

**Desarrollo de un circuito embebido para el control de
temperatura en un deshidratador de cebolla en la empresa
ASOPROCAB.**

autor

Eiver Amílcar Peña Rojas

Trabajo de grado presentado para optar por el título de ingeniero en mecatrónica

PRACTICA EMPRESARIAL

Director

Yara Angeline Oviedo Durango

Ingeniera en Mecatrónica

Magister(c) en Controles Industriales

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO MMI
INGENIERÍA MECATRÓNICA
PAMPLONA
2019**

Dedicatoria

a mis padres por su apoyo su apoyo incondicional, por sus palabras de amor y por no permitir que me rindiera.

A mi hermana por sus buenos consejos.

A mi sobrino por recordarme por qué estudie esta carrera.

A todos los que me han apoyado para cumplir este sueño.

A todos aquellos amigos que creen en mí y me han aceptado con todos mis defectos.

Agradecimientos

Agradezco a dios por permitirme tener la fuerza para poder culminar con los estudios de mi carrera profesional, a mis padres por darme la oportunidad de estudiar sin tener que preocuparme por nada más que aprobar y terminar mi carrera, a mis amigos en especial a Juan David Pinzón, Adilson Espid, Giancarlo Velazco y Juan Carlos Espid por su apoyo y consejos, a mi asesora Msc. Yara Oviedo por su apoyo y disposición para ayudarme durante el transcurso de mi carrera universitaria.

Gracias a todos.

Tabla de contenido.

Dedicatoria	2
Agradecimientos	3
Tabla de contenido.	4
Lista de figuras.	7
Lista de tablas	9
Lista de ecuaciones	10
RESUMEN	11
1. CAPÍTULO 1	12
1.1. INTRODUCCIÓN	12
Planteamiento del problema	14
1.2.	14
1.3. Objetivos	16
2. Capítulo 2	17
2.1. Proceso de deshidratado de alimentos	17
2.1.1. La psicometría	17
2.1.2. Curva de secado	18
2.1.3. Tiempo y temperatura de secado	18
2.2. Tipos de proceso de deshidratado	19
2.2.1. Osmodeshidratación	19
2.2.2. Deshidratado por aire caliente	19
2.3. Clasificación de hornos deshidratadores	19
2.3.1. clasificación según su forma	20
2.3.1.1. Hornos continuos	20
2.3.1.2. Horno de compartimentos o bandejas	20
2.3.2. Clasificación de acuerdo a su temperatura	20
2.3.2.1. Horno de baja temperatura	20
2.3.2.2. Hornos de temperatura normal o tradicional	20
2.3.2.3. Hornos de altas temperaturas	20
2.3.3. Clasificación respecto a la fuente energética	20
2.3.3.1. Energía por combustión	21
2.3.3.2. Energía eléctrica	21
2.3.3.3. Energía solar	21
2.4. Componentes de un horno deshidratador	21
2.5. El Microcontrolador	22
2.5.1. Funcionamiento general	22
2.5.2. Componentes especiales de un microcontrolador	23
2.5.2.1. Conversor análogo a digital (A/D).	23
2.5.2.2. Timer	23
2.5.2.3. Interrupciones	24
2.5.3. Diferencia entre un microprocesador y un microcontrolador	24
2.6. Microcontrolador ATmega328P	24
2.6.1. Esquema de bloques	24
2.6.2. Disposición de los pines del ATmega328P	26
2.6.3. Los registros del microcontrolador	27
2.6.4. Protocolos de comunicación del microcontrolador	27

2.6.4.1.	Protocolo I2C.	28
2.6.4.2.	Protocolo SPI	29
2.7.	Controladores industriales	30
2.7.1.	Sistema de control de temperatura de un horno eléctrico	30
2.8.	Sistemas de medición de temperatura existentes	31
3.	CAPITULO 3	33
3.1.	Análisis, reconocimiento y estado actual de los elementos que conforman el sistema	33
3.1.1.	Componentes eléctricos y electrónicos del horno deshidratador de la empresa ASOPROCAB	33
3.1.1.1.	Termopar	33
3.1.1.2.	Motor monofásico	33
3.1.1.3.	Panel de control	34
3.1.1.4.	Sistema de control y visualización de temperatura	34
3.1.1.5.	Interruptores	35
3.1.1.6.	Interruptor automático	35
3.1.1.7.	Electroválvula	36
3.1.2.	Componentes mecánicos del horno deshidratador de la empresa ASOPROCAB	36
3.1.2.1.	Construcción física	36
3.1.2.2.	El calentador	37
3.1.2.3.	Cámara	37
3.1.2.4.	Generador de aire	38
4.	CAPÍTULO 4	39
4.1.	Selección de componentes.	39
4.1.1.	Trasformador	39
4.1.2.	Puente rectificador de diodos	39
4.1.3.	Capacitor de filtrado.	40
4.1.4.	Regulador de voltaje	40
4.1.5.	Max 6675	41
4.1.6.	Microcontrolador	41
4.1.7.	Interruptor	42
4.1.8.	Potenciómetro	42
4.1.9.	Pantalla lcd.	42
4.1.10.	Relay	42
4.1.11.	Transistor	42
4.2.	Optimización del proceso de deshidratado.	42
5.	Capítulo 5	43
5.1.	Programa de diseño de PCB.	43
5.2.	Diseño del circuito	43
5.2.1.	Cálculos de saturación de transistor	44
5.2.2.	Análisis de costos	46
5.3.	Ventajas y desventajas del nuevo sistema de adquisición y control	47
5.3.1.	Ventajas	47
5.3.2.	Desventajas	47
6.	Capítulo 6	48
6.1.	Programación del microcontrolador	48

6.1.1.	Programación para la adquisición de datos	48
6.1.2.	Programación para la visualización y configuración de temperatura en el display LCD	51
6.1.3.	controlador realimentado	52
6.2.	Análisis de la base de datos adquirida	52
6.2.1.	Análisis de los datos para el calentamiento del horno	53
6.2.1.1.	Base de datos de calentamiento primera prueba.	53
6.2.1.2.	Base de datos calentamiento segunda prueba.	53
6.3.	Controlador ON-OFF	54
6.4.	Controlador PID	54
6.4.1.	Sintonía del controlador PID mediante las reglas de Ziegler-Nichols	54
6.5.	Comparación de controladores e implementación	56
6.5.1.	Programación	56
7.	Capítulo 7	59
7.1.	Análisis de resultados	59
7.1.1.	Fabricación de la PCB	59
7.1.2.	Mejoras en la maquinaria de la empresa	59
7.1.3.	Funcionamiento de la maquina dosificadora empacadora	60
8.	CAPÍTULO 8	61
8.1.	Conclusiones	61
8.2.	Referencias	63

Lista de figuras.

Figura 1. Carta psicométrica[5].	18
Figura 2. secador de bandejas eléctrico[10].	21
Figura 6. Elementos que comprende un microcontrolador[13].	22
Figura 7. Unidad aritmético-lógica[13].	23
Figura 8. Diagrama general de un microcontrolador[13].	23
Figura 9. Diagrama de bloques del microcontrolador ATmega328P[16].	25
Figura 10. Diagrama de bloques de la arquitectura AVR[16].	26
Figura 11. Funciones de los pines Entrada/Salida del microcontrolador ATmega328P[14].	27
Figura 12. Protocolo de comunicación I2C[14].	28
Figura 13. Condiciones de la transferencia[15].	29
Figura 14. protocolo de comunicación SPI[14].	30
Figura 15. Control de temperatura de un horno eléctrico[17].	31
Figura 16. Dispositivos de medición de temperatura marca TEMPCO. (a) Serie 553M, (b) Serie 555M[18].	31
Figura 17. Motor monofásico horno deshidratador de la empresa ASOPROCAB.	34
Figura 18. Panel de control horno deshidratador empresa ASOPROCAB.	34
Figura 19. Controlador de temperatura de la serie TOS de Autonics[21].	35
Figura 20. Interruptor automático NXB-63 10A[22].	36
Figura 21. Construcción mecánica del horno deshidratador de la empresa ASOPROCAB.	37
Figura 3. Calentador del horno secundario, empresa ASOPROCAB.	37
Figura 4. Cámara del horno secundario, empresa ASOPROCAB.	38
Figura 5. Generador de aire del horno secundario, empresa ASOPROCAB.	38
Figura 22. Puente rectificador[23].	39
Figura 23. Capacitor electrolítico.	40
Figura 24. Regulador de voltaje LM7805[24].	40
Figura 25. Esquema de conexión max6675[25].	41
Figura 26. microcontrolador utilizado en la placa.	41
Figura 27. Diseño esquemático de la PCB.	43
Figura 28. Diseño del circuito impreso.	44
Figura 29. esquema del circuito transistor - relay[27].	45
Figura 30. Interfaz realizada en Excel para la adquisición de datos.	48
Figura 31. grafica de la base de datos de calentamiento primera prueba.	53
Figura 32. Grafica de la base de datos segunda prueba.	54
Figura 33. Curva de la respuesta y tabla de sintonización del PID[17].	55
Figura 34. Grafica de escalón vs respuesta.	55
Figura 35. PCB fabricada por CNC router.	59
Figura 36. Deshidratador principal de la empresa.	67
Figura 37. panel de control del deshidratador principal de la empresa.	67
Figura 38. Deshidratador de la empresa junto con picadora de cebolla.	68
Figura 39. Pulverizador de cebolla deshidratada de la empresa.	68
Figura 40. Maquina dosificadora empacadora de la empresa.	69
Figura 41. Configuración para empacado de 125 gramos.	69
Figura 42. Configuración para empacado de 50 gramos.	70
Figura 43. Instalación del nuevo rollo de empacado del producto.	70
Figura 44. Sistema de estampado se fecha y lote.	71
Figura 45. Sensor de color XF-RWBG.	71

<i>Figura 46. Sistema de movimiento de empaqueo de la máquina dosificadora empaquera.</i>	72
<i>Figura 47. Sistema de dosificación de material.</i>	72
<i>Figura 48. Circuito eléctrico y electrónico de la máquina dosificadora empaquera</i>	73
<i>Figura 49. Instalación del protector contra caída de tensión.</i>	73
<i>Figura 50. Adquisición de la base de datos del calentamiento del horno secundario de la empresa.</i>	74

Lista de tablas

<i>Tabla 1. Componentes utilizados en la PCB.</i>	<u>47</u>
<i>Tabla 2. Resultados de los controladores propuestos.</i>	<u>55</u>

Lista de ecuaciones

<i>Ecuación 1</i>	44
<i>Ecuación 2</i>	44
<i>Ecuación 3</i>	45
<i>Ecuación 4</i>	45
<i>Ecuación 5</i>	45
<i>Ecuación 6</i>	45
<i>Ecuación 7</i>	45

RESUMEN

En este proyecto se reemplazó el control de temperatura ON - OFF presente en el horno deshidratador secundario de la empresa ASOPROCAD, el cual al momento de iniciar la práctica estaba averiado ya que no realizaba ningún control en el sistema dejando que la temperatura se elevara más de lo necesario; se sustituyó por un control realimentado, con el fin de aumentar la producción semanal, reduciendo el tiempo que toma la deshidratación, el consumo energético y de combustible, para su implementación se identificaron las partes que conformaban el sistema y el estado actual con el fin de encontrar el problema y plantear soluciones, se reemplazaron componentes tales como el termopar y el sistema de control y visualización que también se encontraba averiado, se tomaron diferentes datos para caracterizar el sistema y comprobar el correcto funcionamiento de cada uno de los elementos e identificación de los componentes averiados, una vez seleccionados los componentes dañados o por cambiar en el sistema se procedió al diseño del circuito en un software CAD aprobado por la empresa para su posterior fabricación. Para poder utilizar un microcontrolador se recurrió a la compra de un módulo max6675 el cual permite mediante una comunicación SPI la lectura del termo par, una vez fabricado el circuito y montado se realizó la programación del mismo, sin controlador, para comprobar que funcionara correctamente, se tomaron 2 bases de datos del funcionamiento del sistema de temperatura para poder hallar un controlador funcional, al analizar los datos se tomó la decisión de implementar un controlador realimentado ON – OFF y encontrar un controlador PID mediante el primer método de Ziegler - Nichols para ser aplicado posteriormente cuando la empresa compre una electroválvula con regulación de caudal. Al implementar el controlador propuesto ON – OFF obtuvo un resultado muy satisfactorio reflejado en las 5 primeras pruebas, se realizaron cambios. Se contemplaron las instalaciones de pequeñas mejoras en el proceso principal como lo es la implementación de protecciones contra la falla en el sistema eléctrico y corto circuitos, la puesta en marcha de la maquinaria encargada del empaclado y sellado del producto de una forma eficiente y segura.

Palabras claves: Control, temperatura, circuito, proceso, deshidratación, cebolla.

1. CAPÍTULO 1

1.1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la mayoría de la comida que consume el humano ha sido procesada, enlatada o empacada en bolsas para su posterior consumo, realizar estos procesos representa una ventaja ya que vuelve más lenta la descomposición del alimento permitiéndole estar en estanterías de supermercados o tiendas por mucho más tiempo. Un proceso muy común y efectivo para preservación de los alimentos consta en extraer gran cantidad de agua del mismo, este proceso es llamado deshidratación y para poder realizarlo a gran escala se necesita un horno deshidratador.

Este proyecto comprende la creación de un sistema electrónico para el horno deshidratador secundario de la empresa, el cual se encargara de realizar el control y visualización de la temperatura de deshidratado, este circuito está basado en un microcontrolador ATmega328P el cual cuenta con especificaciones tales como un conversor AC/DC con resolución de 10 bit, 6 pines analógicos y 14 pines digitales de los cuales 6 de ellos tienen PWM cada uno con una resolución de 8 bit, dos pines que se pueden utilizar para programar interrupciones y 24 interrupciones internas, cuenta con comunicación Spi e i2c y una frecuencia máxima de operación es 16MHz.

Para la visualización de los datos de temperatura, el apagado o encendido del motor de la turbina, las configuraciones de programa y errores presentes se utiliza una pantalla LCD de dos filas y de 16 caracteres cada una (Liquid Crystal Display).

La configuración del incremento o disminución de la temperatura se realiza mediante un potenciómetro conectado a una entrada analógica del microcontrolador y un pulsador conectado a una entrada digita. Para guardar la configuración de la temperatura, el circuito electrónico está conectado a una entrada de voltaje de 110V en corriente alterna luego a un transformador de 220v a 40V, pasa a un puente rectificador de diodo B250C5000 el cual soporta una tensión de entrada de hasta 250 voltios a una corriente máxima de funcionamiento de 5 amperios , una etapa de filtrado y por ultimo a dos reguladores de voltaje uno a 12 voltio L7812CV el cual soporta máximo 40 voltios de entrada y trabaja con una corriente de máximo 1.5 amperios, para la alimentación de los relés, transistores y la pantalla LCD, y un regulador de 5 voltios L7804 el cual soporta una entrada de 40 voltios como máximo y trabaja con una corriente de 1 amperio máximo, para la alimentación del microcontrolador.

Para la adquisición de los datos de temperatura se ha utilizado una termopar tipo K de dos hilos, conectado con un módulo conversor max6675 para poder ser leído mediante protocolos SPI por el microcontrolador.

El control del sistema lleva tres partes importantes las cuales son la adquisición de los datos, el tratamiento y por último la configuración del tipo de controlador a utilizar, para realizar la adquisición de los datos a un pc mediante una base de datos, se utiliza el puerto serial del microcontrolador con el cual se lee cada dato de entrada y salida, y se almacena en una hoja de cálculo, repitiendo el proceso con una tasa de muestreo de 1 segundo. En la hoja de cálculo se toman todos los datos y se aplica una línea de tendencia lo más parecida a la forma de variación de los datos para obtener una función aproximada del sistema, con esta función se procede hallar los parámetros P y D del controlador mediante el método de Ziegler y Nichols de primer orden tomando una línea recta que cruce directamente el punto de inflexión y tomando los deltas en el eje X y Y, los parámetros que se han estimado son funcionales para un punto de operación estable; la configuración del controlador se realiza mediante la programación en el microcontrolador de las nuevas constantes halladas.

La segunda parte que comprende el proyecto es la optimización del proceso de producción mediante la implementación de pequeñas mejoras a niveles de hardware y software, para lo cual se configuró y se colocó en marcha una maquina dosificadora y empacadora del producto que consta de las resistencias caloríficas para el sellado de las bolsas vertical y horizontalmente, un embudo por el cual cae el material a la bolsa sellada, un dosificador con un tornillo sin fin para recoger el material de la tolva y un sistema de antigoteo neumático para evitar el paso de producto después de una cierta cantidad de tiempo, la configuración de esta máquina es realizada por tiempo por lo cual se vio en la necesidad de hallar un tiempo que corresponda al largor de la bolsa requerido y el tiempo necesario para que la bolsa se llene con la cantidad de producto deseada, tomando en cuenta parámetros como la dosificación por vuelta del tornillo y el tiempo de una vuelta del tornillo, la cantidad de desplazamiento vertical por segundo, se realizaron varias recetas para cada uno de los pesos en los que se dosificará y empacará el producto siendo estos de 50g de 250g y de 500g, en los cuales se consiguió un porcentaje de error máximo de 6%, 4%,2% respectivamente. Para el correcto funcionamiento del sellado se utilizaron diferentes temperaturas dependiendo del largor del papel.

Se implementaron 3 protectores contra la caída o elevación de voltaje ubicados en los 3 paneles de electricidad de la planta, los protectores implementados son de la marca GEYA y la referencia del producto es GRV8M460, este protector se conecta a las 3 fases de tensión y en caso de haber una caída o una elevación por fuera de su parámetros de configuración desactivara la fase 3 lo cual provoca una caída de tención grande y un disparo en los

interruptores automáticos del sistema apagando todo el proceso y evitando que ocurran problemas en la cámara de combustión, los parámetros a configurar en este protector son 4, el voltaje de referencia o con el que va a trabajar el sistema, que se comprende desde los 200 voltios a los 400 voltios, un porcentaje de voltaje con respecto al voltaje de referencia por arriba y por abajo, y un tiempo permitido para estar por fuera de este porcentaje, ya que al encender la maquinaria hay una caída de tensión y tarda un tiempo en estabilizarse.

1.2. Planteamiento del problema

En la actualidad la oferta y demanda de un producto hace necesario el continuo cambio y crecimiento en una empresa a nivel de planta, celda y oficina, para lograr cumplir con los requerimientos, es necesario la sustitución o actualización de los equipos, para poder aumentar la producción y tener una mejor calidad.

El proceso de deshidratación se realiza para aumentar la vida útil de los alimentos y poder preservarlos, el proceso de deshidratado de cebolla lleva consigo una gran cantidad de tiempo, entre 8 horas a 10 horas dependiendo de factores como la humedad relativa de la cebolla, la temperatura y la humedad del medio ambiente, que se presenten en el día dispuesto para deshidratación. El equipo adquirido para realizar este proceso cuenta con una capacidad de deshidratación de 430 kilogramos de cebolla fresca y se obtiene un producto final de menos de 45 kilogramos de cebolla en polvo lo cual es menor al 12% de la materia prima que se utiliza, este proceso no puede solventar la demanda de producción de la empresa la cual es de mínimo 500 kilogramos por ciclo de deshidratación; lo que conlleva la deshidratación de más de 70 kilogramos de materia prima, otro problema presente en la empresa está en el empaque del producto ya que le toma demasiado tiempo a un operario conseguir una sola unidad de 50 gramos, de 30 a 40 segundos con un error de una a la otra de más del 8% lo cual representa un retraso en la línea de dosificado y empaque, retrasando a un más la necesidad de cumplir con la demanda de producción.

La utilización de un horno secundario para el cumplimiento del objetivo de la empresa de aumentar la producción y calidad a un bajo costo es la solución propuesta en este trabajo, la cual fue aprobada y puesta en marcha. Para poder realizar la implementación es necesaria la corrección de errores presentes en el horno en las fases de circuito de control y visualización tratando de reducir los costos de su mantenimiento en lo más posible, mediante la implementación de un microcontrolador y una pantalla lcd de bajo costo, para poder suplir la demanda de producción. Una vez el horno esté en funcionamiento puede producir 4 kilos de producto deshidratado cada 4 horas lo que es suficiente para poder cumplir exactamente con los requerimientos, realizando dos ciclos de deshidratado al día.

El proceso de empacado representa una gran desventaja y costos altos, para alcanzar las metas propuesta se debe contratar más de una persona permitiendo el paso a errores humanos. La planta cuenta con una máquina dosificadora empacadora que reduce los costos y el error humano, la cual no se encuentra en funcionamiento debido a errores en su configuración como lo es la temperatura de sellado vertical y horizontal y la desconfiguración en la dosificación del producto se pretende que la maquina dosificadora pueda sustituir a los dos empleados encargados de la dosificación y sellado de los empaques y además pueda superar su producción por minuto y disminuir el error de peso con respecto a la referencia.

El horno principal de deshidratación presenta fallos causados por caídas de tensión que resultan completamente perjudiciales para la producción como los estallidos en la cámara de combustión ya que el equipo eléctrico encargado de generar la chispa para la correcta explosión del combustible no llega a tener la tensión mínima para poder funcionar, pero la bomba dosificadora de combustible sigue su funcionamiento normalmente cuando la tensión llega a sus niveles normales hay demasiado combustible en la recamara lo que da paso a pequeñas explosiones o la extinción de la flama retrasando a un más el procesos y colocando en riesgo la seguridad de los operarios, se hace necesaria la instalación de un equipo contra la caída de tensión en los paneles de la planta.

1.3. Objetivos

Objetivo General

- Desarrollar un circuito embebido para el control de temperatura en un deshidratador de cebolla en la empresa ASOPROCAB.

Objetivos específicos

- Elaborar un documento que liste el estado actual de los dispositivos electrónicos y mecánicos que conforman el horno deshidratador.
- Reconocer y analizar los diferentes elementos electrónicos y mecánicos que conforman el horno deshidratador.
- Realizar cambios en la instrumentación o elementos mecánicos del horno deshidratador para optimizar su funcionamiento en cuanto al tiempo de deshidratación.
- Diseñar y construir un circuito embebido para la adquisición, procesamiento y visualización de los datos a trabajar.
- Implementar un controlador de temperatura una vez realizada la toma de datos mediante el sistema de adquisición.
- Optimizar el proceso de producción con la aplicación de pequeñas mejoras a nivel de hardware y software.

2. Capítulo 2

2.1. Proceso de deshidratado de alimentos

Al bajar la concentración del agua aumenta la vida útil de los productos alimenticios y su conservación puede extenderse[1][2], existen muchos procesos diseñados para conservar los alimentos como lo son a refrigeración, congelación y deshidratación, la deshidratación de alimentos es el método más antiguo practicado por el hombre su finalidad es conservar los alimentos sin la necesidad de refrigerar los alimentos durante el transporte o su almacenamiento, consiste en disminuir el agua disponible en los alimentos para evitar el crecimiento y desarrollo de microorganismos patógenos[3].

Existen diferentes métodos para realizar la deshidratación de un alimento, uno de los más utilizados es la circulación de aire caliente el cual consta de dos fases la introducción de calor al producto y la extracción de la humedad del producto, la deshidratación implica la eliminación de agua del material como resultado del intercambio de masa [2], los principios básicos para realizar la deshidratación en el menor tiempo posible consta de principios psicrométricos, curvas de secado y relación tiempo temperatura.

2.1.1. La psicometría

Es el estudio de la relación termodinámica entre el vapor de agua y aire, para poder entender la carta psicométrica se deben tener claros los siguientes conceptos:

la presión parcial de un componente puede ser definida como la presión que el componente ejercería si estuviera completamente aislado, ambos aires de secado y vapor de agua ejercerán una presión parcial en la mezcla de aire-vapor, la humedad relativa es la proporción de la cantidad de vapor en mezclas gaseosas del máximo de vapor que puede estar conteniendo en la mezcla, la humedad absoluta es la proporción de masa de vapor de agua por unidad de masa de aire seco [4].

La carta psicométrica es una gráfica de humedad absoluta a lo largo del eje vertical, contra la temperatura del bulbo en el eje horizontal la curva en el eje superior representa el punto de saturación.

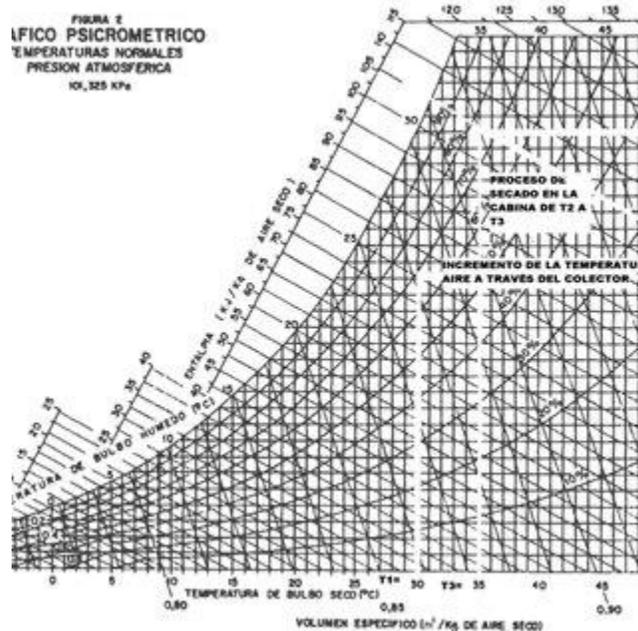


Figura 1. Carta psicrométrica[5].

2.1.2. Curva de secado

Conocer los tiempos de duración del secado y el contenido de humedad de los materiales son aspectos fundamentales para la óptima producción del secador, el secado es considerado como un proceso natural, pero se debe saber cómo eliminar la humedad de un producto [6], ya que al momento del secado el material no pierde agua a velocidad constante, por el contrario, a medida que el proceso de secado prosigue, la velocidad con la que se pierde el agua va disminuyendo.

La curva de velocidad de secado se obtiene sobre el contenido de humedad por exposición de una muestra húmeda a una corriente de aire. La muestra usualmente es suspendida sobre un gabinete o ducto, para secar la muestra se utiliza una corriente de aire a temperatura, humedad, velocidad y dirección de flujo constantes que cruza a través de la misma [4].

2.1.3. Tiempo y temperatura de secado

La mayoría de los métodos de deshidratación involucran calor, debido que es una de las formas más rápidas de extraer la humedad del material, es preciso encontrar un término medio, entre la velocidad de secado y el óptimo mantenimiento de la calidad de los alimentos, ya que es uno de los parámetros más importantes y para ello es necesario tener en cuenta que una temperatura elevada permite aumentar la velocidad de secado, pero una temperatura muy elevada conduce que se dificulte la extracción de humedad, en cambio una temperatura demasiado baja aumenta considerablemente el tiempo de operación.

2.2. Tipos de proceso de deshidratado

Los procesos de deshidratación más comunes son Osmodeshidratación y deshidratado por aire caliente, se utilizan normalmente para el secado de madera o la deshidratación de frutas.

2.2.1. Osmodeshidratación

En la necesidad de prolongar la vida útil de los alimentos se realiza el proceso de Osmodeshidratación que implica la eliminación de agua como resultado del intercambio de masa y el enriquecimiento de la materia prima con componentes de la solución osmótica que penetran en el proceso, el proceso implica la transferencia de masa bidimensional [2], el uso de este tipo de deshidratado es utilizado como pretratamiento antes de varios procesos y puede causar un aumento nutricional.

El consumo energético en la Osmodeshidratación es menor que en otros procesos de deshidratación, puesto que no involucra el cambio de estado del agua, a medida que el producto se deshidrata este se le pueden agregar sustancias como suplementos nutritivos, mejoradores de propiedades sensoriales o conservantes, los medios deshidratantes pueden ser potenciados con la agregación de sal en pequeñas cantidades para no alterar el sabor de los alimentos, concentraciones no mayores al 10% [7].

2.2.2. Deshidratado por aire caliente

Con la evaporación se elimina el contenido de agua y se impide el crecimiento bacteriano, cuando un producto se somete a una corriente de aire caliente el líquido que contiene se evapora aumentando su contenido en el aire, en este proceso se pueden afectar las propiedades sensoriales y el valor nutricional si se almacena a temperaturas muy altas, la temperatura es la variable fundamental a analizar en estos procesos [8].

2.3. Clasificación de hornos deshidratadores

En la industria del secado de alimentos o diferentes materias se han diseñado diferentes tipos de secadores para cumplir con la necesidad de mejorar las condiciones de secado y reducir el tiempo del proceso.

2.3.1. clasificación según su forma

2.3.1.1. Hornos continuos

Este tipo de hornos se usan en procesos continuos de grandes volúmenes de producción, es un largo túnel por el que circula el material y se caracteriza por que la materia prima entra fresca por un lado y al otro lado se obtiene el material con el porcentaje de humedad requerido [9].

2.3.1.2. Horno de compartimentos o bandejas

Es de los tipos de hornos más utilizados para la deshidratación en mediana y baja producción consiste en un gabinete dividido por secciones donde se colocan las bandejas con el material a deshidratar, su funcionamiento es mediante la circulación de aire caliente a través de una turbina producido por resistencias calefactoras eléctricas o mediante la quema de algún combustible.

2.3.2. Clasificación de acuerdo a su temperatura

2.3.2.1. Horno de baja temperatura

El secado en hornos a baja temperatura se realiza en ambientes controladas durante toda la operación, este tipo de hornos funciona a un máximo de 45 grados centígrados, la energía se puede utilizar de fuentes naturales como el sol.

2.3.2.2. Hornos de temperatura normal o tradicional

Estos hornos son ampliamente utilizados tiene un sistema de ventilación calefacción y humificación para regular las condiciones dentro de la cámara, el método de secado consiste en impulsar el aire caliente a través de la cámara donde se encuentran el material.

2.3.2.3. Hornos de altas temperaturas

El secado a altas temperaturas es uno de los métodos menos utilizados por el daño que le puede proporcionar al material la característica principal de estos hornos es el corto tiempo de operación que se logra.

2.3.3. Clasificación respecto a la fuente energética

por lo general, se busca una fuente de energía que resulte económica, y pueda suplir las necesidades del proceso en condiciones óptimas determinadas para caso en particular, que sea lo menos contaminante posible y no tenga dificultades de abastecimiento.

2.3.3.1. Energía por combustión

El conseguir la energía necesaria para calentar la cámara de secado tiene como requisito el usar una caldera, el calor que se genera por la quema de combustible es el que se transmite a través del horno mediante las tuberías calentando así la atmosfera del secador.

La energía por combustión es el método más ampliamente usado, ya que su fuente de energía es sencilla de conseguir y se pueden utilizar desechos de la industria como lo es el combustible lo que se traduce en un gran ahorro para una empresa.

2.3.3.2. Energía eléctrica

En el secado tradicional, esta energía se utiliza solo para el sistema de ventilación y para impulsar el aire caliente y en el secado por radio frecuencia lo hace para calefaccionar la cámara [9], en la actualidad existen hornos completamente eléctricos donde se produce el calor mediante resistencias eléctricas y es impulsado a dentro del horno mediante una turbina.

2.3.3.3. Energía solar

El utilizar energía solar para el secado de un material es un método muy económico, ya que no se necesita una fuente de calor externa, el diseño de los hornos solares debe estar pensado con el fin de poder captar la mayor cantidad de energía solar, por lo general se diseña de tal manera que los rayos solares entren al horno con un Angulo de 90 grados.

2.4. Componentes de un horno deshidratador

La configuración básica de un secador consiste en un sistema que genere aire caliente el cual circulara en una cámara, para subir su temperatura a un nivel deseado mediante un control de temperatura, un horno deshidratador de bandejas por combustión tiene 3 componentes principales el calentador, la cámara y la turbina (generador de aire).

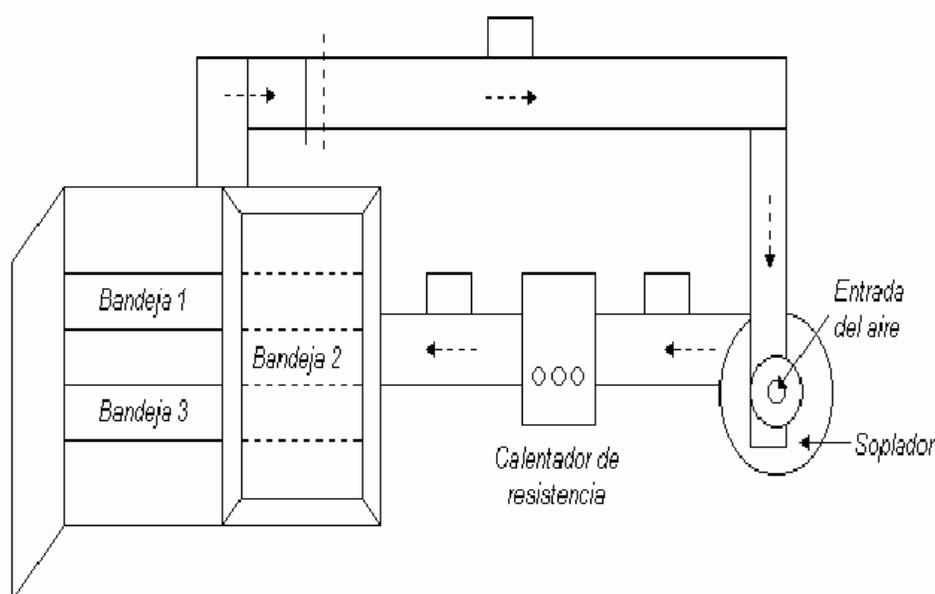


Figura 2. secador de bandejas eléctrico[10].

2.5. El Microcontrolador

En el año 1970 el panorama de la electrónica cambio radicalmente con la aparición del microprocesador, aproximadamente en 1980 los fabricantes de circuitos integrados dieron a conocer el microcontrolador el cual contenía toda la estructura de un microcomputador, es decir, unidad de proceso (CPU), memoria RAM, memoria ROM y circuitos de entrada /salida (E/S) [12], fue creado para resolver el problema de la complejidad y el alto costo de los sistemas basados en microprocesadores[13].

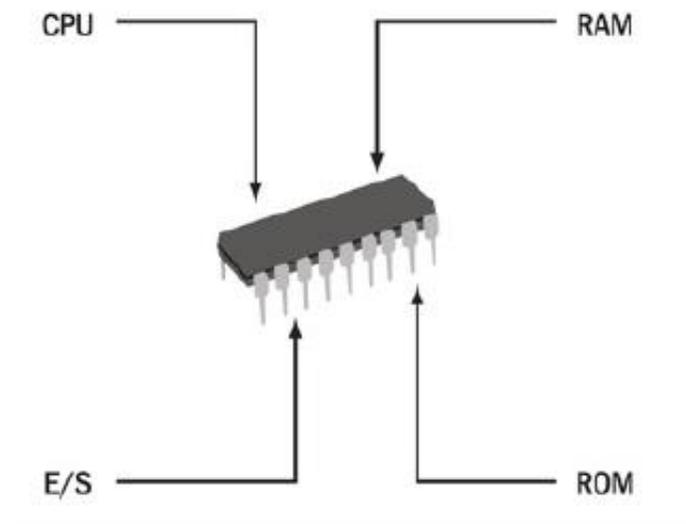


Figura 3. Elementos que comprende un microcontrolador[13].

hoy en día los microcontroladores son cada vez mas utilizados debido a sus ventajas desde aficionados a profesionales, incluso a niveles industriales, es común encontrar un microcontrolador se encuentran en cafeteras, hornos microondas, dispositivos lógico programables, etc. Actualmente puede resultar más fácil, rápido y más económico el implementar un microcontrolador que circuitos discretos (compuertas, contadores, registros y demás).

2.5.1. Funcionamiento general

El microcontrolador está diseñado para la ejecución de una lista de instrucciones la cual se denomina programa, un contador de programa contiene una dirección 0 de inicio, en esta se almacena la primera instrucción del programa, luego incrementa y ejecuta la instrucción guardada en esa dirección, y de esta forma sucesivamente, el contador de programa va accediendo secuencialmente a las direcciones de la memoria de programa, de donde se leerán las instrucciones almacenadas allí y pasaran al microcontrolador y luego a la unidad aritmético-lógica (ALU) es la encargada de llevar a cabo las operaciones necesarias, ya sean lógicas o aritméticas[13].

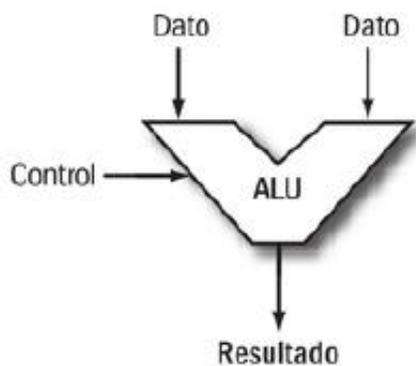


Figura 4. Unidad aritmético-lógica[13].

El microcontrolador cuenta con un circuito de entrada y salida dependiendo de las entradas el microcontrolador toma decisiones, cuando se habla de dispositivos de entrada se hace referencia a todos los elementos que pueden cambiar de estado ante alguna determinada condición y generar una señal que pueda ser interpretada por el microcontrolador[12], una vez tomada la decisión por el programa del microcontrolador se genera una señal de salida.

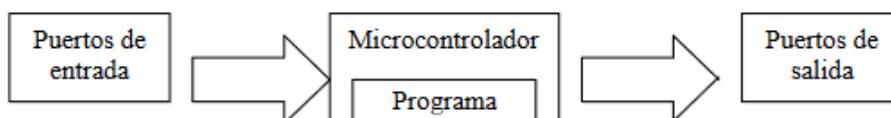


Figura 5. Diagrama general de un microcontrolador[13].

2.5.2. Componentes especiales de un microcontrolador

Los fabricantes de microcontroladores pensando en la necesidad de los consumidores o programadores han añadido componentes especiales a sus modelos como, por ejemplo, conversores analógicos a digital(A/D), timer e interrupciones.

2.5.2.1. Conversor análogo a digital (A/D).

Los microcontroladores trabajan con valores digitales por lo que es necesario una conversión previa del valor analógico recibido a un valor digital lo más aproximado posible, esta se realiza mediante un conversor análogo/digital; la cantidad de bits de resoluciones que tiene un determinado conversor análogo/digital es lo que marca en gran medida el grado de precisión conseguida en la conversión de señal análoga a digital[14].

2.5.2.2. Timer

Los Timer o temporizadores son módulos integrados en el microcontrolador que permite realizar cuentas tanto de eventos internos como externos, cuando la cuenta es externa es una temporización y cuando es interna se habla de contador. Los Timer están ligados con las interrupciones y se utilizan de forma conjunta[15].

Los timer dentro de un microcontrolador generalmente tienen un prescaler es decir un divisor de frecuencia programable que puede por ejemplo dividir por 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256 en el caso más común. La frecuencia de conteo es una cuarta parte de la frecuencia de reloj[15].

2.5.2.3. Interrupciones

Las interrupciones permiten a cualquier suceso interno o externo interrumpir la ejecución del programa principal en cualquier momento, al momento de producirse la interrupción el microcontrolador salta a la rutina definida por el programador una vez terminada dicha rutina el microcontrolador retoma la ejecución del programa en la misma posición de la memoria del programa donde se produjo la interrupción[15].

Al producirse una interrupción, el microcontrolador salta a la dirección del vector de la interrupción de la memoria de programa y ejecuta la porción de programa, correspondiente a la atención de la interrupción, hasta encontrar la instrucción RETFIE. Al encontrar dicha instrucción, abandona la interrupción y retorna a la posición de memoria del programa principal desde la que salto al producirse la interrupción[15].

2.5.3. Diferencia entre un microprocesador y un microcontrolador

Un microprocesador es solamente la unidad central de proceso, componentes como la memoria RAM memoria ROM y puertos entrada/salida y todos los demás periféricos son externos, lo cual hace su programación más compleja, por el contrario el microcontrolador integra todos estos periféricos y el programador se desentiende de una gran cantidad de dispositivos y se concentra en el programa de trabajo[12].

2.6. Microcontrolador ATmega328P

El modelo ATmega328P es de la marca Atmel, la "P" del final significa que este microcontrolador incorpora tecnología "Picopower" la cual permite un consumo electrónico menor comparándolo con su modelo equivalente sin "picopower", el ATmega tiene una arquitectura de tipo AVR, arquitectura desarrollada por Atmel más concretamente el ATmega328P pertenece a la subfamilia de microcontroladores "megaAVR"[14].

2.6.1. Esquema de bloques

El núcleo AVR combina un complejo conjunto de instrucciones con 32 registros de trabajo de propósito general, todos los registros están conectados directamente a la unidad lógica aritmética (ALU), lo que permite acceder a dos registros independientes en una sola instrucción ejecutada en un ciclo del reloj, la arquitectura resultante es más eficiente en

cuanto al código, el tiempo que alcanza es hasta diez veces más rápido que los microcontroladores CISC convencionales[16].

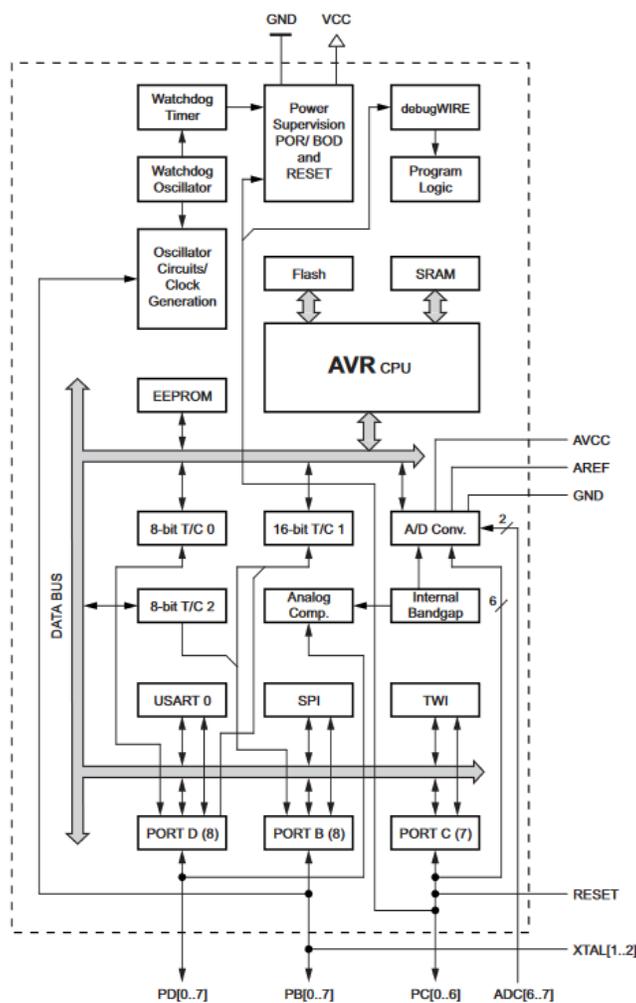


Figura 6. Diagrama de bloques del microcontrolador ATmega328P[16].

El ATmega328P proporciona características tales como, 32K bytes de flash programable de lectura y escritura, EEPROM de 1K bytes, SRAM de 2K bytes, 223 líneas de E/S de propósito general, 32 registros de trabajo de propósito general, tres timer, interrupciones internas y externas, un USART programable en serie, una interfaz serie de 2 hilos orientada a bytes, un puerto serie SPI, un ADC de 6 canales y 10 bits, un temporizador de vigilancia programable con oscilador interno y cinco modos de ahorro de energía seleccionables por software, el modo inactivo detiene la CPU y permite que sigan funcionando la SRAM, el temporizador/contactores, USART, la interfaz serial de 2 hilos, el puerto SPI y el sistema de interrupción, también cuenta con modos de ahorro de energía como lo son el modo apagado el cual guarda el contenido del registro pero congela el oscilador deshabilitando todas las demás funciones, el modo ahorro de energía en el cual el temporizador asíncrono continua funcionando, lo que permite al usuario mantener una cuenta del temporizador mientras el resto del dispositivo sigue funcionando, el modo reducción de ruido ADC y el modo de espera[16].

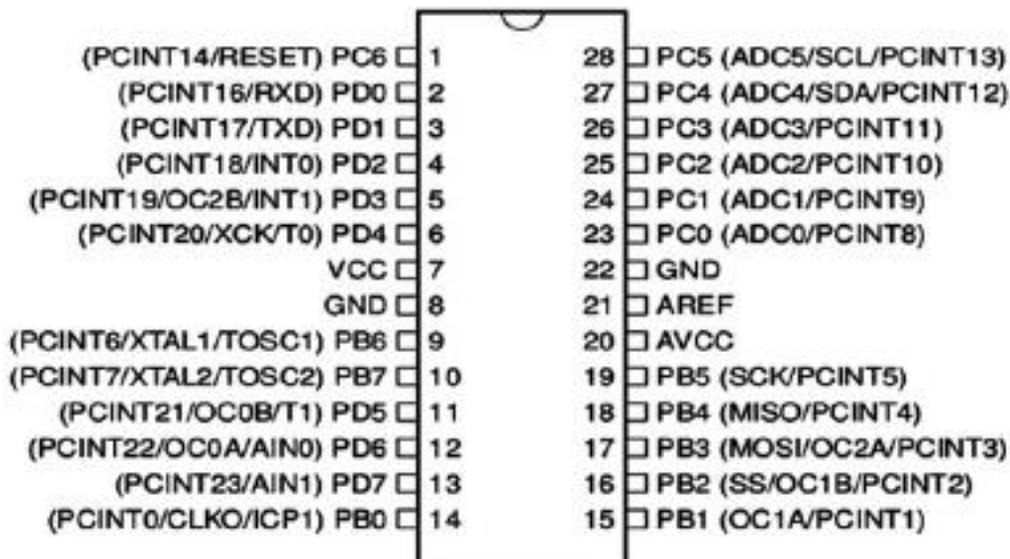


Figura 8. Funciones de los pines Entrada/Salida del microcontrolador ATmega328P[14].

2.6.3. Los registros del microcontrolador

Los registros son espacios de memoria existentes dentro de la propia CPU de un microcontrolador, tienen varias funciones indispensables como albergar datos, necesarias para la ejecución de instrucciones previstas próximamente y actuales, sirven también para almacenar temporalmente los resultados de las instrucciones recientemente ejecutadas (por si se necesitan en algún instante posterior)[14].

El tamaño del registro es muy importante en cualquier microcontrolador, ya que a mayor número de bits tenga mayor serán sus prestaciones en cuanto a poder de cómputo y ejecución, el chip ATmega328P es de 8 bits[14].

2.6.4. Protocolos de comunicación del microcontrolador

Utilizadas para transmitir un conjunto de datos de un circuito electrónico a otro, existen varios protocolos como la comunicación “serie”, en esta la información es transmitida bit a bit por un único canal, otra manera de transferir datos es mediante la comunicación “paralela” en la cual se envían varios bits simultáneamente cada uno por un canal separado y sincronizado con el resto[14].

El microcontrolador utiliza en sus pines de entrada/salida un sistema de comunicaciones serie para transmitir y recibir órdenes y datos hacia/desde otros componentes electrónicos. Debido a que solo se necesita un canal (un pin), mientras una comunicación paralela necesita varios cables con un correspondiente incremento de complejidad, tamaño, y coste del circuito resultante[14].

Existen muchos protocolos y estándares diferentes basados todos ellos en la transferencia de información en serie, cada uno con detalles específicos como el modo de sincronización

entre emisor y receptor, la velocidad de transmisión, el tamaño de paquetes de datos etc. Los estándares que soporta el ATmega328P están el I2C, y SPI[14].

2.6.4.1. Protocolo I2C.

Conocido también con el nombre de TWI de "Two-wire", literalmente "dos cables" es un sistema muy utilizado en la industria principalmente para comunicar circuitos entre sí, la principal característica es la utilización de dos líneas para la transmisión de información una llamada SDA en la cual se transmiten los datos y la otra llamada SCL en la cual se envía la señal del reloj para sincronizar la transferencia las dos líneas son de colector abierto ambas deben utilizar unas resistencias externas o de pull-up para asegurar un nivel alto cuando no hay dispositivos conectados al bus[14], [15].

La señal de reloj es una señal binaria de una frecuencia periódica muy precisa que sirve para coordinar y sincronizar los elementos integrantes de forma que todos sepan cuando se empieza, cuánto dura y cuando acaba la transferencia de información[14].

Cada dispositivo conectado al bus I2C tiene una dirección única que lo identifica con respecto a los demás dispositivos, estos se pueden configurar como "maestro" o como "esclavo", un dispositivo es el que tiene la iniciativa de transferencia y además genera la señal del reloj, cuando el maestro inicia una comunicación, primero transmite la dirección del dispositivo con el cual quiere comunicar y los esclavos comprueban si la dirección concuerda con la suya, la transmisión puede ser de lectura o escritura, el último bit de la dirección lo indica, así el maestro estará en transmisión y el esclavo en recepción o viceversa[14], [15].

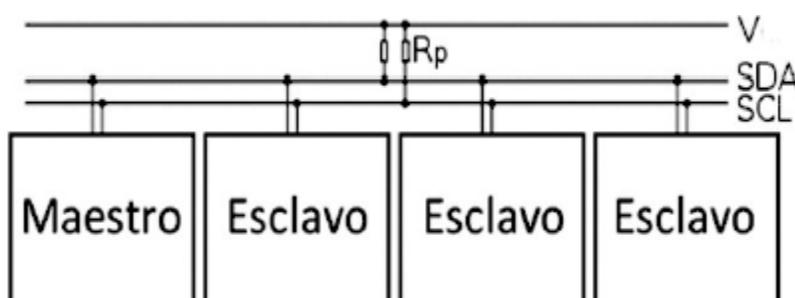


Figura 9. Protocolo de comunicación I2C[14].

El número de dispositivos conectados y la longitud de conexión están limitados por la capacidad de direccionamiento que es de 7 a 10 bits y por la máxima carga del bus (400pF), la velocidad máxima estándar es de hasta 100Kbps, la rápida hasta 400Kbps y la alta hasta los 3.4 Mbps[15].

La transmisión se inicia con un bit de inicio o START y termina con el bit de finalización o STOP, el START se establece con una transición de alto a bajo en la línea SDA cuando la línea SCL está a nivel alto. El STOP se establece cuando se produce una transición de bajo a alto en la línea SDA cuando SCL está a nivel alto, de esta forma los datos en la línea SDA solo cambian en el estado bajo de la línea SCL[15].

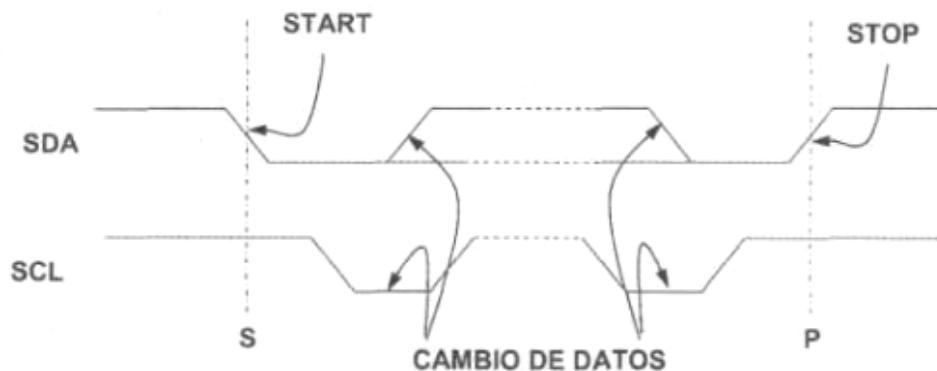


Figura 10. Condiciones de la transferencia[15].

Una vez el maestro envía la dirección, el esclavo genera un bit de reconocimiento (ACK), si el maestro no recibe este bit la comunicación se interrumpe, generando una señal de STOP, existe la posibilidad de que el maestro, tras una transmisión/recepción, no abandone el bus y siga en comunicación con el esclavo en este caso se genera una señal de START repetida (Sr), idéntica a la anterior pero después de un pulso de reconocimiento[15].

2.6.4.2. Protocolo SPI

El protocolo SPI (serial peripheral interface) al igual que el sistema I2C, el sistema de comunicación SPI es un estándar que permite controlar (a cortas distancias) casi cualquier dispositivo electrónico digital que acepte un flujo de bits serie sincronizado al igual que en la comunicación I2C en bus SPI se puede conectar un dispositivo como maestro o esclavo donde el primero es el que inicia la transmisión de datos y además genera la señal de reloj y el segundo se limita a responder no es necesario que el maestro sea siempre al mismo dispositivo[14].

La mayor diferencia entre protocolo SPI y el I2C es que primero requiere de cuatro líneas en vez de dos. Una línea llamada SCK envía a todos los dispositivos la señal de reloj generada por el maestro actual, otra llamada SS es la utilizada por ese maestro para elegir en cada momento el dispositivo esclavo con el que se quiere comunicar de entre los varios que puedan estar conectados ya que solo puede transferir datos un solo esclavo a la vez, otra llamada MOSI es la línea utilizada para enviar los datos desde el maestro hacia el esclavo elegido, y la otra llamada MISO es utilizada para enviar los datos en sentido contrario, al haber dos líneas de transmisión la información es "full duplex" es decir que la información puede ser transmitida en ambos sentidos a la vez[14].

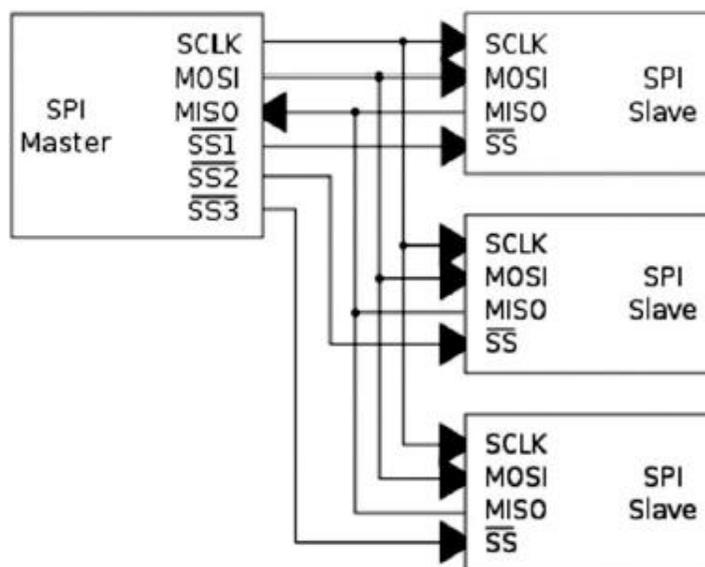


Figura 11. protocolo de comunicación SPI[14].

Para la existencia de varios esclavos es necesario utilizar para cada uno de ellos una línea SS ya que esta línea es la que sirve para activar el esclavo concreto que el maestro solicite. Como se puede ver, el protocolo SPI respecto al I2C tiene la desventaja de exigir al microcontrolador dedicar muchos más pines de E/S a la comunicación externa, como ventaja se puede destacar que es mucho más rápido y consume menos energía que I2C[14].

2.7. Controladores industriales

El control automático ha desempeñado un papel vital en el avance de la ingeniería y la ciencia, se ha convertido en una parte fundamental de muchos de los avances de la ingeniería[17] como procesos de manufactura o cualquier proceso que involucre control de temperatura, flujo, presión, humedad, etc.

El primer trabajo significativo fue el regulador de velocidad centrifugo para el control de velocidad de una maquina a vapor, en 1922 Minorsky trabajo en controladores automáticos para el guiado de embarcaciones, y demostró que la estabilidad del sistema está dada por las ecuaciones diferenciales que describen el sistema. A comienzo de la década de los cuarenta y cincuenta muchos de los controladores de temperatura, presión entre otros eran controladores PID, a comienzo de la década de los cuarenta Ziegler y Nichols establecieron reglas para sintonizar controladores PID, las denominadas reglas de sintonía de Ziegler-Nichols. A finales de los años cuarenta y principios de los cincuenta, se desarrolló por completo el método del lugar de las raíces propuesto por Evans[17].

2.7.1. Sistema de control de temperatura de un horno eléctrico

La temperatura de un horno eléctrico se mide mediante un termómetro, el cual es un dispositivo analógico, la temperatura analógica se convierte en digital mediante un conversor A/D. la temperatura digital es introducida dentro de un controlador, esta temperatura es comparada con la temperatura a la cual se quiere llegar y si existe una

discrepancia el controlador envía una señal al calefactor mediante una interfaz, amplificador relé, para hacer que la temperatura del horno alcance el valor deseado[17].

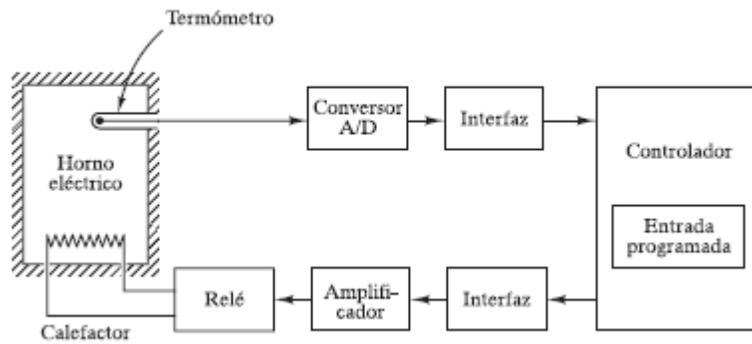


Figura 12. Control de temperatura de un horno eléctrico[17].

2.8. Sistemas de medición de temperatura existentes

En un principio todos los sistemas de medición y control de temperatura eran analógicos y tenían sus limitantes en cuanto a precisión, ya que sus indicadores eran de aguja y constantemente debían calibrarse, tiempo después con el avance de la electrónica digital los sistemas evolucionaron, aunque aún se producen sistemas analógicos hay mucha menos cantidad [18].

En la industria se pueden encontrar sistema de medición analógico y digital del tipo ON-OFF como los mostrados en la figura 1 correspondientes a la empresa TEMPCO México S.A. de C.V.[19]



(a)



(b)

Figura 13. Dispositivos de medición de temperatura marca TEMPCO. (a) Serie 553M, (b)Serie 555M[18].

- Sistema de medición de temperatura Serie 553M, basado en un microcontrolador, el método de control que utiliza es ON-OFF, permite modificar los límites de temperatura, su factor de error es de 1% sobre el rango total, contiene dos pantallas una para ver la temperatura actual y otra el objetivo permite seleccionar los tipos de termopares a utilizar como lo son el tipo J,K,R y T, su consumo de poder es de 2.4VA[19].

- Sistema de medición de temperatura Serie 555M, control analógico de forma ON-OFF, los rangos están preestablecidos, solo admite termopares tipo J y K, si factor de error es de 1% sobre el rango total, su consumo es de 1.8VA[19].

El método de control ON-OFF es una simple señal eléctrica la cual desactiva la inyección de gas al quemador para bajar la temperatura al límite inferior de temperatura, y permite la admisión al quemador para aumentar la temperatura hasta el límite superior de temperatura.

3. CAPITULO 3

3.1. Análisis, reconocimiento y estado actual de los elementos que conforman el sistema

3.1.1. Componentes eléctricos y electrónicos del horno deshidratador de la empresa ASOPROCAB

los componentes eléctricos y electrónicos de un horno deshidratador varían dependiendo del modelo, el horno deshidratador analizado cuenta con 7 componentes: un termopar tipo k, motor trifásico, electroválvula, modulo controlador de temperatura analógico, dos interruptores utilizados para encender el motor y activación de la acción de control sobre la electroválvula, y un interruptor MCB (mini - interruptor automático) NXB-63.

3.1.1.1. Termopar

La estimación del calor superficial para mediciones de corta duración en la que el calor puede cambiar rápidamente son los termopares coaxiales debido a que tienen un tiempo de respuesta muy rápido en el orden de los milisegundos [20], además por su forma y flexibilidad se puede instalar fácilmente, existen diferente tipos de termopares como los son el tipo K, tipo E y tipo J, cada uno cuenta con dos parámetros importantes para su selección y utilización los cuales son la resistencia del coeficiente térmico(TCR) y la sensibilidad (S) [20].

El termopar utilizado por el horno deshidratador es del tipo K, al realizar pruebas de funcionamiento del termopar no arrojaba lectura de temperatura, por lo que se a sustituido por uno nuevo y calibrado.

3.1.1.2. Motor monofásico

Para poder hacer circular el aire caliente dentro de la cámara se necesita un extractor lo suficientemente potente el cual cuenta con un motor monofásico conectado a 220V, cumple la función de hacer girar un extractor cilíndrico el cual toma el aire caliente del calentador para mediante una abertura en la cámara permitir su circulación, este sistema se encuentra en perfecto estado al realizar las pruebas no se encontró ningún problema de funcionamiento por parte de este elemento.



Figura 14. Motor monofásico horno deshidratador de la empresa ASOPROCAB.

Fuente: Autor.

3.1.1.3. Panel de control

En el panel de control se encuentran los elementos encargados de controlar las funcionalidades del horno tales como establecer la temperatura del horno, encender el motor encargado de circular aire caliente dentro del horno, activar el funcionamiento de la electroválvula (solenoides) y proteger el sistema en caso de un corto circuito, mediante el accionamiento de los interruptores se confirmó el funcionamiento correcto de estos.



Figura 15. Panel de control horno deshidratador empresa ASOPROCAB.

Fuente: Autor.

3.1.1.4. Sistema de control y visualización de temperatura

La temperatura se controla mediante un módulo de control de temperatura analógico el cual admite un rango de error de 15 grados centígrados una vez la temperatura del horno

pasa estos grados la electroválvula se cierra para no calentar el aire dentro del calentador y así el motor pueda impulsar aire menos caliente dentro de la cámara y cuando el valor de la temperatura es inferior por más de 15 grados a la referencia, la electroválvula se abre permitiendo la circulación de gas para calentar el aire y así poder ingresar aire caliente en la cámara.

Una vez solucionado el problema del termopar se realizó una nueva prueba de funcionamiento en la cual el módulo TOS no realizó ninguna acción de control, por lo que se descartó la idea de su utilización.



Figura 16. Controlador de temperatura de la serie TOS de Autonics[21].

3.1.1.5. Interruptores

Los interruptores en el horno cumplen con el propósito de encender el motor y encender la electroválvula para hacer el control de temperatura, mientras el interruptor de la electroválvula no esté en estado ON no se abrirá para iniciar el calentamiento de aire y no se realizará control de temperatura, los interruptores cumplen perfectamente con su función al momento de realizar las pruebas de funcionamiento.

3.1.1.6. Interruptor automático

Está conectado a una fase del sistema eléctrico para actuar en caso de un corto o una sobre corriente cortando el suministro de corriente en el sistema y así evitando que se dañe algún componente, específicamente el interruptor automático es NXB-63 1P el cual soporta corrientes de 10 amperios, trabaja a 220V en corriente alterna y es avalado según la norma IEC 60898 [22].

El interruptor térmico cumple con su función y se encuentra en perfectas condiciones para seguir funcionando.



Figura 17. Interruptor automático NXB-63 10A[22].

3.1.1.7. Electroválvula

Cumple con la función de permitir el flujo de gas al quemador para poder calentar el aire que circulara por la cámara y deshidratara la cebolla, esta electroválvula trabaja a 220V en corriente alterna, el rango de temperatura de trabajo es de -5 grados centígrados a 80 grados centígrados de la marca checkman, la electroválvula se encuentra en buen estado y en las pruebas de funcionamiento no se encontró ningún inconveniente por lo que se puede seguir utilizando sin ningún problema.

3.1.2. Componentes mecánicos del horno deshidratador de la empresa ASOPROCAB

3.1.2.1. Construcción física

El horno deshidratador está construido en acero inoxidable 304, antiácido, funcionamiento a gas con espacio para 15 bandejas, el cual puede deshidratar 160 kilogramos de fruta fresca, cuenta con un panel para el control de temperatura deseada, en la revisión se a encontrado un problema en un soporte inferior por lo cual tiene un soporte extra que sirve de apoyo, la estructura se encuentra en muy buenas condiciones y no se requieren realizar cambios.



Figura 18. Construcción mecánica del horno deshidratador de la empresa ASOPROCAB.

Fuente: Autor.

3.1.2.2. El calentador

En calefactores directos el aire es calentado cuando se combina con gases de combustión de escape, en calentadores indirectos el aire es calentado a través de placas de resistencias eléctricas [11], el precio de los calentadores por combustión o directos es más económico que los indirectos aunque se pueden llegar a dañar o contaminar el producto debido a la emisión de gases, el calentador que se encuentra en el horno es un calentador directo, el cual se encuentra en condiciones óptimas para seguir funcionando más sin embargo sea realizado una pequeña limpieza para que el aire calentado será más limpio.



Figura 19. Calentador del horno secundario, empresa ASOPROCAB.

Fuente: Autor.

3.1.2.3. Cámara

Este aspecto depende del tipo de horno, los más utilizados para pequeñas producciones suelen ser hornos de bandejas, donde dentro de la cámara circula aire caliente hasta lograr calentarla a la temperatura deseada.

el horno utilizado es tipo bandejas tanto los soportes como las bandejas se encuentran en excelente estado y pueden utilizarse sin ningún inconveniente.



Figura 20. Cámara del horno secundario, empresa ASOPROCAB.

Fuente: Autor.

3.1.2.4. Generador de aire

Cuentan con un sistema que permite la entrada de aire caliente a ventiladores o una turbina estos sistemas también son utilizados comúnmente en sistemas de refrigeración o en extractores de aire, los cuales se debe polarizar a la inversa, el generador de aire funciona perfectamente sin ningún inconveniente y los elementos que lo conforman está en condiciones óptimas para su utilización.



Figura 21. Generador de aire del horno secundario, empresa ASOPROCAB.

Fuente: Autor.

4. CAPÍTULO 4

4.1. Selección de componentes.

Los componentes han sido seleccionados pensando en la facilidad de su utilización además de tener en cuenta el espacio que ocuparían, la complejidad agregada en la programación y el costo final del sistema, todos estos elementos son utilizados para la sustitución del anterior equipo de visualización y control que estaba presente en el horno el cual era un solo elemento.

4.1.1. Transformador

Permite realizar la transformación de la tensión de 220V a 40V para poder alimentar el circuito eléctrico es un transformador de chapas en E el cual permite un menor consumo que un transformador lineal, hace parte de la primera etapa de transformación y regulación de la corriente para la alimentación del circuito de control.

4.1.2. Puente rectificador de diodos

Está conformado por 4 diodos conectados juntos, Permite el flujo de corriente en un solo sentido se utiliza para transformar de corriente alterna a corriente continua, hace parte de la segunda etapa de transformación y regulación, el regulador utilizado ha sido el rectificador BR3 el cual admite un voltaje de entrada RMS máximo de 280V y una corriente máxima de 50A[23].

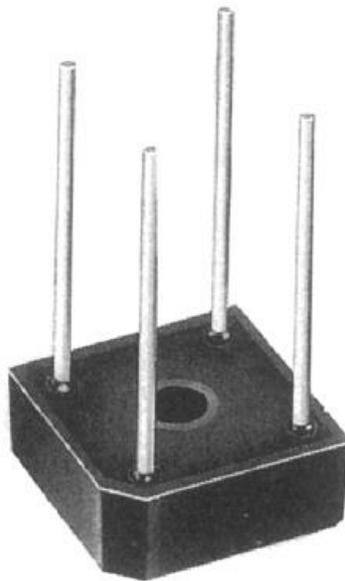


Figura 22. Puente rectificador[23].

4.1.3. Capacitor de filtrado.

Utilizado para estabilizar la tensión una vez ha sido rectificad funciona como una pequeña batería con muy poca carga que se descarga para mantener el voltaje estable, compone la tercera etapa de transformación y rectificado.

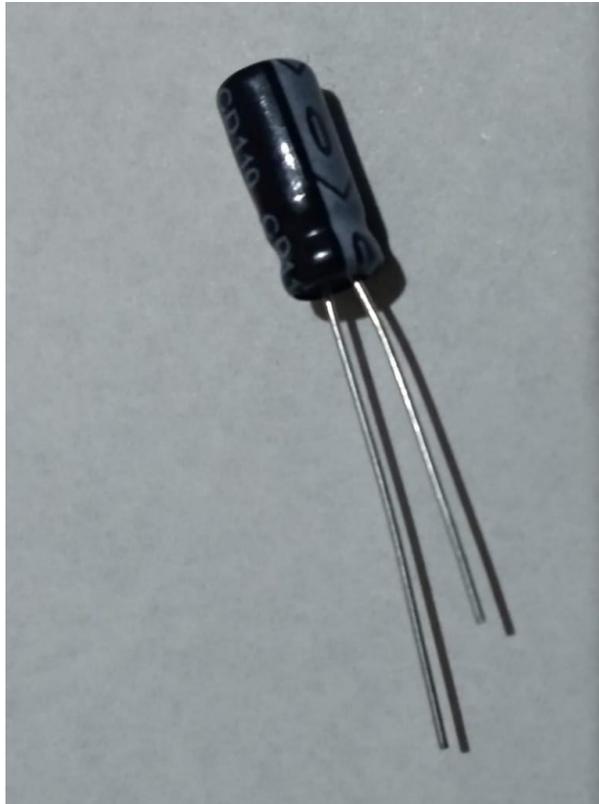


Figura 23. Capacitor electrolítico.

Fuente: Autor.

4.1.4. Regulador de voltaje

Compone la cuarta y última etapa de transformación y rectificado consta de un dispositivo electrónico el cual recibe un voltaje de entrada variable entre ciertos límites establecidos y lo transforma en un valor fijo de salida el regulador de voltaje utilizado es lm7805 dispositivo que regula voltaje positivo a 5V y 1A tiene un encapsulado TO-220 por lo cual cuenta con tres pines uno de tensión de entrada otro de GND y otro de tensión de salida soporta un voltaje de entrada máximo de 40V y l tensión de salida puede variar entre 4.8V a 5.2V [24], se conectan dos capacitores electrolíticos entre la entrada y GND y la salida y GND para evitar ruidos a la salida del regulador.

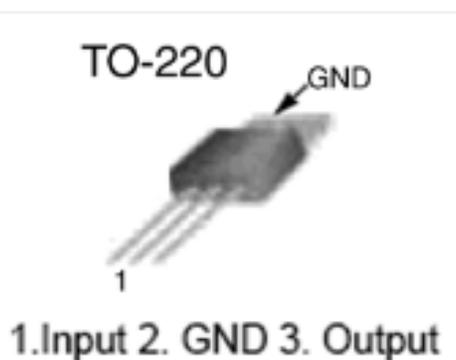


Figura 24. Regulador de voltaje LM7805[24].

4.1.5. Max 6675

El termopar no puede ser leído directamente por el microcontrolador para ello necesita un circuito integrado llamado max 6675 el cual interpreta la señal del termopar tipo K y lo convierte en un valor digital y lo trasmite al microcontrolador a través de una comunicación SPI

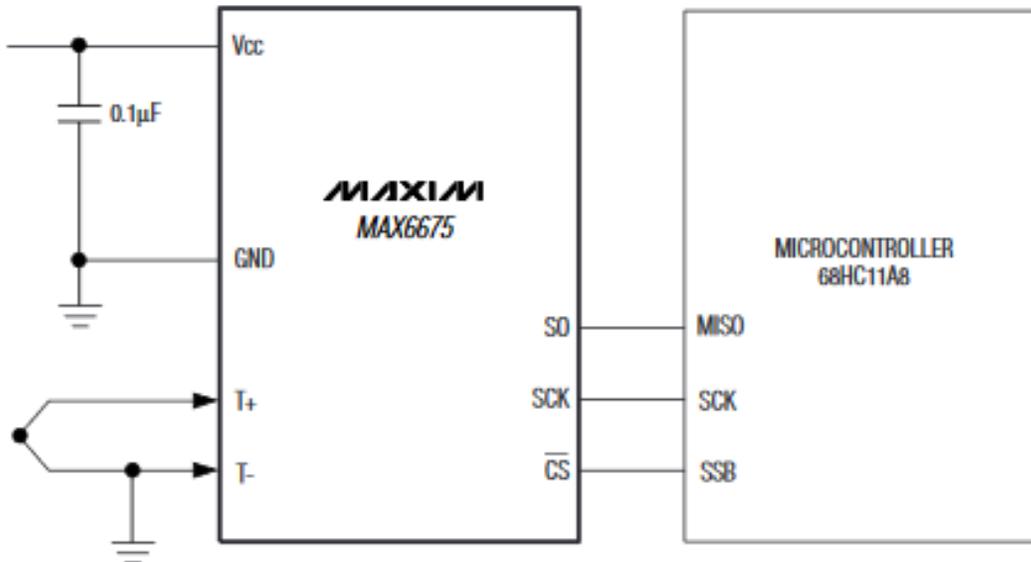


Figura 25. Esquema de conexión max6675[25].

4.1.6. Microcontrolador

Encargado de leer los datos del MAX 6675 para realizar un control a la variable leída, en este caso el microcontrolador utilizado ha sido el ATmega328P ya que cuenta con la capacidad de utilizar comunicación SPI, además de la cantidad de pines que posee los cuales son necesarios para poder controlar y leer la gran cantidad de elementos en el circuito, y su facilidad de programación.

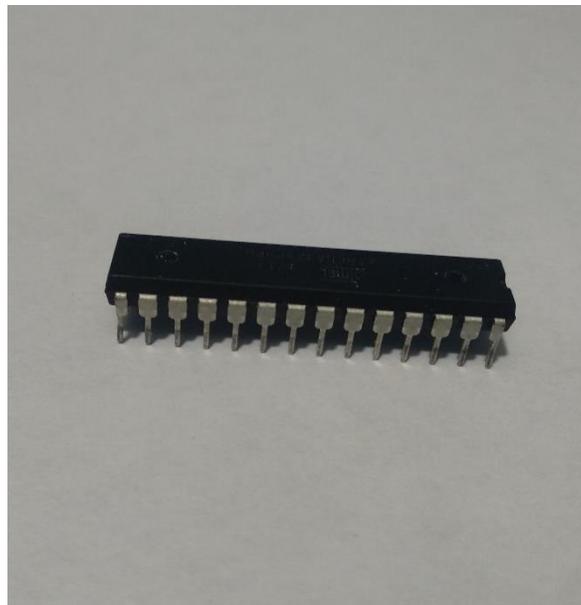


Figura 26. microcontrolador utilizado en la placa.

Fuente: Autor.

4.1.7. Interruptor

Seleccionado para poder iniciar el proceso una vez configurados los parámetros de temperatura se ha utilizado uno de los interruptores presentes en la maquinaria para evitar la compra de elementos innecesaria.

4.1.8. Potenciómetro

Para realizar la configuración de la temperatura deseada se ha optado por la utilización de un elemento sencillo para que sea más fácil su utilización por lo tanto se ha decidido la utilización de un potenciómetro para el aumento o la disminución de la temperatura la cual deberá ir de 40 a 200 grados.

4.1.9. Pantalla lcd.

para la visualización de los datos se ha optado por una pantalla lcd ya que solo ocupa 8 pines del microcontrolador a diferencia del display 7 segmentos que ocupan otra gran cantidad de pines, la pantalla lcd utilizada es una 16X2 de 8 bits de la cual solo se utilizaran 4 para evitar la utilización innecesaria para el proceso de más pines.

4.1.10. Relay

Para poder realizar el control de flujo de gas al quemador se utiliza una electroválvula ON-OFF la cual funciona a 220V para que el microcontrolador pueda realizar un control sobre ella se necesita un relay activado mediante un transistor que entra en saturación al recibir una señal de 5V por su base.

4.1.11. Transistor

Para la activación del Relay de una forma segura y sin ninguna complicación para el microcontrolador se ha utilizado un transistor 2N222A con encapsulado TO-92 cullo factor de amplificación baria de 100 a 300.

4.2. Optimización del proceso de deshidratado.

La optimización del proceso se a realizado mediante la implementación de un nuevo sensor de temperatura o termopar tipo K y la utilización de un circuito electrónico para el control de temperatura con mucha más precisión y con menos variación que el utilizado anteriormente, manteniendo los valores de deshidratado en un rango de más o menos 5 grados respecto a la referencia a diferencia del anterior que tenía un rango de error de 15 grados, esto permite que el proceso mantenga temperaturas más estables por lo que el deshidratado se hace de una forma contante y sin variaciones.

5. Capítulo 5

5.1. Programa de diseño de PCB.

Autodesk EAGLE es un software de automatización de diseño electrónico (EDA), permite que los diseñadores de placas de circuito impresos (PCB) conecte a la perfección diagramas esquemáticos, ubicación de componentes, enrutamiento de PCB, además la empresa proporciona 3 años de licencia gratuita para estudiantes [26].

5.2. Diseño del circuito

Para realizar el diseño de la PCB a utilizar se requiere proceder a realizar pequeños cálculos como la saturación del transistor y el consumo energético, para la realización de la PCB se han tomado en cuenta especificaciones de ingeniería como el grosos de las vías la cual depende de la cantidad de corriente que soportaran, las conexiones de los componentes se han realizado según las indicaciones del datasheet de cada componente y de forma en que las conexiones de los elementos en la PCB sean sencillas de realizar.

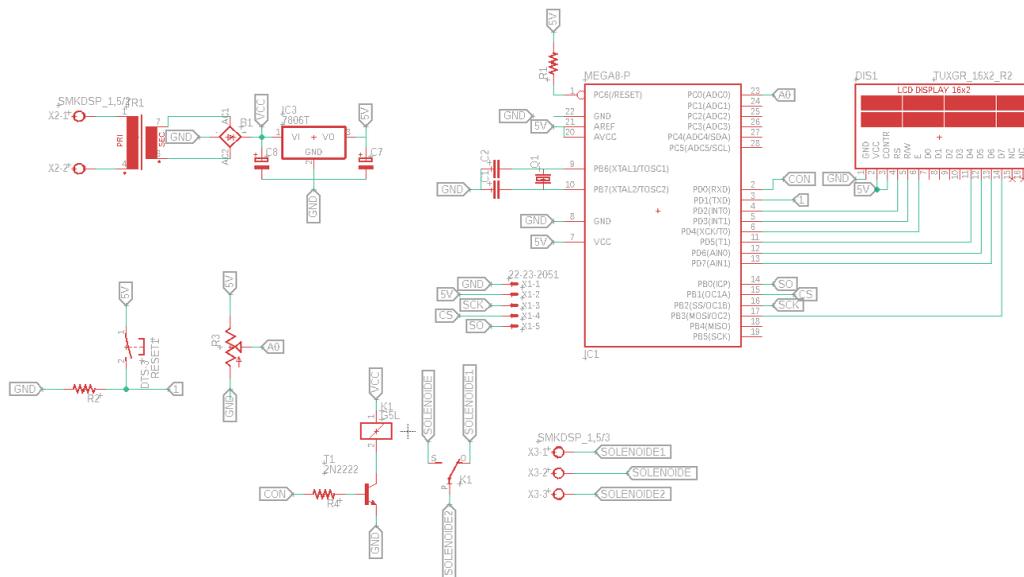


Figura 27. Diseño esquemático de la PCB.

Fuente: Autor.

Dentro del esquemático se encuentran componentes no descritos ya que no son de extrema redundancia en el circuito como lo son las resistencias, cristal de cuarzo y algunos capacitores de filtrados.

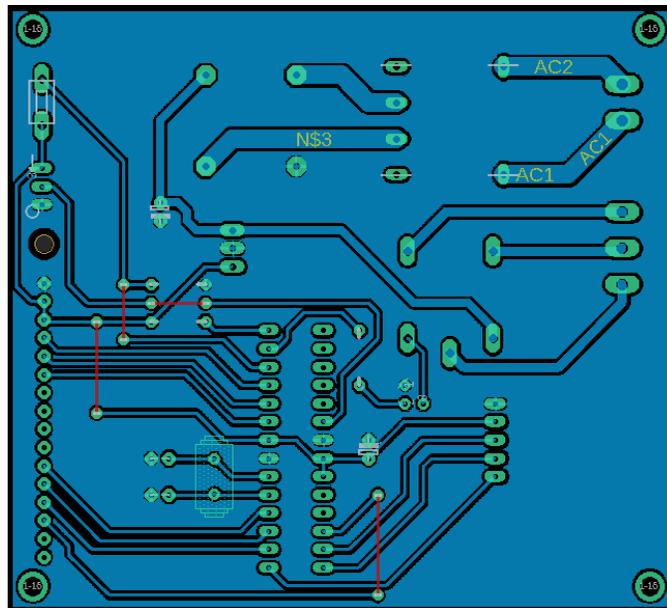


Figura 28. Diseño del circuito impreso.

Fuente: Autor.

Se han dispuesto las conexiones del interruptor, potenciómetro y display lcd a un lado de la PCB para hacer más fácil la conexión de los mismos.

5.2.1. Cálculos de saturación de transistor

Para que el transistor funcione en modo saturación el voltaje de colector al emisor debe estar por debajo del voltaje colector emisor de saturación proporcionado por la hoja de características del componente[27] por lo tanto se deben cumplir las siguientes condiciones.

$$V_{CE} \leq V_{CESAT} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\frac{I_C}{I_B} < \beta \quad \text{Ecuación 2}$$

El análisis del circuito se puede reducir a un simple esquema de dos resistencias el transistor y la alimentación donde R_B es la resistencia que se halla para colocar el transistor en saturación, ya que es el único componente que se puede variar debido a que la fuente de alimentación es fija y la resistencia R_C es fija. R_C hace referencia a la resistencia del devanado de la bobina que activa el Relay esta se puede medir con facilidad una vez escogido el componente solo hay que medirla con un multímetro en los dos terminales de alimentación

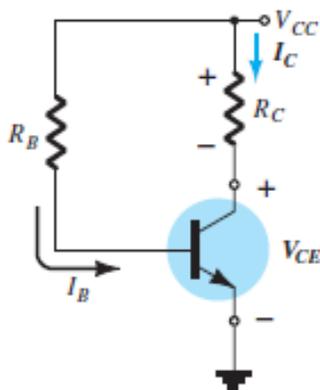


Figura 29. esquema del circuito transistor - relay[27].

Del circuito de la figura 29 se puede hallar la corriente I_B analizando la malla 1 dando como resultado la ecuación mostrada en la ecuación 3

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde los parámetros V_{CC} , V_{BE} son conocidos; V_{CC} equivale al voltaje de alimentación el cual es 5V y V_{BE} es 0.7V[27], reemplazando la ecuación 3 en la ecuación 2 se obtiene lo mostrado en la ecuación 4.

$$\frac{I_C \cdot R_B}{V_{CC} - V_{BE}} < \beta \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde los parámetros conocidos son V_{CC} , V_{BE} y β , la corriente de colector I_C es tomada como la corriente con la que se activa el relay y al igual el voltaje sobre la resistencia R_C debe ser el voltaje mínimo para la activación (V_R) según la descripción del componente es de 5V por lo tanto la corriente necesaria para su activación está dada por la ecuación 5.

$$I_C = \frac{V_R}{R_C} \quad \text{Ecuación 5}$$

De la ecuación 4 se despeja R_B el resultado se expresa en la ecuación 7 esta se utiliza para hallar un valor que coloque en saturación el transistor; la fuente de voltaje V_{CC} ha sido escogida de tal forma que sea lo más cercana al voltaje que consume el Relay para hacer mas pequeño el voltaje V_{CE} y así confirmar su saturación, de la ecuación 6 hallada de la malla 2 al reemplazar los valores de V_{CC} por 5V y el valor de V_R por 5V y realizadas las operaciones el voltaje V_{CE} es 0

$$0 = V_{CC} - V_R - V_{CE} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$R_B < \frac{\beta \cdot (V_{CC} - V_{BE})}{I_C} \quad \text{Ecuación 7}$$

Conociendo el valor de RC el cual es de 200 ohm, se reemplaza en la ecuación 5 junto con Vr que equivale a 5V el resultado de esta operación es 25mA que es el valor de la corriente IC, de la ecuación 7 se conocen todos los parámetros tomando B de la hoja de componentes como 200 y se obtiene un valor de 34400 ohm por lo tanto la resistencia RB debe de ser menor que este valor para que el transistor NPN entre en saturación.

5.2.2. Análisis de costos

Componente	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Trasformador	1	10000	10000
Puente rectificador	1	2000	2000
Regulador lm7805	1	1500	1500
Capacitor electrolítico 0.1 micro faradios	1	500	500
Capacitor electrolítico 100 micro faradios	1	500	500
Resistencias de 1 kilo ohm	2	100	100
Potenciómetro	1	2000	2000
Relay 6V	1	2500	2500
Regleta de pines macho	1	2500	2500
Max 6678	1	12000	12000
Capacitor cerámico 104	1	100	100
Capacitor cerámico 102	1	100	100
Cristal de cuarzo de 16 MHz	1	1000	1000
Microcontrolador ATmega 328p	1	8000	8000
Display LCD 16X2	1	15000	15000

Borneras de 2 pines	1	2000	2000
Borneras de 3 pines	1	2500	2500
Transistor 2N222A	1	500	500
Resistencia 12 kilo ohm	1	100	100
Interruptor industrial	1	15000	15000
Fabricación de la PCB	1	15000	15000
		Valor total	92.900

Tabla 1. Componentes utilizados en la PCB.

5.3. Ventajas y desventajas del nuevo sistema de adquisición y control

5.3.1. Ventajas

- Realizar la fabricación del sistema de adquisición y visualización resulta ser más económico comprar el módulo TOS.
- El sistema de visualización cuenta con una pantalla digital que permite la visualización de la temperatura deseada y la temperatura de referencia.
- Facilidad de sustitución de elementos electrónicos, debido a la simplicidad de diseño se puede identificar fácilmente cual elemento se encuentra averiado.
- Facilidad de utilización por parte del operario gracias a la sencillez con la que se configura cada uno de los parámetros.
- Mejoramiento en el control de temperatura, ya que el rango de error se ha reducido para mantener la temperatura lo más cercana al valor deseado.

5.3.2. Desventajas

- Incorporación de nuevos elementos en el proceso por lo tanto se hace necesario un cambio en la estructura mecánica.
- Un espacio reducido para la implementación del nuevo equipo de visualización.
-

6. Capítulo 6

6.1. Programación del microcontrolador

Para poder realizar la programación del microcontrolador existen dos opciones las cuales son Atmel estudio y Arduino se ha optado por la utilización de IDE Arduino ya que es el más sencillo de utilizar cuando se trata de realizar comunicaciones SPI con el microcontrolador y la gran facilidad que aporta la librería para la utilización de la pantalla LCD, se ha utilizado la versión 1.8. del IDE, tanto la plataforma como el lenguaje de programación es libre y está inspirado en processing, con Arduino se pueden realizar multitudes de proyectos de rango muy variado desde robótica a domótica.

6.1.1. Programación para la adquisición de datos

Para poder programar el controlador del sistema, primero se debe realizar una adquisición de datos del comportamiento del sistema para hallar una ecuación que lo describa, en dominio del tiempo, para lo cual se implementa un código de programación en el microcontrolador la cual toma los datos de temperatura con un tiempo de muestreo de 1 segundo se busca describir con esto la razón de cambio de la temperatura con respecto al tiempo para realizar un control sencillo en el sistema, los datos se guardan en un archivo punto xls para realizar el posterior análisis, para realizar esta adquisición se hace necesaria la utilización del integrado max6675 y la utilización de la librería "MAX6675.h".

Debido a que el IDE de programación no permite el almacenamiento de los datos en un archivo directamente se recurrió a leer el puerto serial para tomar los datos directamente y almacenarlos en una hoja de cálculo esta programación se ha realizado en visual Basic el cual está diseñado para crear de forma segura aplicaciones orientadas a objetos[28]; se realizó una interfaz minimalista en Exel para poder abrir el puerto serial, capturar los datos, cerrar el puerto serial, y visualizar si se realizó la comunicación de forma correcta .

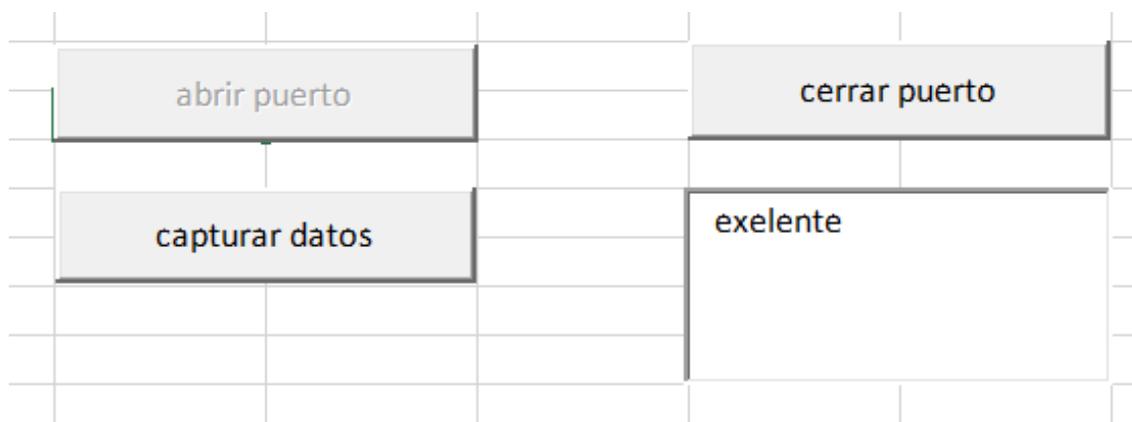


Figura 30. Interfaz realizada en Exel para la adquisición de datos.

Fuente: Autor.

Código de programación utilizado para la adquisición de la temperatura en Arduino

```

#include "max6675.h"

// CONFIGURACION DE LOS PINES UTILIZADOS PARA LA COMUNICACIÓN CON EL
MAX6675

#define CONFIG_TCGND_PIN 8
#define CONFIG_TCVCC_PIN 9
#define CONFIG_TCCK_PIN 10
#define CONFIG_TCCS_PIN 11
#define CONFIG_TCDO_PIN 12

// OBJETO UTILIZADO PARA LA COMUNICACION CON EL MAX6675
MAX6675 thermocouple(CONFIG_TCCK_PIN, CONFIG_TCCS_PIN, CONFIG_TCDO_PIN);

void setup() {
  // PREPARAR LA INTERFAZ SERIAL
  Serial.begin(9600);

  // USAR PINES DE ARDUINO PARA ALIMENTAR EL MODULO MAX6675
  pinMode(CONFIG_TCVCC_PIN, OUTPUT); digitalWrite(CONFIG_TCVCC_PIN, HIGH);
  pinMode(CONFIG_TCGND_PIN, OUTPUT); digitalWrite(CONFIG_TCGND_PIN, LOW);
}

void loop() {
  // IMPRIME LA TEMPERATURA EN LA TERMINAL SERIAL EN GRADOS CENTIGRADOS
  Serial.print("C = ");
  Serial.println(thermocouple.readCelsius());
  // ESPERAR UN SEGUNDO ENTRE LAS LECTURAS
  delay(1000);
}

```

Programación en visual Basic

Option Explicit

Public comunicacion As Object

Private Sub abrir_Click()

Error.Text = ""

Set comunicacion = CreateObject("AXSerial.ComPort")

```
comunicacion.Device = "COM3"  
comunicacion.BaudRate = 9600  
comunicacion.Open  
resultado  
End Sub
```

```
Private Sub cerrar_click()  
comunicacion.Close  
resultado  
abrir.Enabled = True  
cerrar.Enabled = False  
capturar.Enabled = False  
End Sub
```

```
Private Sub capturar_click()  
  
Dim i As Integer  
For i = 1 To 100  
Cells(i, 9) = comunicacion.ReadBytes  
resultado  
Next i  
End Sub
```

```
Private Sub resultado()  
If comunicacion.LastError = 0 Then  
Error = "exelente"  
abrir.Enabled = False  
cerrar.Enabled = True  
capturar.Enabled = True  
Else  
Error = "ERROR" & comunicacion.LastError & "(" &  
comunicacion.GetErrorDescription(comunicacion.LastError) & ")"  
End If  
End Sub
```

6.1.2. Programación para la visualización y configuración de temperatura en el display LCD

La visualización de la temperatura se ha programado mediante la utilización de la librería LiquidCrystal_I2C en el IDE de Arduino la cual permite utilizar de una forma sencilla el display LCD haciendo que el programador no se enfoque en los detalles como la transferencia de información y se dedique a cumplir su objetivo final que es la visualización de los datos.

```
#include "LiquidCrystal.h"
#include "max6675.h"

// CONFIGURACION DE LOS PINES UTILIZADOS PARA LA COMUNICACIÓN CON EL
MAX6675
#define CONFIG_TCGND_PIN 8 // ALIMENTACION GND
#define CONFIG_TCVCC_PIN 9 // ALIMENTACION VCC
#define CONFIG_TCCK_PIN 10 // SPI SCK
#define CONFIG_TCCS_PIN 11 // SPI CS
#define CONFIG_TCDO_PIN 12 // SPI MISO

// CONSTRUCTOR PARA LA PANTALLA LCD 16X2
// AQUI SE CONFIGURAN LOS PINES PARA LA COMUNICACION CON LA PANTALLA
LiquidCrystal lcd(7, 6, 5, 4, 3, 2);
// OBJETO UTILIZADO PARA LA COMUNICACION CON EL MAX6675
MAX6675 thermocouple(CONFIG_TCCK_PIN, CONFIG_TCCS_PIN, CONFIG_TCDO_PIN);

void setup() {
  // PREPARAR LA INTERFAZ SERIAL
  Serial.begin(9600);

  // INDICAMOS QUE TENEMOS CONECTADA UNA PANTALLA DE 16X2
  // IMPRIMIR MENSAJE INICIAL EN PANTALLA
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.clear();
  lcd.print(F("TERMOPAR ARDUINO"));
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(F(" CON MAX6675 "));

  // ESPERAR UN SEGUNDO
```

```

    delay(1000);
}

void loop() {
    // LEER EL TERMOPAR Y ALMACENAR EL VALOR EN UNA VARIABLE
    double t = thermocouple.readCelsius();

    // PRIMERO LIMPIAMOS LA PANTALLA Y LUEGO IMPRIMIMOS LA TEMPERATURA
    lcd.clear();
    lcd.print(F("->TEMPERATURA<-"));
    lcd.setCursor( 3, 1 );
    lcd.print(t);

    // IMPRIMIR LA TEMPERATURA EN LA TERMINAL SERIAL
    Serial.print("C = ");
    Serial.println(t);

    // ESPERAR UN SEGUNDO ENTRE LAS LECTURAS
    delay(1000);
}

```

6.1.3. controlador realimentado

El control realimentado se basa en la interpretación de los datos de entrada en este caso la temperatura con la cual se toma una acción sobre la electroválvula la cual funciona en dos posiciones encendida o apagada para realizar un control sobre ella se utiliza el tiempo de encendido y el tiempo de apagado que debe tener se puede realizar un control más avanzado con una electroválvula que pueda controlar la cantidad de gas que entra a la cámara mediante una regulación.

6.2. Análisis de la base de datos adquirida

La base de datos es adquirida de dos formas en la primera se observa el cambio de temperatura para calentar el horno y en la segunda para el enfriamiento estos datos fueron tomados en Excel 2016 con un tiempo de muestreo de un segundo y hasta alcanzar una temperatura deseada para cada prueba. En la prueba numero 1 la temperatura que escogida fue una temperatura baja de 45 grados centígrados y en la segunda se tomó una temperatura mucho más alta de 65 grados centígrados con el fin de comparar las ecuaciones obtenidas.

6.2.1. Análisis de los datos para el calentamiento del horno

El calentamiento del horno se hace mediante la admisión de gas al quemador durante las pruebas para la adquisición de datos se utilizó un nuevo termo par ya que el incorporado dentro del horno no permitirá que se obtuvieran medidas estables y certeras.

Excel es una herramienta muy completa que permite utilizar herramientas como la línea de tendencia para establecer una ecuación aproximada del sistema en función de sus ejes X y Y, es muy fácil de utilizar solamente con aplicar un gráfico de dispersión a los elementos de la data y más opciones se puede agregar la más línea de tendencia.

6.2.1.1. Base de datos de calentamiento primera prueba.

Para esta base de datos se ha tomado una temperatura inicial de 19.50 grados centígrados la cual cabe aclarar no es la temperatura ambiente, es la temperatura alcanzada una vez terminadas las pruebas preliminares de funcionamiento; la base de datos consta de 100 elementos y después realizar un filtrado han quedado 96 elementos.

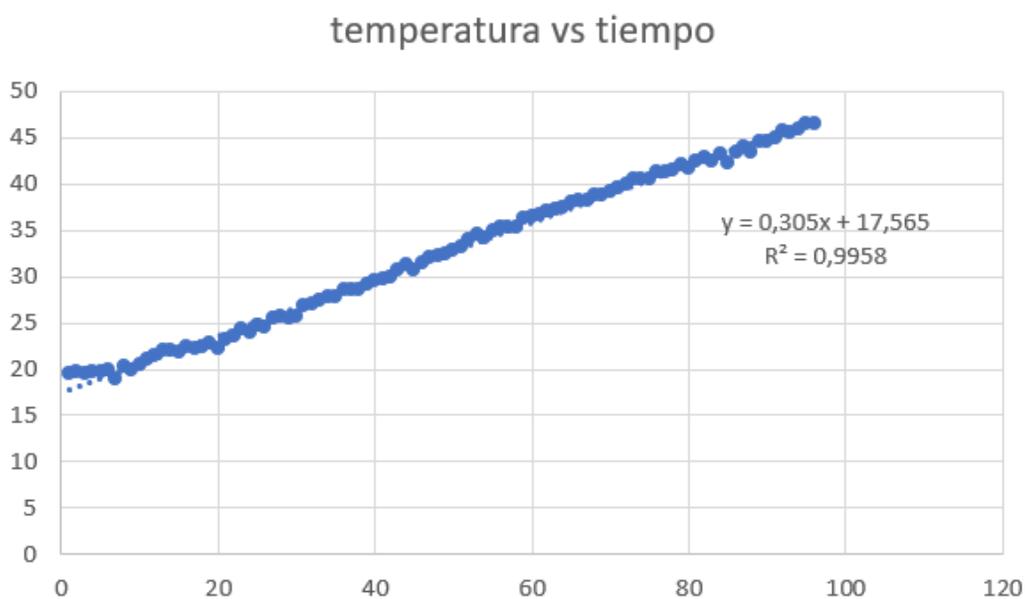


Figura 31. grafica de la base de datos de calentamiento primera prueba.

Fuente: Autor.

Con la primera base de datos tomada se observa un cambio de temperatura lineal con respecto al tiempo y una precisión de casi cien por ciento.

6.2.1.2. Base de datos calentamiento segunda prueba.

Se ha tomado una temperatura inicial de 23 grados para tomar los datos y se han tomado 200 datos debido a que la temperatura sube muy lento y en un minuto no alcanza a llegar a el valor que se quiere.

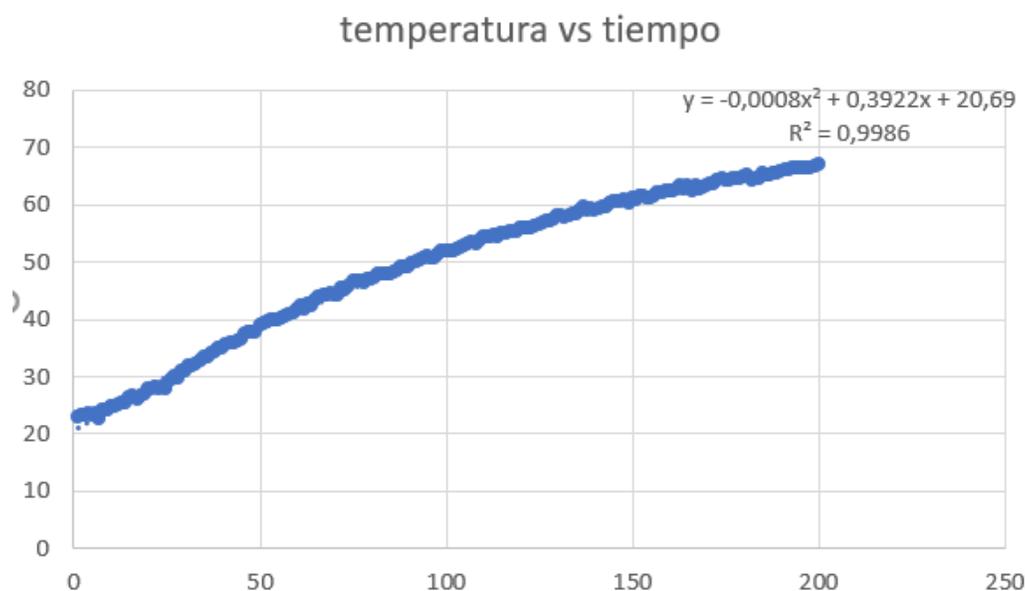


Figura 32. Grafica de la base de datos segunda prueba.

Fuente: Autor.

En comparación de la primera prueba con la segunda se puede ver cómo cambia de forma la función que describe el sistema en la primera prueba es una función lineal y en la segunda una función exponencial, debido a que después de los 45 grados se vuelve más lento el proceso de calentamiento.

La ecuación elegida es la segunda ya que describe mejor el comportamiento del horno para tiempos de calentamiento largos por lo tanto es la más adecuada en este caso que el tiempo de deshidratación es de aproximadamente 10 horas.

6.3. Controlador ON-OFF

Es el controlador más básico que se puede utilizar en este caso, anteriormente en el horno contaba con este tipo de controlador el cual funcionaba muy bien este tipo de controlador cuenta con dos saturaciones una superior y una inferior donde se mantendrá la temperatura estabilizada en la mayoría de los casos esta temperatura de saturación es el cinco por ciento de la temperatura de referencia.

6.4. Controlador PID

Son utilizados en gran medida en la industria sobre todo cuando no se conoce la función de transferencia del sistema y por lo tanto no se pueden implementar métodos de diseño analítico[17].

6.4.1. Sintonía del controlador PID mediante las reglas de Ziegler-Nichols

Consta en dar valores a las constantes del PID más específicamente a las constantes K_P , T_I , T_D basándose en la respuesta a un escalón unitario o en el valor de K_P que produce estabilidad marginal existen diferentes métodos para hallar estas constantes[17].

En este caso se utiliza el primer método donde la respuesta al escalón unitario se obtiene de forma experimental ya que al realizar la prueba por medio de la gráfica se observó que la planta no posee integradores ni polos dominantes complejos conjugados.

Para hallar las constantes se debe dibujar una recta tangente al punto de inflexión de la curva de donde se obtendrán dos parámetros la constante de tiempo (T) y el tiempo de retardo (L)[17].

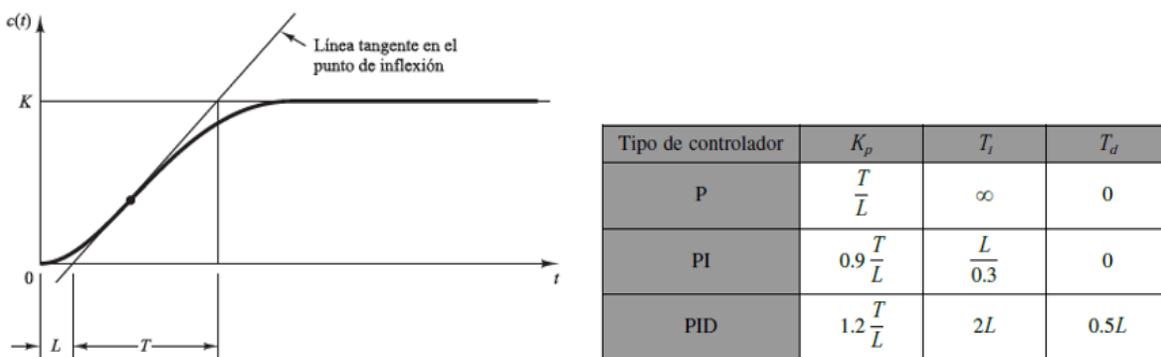


Figura 33. Curva de la respuesta y tabla de sintonización del PID[17].

Los resultados que se han obtenido al realizar la implementación del método se muestran en la tabla 2 donde el valor de T es de 110 y el valor de L es de 20.



Figura 34. Grafica de escalón vs respuesta.

Fuente: Autor.

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	5.5	∞	0
PI	4.95	66.6	0
PID	6.6	40	10

Tabla 2. Resultados de los controladores propuestos.

6.5. Comparación de controladores e implementación

Para poder utilizar un controlador se hace necesario el control de una variable de salida en este caso la cantidad de admisión de gas dentro del quemador, esta variable se controla mediante una electroválvula ON-OFF a causa de ello la admisión de gas se realiza mediante el tiempo de encendido y apagado de la misma.

El controlador ha sido seleccionado basando en la variable a medir; la temperatura es una variable que tiene un cambio relativamente lento y no se requiere de un controlador muy avanzado para poder llevarla a un rango de temperatura deseado. Para poder implementar el controlador PID se requiere de una nueva electroválvula que pueda controlar el flujo de admisión lo cual agrega un costo significativo para el proyecto, otra forma de implementar este tipo de controlador es actuando o controlado el tiempo de encendido de la electroválvula lo cual es muy ineficiente ya que a medida que el valor de temperatura se acerque al valor deseado la electroválvula cambiara rápidamente de estado (encendido – apagado) lo que con el tiempo causara desgaste en la electroválvula o un daño en la misma; por esta razón se ha decidido implementar un controlador ON – OFF sencillo y eficiente ya que este lleva la temperatura a un valor deseado sin utilizar en exceso el cambio de estado de la electroválvula y se puede implementar fácilmente con los elementos que posee el horno deshidratador.

6.5.1. Programación

Al ser seleccionado un control ON-OFF para el sistema se ha utilizado la siguiente programación

```
#include "LiquidCrystal.h"
#include "max6675.h"

// CONFIGURACION DE LOS PINES UTILIZADOS PARA LA COMUNICACIÓN CON EL
MAX6675
#define CONFIG_TCCK_PIN 10 // SPI SCK
#define CONFIG_TCCS_PIN 9 // SPI CS
#define CONFIG_TCDO_PIN 8 // SPI MISO
boolean star = 0;
int lectura = 0;
// CONSTRUCTOR PARA LA PANTALLA LCD 16X2
// AQUI SE CONFIGURAN LOS PINES PARA LA COMUNICACION CON LA PANTALLA
LiquidCrystal lcd(7, 6, 5, 4, 3, 2);
// OBJETO UTILIZADO PARA LA COMUNICACION CON EL MAX6675
MAX6675 thermocouple(CONFIG_TCCK_PIN, CONFIG_TCCS_PIN, CONFIG_TCDO_PIN);
```

```

void setup() {
  // PREPARAR LA INTERFAZ SERIAL
  Serial.begin(9600);

  // INDICAMOS QUE TENEMOS CONECTADA UNA PANTALLA DE 16X2
  // IMPRIMIR MENSAJE INICIAL EN PANTALLA
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.clear();
  lcd.print(F("bienbenido"));
  // ESPERAR UN SEGUNDO
  delay(1000);
}

void loop() {
  // LEER EL TERMOPAR Y ALMACENAR EL VALOR EN UNA VARIABLE
  double t = thermocouple.readCelsius();

  // PRIMERO LIMPIAMOS LA PANTALLA Y LUEGO IMPRIMIMOS LA TEMPERATURA
  lcd.clear();
  lcd.setCursor( 0, 0 );
  lcd.print("->TEMPERATURA DE REFERENCIA<-");
  lectura = analogRead(A0);
  lectura = map(lectura, 0, 1024, 0, 200);
  lcd.setCursor( 0, 1 );
  lcd.print(lectura);
  lcd.print("->TEMPERATURA ACTUAL<-");
  lcd.setCursor( 14, 1 );
  lcd.print(t);
  while (star == 1)
  {
    double t = thermocouple.readCelsius();
    lcd.clear();
    lcd.setCursor( 0, 0 );
    lectura = analogRead(A0);
    lectura = map(lectura, 0, 1024, 0, 200);
    lcd.print("TEMP R");
    lcd.setCursor( 8, 0 );
  }
}

```

```
lcd.print(lectura);  
lcd.setCursor( 0, 1 );  
lcd.print("TEMP A");  
lcd.setCursor( 14, 1 );  
lcd.print(t);  
if(t<=lectura)  
{  
    digitalWrite(0,HIGH);  
}  
else  
{  
    digitalWrite(0,HIGH);  
}  
if (digitalRead(1) == 1)  
{  
    star = 0;  
}  
}  
delay(1000);  
  
if (digitalRead(1) == 1)  
{  
    star = 1;  
}  
}
```

7. Capítulo 7

7.1. Análisis de resultados

7.1.1. Fabricación de la PCB

La PCB se ha fabricado en baqueta de fibra de vidrio, en una CNC router para la cual se establecieron los parámetros de diseño en el software de diseño como la distancia entre las vías la cual debe ser mayor a 18 mil (0.254mm).

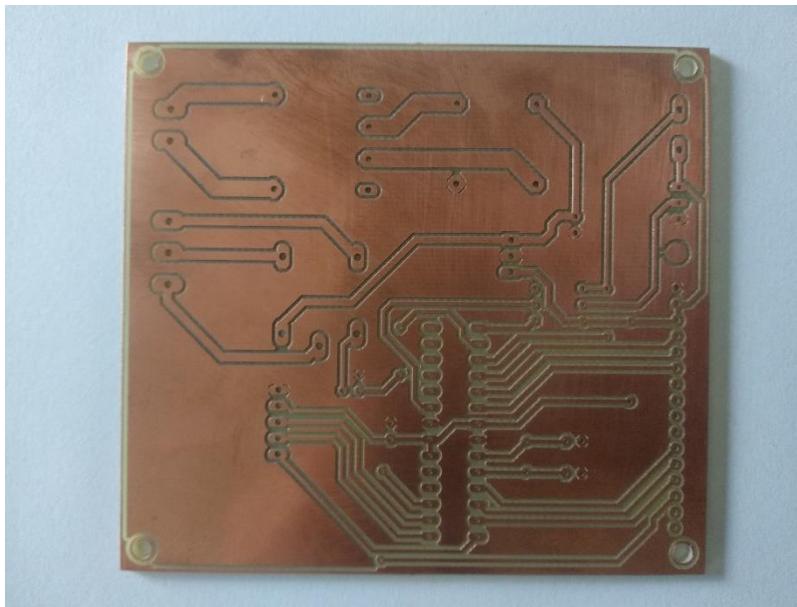


Figura 35. PCB fabricada por CNC router.

Fuente: Autor.

7.1.2. Mejoras en la maquinaria de la empresa

Dentro del proceso principal se aprobó la utilización de un protector de caídas de tensión para evitar que los motores se dañen por trabajar forzados, el circuito protector cuenta con cuatro potenciómetros para su configuración; en el primero nombrado como U_n , permite establecer el voltaje de referencia con el que se quiere trabajar, el cual se comprende desde los valores de 200V hasta los 460V, el segundo permite establecer un rango por encima en el que se le permite trabajar esta nombrado como $U_>$, este valor esta dado en porcentaje y depende de la referencia establecido en el primer potenciómetro, el tercero funciona de la misma forma que el segundo para el rango por debajo de la referencia y se denota como $U_<$, el último potenciómetro se denota como T_f y es el tiempo en el que es permitido que el voltaje baje o suba la línea de tensión no cumple con estos parámetros el protector desactivara la fase 3 y esto hará que se disparen los interruptores automáticos de protección.

7.1.3. Funcionamiento de la maquina dosificadora empacadora

La máquina dosificadora empacadora no estaba en funcionamiento al momento de realizar la práctica, ya que no se contaba con una persona capacitada para colocarla en funcionamiento, junto con el error en la compra del rollo del cual saldrán los empaques ya que este es de sellado permanente y no para abrir fácil, el rollo para el empaque escogido ha sido un rollo metalizado con polímero el cual es utilizado en la industria para cellar paquetes de papas o de productos de comida chatarra, este no cuenta con ningún estampado el cual ya se ha diseñado y enviado para ser fabricado.

La máquina cuenta con una pantalla HMI en la donde se configuran los parámetros para el empaque, el dosificado y sellado, estos valores se configuran en velocidad y grados de giro de los motores, una vez dictada la capacitación por los ingenieros de la empresa que suministro la maquina; la empresa solicito que se configurara la máquina para presentar su producto en tres presentaciones las cuales fueron 500 gramos 250 gramos y 50 gramos para lo cual se cambiaron los parámetros de temperatura de sellado vertical y horizontal, gas-filled deg el cual configura la apertura del antigoteo el cual permite que pase el material en el momento en que se ha sellado la parte inferior del empaque, el parámetro gas – filled time tiempo en el que se cierra el antigoteo para evitar que pase más material del necesario, screw length el cual configura la cantidad de giros que da el tornillo sin fin este parámetro está en grados, screw speed el cual configura la velocidad con la que gira el tornillo sin fin, Se calibro el controlador de las resistencias calefactoras de sellado vertical y horizontal, se hallaron los tiempos necesarios para poder realizar el empaque para las presentaciones de 50, 250 y 500 gramos, se calculó el tiempo necesario de la cantidad de vueltas del tornillo sin fin para el dosificado de material al empaque teniendo en cuenta que el material llenaría continuamente el tornillo sin fin.

8. CAPÍTULO 8

8.1. Conclusiones

- El objetivo principal fue cumplido satisfactoriamente, fue desarrollado un circuito embebido para el control de temperatura del horno deshidratador de la forma más eficiente y sencilla de operar que fue posible.
- Realizar una lista de los componentes que conforman el horno deshidratador es una muy buena opción ya que a medida que se realiza esta tarea se obtiene conocimiento del que papel desempeña cada parte de la maquinaria, lo que hace más fácil la el diseño y construcción de un circuito embebido que pueda realizar acciones de control sobre el sistema, además de adquirir el conocimiento necesario para poder realizar la sustitución de piezas que lo conforman.
- Al realizar el reconocimiento y análisis de los diferentes elementos del sistema se demuestran que el funcionamiento de un horno deshidratador es muy sencillo y fácil ya que se compone de elementos básicos tanto electrónicos como mecánicos, no es más que un simple motor con turbina y un quemador de gas que hace calentar una cámara
- La sustitución de los elementos de control y visualización del sistema logró que se pudiera apoyar al operario para realizar la configuración de una forma sencilla y más rápida, además de la reducción del tiempo de deshidratado al lograr mantener una temperatura más estable en el horno deshidratador y a su vez la reducción en el gasto de combustible.
- Al colocar en funcionamiento el circuito electrónico represento muchas ventajas para la empresa ya que permite nuevamente la utilización del equipo, aliviando la carga de la maquinaria principal y permitiendo completar la producción semanal requerida.
- La utilización de un panel de visualización de la temperatura que tiene el horno ha sido de gran ayuda para la empresa debido a que se puede saber la temperatura exacta con la que se está trabajando y así poder tomar datos y realizar investigaciones de una forma más rápida y segura.
- El control de temperatura utilizado aportó mejoras al proceso en cuestión de calidad del producto ya que un producto deshidratado a una temperatura estable y

constante lograra reducir a un más la cantidad de concentración de humedad sin afectar el producto.

- Realizada la comparación entre los controladores propuestos se definió la utilización de un controlador sencillo ya que un controlador como lo es el PID requiere de elementos más complejos como una electroválvula regulable o de una conmutación muy rápida de la electroválvula lo cual causaría daños en el relay de control y en la misma electroválvula.
- Al instalar los interruptores de protección contra caídas de voltaje y cortocircuitos se ha logrado aumentar vida útil de la maquinaria ya que no trabajara forzada en ningún momento, además de aumentar la seguridad para los trabajadores debido a que la maquinaria no retomara el proceso hasta que se solucione el error de corto circuito o se vuelva a estabilizar la tensión evitando que el quemador siga en funcionamiento y produzca explosiones que no puedan ser contenidas por la cámara de combustión.
- La maquinaria dosificadora empacadora obtuvo un buen funcionamiento debido al cambio en el rollo de materia prima que se utilizó ya que este necesitaba ser de sello parcial, la utilización del nuevo rollo cambio los parámetros de calentado del material el cual se debe configurar todos los días por la humedad relativa que existe en el ambiente.
- El funcionamiento de la maquina empacadora le ha ahorrado a la empresa una gran cantidad de gastos debido a la optimización del proceso y a la reducción de personal para alcanzar la meta de producción semanal.
- La utilización de un microcontrolador de la forma correcta permite que se pueda solucionar de forma eficiente y económica problemáticas presentadas en procesos industriales además de la fácil reconfiguración o reprogramación del sistema para hacerlo más optimo o más seguro.

8.2. Referencias

- [1] J. Moreno *et al.*, "Influence of ohmic heating/osmotic dehydration treatments on polyphenoloxidase inactivation, physical properties and microbial stability of apples (cv. Granny Smith)," *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, vol. 20, pp. 198–207, Oct. 2013.
- [2] A. Ciużyńska, H. Kowalska, K. Czajkowska, and A. Lenart, "Osmotic dehydration in production of sustainable and healthy food," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 50, pp. 186–192, 2016.
- [3] L. M. Chuquillanqui Romero, "Modelamiento de azuara, magee y peleg en cinética de deshidratación osmótica de Kiwi," *Univ. Nac. del Cent. del Perú*, 2017.
- [4] D. R. Heldman, D. B. Lund, and C. M. Sabliov, *Handbook of food engineering*. .
- [5] "Carta psicrométrica, (ASAE 1986) | Download Scientific Diagram." [Online]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Carta-psicrometrica-ASAE-1986_fig2_305851625. [Accessed: 15-Nov-2019].
- [6] M. Matemática, Y. E. D. E. La, and J. A. Montoya, "Determinacion de la curva de secado al aire libre, mediante modelacion matemática y experimental de la," *Scientia*, no. 30, pp. 415–419, 2006.
- [7] D. P. Giraldo Bedoya, L. M. Arango Velez, and C. J. Márquez Cardozo, "OSMODESHIDRATACIÓN DE MORA DE CASTILLA (*Rubus glaucus* Benth) CON TRES AGENTES EDULCORANTES," *Univ. Nac. Colomb. Manizalez*, vol. 57, no. 45, pp. 1–18, 2004.
- [8] H. H. Estrada *et al.*, "Deshidratación Osmótica y Secado por Aire Caliente en Mango, Guayaba y Limón para la Obtención de Ingredientes Funcionales," *Inf. tecnológica*, vol. 29, no. 3, pp. 197–204, Jun. 2018.
- [9] Enrique Jose Br. Arevalo Villalta, "Tesis Monográfica para optar al Título de Ingeniero Eléctrico Horno secador de madera con tecnología económica y amigable con el medio ambiente , que funcione de acuerdo a las necesidades y requerimientos del Programa Institucional de Madera (PIMA) Auto," 2015.
- [10] Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria., *Corpoica : ciencia y tecnología agropecuarias : revista de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, 1996.
- [11] J. C. Ayala, "Integración de Un Sistema Virtual Full Duplex para el Desarrollo de Prácticas de Ingeniería de Alimentos a través de Internet 2," *Inf. CYD 2017*, pp. 20–43, 2003.
- [12] J. A. Bombón, "Modulo para verificar el funcionamiento de los programas grabados en el pic 16f84A," p. 102, 2007.
- [13] V. Rossano, *Electrónica & microcontroladores PIC: guía práctica de programación*. Gradi, 2009.
- [14] O. Torrente Artero, *Arduino : curso práctico de formación*. RC Libros, 2013.
- [15] E. García Breijo, *Compilador C CCS y simulador PROTEUS para microcontroladores PIC*.

- [16] Atmel, "ATmega328P 8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash DATASHEET," pp. 1–294, 2015.
- [17] A. Cruz Avilés, M. Ortiz Domínguez, and Y. Muños-Sánchez, *Ingeniería de control moderna*, vol. 5, no. 10. 2018.
- [18] C. Robusto, P. Un, and C. Boost, "Universidad tecnológica de la mixteca," 2013.
- [19] "Tempco México, S.A. de C.V. - INICIO." [Online]. Available: <http://tempcomexico.com/index.html>. [Accessed: 14-Nov-2019].
- [20] S. K. Manjhi and R. Kumar, "Performance assessment of K-type, E-type and J-type coaxial thermocouples on the solar light beam for short duration transient measurements," *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 146, pp. 343–355, 2019.
- [21] "TOS/TOM/TOL Series | Autonics." [Online]. Available: <https://www.autonics.se/produkt/tos-tom-tol-series/>. [Accessed: 23-Nov-2019].
- [22] I. Automaticos, D. Potencia, E. Fija, and S. Next, "Serie NEXT," 2000.
- [23] S. S. Bridge, "CHENG- YI," pp. 31–32.
- [24] F. Semiconductor, "LM7805 • LM7806 • LM7808 • LM7809 • 3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator Ordering Code :," no. December, 2005.
- [25] Maxim, "MAX6675," *Source*, pp. 1–8.
- [26] "EAGLE | PCB Design Software | Autodesk." [Online]. Available: <https://www.autodesk.com/products/eagle/overview#>. [Accessed: 24-Nov-2019].
- [27] D. A. G. Quintero, "Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos Robert L. Boylestad, LOUIS NASHESKY." .
- [28] "Visual Basic - Visual Basic | Microsoft Docs." [Online]. Available: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/visual-basic/>. [Accessed: 25-Nov-2019].

ANEXOS

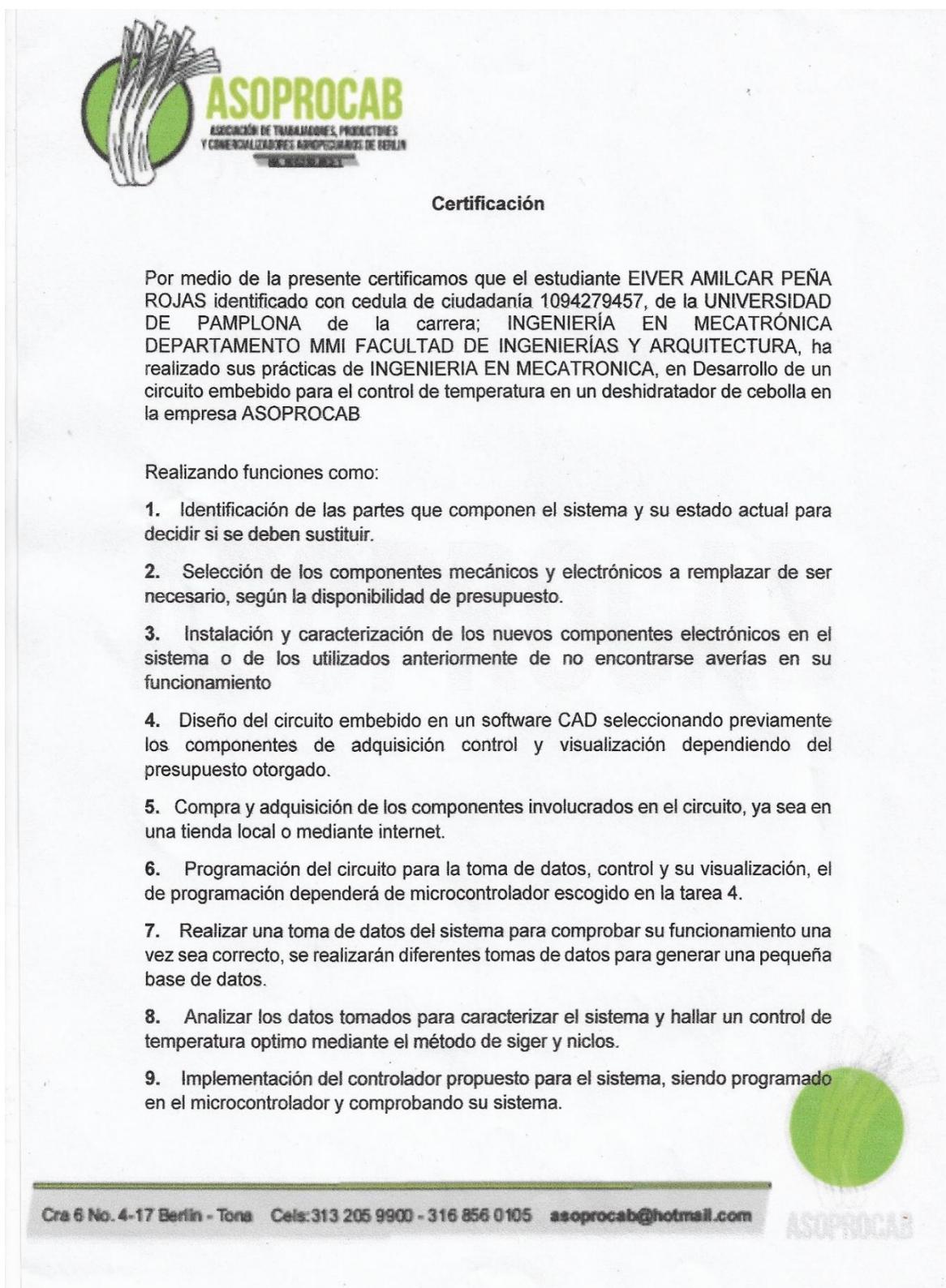


Figura 36. Carta de certificación por presidente general parte 1.

Fuente: Autor.



10. Corrección de los errores presentes en el controlador en caso de presentarse, para poder llevarlo a una zona de trabajo óptima.
11. Verificación del mejoramiento en el funcionamiento del horno con los cambios aplicados.
12. Inspección de las posibles mejoras que se puedan presentar en el sistema.
13. Implementar las mejoras que sean aprobadas por la empresa.
14. Investigación bibliográfica referente a los diversos procesos tocados durante la práctica

Estas funciones se realizaron desde el 10 de octubre del 2019 hasta el 10 de diciembre del 2019.

El estudiante EIVER AMILCAR PEÑA ROJAS realizo sus prácticas a completa satisfacción y mostro en todo momento eficiencia, puntualidad, responsabilidad, y excelente formación académica.

Se otorga la presente certificación para los fines que el interesado considere conveniente.

Hipólito Villamizar

Hipólito Villamizar

Presidente General

ASOPROCAB



Cra 6 No. 4-17 Berlín - Tona Cels: 313 205 9900 - 316 856 0105 asoprocab@hotmail.com

ASOPROCAB

Figura 37. Carta de certificación por presidente general parte 2.

Fuente: Autor.



Figura 38 Deshidratador principal de la empresa.

Fuente: Autor.

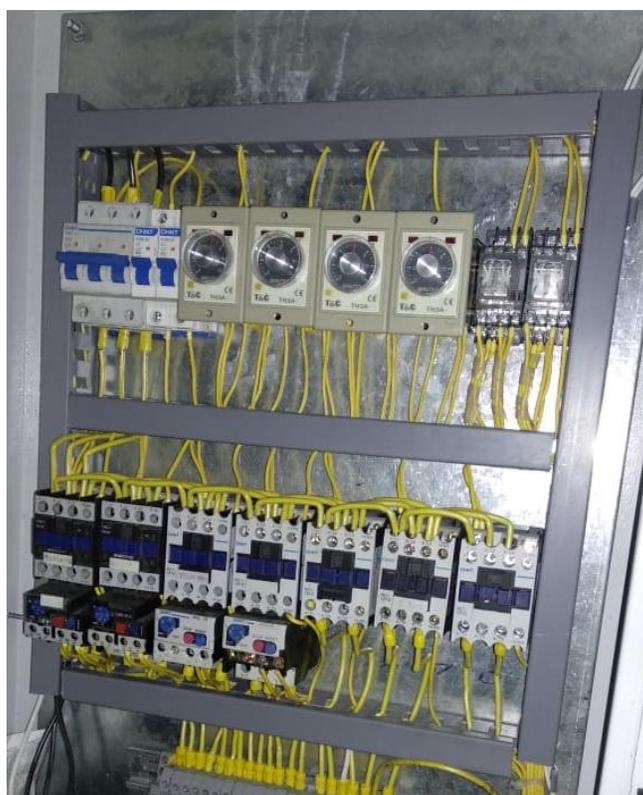


Figura 39. panel de control del deshidratador principal de la empresa.

Fuente: Autor.



Figura 40. Deshidratador de la empresa junto con picadora de cebolla.

Fuente: Autor.



Figura 41. Pulverizador de cebolla deshidratada de la empresa.

Fuente: Autor.



Figura 42. Maquina dosificadora empacadora de la empresa.

Fuente: Autor.



Figura 43. Configuración para empacado de 125 gramos.

Fuente: Autor.



Figura 44. Configuración para empacado de 50 gramos.

Fuente: Autor.



Figura 45. Instalación del nuevo rollo de empacado del producto.

Fuente: Autor.

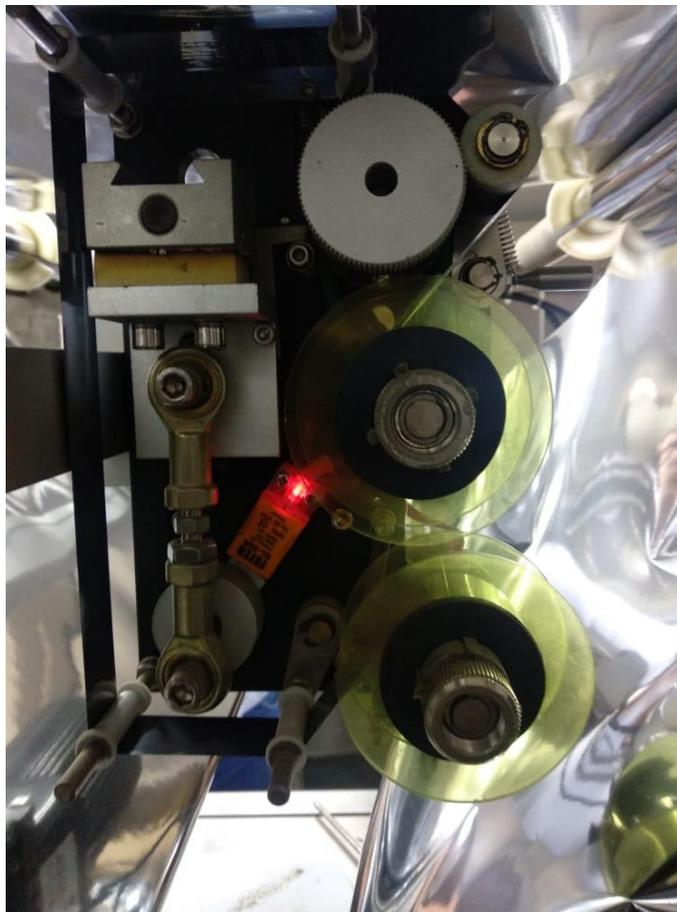


Figura 46. Sistema de estampado se fecha y lote.

Fuente: Autor.



Figura 47. Sensor de color XF-RWBG.

Fuente: Autor.



Figura 48. Sistema de movimiento de empacado de la máquina dosificadora empacadora.

Fuente: Autor.



Figura 49. Sistema de dosificación de material.

Fuente: Autor.



Figura 50. Circuito eléctrico y electrónico de la maquina dosificadora empacadora

Fuente: Autor.

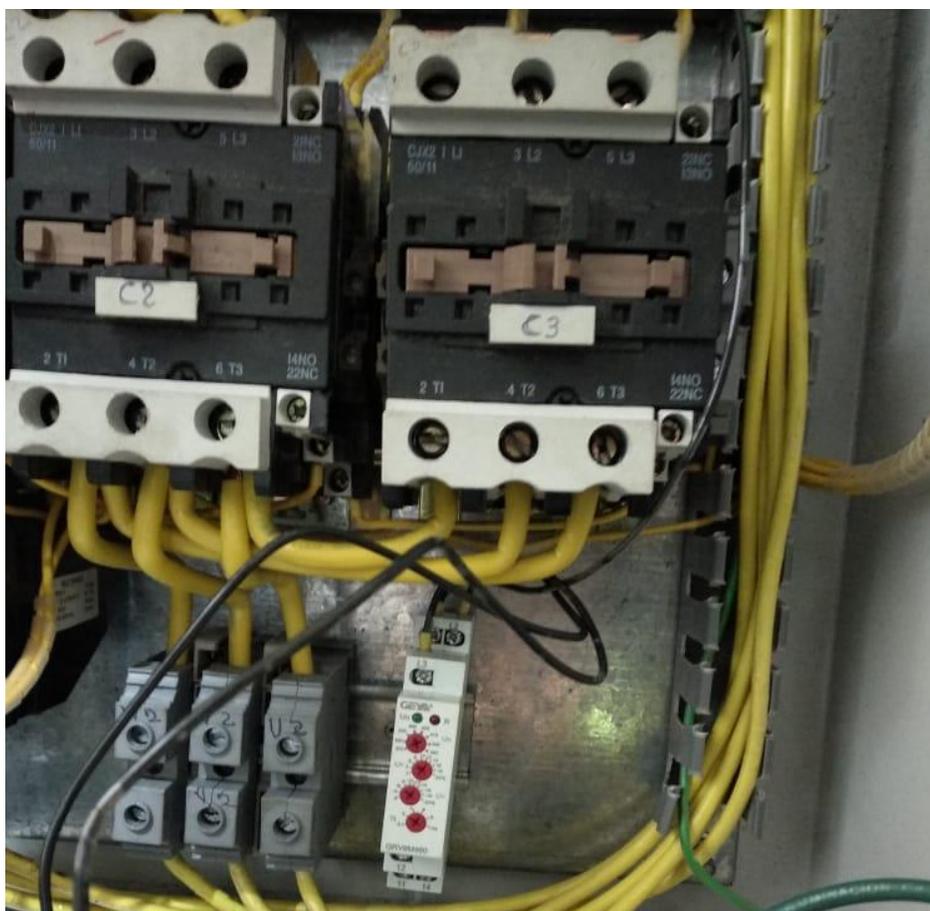


Figura 51. Instalación del protector contra caída de tensión.

Fuente: Autor.

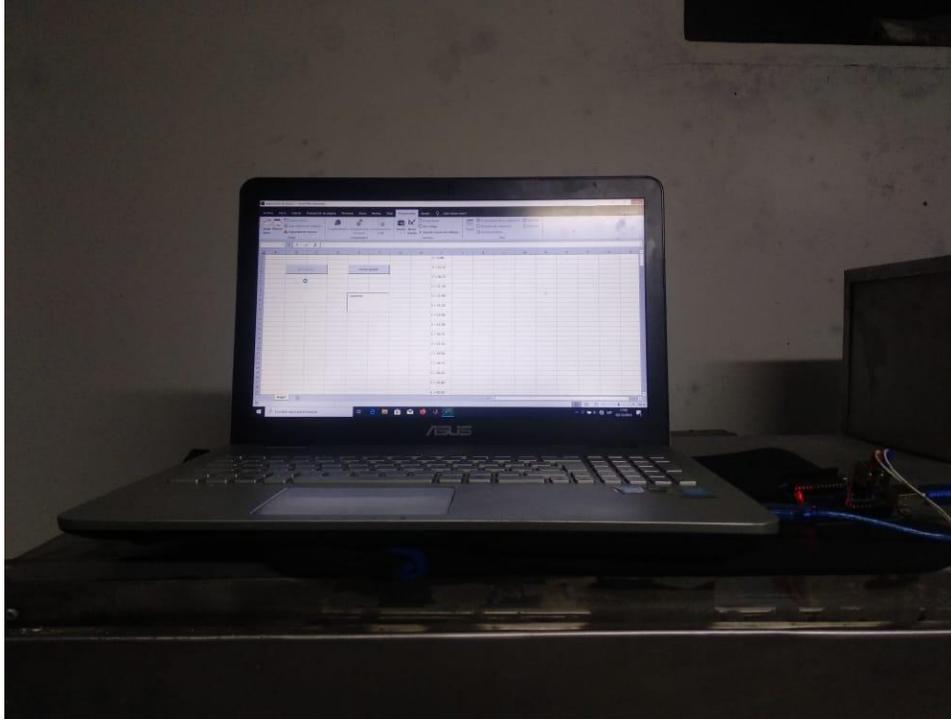


Figura 52. Adquisición de la base de datos del calentamiento del horno secundario de la empresa.

Fuente: Autor.