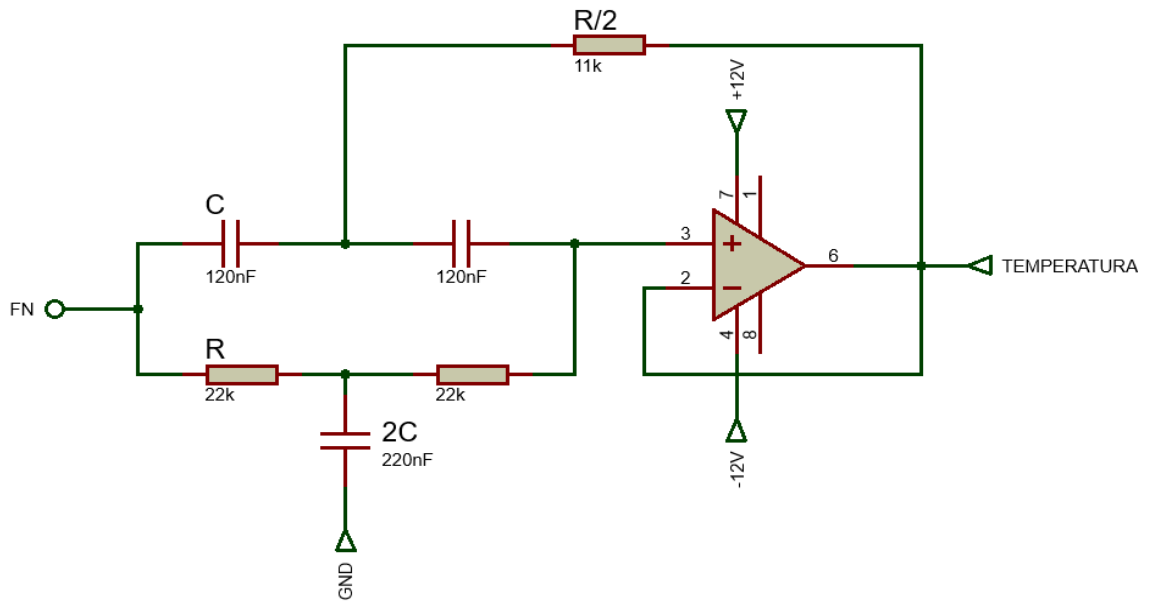


Figura 26 Filtro Rechaza Banda para los sensores de temperatura y humedad

El segundo módulo consiste en el procesamiento de las señales de los sensores por medio del Microcontrolador PIC18F4550 donde se lleva a cabo la etapa de conversión analógica digital para posteriormente enviar la señal a una pantalla LCD que se encargara de mostrar los valores medidos por los sensores. La tarea hecha por el microcontrolador se resume en el diagrama de flujo de la figura 27.

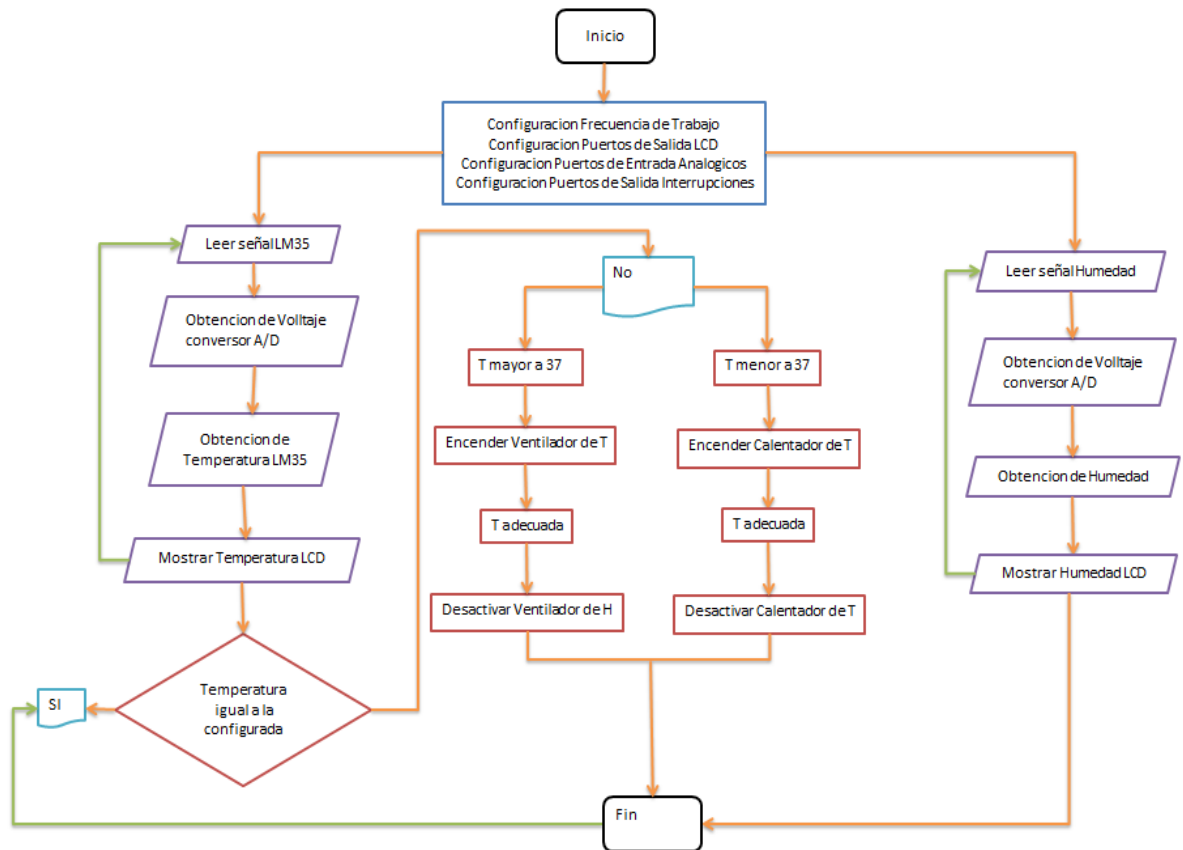


Figura 27 Algoritmo de programación del microcontrolador PIC18F4550

Inicialmente como aparece en el diagrama de flujo se debe configurar la frecuencia de trabajo del PIC18F4550 la cual será de 20 MHz. Posteriormente se declaran las entradas y salidas del microcontrolador, las entradas son los puertos análogos RB0 y RB1 que se encargan de medir los valores enviados por los sensores de temperatura y humedad, posteriormente se declaran las salidas para la pantalla LCD el puerto utilizado fue el D y seguidamente se activan las salidas con interrupciones es decir las que van a activar el bombillo y el ventilador en caso de registrar valores de temperatura altos o bajos.

Una vez realizado este proceso se procede a la etapa de leer la señal de los sensores para realizar la etapa de conversión análogo digital y así enviar el valor a la LCD para que a partir de esta información el sistema tome la decisión de encender el ventilador o el bombillo o si la temperatura está en su rango ideal no activar ningún dispositivo.

Para entender mejor en que consiste la etapa de conversión A/D es necesario saber sus diferentes etapas.

La parte de conversión analógica digital consiste en 4 etapas primordiales:

1. Muestreo: El muestreo digital convierte el voltaje en números los cuales pueden ser fácilmente representados y vueltos nuevamente a su forma original. Para realizar el muestreo de una señal eléctrica analógica y convertirla en digital, el primer paso consiste en tomar diferentes muestras de tensiones o voltajes en diferentes puntos de la onda sinusoidal.



Figura 28 Etapa de muestreo en la conversión A/D

Razón de muestreo: La frecuencia de muestreo de una señal en un segundo es conocida como razón de muestreo medida en Hertz (Hz). La razón de muestreo determina el rango de frecuencias de un sistema. A mayores razones de muestreo, tendremos más calidad o precisión.

2. Cuantización: Es el proceso de convertir valores continuos (voltajes) en serie de valores discretos. El muestreo mide el tiempo por instancia un ejemplo 44,100 muestras por segundo y la Cuantización es la técnica donde un evento analógico es medido dado un valor numérico.

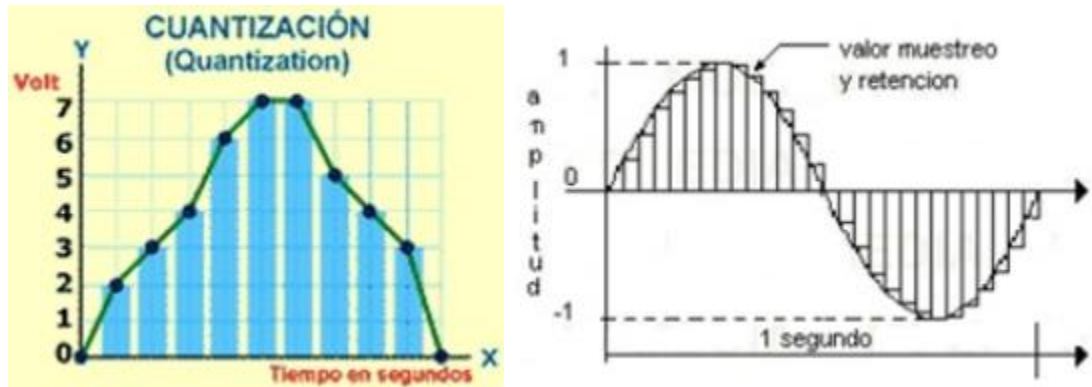


Figura 29 Etapa de cuantizacion en la conversion A/D

3. Codificación: Consiste en la traducción de los valores de tensión eléctrica analógicos que ya han sido cuantificados al sistema binario.



Figura 30 Etapa de codificación en la conversión A/D

Con el microcontrolador se aproxima una señal analógica por medio de pequeños cuadros rectángulos digitales. Entre más resolución tenga nuestro microcontrolador, más pequeños pueden ser los rectángulos que se forman y más aproximado puede quedar nuestra señal analógica. El conversor A/D convierte la señal analógica en un número digital (binario), el número es proporcional a la señal analógica.

En el caso del microcontrolador PIC18F4550 el conversor A/D es de 10 bits y la señal de entrada puede estar entre 0 y 5V, sin embargo el conversor A/D tiene dos niveles de referencia V_{ref+} y V_{ref-} que me indican entre que valores será la señal analógica de entrada.

Con 10 bits el mayor número binario que se puede tener es 1024, por lo tanto la resolución del conversor A/D está dada por la siguiente formula:

$$R = \frac{V_{REF+} + V_{REF-}}{1024} \quad (9)$$

En nuestro caso tomaremos a $V_{ref+} = 5V$ y el negativo será $0V$ así que la resolución del microcontrolador será:

$$R = \frac{5V}{1024} = 4.8 \text{ mV}$$

Si por ejemplo quisiéramos saber el valor en bits a partir de $2V$ de la señal analoga solamente es dividir entre la resolución.

$$V_B = \frac{2V}{4.8 \text{ mV}} = 416 \text{ Bits}$$

Los pasos para trabajar con el conversor A/D del PIC18F4550 son los siguientes:

- ✓ En el encabezado del programa se incluye la siguiente línea si se va trabajar el conversor A/D a 10 bits.

```
#device ADC=10
```

- ✓ En el programa principal
 - a. Configurar las entradas análogas
 - b. Seleccionar el tipo de reloj del conversor A/D
 - c. Especificar el canal a utilizar para la conversión

```
Setup_adc_ports (Valor);
```

Esta función configure los pines del ADC para que sean entradas análogas, si en valor le colocamos ALL_ANALOG declaramos todas las entradas como análogas.

```
Setup_adc (Modo);
```

Esta función selecciona el tipo de reloj del conversor A/D Modo puede ser:

```
ADC_CLOCK_DIV_2  
ADC_CLOCK_DIV_8  
ADC_CLOCK_DIV_32  
ADC_CLOCK_INTERNAL
```

Este es el tiempo necesario para obtener el valor digital de la tensión analógica de entrada. Este tiempo depende de la fuente de reloj que se seleccione para la conversión. Para realizar una correcta conversión A/D, el reloj debe seleccionarse para asegurar un tiempo de 1.6 uS.

Set_adc_channel (Canal)

Especifica el canal a utilizar por la función

Read_adc ()

Lee el valor de la conversión

A= Read_adc ()

Esta función lee el valor digital del conversor análogo a digital

Para nuestro caso que necesitamos una temperatura de 37°C debemos primero calcular el valor en bits. Sabemos que a este valor de temperatura tenemos 370 mV y convirtiendo esta cantidad a voltios tenemos 0.37 V, ahora calculando los bits tenemos que:

$$V_B = \frac{0.37 V * 1024 Bits}{5 V} = 75.7 Bits$$

Teniendo los bits que se leen a los 37°C se calcula el factor para transformar bits a grados centígrados.

$$GC = \frac{37°C * VL}{75.7 Bits} = VL * 0.483$$

Donde GC son grados centígrados y VL es el valor leído en bits.

Habiendo ya explicado la etapa de conversión A/D para ambas señales finalmente se declaran unas sentencias para activar las cargas que van a regular la temperatura del sistema.

Para esta programación se colocaron al final unos diodos LED los cuales se encargan de dar alerta en caso de que haya una humedad menor o mayor a la indicada. En los microcontroladores PIC los LED funcionan con una corriente de 15 mA para calcular

el valor de la resistencia eléctrica del LED tenemos en cuenta el voltaje de funcionamiento.

$$R_{LED} = \frac{5V}{15 mA} = 330\Omega$$

LED 1 (Rojo) en caso de presentarse una humedad menor al 95%.

LED 2 (Verde) en caso de presentarse una humedad ideal de 95%.

LED 3 (Amarillo) en caso de presentar una humedad mayor al 95%.

En el anexo 1 podremos observar la programación que se realizó en CCS.

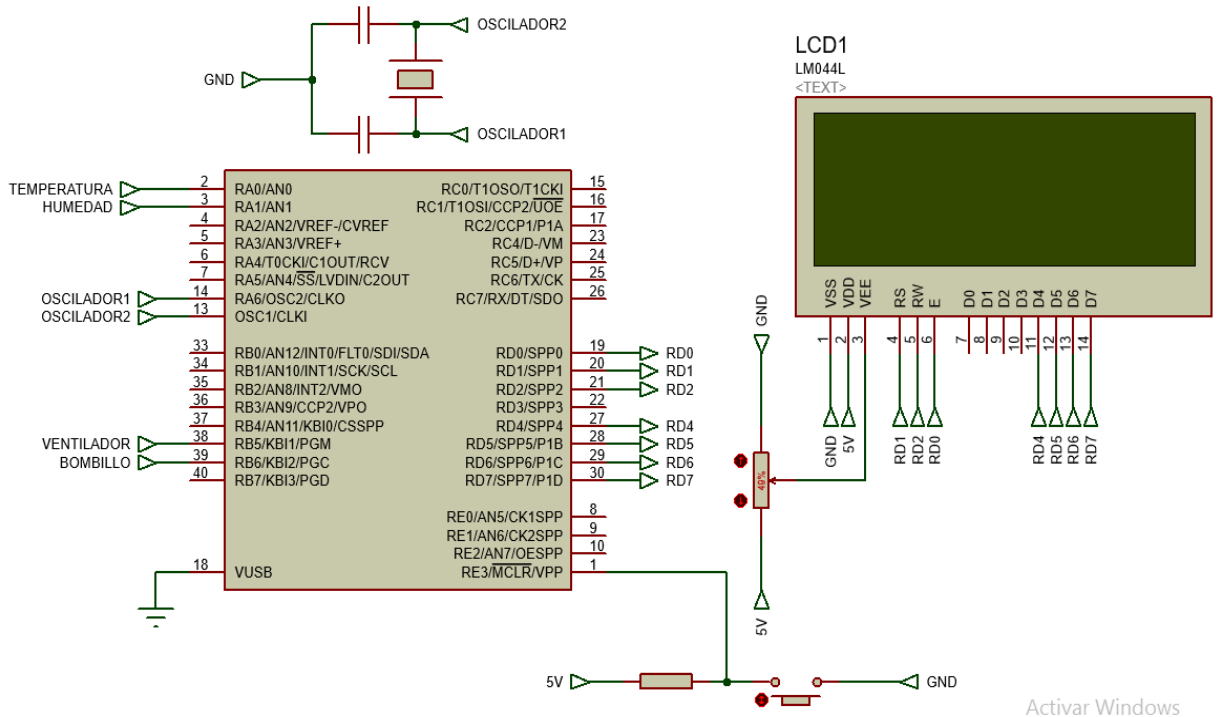


Figura 31 Esquema de conexión para el PIC18F4550

Se implementó una resistencia de 1K con un pulsador para poder reiniciar el microcontrolador cuando se desee.

Algo importante para el funcionamiento del microcontrolador son los pines que no aparecen en el esquema que son los 11, 12, 31 y 32 estos se conectan de la siguiente manera.

11 a +Vcc y 12 a GND

32 a +Vcc y 31 a GND

Como parte final tenemos el circuito que regula la temperatura del sistema en el cual está el bombillo y el ventilador.

Para el circuito del bombillo se implementó un optoacoplador de referencia MOC3021. En la salida del puerto RB5 del microcontrolador se envía una señal de activación al optoacoplador con el fin de activar un bombillo en CA por medio de un triac BT134 cuyas especificaciones técnicas se adjunta en el anexo 2. La intensidad del bombillo puede ser controlada colocando un potenciómetro en el pin 1 del optoacoplador.

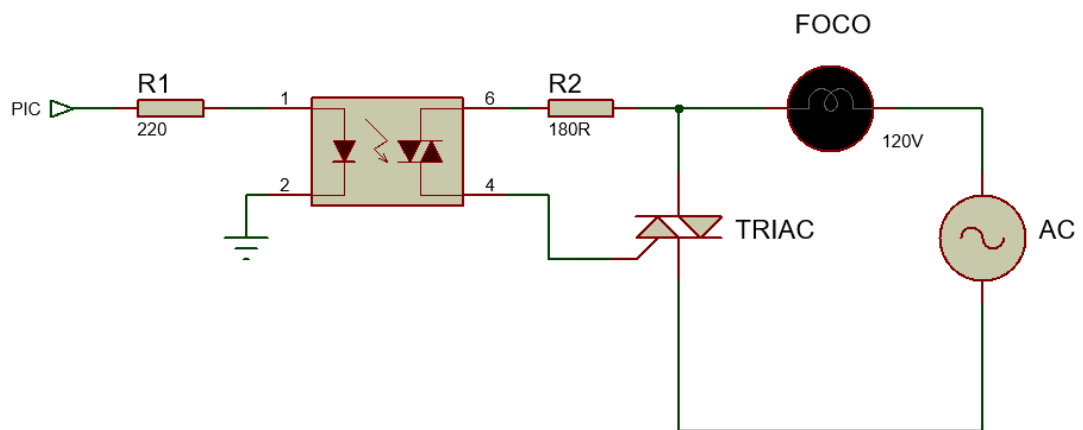


Figura 32 Etapa de Potencia para el Bombillo

Para el ventilador se implementó un CI 555, el circuito propuesto aparece en la figura 33.

Para variar la velocidad del ventilador, se usó un temporizador 555 que funciona como un PWM (Modulador por ancho de pulso). El PWM es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica, con el fin de controlar la cantidad de energía que se envía a una carga. La salida del 555 que es el pin 3 activa los dos transistores en cascada Q1 y Q2 que manejan el ventilador. El 555 está configurado como Astable, pero con la característica adicional de que se puede modificar el ancho del pulso a la salida que es el pin 3.

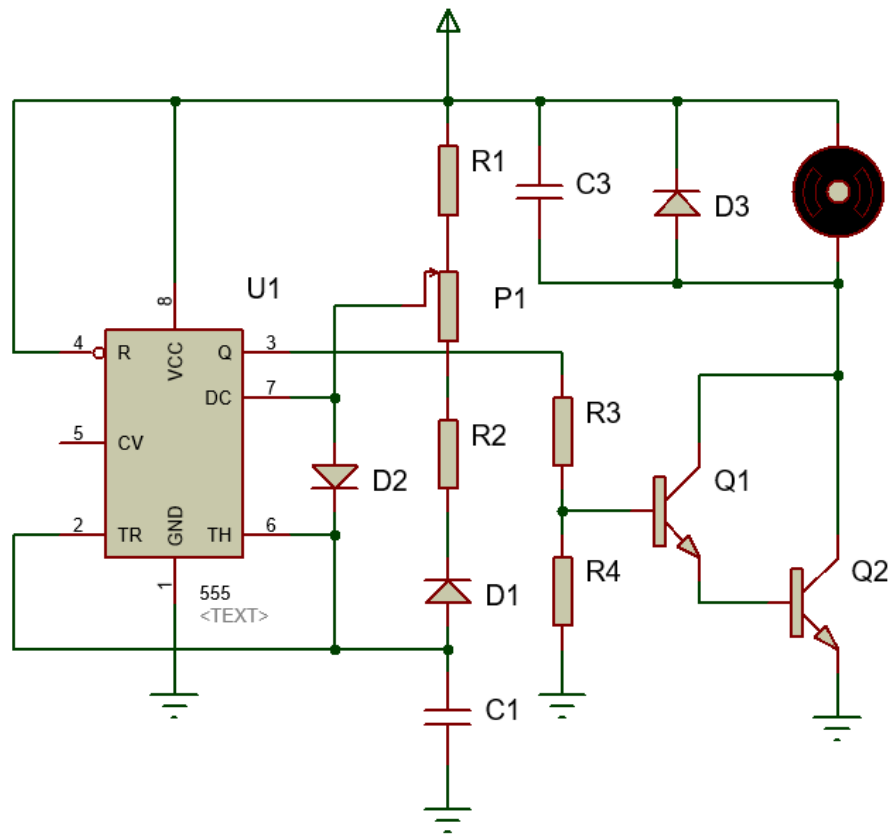


Figura 33 Circuito PWM para el control de velocidad del ventilador

Como parte final tenemos que grabar el programa en CCS al PIC18F4550 pero primero debemos generar un archivo de tipo hexadecimal y para esto hacemos lo siguiente:

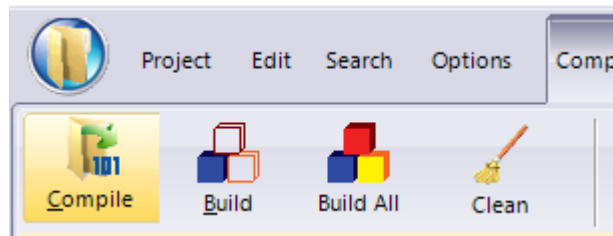


Figura 34 Instrucción a seguir para generar código hexadecimal

Le damos click en Compile y nos genera el archivo hexadecimal de acuerdo en la carpeta que hayamos ubicado el programa.

Finalmente grabamos el programa que está código hexadecimal en el anexo 2 en el PIC18F4550 para esto se deben seguir las siguientes instrucciones:

1. Conectar el puerto USB al computador.
2. Colocar el microcontrolador PIC18F4550 al programador (Para esto se deben ver las especificaciones del programador).
3. Abrir el programa pickit2.
4. Una vez esté abierto el programa nos mostrara en la parte superior la referencia del PIC.
5. Le damos click en file y elegimos la opción import hex.
6. Importamos el archivo.hex.
7. Le damos click en write y finalmente en verify si este proceso se hace de manera correcta nos mostrara un mensaje de que la operación fue realizada con éxito.
8. Sacamos el microcontrolador PIC18F4550 y lo incorporamos al circuito.

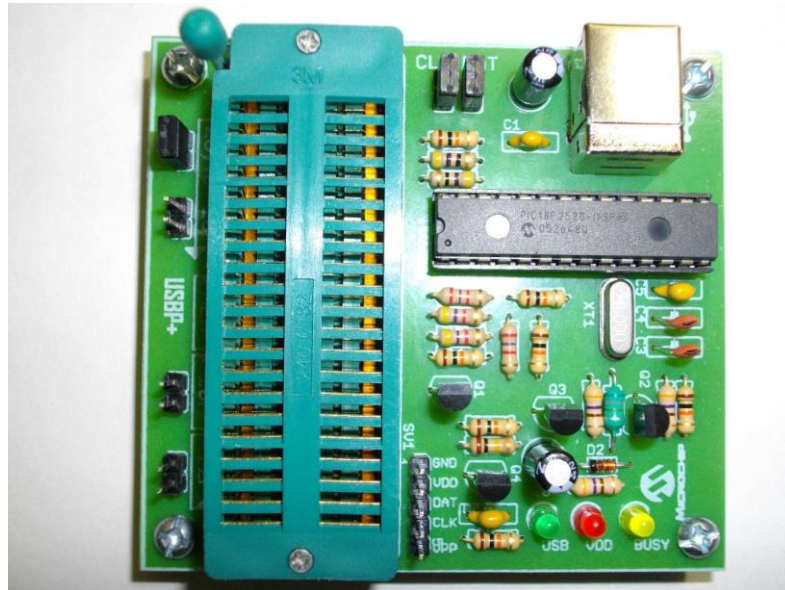


Figura 35 Programador para PIC

Otro tipo de control utilizado para la temperatura es el PID, el cual es posible también implementarlo en el proyecto pero tiene su complicación debido a que el diseño de la planta es algo complejo.

El control PID es un controlador realimentado cuyo propósito es hacer que el error en estado estacionario, entre la señal de referencia y la señal de salida de la planta, sea cero de manera asintótica en el tiempo, lo que se logra mediante el uso de la acción integral. Además el controlador tiene la capacidad de anticipar el futuro a través de la acción derivativa que tiene un efecto predictivo sobre la salida del proceso.

El algoritmo de control incluye tres parámetros fundamentales:

- Proporcional: Mide la diferencia entre el valor actual y el set-point (valor deseado) y aplica el cambio.
- Integral: Es el tiempo que se toma para llevar a cabo la acción correctiva.
- Derivativo: Es el que predice el error e inicia una acción oportuna con el fin de llegar al valor deseado y reducir el error.

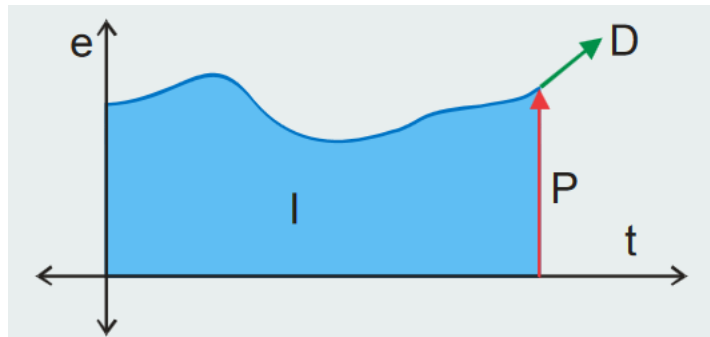


Figura 36 Comportamiento grafico del control PID

El comportamiento del control PID en su versión de libro de texto se puede describir como:

$$u(t) = K_p * e(t) + \frac{K_p}{T_i} * \int_0^t e(t) * dt + K_p * T_d * \frac{de(t)}{dt} \quad (10)$$

O también lo podemos expresar en función de transferencia como:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (11)$$

Donde K_p es la ganancia proporcional, T_i es el tiempo integral, T_d es el tiempo derivativo, $u(t)$ es la variable de control y $e(t)$ es el error de control dado por $e(t) = y_{sp} - y$. La función de transferencia la podemos entender como la relación que existe entre la respuesta de un sistema (modelada) con una señal de entrada o excitación.

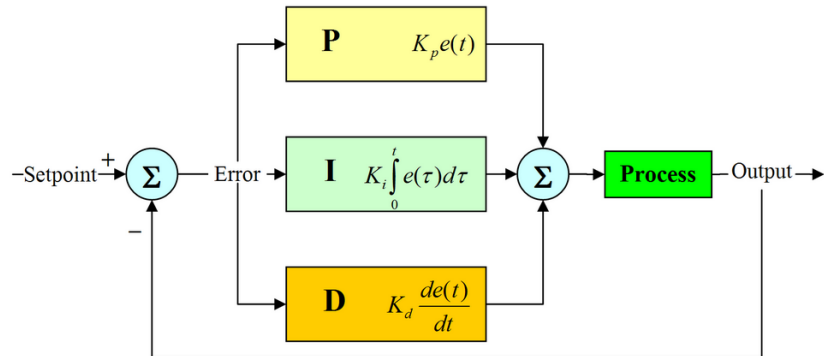


Figura 37 Diagrama de funcionamiento de un control PID

Observemos un ejemplo de control PID digital para entender mejor su funcionamiento.

Para nuestro caso necesitamos controlar una temperatura de 37°C e implementar una LCD de 20x4 para poder visualizar la temperatura actual del sistema y el setpoint (Valor deseado).

El circuito a implementar es el que veremos a continuación en la figura 37. La programación del microcontrolador la podremos encontrar en el anexo 2 con su respectiva simulación en Proteus.

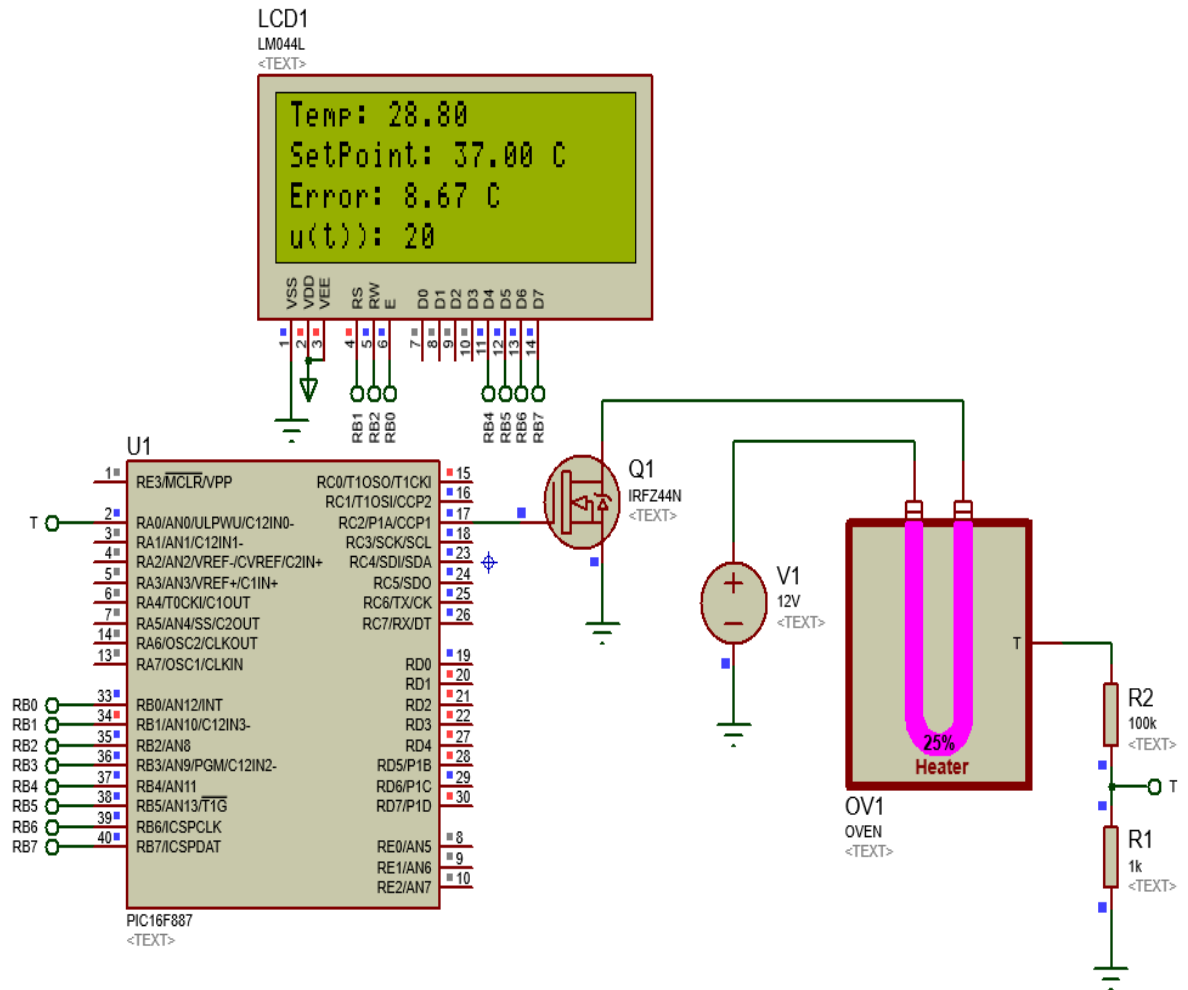


Figura 38 Circuito de Aplicación de un control PID

Se colocó en la simulación un oven que es como un horno el cual tiene incorporado un sensor de temperatura, este es el que nos envía la señal de referencia de 37°C (El setpoint) el sistema lo que hace es calcular el error y a partir de este por medio del horno trata de reducirlo para finalmente llegar a la temperatura deseada.

6. Presupuesto de Materiales

Componente	Referencia	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Resistencia	1/4 W	50	\$25	\$1.250
	1 W	1	\$200	\$200
Condensador	Electrolítico	20	\$100	\$2.000
	Cerámico	4	\$100	\$400
Potenciómetro	N/A	8	\$600	\$4.800
Diodo	1N4148	10	\$100	\$1.000
Diodo LED	Cualquier Color	8	\$100	\$800
Transistor	2N2222	8	\$200	\$1.600
Relé	Voltaje 12 V	2	\$1.100	\$2.200
Ventilador	DC de 12 V	1	\$25.000	\$25.000
Bombillo	100W	1	\$3.000	\$3.000
Temporizador	CI 555	2	\$500	\$1.000
Microcontrolador	PIC18F4550	1	\$12.000	\$12.000
Sensor de Temperatura	LM35	1	\$3.000	\$3.000
Sensor de Humedad	HIH4030	1	\$40.000	\$40.000
Caja de Plástico	Transparente	1	\$12.000	\$12.000
Amplificador Operacional	OP07	2	\$15.000	\$30.000
Triac	BT134	1	\$1.500	\$1.500
Optoacoplador	MOC3021	1	\$1.100	\$1.100
Switch Electrónico	N/A	1	\$200	\$200
Cristal de Cuarzo	20 MHz	1	\$600	\$600
Total				\$170.650

Tabla 2 Presupuesto de materiales

7. Resultados

- El sistema inicialmente se demora para llegar a la temperatura ideal, luego de 10 min se estabilizo entre 37 y 38°C a partir de eso se obtuvo la siguiente tabla:

Tiempo (Min)	Bombillo de 100 W	
	Temperatura (°C)	Aumento (°C)
0	20	0
1	29	9
2	33	4
3	36	3
4	37	1
5	38	1
6	39	1
7	38	-1
8	38	0
9	38	0
10	37	-1

Tabla 3 Cambio de intensidad del bombillo implementado luego de 10 min

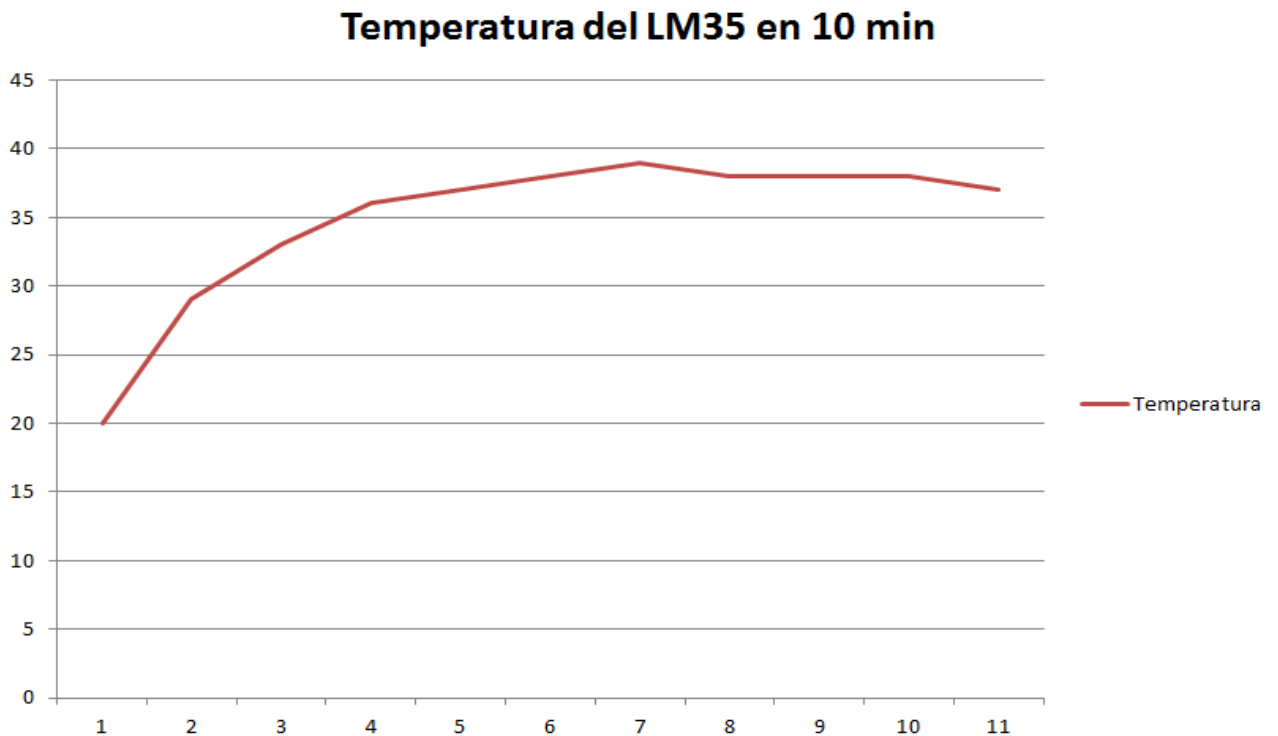


Figura 39 Comportamiento del LM35 durante 10 min

El bombillo por si solo entrega más temperatura pero debido al espacio esto reduce su nivel de calor .Se observó un estudio que se hizo sobre cuanta temperatura puede entregar un bombillo de 100W y se encontró la siguiente tabla.

Tiempo (Min)	Bombillo de 100 W	
	Temperatura (°C)	Aumento (°C)
0	25	0
5	55	25
10	62.5	7.5
15	67	4.5
20	68	1
25	69.5	1.5
30	70.5	1
Aumento Total		40.5

Tabla 4 Cambio de intensidad en un bombillo de 100W luego de 30 min

Temperatura (°C) del Filamento del Bombillo de 100 W

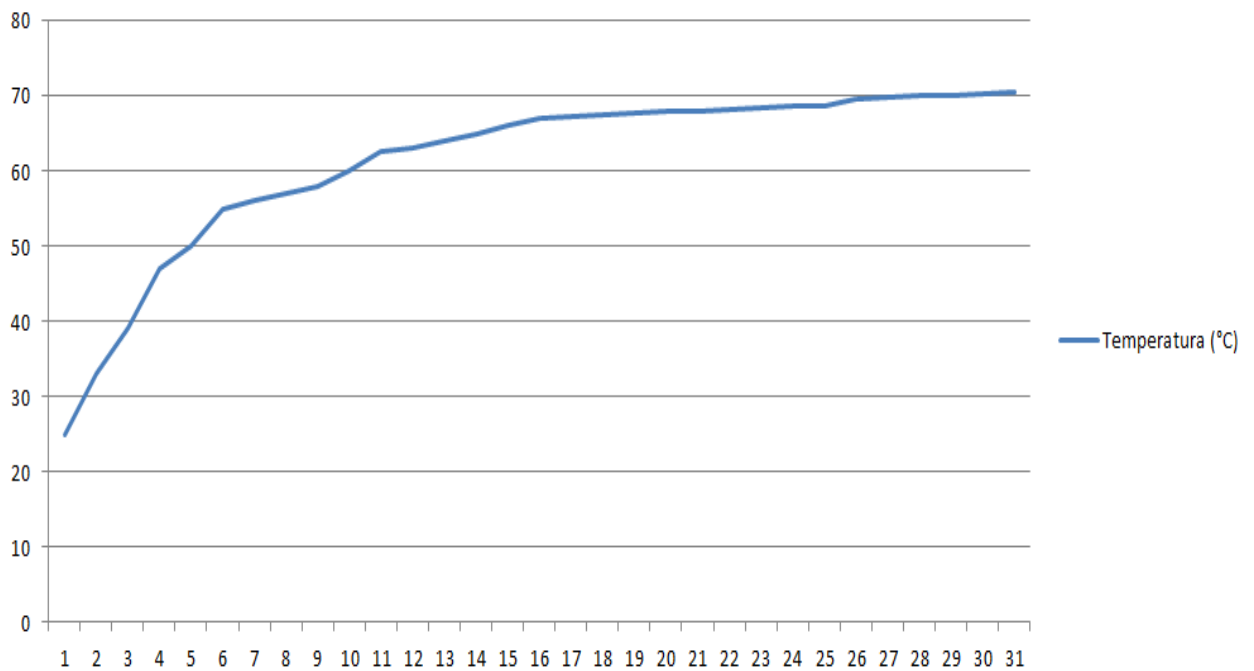


Figura 40 Nivel de Calor del Bombillo de 100 W luego de 30 min

Se comprobó que el uso de relés no es la mejor opción ya que al momento de funcionar el circuito estos generaban mucho ruido y provocaban que se reiniciara el microcontrolador es por esto que se optó solamente por el uso de transistores y optoacopladores. El transistor 2N2222A tuvo un comportamiento adecuado en el

sistema al momento de activar la carga que es el ventilador no afecto en nada al microcontrolador PIC18F4550.El control de velocidad para el ventilador no presento ningún problema por medio de un potenciómetro se fue regulando la velocidad para lograr la estabilidad en el sistema de los 37°C de temperatura.

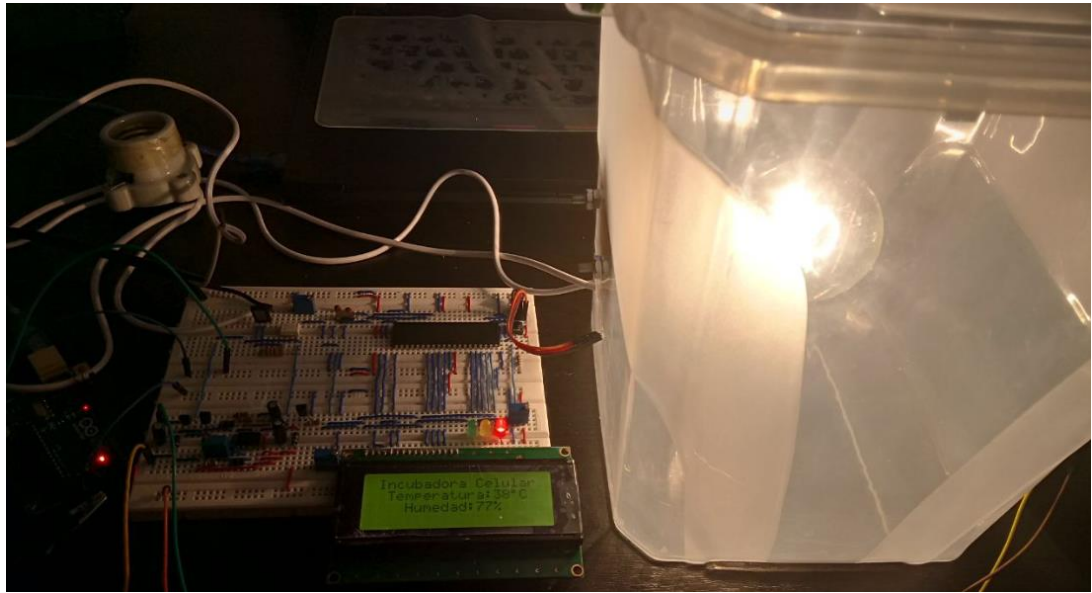


Figura 41 Circuito completo implementado a la caja de plástico

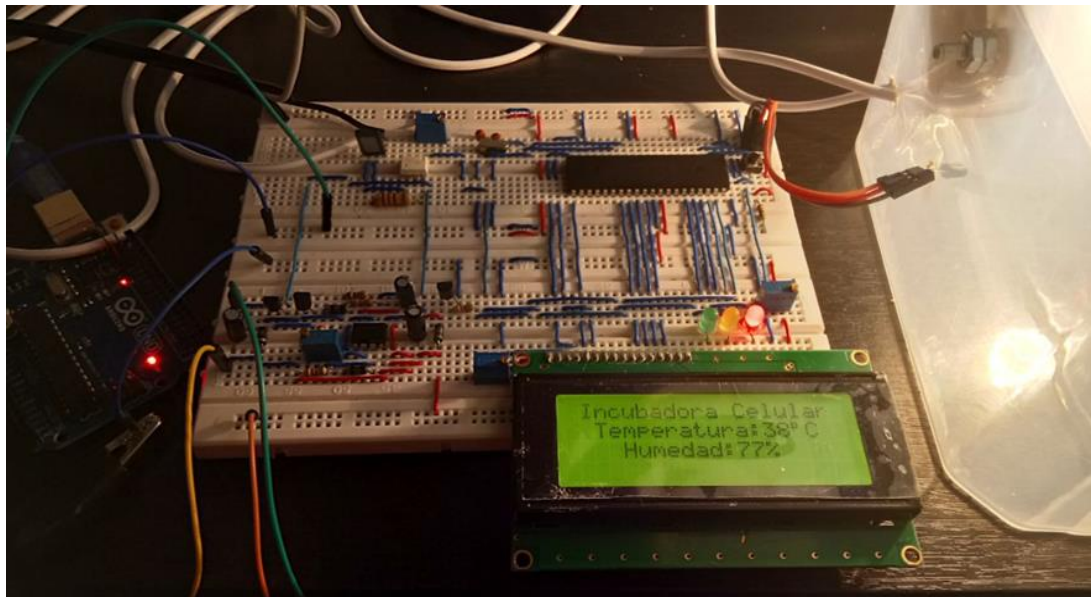


Figura 42 Circuito completo trabajando a 38°C

Como se ve en la figuras 41 y 42 el sistema mide la temperatura y la humedad al final no se implementó el sensor de humedad HIH4030 debido a su dificultad para conseguirlo por lo que se simulo con un potenciómetro la medición. El sensor LM35 se colocó dentro de la caja de plástico por medio de 3 jumpers para que registre el nivel de calor que va entregando el bombillo.

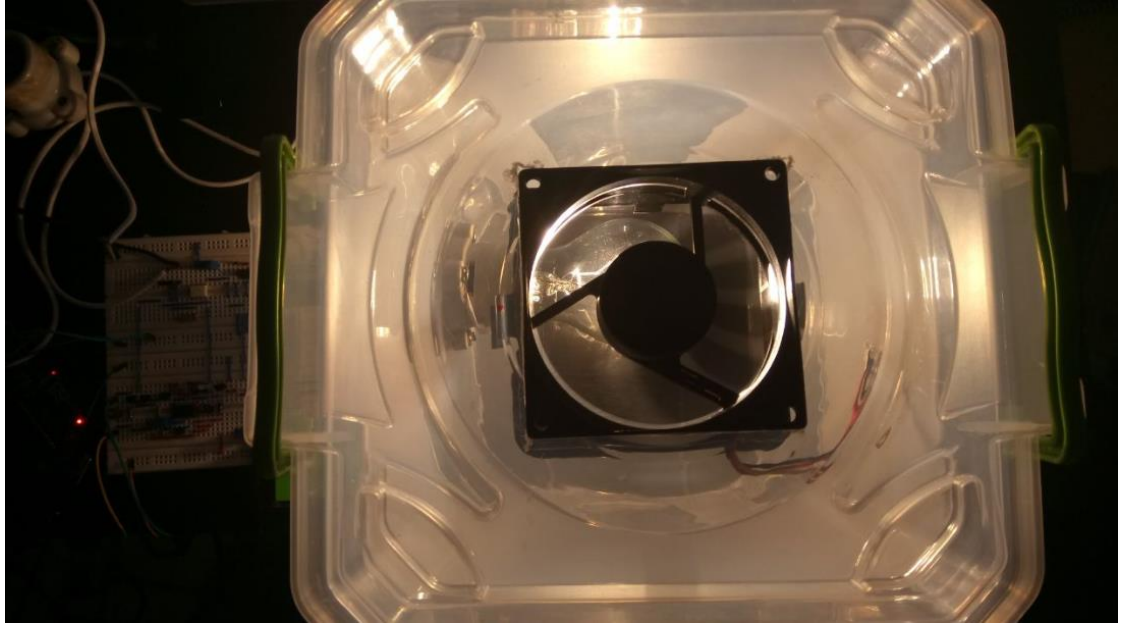


Figura 43 Ventilador implementado a la caja de plástico

Podemos ver en la figura 43 el ventilador implementado a la caja de plástico se hizo un hueco en forma de cuadro acorde con el ventilador para que se lograra ajustar más fácil , este se activara cuando el sensor LM35 registre temperaturas mayores a 37°C y se apagara cuando de nuevo se estabilice el sistema. El bombillo se optó por dejarlo prendido ya que por el espacio de la caja si se apaga generaba un cambio de temperatura muy brusco y si se mantiene la intensidad el sistema por medio del ventilador logra la estabilidad de los 37°C .

✚ La respuesta encontrada por el sensor LM35 fue la encontrada en la tabla 5.

Temperatura (°C)	Voltaje (V)
10	0.1056
15	0.1557
20	0.2043
25	0.2564
30	0.3045
35	0.3587
40	0.4098
45	0.4567

Tabla 5 Respuesta del sensor LM35 en la práctica.

8. Conclusiones

- ✓ El control ON/OFF es una opción viable para los sistemas de cultivo celular ya que logra una buena estabilidad y no genera tantos ruidos eléctricos a diferencia del control PID, el cual tiene complicaciones en el diseño de la planta. El control PID sería ideal si se quiere trabajar con temperaturas mayores a los 80°C como es el caso de las termocuplas que pueden medir temperaturas mayores y por ende se hace necesario del uso de dispositivos que entreguen un mayor nivel de energía para que al momento de programar un setpoint el sistema se estabilice en el menor tiempo posible. Una de las complicaciones fue que el control ON/OFF tardó 10 min en estabilizarse, pero en comparación al PID se obtiene un valor fijo una vez ya el sistema se haya estabilizado, contrario al PID que en unos momentos sube y en otros baja y se mantiene inestable.
- ✓ Durante la práctica los bombillos de 100 W dan un nivel de calor alto es por esto que el sistema se mantuvo hasta 38°C y de no ser por el ventilador esta se hubiera elevado hasta 42°C aproximadamente, se llegó a la conclusión de que es mejor implementar uno de 80 W puede que tarde más en estabilizar al sistema pero no va provocar aumentos de temperaturas tan altos como el de 100 W, y con esto el sistema lograra mantenerse en 37°C.
- ✓ El uso de transistores fue una buena alternativa ya que al momento de activar los circuitos no generó ningún tipo de ruido, pero al momento de usar los relés se generó mucho ruido y el microcontrolador no funcionaba de manera correcta y se reiniciaba.
- ✓ Al momento de funcionar el microcontrolador PIC18F4550 mostro una mayor rapidez en la lectura de los sensores , ya que anteriormente se había implementado un

PIC16F877A y este no respondía igual debido a que este posee una menor velocidad de muestro es decir que se demora más en leer las señales.

- ✓ El control de velocidad del ventilador fue de gran importancia ya que ayudo a estabilizar el sistema cuando se registraban temperaturas mayores a 39°C, en un inicio bajo mucho la temperatura a 35°C pero regulando la velocidad por medio del 555 se logró obtener la temperatura deseada de 37°C.
- ✓ Este proyecto puede ser implementado en cultivos celulares si se implementan los sensores de humedad y CO2 cuyas referencias son HIH4030 o ya sea HIH4000 y para el CO2 se puede usar el MG811 que es un sensor de CO2 con salida analógica.

9. Recomendaciones

- ✓ El tipo de control utilizado en el proyecto es de tipo ON/OFF por realimentación, el cual tiene 2 estados posibles. La salida del controlador va de un extremo a otro cuando el valor de la variable controlada se desvía del valor deseado. En la práctica el sistema se estabilizo en 37°C luego de 10 min debido a que el bombillo tardo en suministrar el nivel de calor necesario por el espacio que ocupa la caja de plástico, por lo que es necesario esperar a que el sistema se estabilice una vez que se ha colocado a funcionar.
- ✓ Si se va hacer el uso de relés electromagnéticos es necesario montar una etapa de filtrado para eliminar los posibles ruidos generados por estos dispositivos con el fin de que no afecte en el circuito a los demás componentes, otra posibilidad es la de utilizar un condensador de bypass en la fuente de alimentación para que estos problemas no ocurran en la práctica.
- ✓ No se implementó un control PID debido a que una de las complicaciones es el diseño de la planta , la cual debe ser diseñada por medio de amplificadores operacionales y esto provoca que el sistema sea muy inestable , por eso se optó por el control de tipo ON/OFF. Si se quisiera implementar se deben conseguir amplificadores de precisión como los OP97 para lograr una buena estabilidad del sistema y realizar el diseño de la planta por medio de Matlab o Labview ya que por medio de estos programas informáticos se logra una mejor precisión.

- ✓ Los cultivos celulares no solamente manejan temperatura también se trabajan variables como humedad, oxígeno, CO₂ (dióxido de carbono) y nivel de PH. Solo se implementó el sensor de temperatura debido a los altos costos de los demás sensores. El microcontrolador PIC18F4550 trae 6 puertos analógicos es decir que se le pueden implementar los 4 sensores a la vez el de oxígeno, humedad, CO₂ y PH. Se recomienda que los sensores tengan salida analógica y adicional a esto conocer la ecuación que relaciona la variable con el voltaje la cual se pueden encontrar en las especificaciones técnicas de cada sensor para de esta manera hacer la programación en el microcontrolador.
- ✓ No se recomienda utilizar el PIC16F877A ya que no presenta una buena velocidad de muestreo es por eso que implemento el PIC18F4550, aunque se puede optar por un microcontrolador del tipo ATMEL ya que estos son más robustos en lo que ha velocidad se refiere.
- ✓ Si se quiere implementar el sensor de humedad se recomienda usar un deshumidificador para que regule el nivel de humedad del sistema. Lo más correcto sería diseñar el deshumidificador por medio de una celda peltier para que sea de fácil implementación al sistema de control. El valor ideal de humedad para los cultivos celulares oscila entre 90 y 100% entre más alto sea el valor más rápido van a crecer los cultivos ya que se genera un ambiente húmedo.
- ✓ Se recomienda con cinta negra cubrir los cables que conectan al tomacorriente y el bombillo con el fin de no generar una electrocución.
- ✓ Algo importante es tener en cuenta que las tierras digitales deben ser separadas de las tierras análogas ya que si trabajan juntas están pueden generar ruido en el microcontrolador especialmente en la pantalla LCD.

10. Bibliografía

- ✚ Robert Boylestad y Louis Nashelky, Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos Décima Edición 2009, México, Publicada por Pearson Education.

- ✚ Robert Boylestad, Introducción al Análisis de Circuitos Decimo Segunda Edición 2011, México, Publicada por Pearson Education.
- ✚ José García Trasancos, Instalaciones Eléctricas en Media y Baja Tensión Séptima Edición 2016, Publicado por Paraninfo.
- ✚ Eduardo García Breijo, Compilador C CCS y Simulador Proteus Para Microcontroladores PIC Primera Edición 2008, México, Publicada por Editorial Alfaomega.
- ✚ Muhammad H. Rashid, Electrónica de Potencia Tercera Edición, Publicado por Pearson Educación.
- ✚ Ramón Pallás Areny, Sensores y Acondicionadores de Señal Cuarta Edición, Publicado por Editorial Marcombo.
- ✚ Katsuhiko Ogata, Ingeniería de Control Moderna Quinta Edición Madrid España 2010, Publicado por Pearson Educación S.A.
- ✚ Ali José Carrillo Paz, Sistemas Automáticos de Control Segunda Edición 2011, Publicado por Fondo Editorial UNERMB.
- ✚ Alan V. Oppenheim y Alan S.Willsky, Señales y Sistemas Segunda Edición.
- ✚ Fernando Morilla García, Controladores PID Madrid 11 de Enero de 2007, Departamento de Informática y Automática. Disponible en <http://www.dia.uned.es/~fmorilla/MaterialDidactico/EI%20controlador%20PID.pdf>
- ✚ Armenta Covarrubias Adzuir, Martínez Olgún Gabriela, Moncada Sánchez Rosendo y Villegas Zúñiga Iridia. Experimento de Calor y Temperatura. Disponible en <https://es.slideshare.net/RosendoMoncada/experimento-de-calor-y-temperatura>
- ✚ Sergio Castaño, Control PID con microcontrolador PIC. Disponible en <https://controlautomaticoeducacion.com/microcontroladores-pic/17-control-pid-con-microcontrolador-pic/>

- ✚ Nohra Elsy Beltran Vargas y Claudia Hayde Gonzales de la Rosa, Técnicas de Cultivos Celulares e Ingeniería de Tejidos Primera Edición Febrero de 2016.
- ✚ José Ramón Sendra Sendra, Dispositivos Optoelectronicos 18 de Abril de 2001. http://www.iuma.ulpgc.es/~jrsendra/Docencia/dispositivos_optoelectronicos/download/teoria/apuntes/curso00-01.pdf
- ✚ José M. Angulo Usategui, Susana Romero Yesa e Ignacio Angulo Martínez. Microcontroladores PIC Diseño Practico de Aplicaciones PIC16F87X Segunda Edición.

11. Anexos

Los anexos son adjuntados en formato digital (Disco Adjunto).

- Anexo 1.Programacion en CCS del control ON/OFF implementando.
- Anexo 2.Codigo .hex para el microcontrolador PIC18F4550.
- Anexo 3.Programacion en CCS del control PID.
- Anexo 4.Codigo .hex para el microcontrolador PIC en Proteus.
- Anexo 5.Circuito completo del sistema de control ON/OFF.
- Anexo 6.Circuito del control PID en Proteus.
- Anexo 7.Valores de los componentes electrónicos de la figura 31.
- Anexo 8.Valores de los componentes electrónicos de la figura 33.
- Anexo 9.Contiene las especificaciones técnicas de los sensores.

