

**DISEÑO Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DE UN CONTROL DE
TEMPERATURA PARA UN HORNO AHUMADOR JAVAR AH – 30**

**LEIDY TATIANA MENDEZ CRUZ
DIANA PATRICIA MUÑOZ CHAVARRO**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
INGENIERÍA FÍSICA
POPAYÁN
2011**

**DISEÑO Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DE UN CONTROL DE
TEMPERATURA PARA UN HORNO AHUMADOR JAVAR AH – 30**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
INGENIERA FÍSICA**

**LEIDY TATIANA MENDEZ CRUZ
DIANA PATRICIA MUÑOZ CHAVARRO**

**Director
DIEGO BRAVO
Ingeniero Físico**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
INGENIERÍA FÍSICA
POPAYÁN
2011**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Director
Ing. Diego Bravo

Jurado
Doc. Gilberto Bolaños

Jurado
Ing. Mario Patiño

Fecha de sustentación: Popayán, 1 de Septiembre de 2011

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	11
1. OBJETIVOS	13
1.1 OBJETIVO GENERAL	13
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
2. EL AHUMADO	14
2.1 DEFINICIÓN DEL AHUMADO	14
2.2 TECNOLOGÍA DEL AHUMADO	14
2.2.1 Tecnología de la producción del humo	14
2.2.2 ahumado o aplicación del humo	16
2.2.3 Ahumado tradicional	17
3. LA CAMARA DE AHUMADO Y OTRAS PIEZAS DEL EQUIPO	20
3.1 FUNCION DE UNA CAMARA DE AHUMADO	20
3.2 COMO DEBE SER UNA CAMARA DE AHUMADO DE BUENA CALIDAD	20
3.3 ACCESORIOS DE LA CÁMARA DE AHUMAR	21
3.4 COMPONENTES DEL HORNO AHUMADOR	21
3.5 EL GENERADOR DE HUMO	23
3.6 COMO PONER EN MARCHA LA CÁMARA DE AHUMADO	23
3.7 COMBUSTIBLE	23
4. SENSORES Y TRANSDUCTORES	24
4.1 TRANSDUCTORES DE TEMPERATURA	24
4.1.1 Termopares	24
4.1.1.1 Leyes de las termopares	28

4.1.1.2	Descripción Matemática del sensor	30
5.	ACTUADORES	33
5.1	CRITERIOS DE SELECCIÓN	33
5.1.1	Tipos de señales	34
5.2	APLICACIONES	35
5.2.1	Aplicación de movimiento	35
5.2.2	Aplicaciones de fluidos	36
5.2.3	Aplicaciones de Alarmas	36
5.2.4	Aplicaciones Térmicas	37
5.3	OPERACIÓN Y CONEXION	38
5.3.1	Válvula Solenoide	38
5.3.2	Piloto	39
5.3.3	<i>Buzzer</i>	39
6.	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL	40
6.1	IDENTIFICACION DE LAS NECESIDADES	40
6.2	ESQUEMA FUNCIONAL DEL SISTEMA	41
6.3	DISEÑO DEL CONTROLADOR	43
6.3.1	Control ON-OFF	43
6.3.2	Descripción del Sistema de Control.	43
6.3.3	Programación del pic 18f452 en lenguaje c	48
6.4	SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS	49
6.4.1	Microprocesador	49
6.4.2	Teclado	50
6.4.3	Pantalla de Cristal Líquido (LCD)	50
6.4.4	Sensor de temperatura	51
6.4.5	Actuadores	52
6.4.5.1	Válvula solenoide	52
6.4.5.2	Encendido Automático	52

6.4.5.3	<i>Buzzer</i>	53
6.5	DISEÑO DEL CIRCUITO DEL SISTEMA DE CONTROL	54
6.5.1	Primera etapa del sistema de control	54
6.5.2	Segunda etapa del sistema de control	55
6.5.3	Tercera etapa del sistema de control	57
6.5.4	Circuito impreso	58
6.5.5	Montaje	58
7.	PRUEBAS Y RESULTADOS	60
7.1	VERIFICACION CONTRA PATRÓN	60
7.2	PRUEBAS REALIZADAS	62
7.2.1	Prueba con el horno vacío	62
7.2.2	Prueba con el horno provisto de cárnicos	63
8.	RECOMENDACIONES	64
9.	CONCLUSIONES	65
	BIBLIOGRAFIA	66
	ANEXOS	67

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ahumado en frio	18
Figura 2. Ahumado en caliente	19
Figura 3. Componentes del horno ahumador	22
Figura 4. Termopar. (a) con una sola unión. (b) con 2 uniones	25
Figura 5. Efecto Peltier	25
Figura 6. Efecto Thomson	26
Figura 7. Variación de la fem en función de la temperatura	27
Figura 8. Ley de las temperaturas intermedias	29
Figura 9. Ley de los metales intermedios	29
Figura 10. Ley de las temperaturas sucesivas	30
Figura 11. Curva de respuesta de la ecuación del sensor	32
Figura 12. Tipos de señales: (a) Corriente continua y (b) corriente alterna	35
Figura 13. Motores: Paso a Paso, DC, AC	35
Figura 14. Motobomba y Electroválvula	36
Figura 15. Zumbador y <i>Buzzer</i>	37
Figura 16. Piloto	37
Figura 17. Resistencia Eléctrica	38
Figura 18. Conexión Válvula solenoide	38
Figura 19. Conexión Piloto	39
Figura 20. Conexión <i>Buzzer</i>	39
Figura 21. Esquema funcional del sistema de control	42
Figura 22. Diagrama de bloques del sistema de control	45
Figura 23. Horno ahumador Javar AH-30	46
Figura 24. Medidas del horno ahumador Javar AH-30	47
Figura 25. Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de control	48

Figura 26.	Teclado Matricial	50
Figura 27.	Pantalla LCD	51
Figura 28.	Sensor de temperatura (Termocupla tipo j)	51
Figura 29.	Válvula solenoide	52
Figura 30.	Encendido automático y bujía	53
Figura 31.	<i>Buzzer</i>	53
Figura 32.	Etapa de sensado	54
Figura 33.	Alimentación del circuito	55
Figura 34.	Etapa de adquisición de datos y ejecución del programa de control	56
Figura 35.	Etapa de potencia	57
Figura 36.	Circuito impreso del controlador de Temperatura	58
Figura 37.	Montaje final del control de temperatura (exterior)	59
Figura 38.	Montaje final del control de temperatura (interior)	59
Figura 39.	Termómetro Lutron TM 936	60
Figura 40.	Verificación contra Patrón: Termómetro Lutron Vs. Controlador Temperatura Vs. Tiempo	61
Figura 41.	Prueba con el horno vacío	62
Figura 40.	Temperatura Vs Tiempo (producto cárnico)	63

LISTA DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1.	Tipos de termopares	28
Tabla 2.	Datos de temperatura de termómetro Lutron Vs. Controlador	61

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Programa en Lenguaje C	68
Anexo 2. Manual de Usuario	85
Anexo 3. Certificado de calibración termómetro Lutron	89

INTRODUCCION

Actualmente, el tratamiento de productos alimenticios es uno de los temas de gran interés para las entidades encargadas del control de alimentos en nuestro país y en el mundo entero, todo esto con el fin de obtener productos de excelente calidad y que no sean nocivos para la salud de las personas que los consuman.

El ahumado es una de las técnicas de conservación de los alimentos más antigua, la cual descubre el hombre cuando se vuelve sedentario y domina el fuego, observando que los alimentos expuestos al humo de sus hogares, no solo duraban más tiempo sin descomponerse, sino que además mejoraban su sabor. Posteriormente y después de poder extraer la sal del mar o de lagos salados, el hombre descubre que los alimentos salados también se conservaban por más tiempo y mejoraban su sabor. Un tercer descubrimiento importante, es el del efecto conservador de las especias como el clavo, la pimienta, cominos, canela y otras.

Nadie sabe a ciencia cierta, ni dónde, ni quién combina estos tres descubrimientos, pero en muchos lugares del mundo se practicó esta técnica empíricamente y en la actualidad gracias al desarrollo de las ciencias, el hombre ha satisfecho su curiosidad para dilucidar, no solo, los mecanismos por los cuales estos métodos logran la conservación, sino que ha podido perfeccionarlos tecnológicamente, logrando así el desarrollo de toda una industria.

Uno de los equipos más utilizados en las tareas de ahumado de cárnicos es el *horno ahumador*, esencialmente el método de ahumado consiste en exponer a los alimentos al humo que producen algunas maderas que contengan pocos "alquitranes" (líquido espeso, mezcla de diferentes productos de la destilación seca de la madera) o "resinas" como las del pino, siendo recomendadas maderas dulces, ricas en "ésteres" (sustancias sólidas o líquidas que resultan de la serie parafínica al combinarse un ácido con un alcohol) que son de olor agradable y efecto antibiótico por lo que son esencias empleadas en perfumería, éstos se liberan al quemar las maderas y se adhieren y penetran a los alimentos, proporcionándoles muy buen sabor y olor a la vez que los preserva de la descomposición.

El ahumador es uno de los elementos más importantes, ya que su tamaño y diseño dependen de los objetivos que se pretenden, así se pueden conseguir ahumadores pequeños, sencillos y económicos como el utilizado en este proyecto

o tan grandes y sofisticados y de gran capacidad para grandes fábricas industriales. La efectividad del ahumado está en función de la concentración del agente ahumador (humo), al igual que también descansa en un buen proceso de temperatura.

Este trabajo se desarrolla en tres etapas fundamentales: en primer lugar, se exponen las bases teóricas del proceso de ahumado. La segunda parte se basa en la descripción del equipo de trabajo y el diagnóstico del mismo; y por último, se presenta el diseño de un sistema de control acorde con las necesidades para el proceso de ahumado requeridos por el laboratorio de cárnicos, trabajo que se desarrollo dentro del grupo de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Física de la Universidad del Cauca, con la cooperación de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad del Cauca, para dicho efecto se trabajó en base a un horno de ahumado que trabaja de forma muy insegura, el cual podría ser mejorado ya que es uno de los instrumentos indispensables de dicho laboratorio.

CAPÍTULO 1

OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de control de temperatura para la optimización del horno ahumador del laboratorio de cárnicos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad del Cauca que permita monitorear la temperatura requerida para obtener un ahumado adecuado del producto.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un sistema de control de temperatura del horno ahumador que cumpla con los requerimientos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Diagnosticar el estado de los sensores y transductores del actual horno ahumador.
- Verificar el funcionamiento del control diseñado y entregar todo el sistema listo para su futura instalación.

CAPÍTULO 2

EL AHUMADO

2.1 DEFINICIÓN DEL AHUMADO.

El ahumado es, por definición, la operación que consiste principalmente en someter un producto alimentario a la acción de los productos gaseosos que se desprenden en la combustión de virutas aromáticas obtenidas a partir de madera de haya, roble, pino y arce. El ahumado se ha transformado, por extensión, como sinónimo de olor y de aromas para designar el olor, calificado de agradable, que emana de algunas carnes.

2.2. TECNOLOGÍA DEL AHUMADO.

La industria cárnica dispone, en el momento actual, de un abanico de métodos de ahumado que responden a técnicas modernas. Uno de los grandes progresos de la tecnología del ahumado ha sido el separar la fase de la producción del humo de la de su acción sobre el producto a tratar, con el fin de eliminar las partículas de alquitrán del aerosol del humo.

La producción del humo se realiza en diversos tipos de generadores y puede efectuarse igualmente según los procedimientos llamados: “en dos etapas” y “por carbonización”. El humo producido por el generador puede así ser tratado, según diversas tecnologías, para obtener un condensado de humo.

2.2.1 Tecnología de la producción del humo.

Un generador de humo es una parte esencial del ahumadero, en él se tienen las reacciones necesarias de oxidación de la madera para que se produzcan los humos causantes del ahumado, la producción del humo se realiza en diversos tipos de generadores, los cuales se detallan a continuación:

- **Generador convencional de humo:** El humo se produce por la combustión lenta de aserrín puesto sobre el solado, puede efectuarse

directamente por incandescencia, o puede igualmente ser cebado por una resistencia eléctrica. En este método, el flujo del aire es importante y la temperatura de combustión puede alcanzar los 800°C. El valor de este último parámetro, puede disminuirse reduciendo las cantidades de aire introducidas y actuando sobre la humedad del aserrín. No obstante, en un procedimiento así, es difícil mantener la temperatura en valores bajos, en los niveles de las temperaturas óptimas de pirólisis, con la finalidad de poder obtener un humo aromatizante y poco cargado de alquitrán y de hidrocarburos policíclicos aromáticos.

- **Generador de humo por fricción:** Este tipo de generador de humo por fricción fue puesto a punto en los Estados Unidos en 1956. Un bloque de madera compacto, de aproximadamente 50 x 100 mm, está comprimido contra la superficie de un rotor dentado que gira a gran velocidad. La superficie de contacto es cortante y provoca el astillado de la madera. Bajo el efecto de la fricción se desarrolla la pirólisis de la madera. La temperatura se regula ajustando la presión sobre el bloque de madera e igualmente por intervención sobre la rotación del cilindro dentado cuya velocidad condiciona las cantidades de aire consumidas. Con un dispositivo así la pirólisis se desarrollaría en las proximidades de los 400°C. Este generador se caracteriza por su simplicidad de empleo y su rapidez de puesta en funcionamiento.
- **Generador de humo húmedo:** Una mezcla gaseosa de vapor a baja presión (1,3 bar) y de aire o de oxígeno, se llevan a una temperatura comprendida entre 300°C y 400°C. El aserrín es aportado por un tornillo sinfín. La mezcla gaseosa caliente pasa a través del aserrín, produciendo su pirólisis. Esta reacción se desarrollaría a temperaturas superiores a las del vapor. Para disminuir la temperatura de la pirólisis, pueden reducirse las cantidades de aire u oxígeno admitidos con el vapor. La temperatura del humo así producido se sitúa alrededor de los 80°C cuando entra en el ahumador, por lo que ese procedimiento es aplicable principalmente para los productos ahumados en caliente.
- **Generador de humo fluido:** En este método el aserrín se introduce en un reactor con aire comprimido. Por otro lado, entra el aire precalentado a una temperatura de 300°C – 400°C por una resistencia eléctrica, y mantiene el aserrín en suspensión en el reactor bajo la forma de capa fluida. El aserrín permanece unos 10 segundos en el reactor y es pirolizado a una temperatura próxima a los 350°C. El humo y las cenizas se separan posteriormente por una corriente de aire. Los residuos de carbonización

caen en un cenicero. El humo es evacuado hacia el ahumador. En razón de su complejidad este generador es muy poco utilizado.

- **Producción de humo “en dos etapas”:** En este método la producción del humo se divide en dos etapas. En un primer estado, nitrógeno gaseoso o gas carbónico, calentados entre 300°C y 400°C pasa a través del aserrín y produce su pirólisis. En una segunda etapa, el oxígeno o el aire, calentados a 200°C, se mezclan con el humo. El oxígeno caliente acelera las reacciones de oxidación, de condensación y de polimerización de los componentes del humo. Las condiciones óptimas para la obtención de producto de calidad se alcanzan con una temperatura de combustión de 400°C, con un flujo de nitrógeno de 1500 l/día y con una temperatura de oxidación de 200°C. Este tipo de producción de humo, utilizado en los laboratorios para el análisis del humo, no ha conocido su desarrollo industrial.
- **Producción de humo por “carbonización”:** El aserrín es comprimido en un tubo cilíndrico con la ayuda de un tornillo, con lo que queda aprisionado muy poco aire. Una resistencia eléctrica, dispuesta en la extremidad del cilindro, permite llevar el aserrín a una temperatura de 300°C a 400°C. En estas condiciones, la carbonización requiere muy pequeñas cantidades de aire y el procedimiento es tanto más eficaz cuanto que la tasa de aire residual es menor. El humo así obtenido es denso y seco.

2.2.2 Ahumado o aplicación del humo.

El ahumado de los productos puede realizarse según las siguientes tecnologías:

- Tratamiento tradicional en caliente o en frío por aerosol de humo en la cámara de ahumado.
- Ahumado electrostático.
- Tratamiento por condensados de humo.

Los procedimientos físicos implicados por la acción del humo sobre un producto son la adhesión, adsorción, condensación, difusión y la absorción. Es a uno o varios de estos principios a los que recurren las tecnologías de aplicación del humo.

2.2.3 Ahumado tradicional.

Con el fin de facilitar la sedimentación de las partículas de alquitrán del aerosol, los constructores han propuesto separar la célula de producción de humo de la de ahumado. Además, esta forma de proceder permite interponer, entre el generador y el ahumador, los sistemas de filtración, tales como cortinas de agua, filtros electrostáticos, etc.

Los ahumadores industriales difieren, según los múltiples usos a que se destinan. Como regla general, los ahumadores modernos han derivado de hecho en locales climatizados de usos múltiples, en los cuales pueden realizarse tanto la maduración, como el estufado, el ahumado, la cocción o el enfriamiento. En este tipo de células o locales, existe la posibilidad de introducir, por simple decisión o deseo, el humo producido por un generador independiente.

Las células de ahumado, como en aquellas de ahumado por humo directo, pueden funcionar a diferentes temperaturas. Es clásico distinguir dos modos principales de realizar este proceso: el ahumado en frío y el ahumado en caliente.

- **El ahumado en frío:** En este tipo de ahumado, la temperatura se mantiene entre los 20°C y 25°C y no excede los 28°C y se regula bien por admisión de aire o bien por el paso del humo por un intercambiador (ver figura 1). La humedad ambiente en el ahumador, está igualmente controlada por la admisión de vapor directo o por la humidificación del aserrín.

El tiempo del tratamiento puede variar desde algunas horas a varios días. Debe también controlarse la rapidez de circulación del humo. Las velocidades demasiado elevadas tendrían como consecuencia un cortezado superficial del producto, que se opondría a una desecación ulterior de los productos crudos o secos.

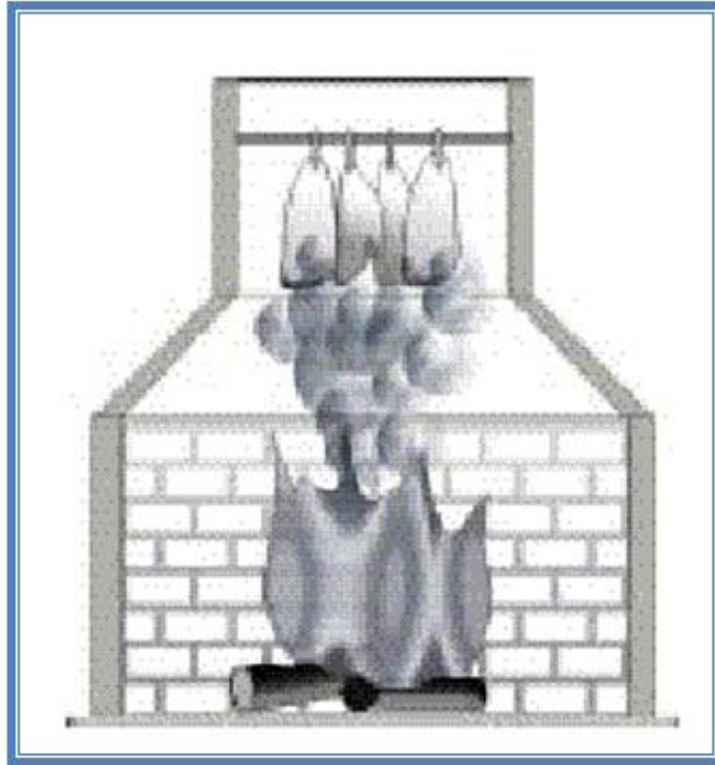


Figura 1. Ahumado en frío

Fuente: Métodos de conservación de carnes. Ficha 42. Consejo de Educación Primaria. Departamento de Tecnología Educativa Pág. 3

- **Ahumado en caliente:** Según la temperatura a la cual se hace esta operación, el producto sufre un comienzo de cocción a una verdadera cocción. El ahumado en caliente puede comenzar a los 30-35°C, para terminar a los 50-55°C, e incluso a los 75-80°C. En esta última eventualidad, es indispensable inyectar vapor de agua en el ahumador para evitar la desecación de los productos. El ahumado entonces se acompaña de las operaciones de estufado y de cocción.

Un aumento importante de la actividad del ahumado en estas condiciones de higrometría y de temperatura, permite reducir considerablemente los tiempos de tratamiento del ahumado en frío. ^[1]

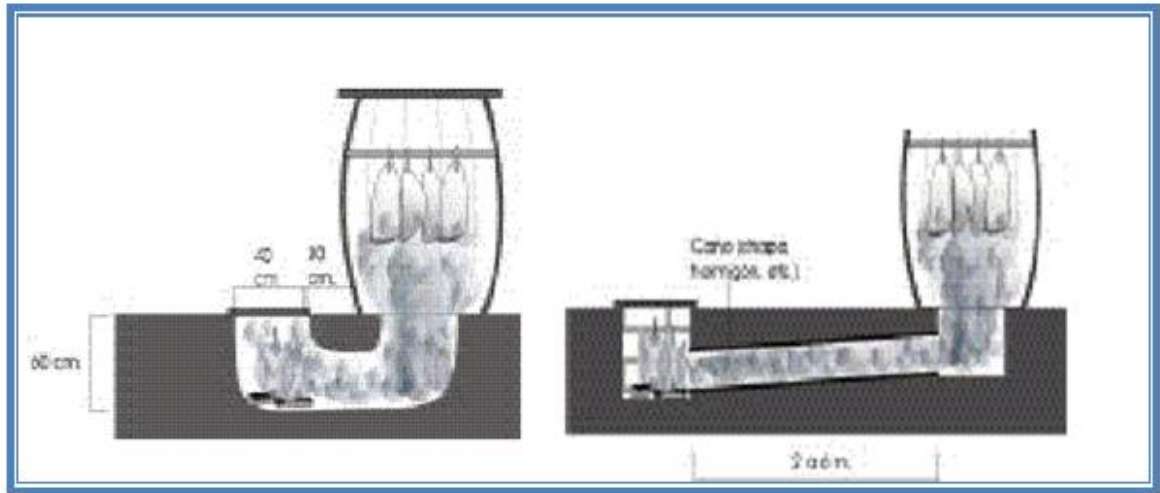


Figura 2. Ahumado en caliente
Fuente: Métodos de conservación de carnes. Ficha 42. Consejo de Educación Primaria. Departamento de Tecnología Educativa Pág. 3

CAPÍTULO 3

LA CAMARA DE AHUMADO Y OTRAS PIEZAS DEL EQUIPO

3.1 FUNCIÓN DE UNA CÁMARA DE AHUMADO.

Las cámaras de ahumar, o ahumadores, proporcionan un suministro adecuado de humo y aire en correcta proporción y a la temperatura adecuada con el fin de realizar la función de ahumar en frío, ahumar en caliente y secar. Para ello cuentan con las siguientes partes:

1. Un ahumador con capacidad suficiente para contener el alimento de forma adecuada, ya sea apoyado o suspendido.
2. Un generador de humo capaz de producir la cantidad de humo suficiente para la carga máxima de alimento que admite el ahumador. También, posee un sistema que asegure el humo y el aire se distribuyan de manera uniforme alrededor del alimento.
3. Una fuente de calor para producir el grado correcto de calor en el ahumado caliente.
4. Un contenedor de combustible para depositar el aserrín cuya combustión produce el humo.
5. Un sistema de control de la temperatura para monitorizar y mantener la temperatura correcta en el aserrín en combustión.

3.2 COMO DEBE SER UNA CÁMARA DE AHUMAR DE BUENA CALIDAD.

Un ahumador eficiente debe emplear un mínimo de energía para crear el calor, el flujo de aire y humo necesarios. Debe disponer de un controlador funcional y seguro para su manipulación. La tecnología moderna proporciona los medios adecuados para lograr un control automático de los mandos, un control minucioso de temperatura y una protección adecuada, además permite la secuenciación de las operaciones mediante programación eliminando la necesidad de tener que atender personalmente el ahumador. Todos estos avances tienen sus ventajas, pero nunca hay que olvidar que el operador debe conocer el aspecto que presenta el producto final y debe ser capaz de reconocer los cambios que se producen en la materia prima durante el proceso.

3.3 ACCESORIOS DE LA CÁMARA DE AHUMAR.

Los sistemas para sujetar el alimento tiene importancia puesto que es necesario garanticen una exposición uniforme al humo. Se puede utilizar una amplia gama de bandejas, barras, varillas y ganchos, dependiendo de las piezas de alimento que se haya previsto ahumar. La forma habitual de sujetar estos accesorios en la cámara es a partir de una serie de escuadras o abrazaderas instaladas en las paredes de la cámara de ahumado ó suelen llevarse en un carro que se maneja de forma manual y que se mete y saca de la cámara según la necesidad.

Las paredes de la cámara suelen tener una construcción de doble pared y las superficies internas suelen ser de acero inoxidable en todas las cámaras comerciales y/o de acero galvanizado en los ahumadores de tamaño más reducido. Las paredes exteriores de los grandes ahumadores suelen ser de acero inoxidable y, en los más pequeños de acero inoxidable o de aluminio. La cámara lleva una puerta rígida de buen ajuste o dos puertas con manijas de cierre que proporcionan una buena estanqueidad por medio de tiras de goma.

3.4 COMPONENTES DEL HORNO AHUMADOR.

1. Puerta
2. Chimenea
3. Termómetro
4. Tornillo de ajuste de la puerta
5. Rampa
6. Flautas
7. Carro Varillero
8. Termocupla



(a) externos



(b) internos



(c) internos

Figura 3. Componentes del horno ahumador

3.5 EL GENERADOR DE HUMO.

Además del aserrín, se necesita que haya una correcta entrada de aire para el requerido proceso de combustión lenta, además este flujo de aire se utiliza también, en parte o en su totalidad, para orientar el humo dentro de la cámara. El aserrín o la viruta de madera están recogidos en una bandeja metálica totalmente descubierta para permitir la entrada del aire. Esta bandeja está situada en la parte inferior de la cámara de ahumado.

3.6 COMO PONER EN MARCHA LA CÁMARA DE AHUMADO.

En esta cámara de ahumado por debajo de la bandeja del aserrín se encuentra la tubería de gas, esta se enciende con un pequeño soplete, introduciendo la llama a través de los agujeros situados en la tubería hasta que el aserrín se enciende. Con un minuto por agujero, el aserrín se pondrá rojo antes de asentarse en forma de brasa negra que es el estado deseable.

3.7 COMBUSTIBLE.

Las maderas duras constituyen la fuente preferida para la obtención de aserrín o virutas. Las maderas blandas suelen evitarse porque contienen resinas que dan un sabor amargo a los alimentos y liberan sustancias nocivas. El aserrín es la forma en la que la madera, una vez encendida, se consumirá en forma de brasa con el menor nivel de aire, lo cual resulta ideal para el ahumado porque la meta es mantener una temperatura baja.

Una corriente de aire incrementada hará que el aserrín o las virutas de madera ardan a mayor temperatura reduciendo así su capacidad para ahumar en frío. Cuando no se dispone de madera pueden utilizarse otras sustancias como cáscara de arroz, mazorcas de maíz ralladas o bagazo, a ser posible mezcladas con un poquito de aserrín de madera. El tamaño de las partículas de aserrín debe ser muy pequeño, del tipo que produce con una sierra manual o una sierra mecánica de cadena fina, aunque cada máquina tendrá un tamaño recomendado o preferible, dependiendo de la corriente de aire en el generador de humo.^[2]

CAPÍTULO 4.

SENSORES Y TRANSDUCTORES

Se denomina transductor, en general, a todo dispositivo que convierte una señal de una forma física en una señal correspondiente pero de otra forma física distinta. Es, por tanto, un dispositivo que convierte un tipo de energía en otro. Un sensor es un dispositivo que, a partir de la energía del medio donde se mide, da una señal transducible que es función de la variable medida.

Sensor y transductor se emplean a veces como sinónimos, pero sensor sugiere un significado más extenso: la ampliación de los sentidos para adquirir un conocimiento de cantidades físicas que, por su naturaleza o tamaño, no pueden ser percibidas directamente por los sentidos. Transductor, en cambio, sugiere que la señal de entrada y la de salida no deben ser homogéneas. Para el caso se propuso el término “modificador” pero no ha encontrado aceptación.^[3]

4.1 TRANSDUCTORES DE TEMPERATURA

Los transductores eléctricos de temperatura utilizan diversos fenómenos que son influidos por la temperatura y entre los cuales figuran:

- Variación de resistencia en un conductor (sondas de resistencia).
- Variación de resistencia de un semiconductor (termistores).
- F.e.m. creada en la unión de dos metales distintos (termopares).
- Intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo (pirómetros de radiación).
- Otros fenómenos utilizados en laboratorio (velocidad del sonido en un gas, frecuencia de resonancia de un cristal, etc.).^[4,5]

4.1.1 Termopares.

Los termopares son transductores que suministran un voltaje entre 0 y 100 milivoltios aproximadamente, proporcional a la temperatura medida, de acuerdo a su principio de funcionamiento basado en el efecto Seebeck, Peltier y Thompson. (Figura 4)

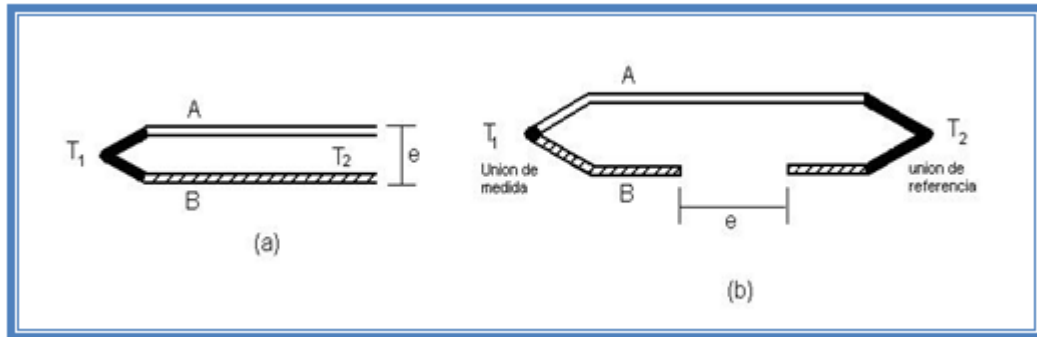


Figura 4. Termopar. (a) con una sola unión. (b) con 2 uniones
 Fuente: www.uv.es/ramirez/Docencia/LO/Notas_termopares.pdf

El fenómeno descrito por Seebeck ocurre por la combinación de dos efectos termoeléctricos combinados, el efecto Peltier y el efecto Thomson, éstos están sobre impuestos con el efecto Joule.

Estos efectos se pueden ver como fuerzas electromotrices generadas en cada caso a saber:

1. El efecto Peltier produce una f.e.m en la junta de dos metales diferentes. Esta fem depende de la temperatura y del par de metales que forman la junta. La unión de los metales debe ser en un contacto íntimo, pero, no necesariamente soldada. Jean Peltier descubre su efecto en 1834. Este efecto se puede manifestar también como la absorción o liberación de energía térmica cuando en una junta de metales diferentes circula una corriente. Ver figura 5.

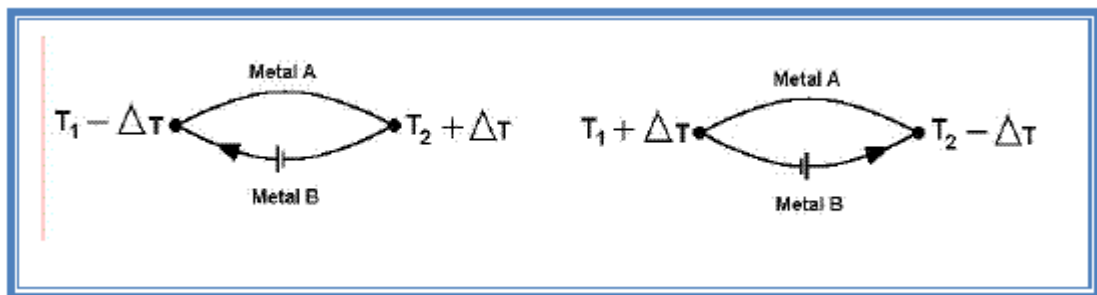


Figura 5. Efecto Peltier.
 Fuente: Termocuplas (apunte 01). Pág. 2. Prof. Ing. Eduardo Álvarez.
<http://www.fi.uba.ar/laboratorios/lscm/SITIOCON.htm>

2. El efecto Thomson da la relación entre la fem generada en un conductor homogéneo simple y la diferencia de temperatura entre sus extremos. Esta fem crece con la diferencia de temperaturas y depende del metal en cuestión. Figura 6. También se manifiesta en la liberación o absorción de calor cuando una corriente circula por un metal homogéneo en el que hay un gradiente de temperaturas entre sus extremos. La liberación de calor sucede cuando la corriente circula en el conductor en la misma dirección que lo hace el flujo de calor en el mismo que está dado por el gradiente de temperaturas mencionado. Como vemos por las observaciones anotadas en 1 y en 2 esos fenómenos son reversibles, no lo es así el efecto Joule.

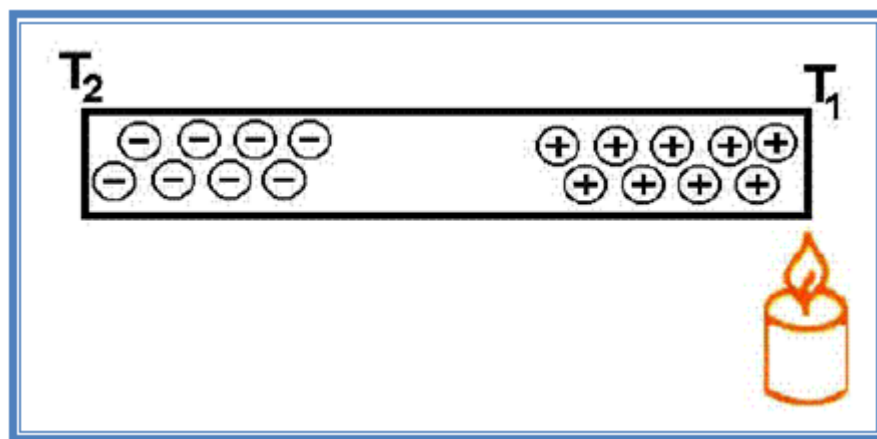


Figura 6. Efecto Thomson.

Fuente: Termocuplas (apunte 01). Pág. 2. Prof. Ing. Eduardo Álvarez.
<http://www.fi.uba.ar/laboratorios/lscm/SITIOCON.htm>

Los termopares se utilizan extensamente, ya que ofrecen una gama de temperaturas mucho más amplia y una construcción más robusta que otros tipos. Además, no precisan alimentación de ningún tipo y su reducido precio los convierte en una opción muy atractiva para grandes sistemas de adquisición de datos. Sin embargo, para superar algunos de los inconvenientes inherentes a los termopares y obtener resultados de calidad, es importante entender la naturaleza de estos dispositivos.

La condición indispensable es que los materiales de los conductores deben ser distintos (Y homogéneos, o sea sin concentraciones de impurezas). El termopar produce en el extremo de la clavija, una fem que depende de la diferencia de temperaturas entre la soldadura y la clavija misma. Como el sentido de la tensión es importante, distinguimos a los conductores con los signos positivo y negativo.

En la figura 7 se muestra como varia la fem generada por algunos de los termopares típicos en función de la temperatura:

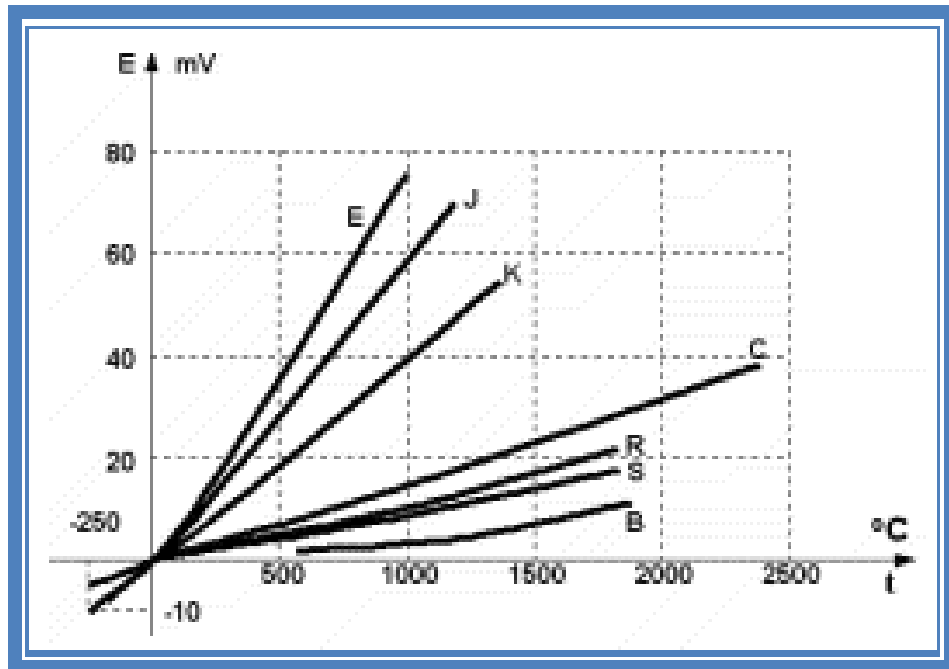


Figura 7. Variación de la fem en función de la temperatura.

Fuente: http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/termocuplas2.htm

Los materiales conductores con los que se construyen los termopares, tienen ciertos requerimientos. Por un lado, deben mantener sus propiedades mecánicas a las temperaturas que se pretenden medir. Las partes sometidas a altas temperaturas, sufren en algunos casos procesos de sublimación, recristalización, etc. También existe, y se debe considerar la acción química del medio ambiente, que normalmente es de naturaleza corrosiva.

Debido a que los termopares entregan fems del orden de 10 a 70 mV por cada °C de aumento de temperatura, resulta obvio que a igualdad de las restantes condiciones, se eligen aquellas que sean más sensibles, o sea que entreguen mayores fems, para iguales saltos térmicos.

Otro factor a tener en cuenta, es la calidad de los materiales que acompañan a los alambres de los termopares, las vainas o tubos de protección se eligen

generalmente en base a las condiciones corrosivas y a su efecto conductivo, ya que suelen condicionar el funcionamiento de estos.

Los termopares se clasifican de acuerdo a los materiales empleados en cada uno de los alambres, teniendo cada tipo de termopar un rango específico de temperaturas al cual se puede aplicar (ver Tabla 1).

Tabla 1. Tipos de Termopares

TIPO	MATERIALES	RANGO DE MEDIDA
T	Cobre – Constantán	-200°C a 371°C
J	Hierro – Constantán	-190°C a 760°C
K	Cromel – Alumel	-190°C a 1260°C
E	Cromel – Constantán	-100°C a 1260°C
R	Platino / Rodio (13%) – Platino	0°C a 1450°C
S	Platino / Rodio (10%) – Platino	0°C a 1450°C

Los termopares J son versátiles y de bajo costo. Se pueden emplear en atmósferas oxidantes y reductoras. Se aplican a menudo en hornos de combustión abiertos a la atmósfera. Los termopares K se emplean en atmósferas no reductoras y en su margen de medida son mejores que los de tipo E, J y T cuando se tratan de medir en atmósferas oxidantes. Los termopares T resisten la corrosión, de modo que se pueden emplear en atmósferas de alta humedad. Los termopares E son los de mayor sensibilidad y resisten la corrosión por debajo de 0°C y las atmósferas oxidantes. Los termopares N resisten la oxidación y ofrecen mejor estabilidad a altas temperaturas. Los termopares con metales nobles (B, R y S) tienen muy alta resistencia a la oxidación y a la corrosión.

No es recomendable usar termocuplas cuando el sitio de medición y el instrumento están lejos (más de 10 a 20 metros de distancia). El problema de las termocuplas es que suministran un voltaje muy bajo y susceptible a recibir interferencias eléctricas. Además para hacer la extensión se debe usar un cable compensado para el tipo específico de termocupla lo que aumenta el costo de la instalación. Tampoco es recomendable usar termocuplas cuando es necesaria una lectura de temperatura muy precisa (décima de °C) pues la compensación de cero requerida por las termocuplas introduce un error típicamente del orden de 0.5°C.

4.1.1.1 Leyes de los termopares. La costumbre da para la aplicación práctica algunas leyes básicas que salen de combinar los efectos termoeléctricos y las

leyes de los circuitos eléctricos. Se hace uso de sus enunciados para generar los sistemas de medición.

- **“Ley” de los circuitos homogéneos.** En un conductor metálico homogéneo no puede sostenerse la circulación de corriente eléctrica por la aplicación exclusiva de calor.
- **“Ley” de los temperaturas intermedias.** En un termopar con las juntas de los metales A y B a las temperaturas T_1 y T_2 la fem termoeléctrica generada es independiente de las temperaturas intermedias en los conductores A y B. (ver figura 8).

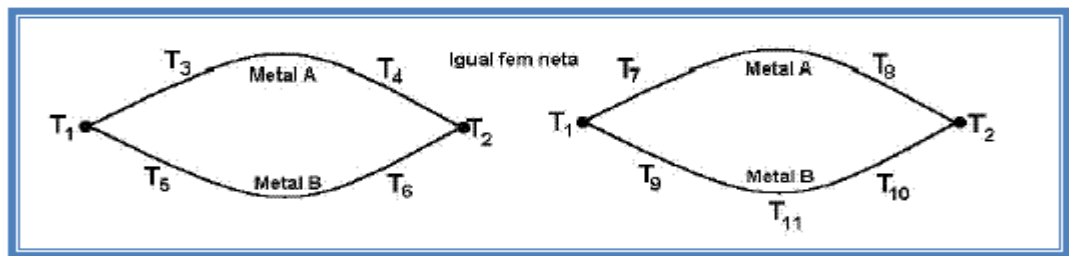


Figura 8. Ley de las temperaturas intermedias
Fuente: Termocuplas (apunte 01). Pág. 4 Prof. Ing. Eduardo Álvarez.
<http://www.fi.uba.ar/laboratorios/lscm/SITIOCON.htm>

- **“Ley de los metales intermedios”.** Si en un termopar se inserta un segmento de conductor de un tercer metal C, en alguno de los dos conductores metálicos A ó B. la fem generada será independiente de la existencia de este tercer conductor siempre que las temperaturas de las juntas del mismo sean iguales (ver figura 9).

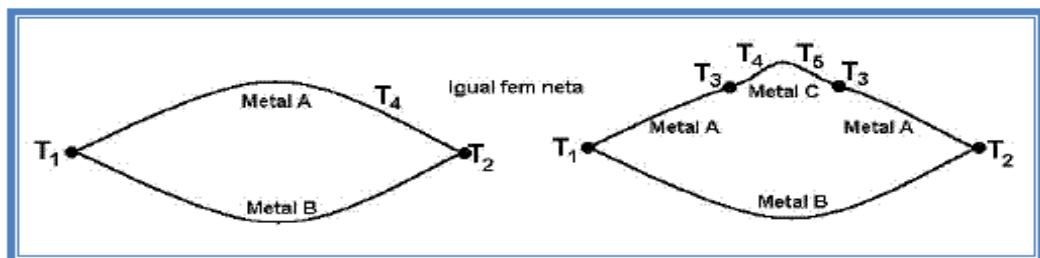


Figura 9. Ley de los metales intermedios
Fuente: Termocuplas (apunte 01). Pág. 4 Prof. Ing. Eduardo Álvarez.
<http://www.fi.uba.ar/laboratorios/lscm/SITIOCON.htm>

La aplicación de esa ley permite hacer las extensiones de los termopares con otros materiales distintos de los del par sensor en sí.

- **“Ley” de las temperaturas sucesivas:** La fem generada por un termopar con sus juntas a las temperaturas T_1 T_3 es la suma algebraica de la fem de dicho termopar con sus juntas a T_1 T_2 mas la fem del mismo termopar con sus juntas a las temperaturas T_2 T_3 (ver figura 10).

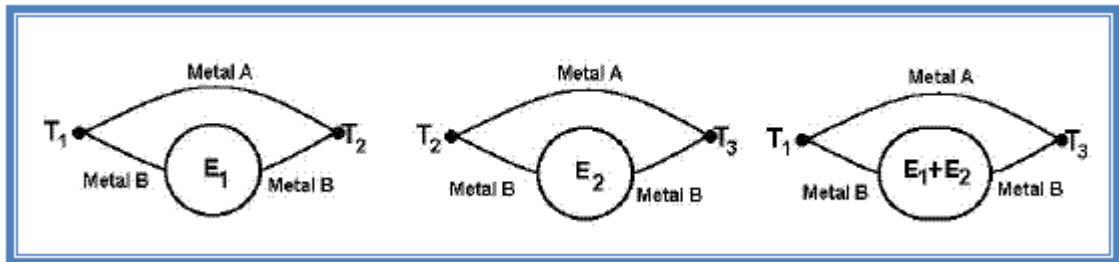


Figura 10. Ley de las temperaturas sucesivas

Fuente: Termocuplas (apunte 01). Pág. 6. Prof. Ing. Eduardo Álvarez.
<http://www.fi.uba.ar/laboratorios/lscm/SITIOCON.htm>

4.1.1.2 Descripción Matemática del sensor

Se asume que el sensor tiene una masa m dada en Kg, un calor específico c (J/Kg °C) y un área superficial A en metros cuadrados con la que intercambia calor con el medio. Durante la medición de temperatura, sea de un líquido o de un medio gaseoso, el sensor es inmerso completamente de manera tal que no intercambie calor con otro medio distinto.

Entonces se tiene que para un tiempo $t=0^-$ en un tiempo infinitesimal antes de cero, el sensor se encuentra en un estado estable, con una temperatura ambiente $T_s=T_m$; donde T_s es la temperatura del sensor y T_m es la temperatura del medio debido a que el sensor se encuentra en un medio estable. Cuando $T > T_s$ para $t=0^+$, para la condición inicial de temperatura en $t=0^-$ para el sensor es dada por

$$\Delta_s = T_s - T_m = 0 \quad (1)$$

y para el medio es:

$$\Delta = T - T_m > 0 \quad (2)$$

La transferencia de calor del sensor en un intervalo de tiempo dt es:

$$dQ = \alpha A(\Delta - \Delta_S)dt \quad (3)$$

Como se había dicho anteriormente A es el área y α es el coeficiente de transferencia de calor, ahora el calor almacenado en el sensor es:

$$dQ = mc\Delta_S \quad (4)$$

Donde m es la masa del sensor y c es el calor específico del material del sensor. Sustituyendo la ecuación (4) en la ecuación (3) se tiene que:

$$\alpha A(\Delta - \Delta_S)dt = mcd\Delta_S \rightarrow \frac{mc}{\alpha A} \frac{d\Delta_S}{dt} + \Delta_S = \Delta \quad (5)$$

Introduciendo la notación:

$$\frac{mc}{\alpha A} = \tau_s \quad (6)$$

La ecuación (5) se puede expresar como

$$\tau_s \frac{d\Delta_S}{dt} + \Delta_S = \Delta \quad (7)$$

Siendo τ_s la constante de cambio del sistema.

Ahora utilizando la transformada de Laplace para resolver la ecuación diferencial (7) se obtiene:

$$\tau_s s \Delta_S(s) + \Delta_S(s) = \Delta(s) \rightarrow \Delta_S(s) = \frac{\Delta(s)}{\tau_s s + 1} \quad (8)$$

Se puede utilizar como ejemplo una entrada escalón, con un valor final constante

$$\Delta_S(s) = \left(\frac{\Delta(s)}{\tau_s s + 1} \right) \frac{\theta}{s} = \left(\frac{1}{s} - \frac{1}{s + \frac{1}{\tau_s}} \right) \theta \quad (9)$$

Utilizando la transformada inversa de Laplace a la ecuación (9) se obtiene

$$\Delta_S(t) = \mathfrak{L}^{-1}(\Delta_S(s)) = \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_s}} \right) \theta \quad (10)$$

La ecuación establece que inicialmente el valor de $\Delta_s(t)$ es cero y luego alcanza el valor de θ , con un error de estado estacionario igual a cero. Una de las características importantes de la curva de respuesta es que $\Delta_s(t)$ alcanza el 63.2% de su valor final cuando $t = \tau$

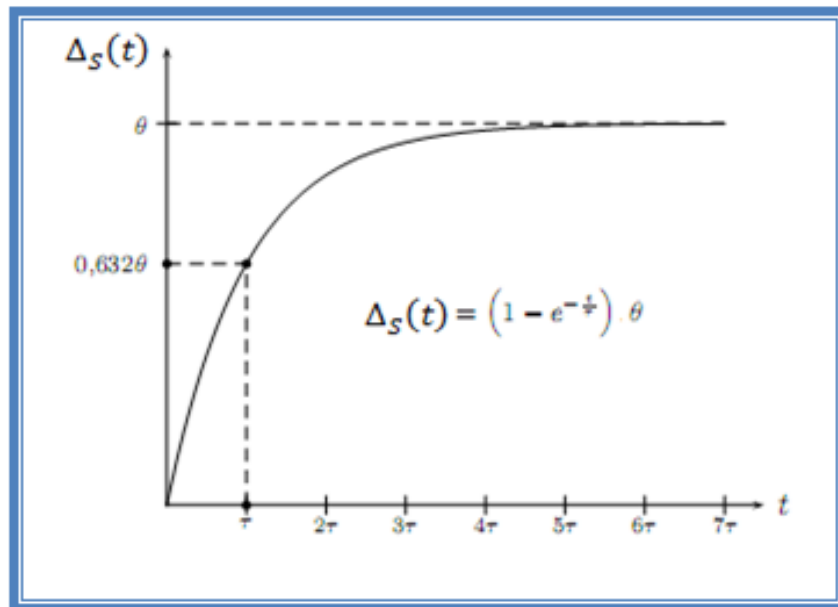


Figura 11. Curva de respuesta de la ecuación del sensor.

La figura 11, muestra para $t = 3, 4$ y 5τ , $\Delta_s(t)$ alcanza el 95%, 98.2% y 99.3% de su valor final respectivamente. De modo que para $t \geq 4\tau$, la respuesta permanece dentro del 2% del valor final, que es lo que en la práctica se utiliza, debido a que el estado estable solo se logra cuando $t = \infty$

CAPITULO 5.

ACTUADORES

Los actuadores son dispositivos por medio de los cuales se modifican estados de sistemas como la iluminación, climatización, entre otros. Están diseñados para cumplir funciones específicas, ya que son el medio físico con los cuales se ejerce el control de un proceso.

Los actuadores transforman una energía de entrada en una energía de salida, utilizable para realizar una acción, por este motivo se requieren de dispositivos que realicen funciones de fuerza, movimiento, estabilidad, control de fluidos y temperatura.

Los actuadores son de distintas formas según el tipo de montaje que se quiera realizar. Estos generan una fuerza a partir de líquidos, de energía eléctrica y gases.

5.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN

La selección está en función de la aplicación, es necesario conocer si el tipo de control del proceso es de interrupción, regulación o rotación. Entre los criterios más importantes, se tiene el tipo de señal, si es de corriente continua o de corriente alterna.

Los actuadores son de distintas formas según el tipo de montaje que se quiera realizar. Para cada tipo de aplicación existe un determinado tipo de actuador. También se debe tener en cuenta factores como potencia, controlabilidad, peso y volumen, precisión, velocidad, mantenimiento y costo.

Los actuadores se clasifican en:

- **Hidráulicos:** son los de mayor antigüedad, se pueden clasificar de acuerdo con la forma de operación. Estos actuadores son alimentados con fluido a presión y se obtiene un movimiento con una determinada velocidad, fuerza, o bien velocidad angular y momento a partir de la pérdida de presión de un

determinado caudal del fluido. Los actuadores hidráulicos permiten realizar a distancia la maniobra automática de las válvulas y llaves, conforme a la forma de operación se clasifican en lineales, llamados cilindros o en rotativos denominados motores hidráulicos.

- **Neumáticos:** son mecanismos que convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico por medio de un movimiento lineal de vaivén, o de motores. Aunque en esencia son idénticos a los actuadores hidráulicos, el rango de compresión es mayor en este caso, además de que hay una pequeña diferencia en cuanto al uso y en lo que se refiere a la estructura, debido a que estos tienen poca viscosidad. Los actuadores neumáticos se clasifican en dos grandes grupos en cilindros y motores.
- **Eléctricos:** La estructura de un actuador eléctrico es simple en comparación con la de los actuadores hidráulicos y neumáticos, ya que sólo requieren de energía eléctrica como fuente de poder. Como se utilizan cables eléctricos para transmitir las señales eléctricas, es altamente versátil y prácticamente no hay restricciones respecto a la distancia entre la fuente de poder y el actuador.

Por lo general, los actuadores hidráulicos se emplean cuando se necesita potencia, y los neumáticos son de posicionamiento. Los actuadores eléctricos también son muy utilizados en los aparatos mecatrónicos, como por ejemplo, en los robots.

5.1.1 Tipos de señales

Un criterio de selección de los actuadores es por su tipo de señal si es de corriente continua o corriente alterna, por eso es importante conocer estos dos tipos de corrientes:

- **La corriente continua:** Es aquella que mantiene su valor de tensión constante y sin cambio de polaridad, un ejemplo es una batería o pila de las que se utilizan en los electrodomésticos. A este tipo de corriente se la conoce como corriente continua (C.C) o corriente directa (C.D) (ver figura 12 a)
- **La corriente alterna también mantiene una diferencia de potencial constante, pero su polaridad varía con el tiempo. Se la suele denominar corriente alterna(C.A o A.C en inglés) (ver figura 12 b)**

Para implementar los actuadores, se deben considerar las condiciones de operación, teniendo en cuenta los requerimientos de consumo, ya que cada actuador se alimenta con diferente tipo de señal. Se pueden clasificar según su aplicación en: Fuerza, Fluidos, Alarmas y Térmica.

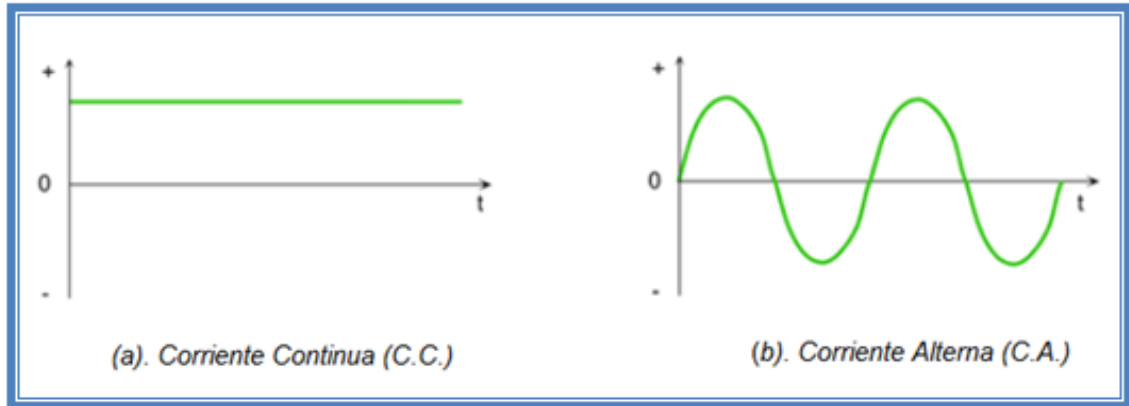


Figura 12. Tipos de señales: (a) Corriente continua y (b) corriente alterna.

5.2 APLICACIONES

5.2.1 Aplicación de movimiento: Hay procesos en los que se requieren movimientos y desplazamientos, además de soportar un determinado peso, para esto existen unos actuadores con las características necesarias, como: motores paso a paso, motores de corriente continua, motores de corriente alterna, entre otros (ver figura 13).



Figura 13. Motores: Paso a Paso, DC, AC
Fuente: <http://es.scribd.com/doc/54732299/2-Actuadores>

Estos actuadores son utilizados para manejar dispositivos mecatrónicos. Por lo general, estos actuadores se emplean cuando lo que se necesita es potencia o simples posicionamientos.

La estructura de este actuador es simple ya que sólo se requiere de energía eléctrica como fuente de poder. Se utilizan cables eléctricos para transmitir electricidad y las señales, es altamente versátil y prácticamente no hay restricciones respecto a la distancia entra la fuente de poder y el actuador.

Existe una gran cantidad de modelos y es fácil utilizarlos con motores eléctricos estandarizados según la aplicación. En la mayoría de los casos es necesario utilizar reductores, debido a que los motores son de operación continua.

5.2.2 Aplicaciones de fluidos: Hay procesos en los que se requiere desplazar una sustancia líquida de un punto a otro, para ésto existen unos actuadores con las características necesarias, como: motobombas, electroválvulas, entre otros (ver figura 14).

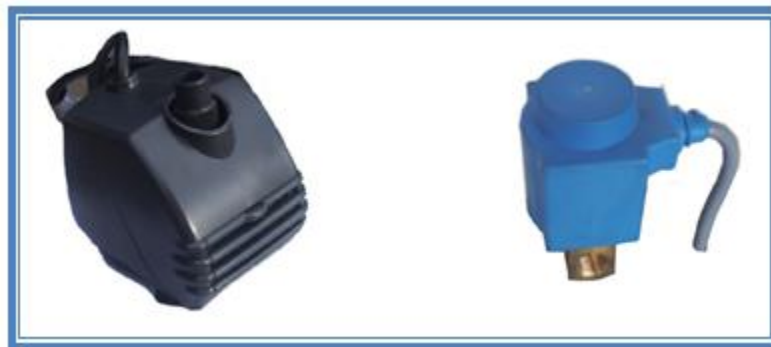


Figura 14. Motobomba y Electroválvula
Fuente: <http://es.scribd.com/doc/54732299/2-Actuadores>

Los actuadores de fluido como lo son las electroválvulas son las encargadas de permitir el paso de líquidos y gases, son muy útiles en sistemas de seguridad cuando son detectados inundaciones o en caso de fuego para los gases.

5.2.3 Aplicaciones de Alarmas: Hay procesos en los que se requiere algún tipo de aviso al analizar una tarea, al llegar a un límite, o simplemente generar una advertencia de peligro, para esto existen actuadores como: Zumbadores, *buzzer* y pilotos (ver figura 15).



Figura 15. Zumbador y *Buzzer*

Fuente: http://www.audiobus.com/avisadores_acusticos.html

Los actuadores de sonido son los encargados de propagar ondas a través de un medio que puede ser sólido, líquido o gaseoso. Las partículas materiales que transmiten tales ondas oscilan en la dirección de la propagación de las mismas ondas. Los actuadores que generan sonidos a más de 20.000 Hz se denominan ultrasonidos.

El actuador de luz es el encargado de reaccionar ante un estado de un sistema por medio de la emisión de luz. Son elementos de monitoreo en diferentes procesos (ver figura 16).



Figura 16. Piloto

Fuente: Fuente: <http://es.scribd.com/doc/54732299/2-Actuadores>

5.2.4. Aplicaciones Térmicas: Hay procesos en los que se requiere un control de temperatura, para esto, existen unos actuadores con las características necesarias como: Resistencia Eléctrica, Ventiladores, Extractores, entre otros (ver figura 17).

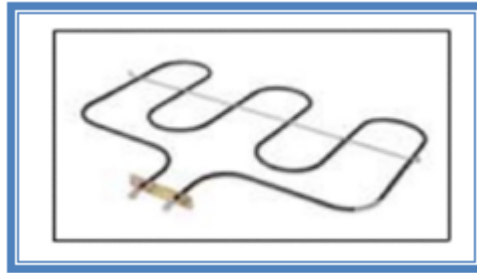


Figura 17. Resistencia Eléctrica
Fuente: <http://es.scribd.com/doc/54732299/2-Actuadores>

Los actuadores de calor están conformados por semiconductores en donde el flujo de la de la corriente eléctrica produce una pérdida de energía que se transforma en calor.

5.3 OPERACIÓN Y CONEXION

Los actuadores se conectan según su aplicación, pero un factor que no se puede dejar pasar es la alimentación, si son de corriente continua o corriente alterna, la tensión si es a 220V 0 a 110V

5.3.1 Válvula Solenoide: Es un mecanismo para regular el paso de un fluido. Se compone de una bobina y una válvula con un émbolo. Cuando se energiza la bobina produce un campo magnético e inmediatamente hala el vástago o émbolo dejando pasar el fluido libremente. A la salida de la bobina en la válvula solenoide, se tienen dos cables, uno que corresponde a la fase, otro que corresponde al neutro los cuales se energizan a 110V (ver figura 18).

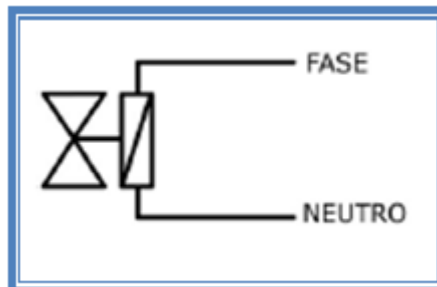


Figura 18. Conexión Válvula solenoide
Fuente: <http://es.scribd.com/doc/54732299/2-Actuadores>

5.3.2 Piloto: Es un dispositivo destinado a la producción de luz artificial; mediante el uso de combustibles o por la transformación de energía eléctrica en luminosa. A la salida del piloto, hay dos contactos con tornillo, por medio de los cuales se puede energizar con el voltaje de alimentación (50-220V) (ver figura 19).

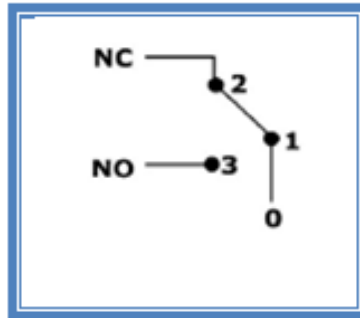


Figura 19. Conexión Piloto

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/54732299/2-Actuadores>

5.3.3 Buzzer: Dispositivo de alarma alimentado con corriente alterna o continúa, que emite un zumbido con intensidad moderada. A la salida del *buzzer*, se tienen dos cables, uno que corresponde al voltaje de alimentación positivo, otro que corresponde a la tierra; éstos deben ir conectados al voltaje del circuito (ver figura 20).

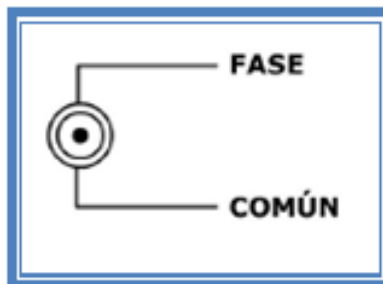


Figura 20. Conexión *Buzzer*

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/54732299/2-Actuadores>

CAPÍTULO 6.

DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

6.1 IDENTIFICACION DE LAS NECESIDADES

Las necesidades que se tuvieron en cuenta para desarrollar el sistema de control expuestas por los ingenieros Rubén Chaves, Juan Fernando Vergara fueron las siguientes:

1. Que la temperatura dentro del horno pueda ser vista en todo momento: para lograr una buena interacción con el usuario, se utilizó una pantalla de cristal liquido LCD de 2 x 16 caracteres, donde se visualizan los datos de temperatura en grados centígrados que entrega el sensor de temperatura (termocupla tipo j), realizando un monitoreo en tiempo real de la temperatura.
2. Que la temperatura pueda ser ingresada y también el tiempo de ahumado: para ello se implementó un teclado matricial, para que mediante él, se pueda digitar la temperatura y el tiempo de ahumado, cubriendo los requerimientos especificados que fueron temperaturas menores a 150°C y tiempo menor a 99 min.
3. Que tenga un fácil manejo: en lo que corresponde a la filosofía de control, el sistema requiere ante todo eficiencia y sencillez, para que la interfaz con el usuario sea entendible y clara, no tanto en la elaboración de la lógica de control, más si en su operación por parte del usuario, la interface realizada es muy amigable y se hizo de la manera más sencilla posible, con un manejo casi intuitivo.

Se estableció un sistema que tiene muy pocas interacciones por parte del usuario, de acuerdo a las peticiones dadas, el sistema requiere que el usuario ingrese la temperatura y el tiempo de ahumado, el objetivo del sistema es auxiliar al operador durante el proceso indicándole los procesos que se llevan a cabo y realizando automáticamente el suministro y corte del combustible y al terminar el ciclo de ahumado sonará una alarma indicando al operador que el tiempo de ahumado ha finalizado y que se puede

proceder a sacar el producto cárnico. Además existe un botón de *reset* para detener el proceso totalmente en cualquier momento.

4. Cambiar el modo de encendido, el cual se realiza por medio de una vela: se utilizó un encendido automático para hacer a un lado la activación manual del encendido que mantiene la temperatura en un valor deseado, el cual es controlado por medio del pic 18f452 que es el que maneja el programa de funcionamiento global del control.
5. Que cuando acabe el tiempo de ahumado exista una señal que le indique esto al operario: se utilizaron 2 tipos de alarma para indicar la culminación del proceso de ahumado , un aviso audible (*buzzer*) y un aviso visible (piloto) para que los operarios puedan saber el momento exacto en el que pueden proceder a la extracción del producto cárnico ahumado.
6. Que los componentes sean de fácil reemplazo: los dispositivos implementados en el control de temperatura fueron adquiridos en el mercado nacional.
7. Que la carcasa que contiene del circuito impreso se pueda abrir con facilidad para permitir su revisión en cualquier momento para que fuera de fácil mantenimiento, se diseñó una caja estructural rectangular pequeña, con tapa atornillada logrando una imagen estética adecuada, fabricada de un material resistente llamado multienchape.

6.2 ESQUEMA FUNCIONAL DEL SISTEMA

Con las necesidades expuestas en el ítem anterior se procede a diseñar un esquema funcional que permita visualizar mejor las etapas requeridas para diseñar el control (ver figura 21).

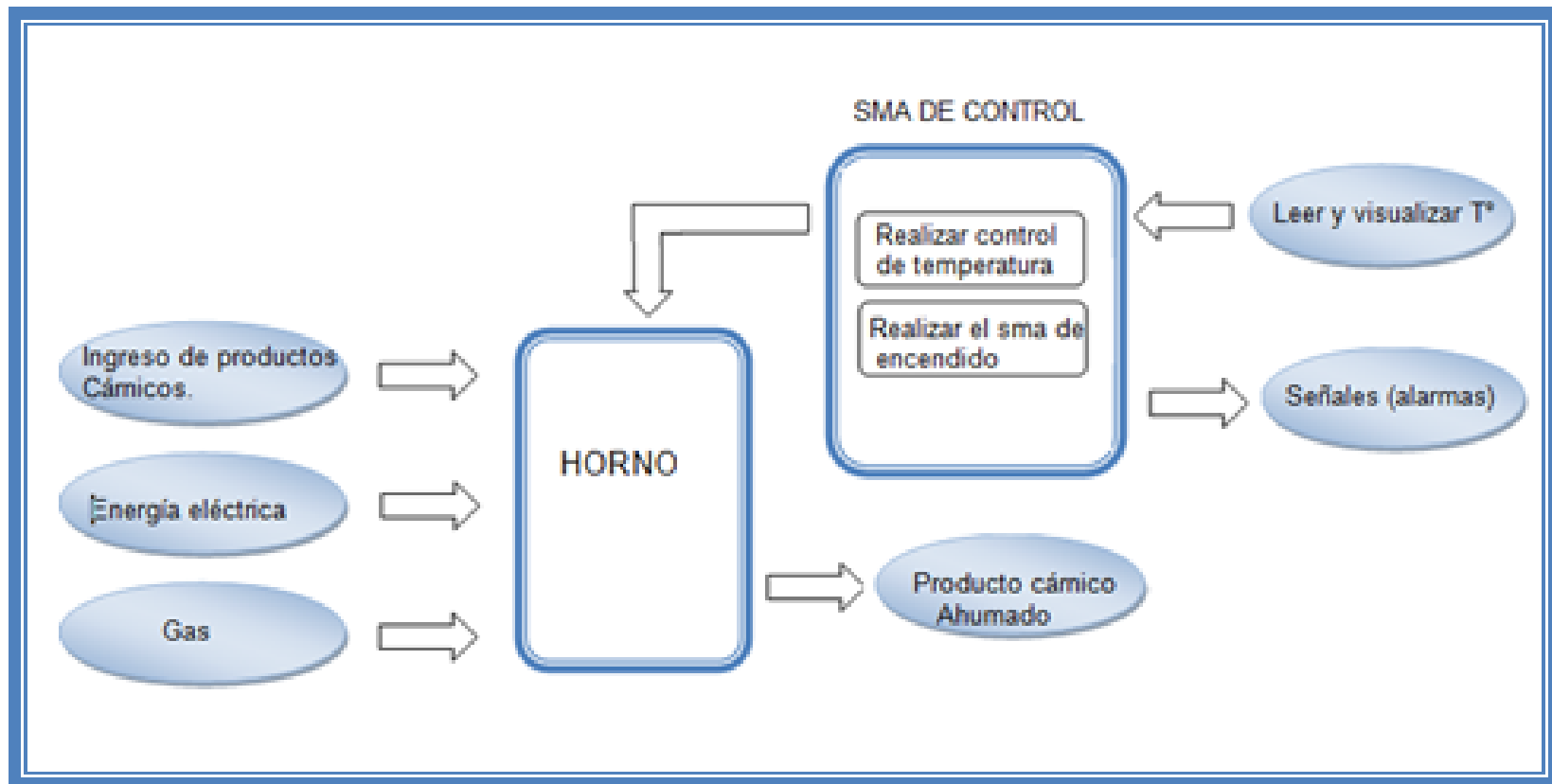


Figura 21. Esquema funcional del sistema de control

6.3 DISEÑO DEL CONTROLADOR

Para el desarrollo del sistema de control de temperatura de ahumado de la Facultad de ciencias agropecuarias de la Universidad del Cauca, se escogió como elemento de control un pic 18f452 el cual se programo en lenguaje c, teniendo en cuenta la técnica de control ON-OFF pues era la más adecuada, práctica y económica, debido a que el proceso no requería mantener una temperatura exacta y además la variable implicada, es decir, la temperatura es muy lenta, además se utilizaron distintos elementos físicos como actuadores (válvula solenoide y transformador de ignición) y sensores para realizar las diferentes acciones de control necesarias en el proceso de ahumado.

6.3.1 Control ON-OFF

En un sistema de control de dos posiciones, el elemento de actuación solo tiene dos posiciones fijas que, en muchos casos son simplemente o totalmente abierta o totalmente cerrada, sin dejar la posibilidad de posiciones intermedias. El control de 2 posiciones es relativamente simple y barato razón por la cual su uso se extendió en sistemas de control tanto industriales como domésticos.

Suponiendo que la señal de salida del controlador es $u(t)$ y que la señal de error es $e(t)$, en el control de 2 posiciones la señal $u(t)$ permanece en un valor ya sea máximo o mínimo, dependiendo de si la señal de error es positiva o negativa. De este modo:

$$u(t) = u_1, \text{ para } e(t) > 0 \quad (11)$$

$$u(t) = u_2, \text{ para } e(t) < 0 \quad (12)$$

En donde u_1 y u_2 son constantes. Por lo general el valor mínimo de u_2 es cero o $-u_1$. Es común que los controladores de 2 posiciones sean dispositivos eléctricos en cuyo caso se usa extensamente una válvula eléctrica operada por solenoides.

6.3.2 Descripción del Sistema de Control.

Inicialmente se conecta el control y aparece la siguiente imagen en la pantalla del lcd

T Tr: 000	Tv: 000
Clr: 00	Clv: 00

Donde:

T Tr= Temperatura de referencia

Tv= Temperatura sensada o variable

Clr= clock de referencia o tiempo de referencia

Clv= clock variable o tiempo variable

A continuación se ingresa en el teclado la temperatura requerida o temperatura de referencia (T Tr) de ahumado en grados centígrados entre 001 y 150 digitando la tecla A, posteriormente se ingresa el tiempo de ahumado (Clr), que cubre el rango entre 01 min y 99 min pulsando la tecla B, seguidamente se digita la tecla asterisco (*) para que arranque el sistema de control.

En este momento debido a que la temperatura de sensado es menor que la requerida, el pic 18f452 envía una señal a la válvula solenoide para que de paso al suministro de gas y también al encendido automático para que genere una chispa en el piloto, la cual enciende las flautas y el sistema empieza a calentar, cuando la temperatura llega a ser igual que la temperatura de referencia inicia el tiempo de ahumado.

El programa esta detectando a cada momento a que temperatura se encuentra la cámara de ahumado, de acuerdo a los datos que recibe del sensor. En el momento en que la temperatura sensada es mayor que la temperatura de referencia $\pm 5^{\circ}\text{C}$, la válvula solenoide se cierra debido a que el pic 18f452 envía una señal para desenergizar el relé, por lo tanto ya no hay paso de gas y la temperatura dentro del horno empieza a disminuir.

Este proceso de control se realiza durante todo el tiempo de ahumado y puede ser visto mediante 2 pilotos, que muestran en todo momento cuando se abre la válvula y cuando se da paso al encendido automático.

Además al terminar el tiempo de ahumado se cierra la válvula y se generan 2 señales que indican la finalización de este proceso, una señal sonora por medio de un *buzzer* el cual sonará durante 5 segundos y una señal visual mediante un

piloto de color verde, para indicar a los operarios que el producto cárnico ya se puede retirar del horno ahumador.

Para un fácil entendimiento y comprensión del control se entregó un manual sencillo, donde se explican las partes y el funcionamiento del control de temperatura, (ver anexo 2).

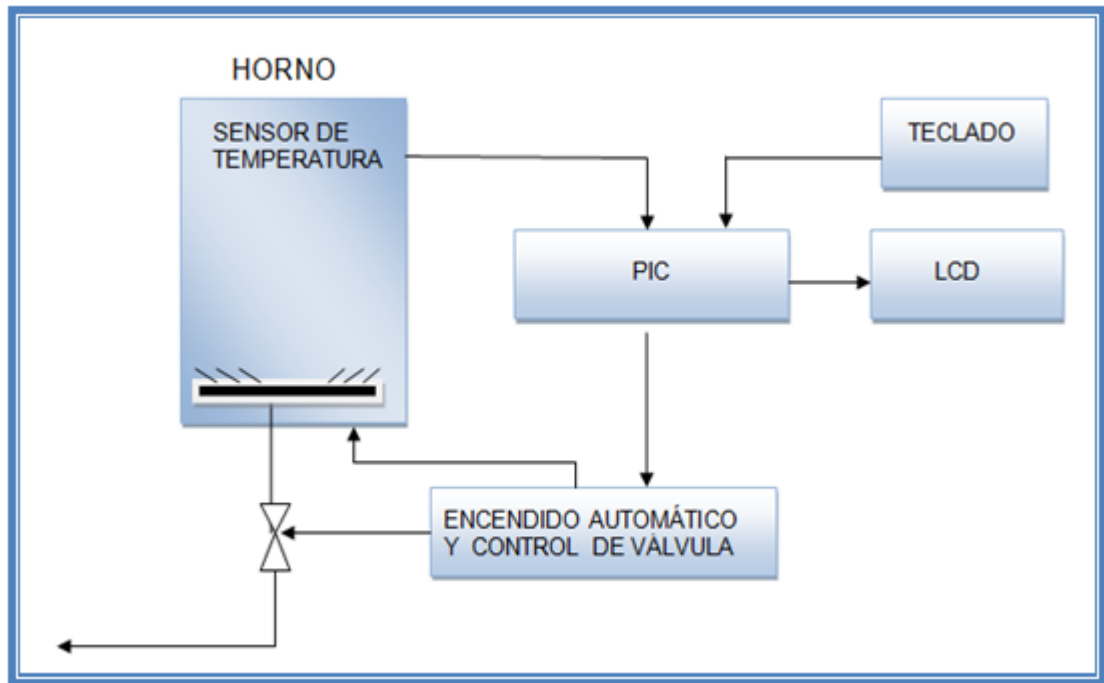


Figura 22. Diagrama de bloques del sistema de control



Figura 23. Horno ahumador Javar AH-30

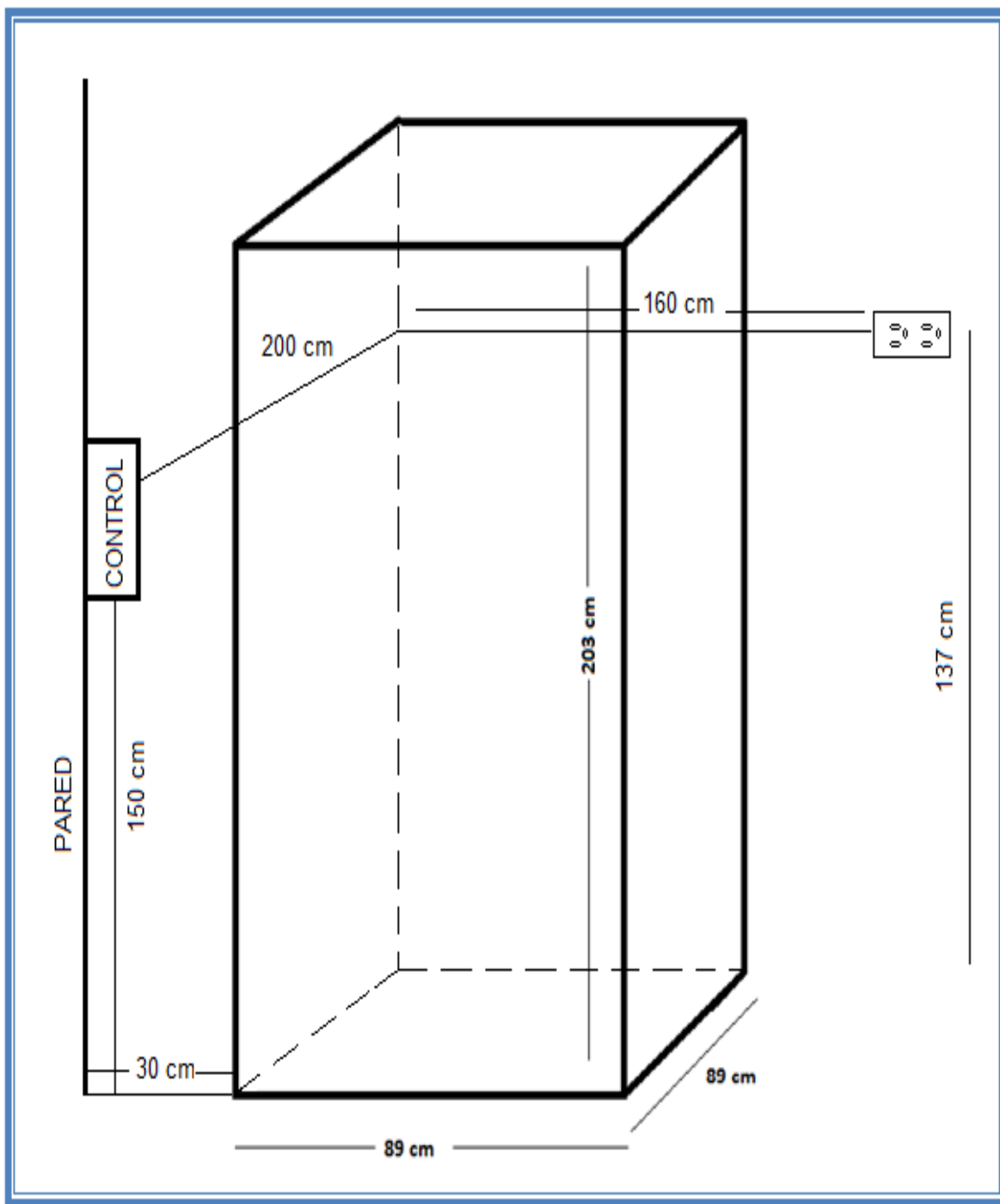


Figura 24. Medidas del horno ahumador Javar AH-30

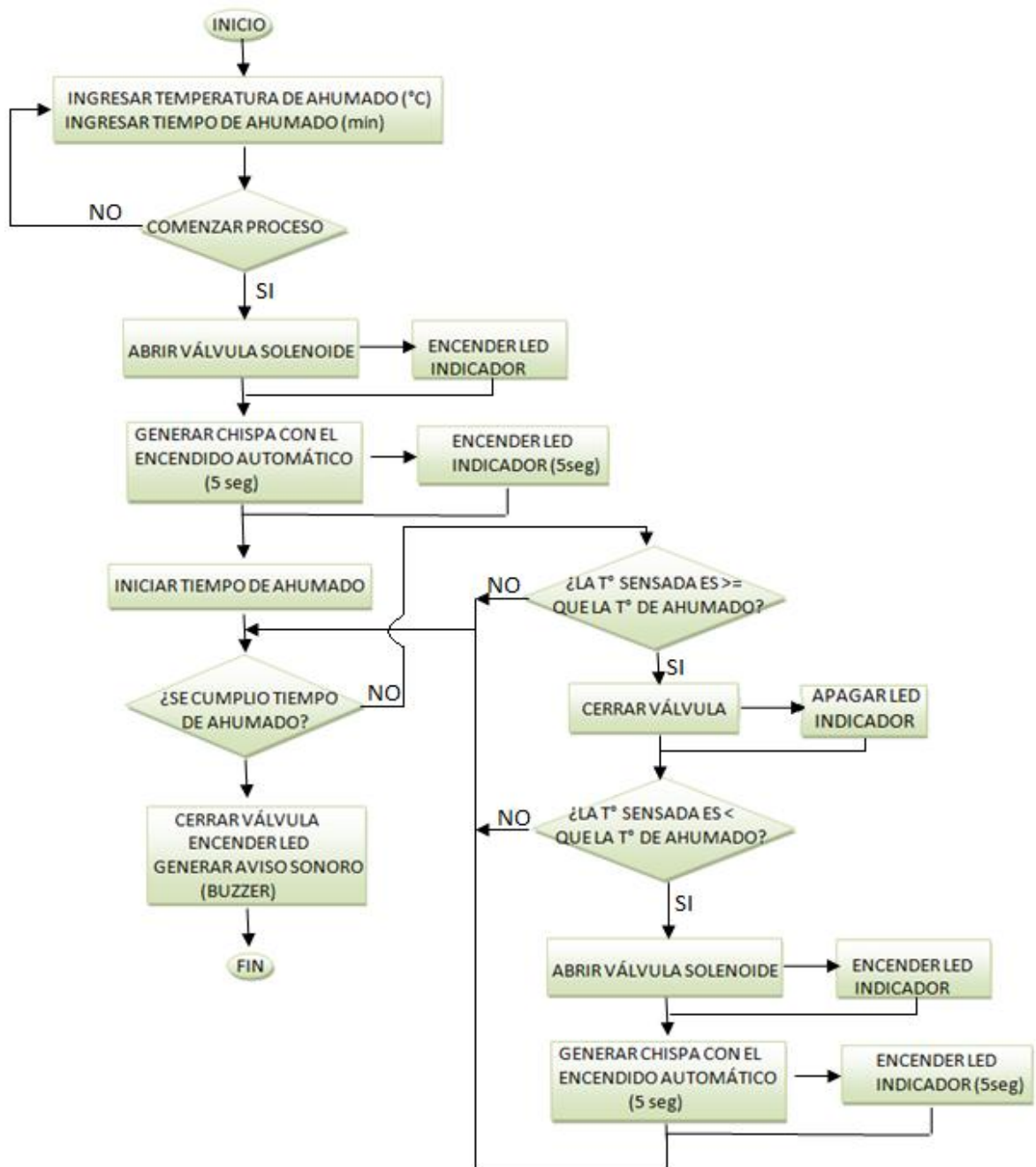


Figura 25. Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de control

6.3.3 Programación del pic 18f452 en lenguaje C. El lenguaje de programación que se utilizó en este proyecto fue el lenguaje C. Se trata de un lenguaje de nivel medio, pero con muchas características de bajo nivel, por lo cual es sumamente

potente con respecto al conocido y difícil lenguaje ensamblador. C es el lenguaje común para programar sistemas embebidos (sistemas con microcontroladores incorporados), debido al código ligero que un compilador C genera y la posibilidad del empleo de instrucciones de bajo nivel (ensamblador) dentro del código C. Una característica donde C demuestra comodidad de uso particularmente valiosa en sistemas embebidos es la manipulación de bits, la cual es muy tediosa o sencillamente imposible en otros lenguajes de alto nivel.

C es apreciado por la eficiencia del código que produce y es muy popular para crear aplicaciones, se desarrolló originalmente por programadores para programadores. Típicamente, sólo la programación cuidadosa en lenguaje ensamblador produce un código más rápido, aunque los avances en los compiladores de C han reducido gradualmente esta diferencia.

Las principales ventajas de C son las siguientes: elevada eficiencia puesto que es posible utilizar sus características de bajo nivel para realizar implementaciones óptimas, gran cantidad de compiladores en existencia (mikroC, CCS , C18) y proporciona facilidades para realizar programas modulares y/o utilizar código o bibliotecas existentes. El compilador que se utilizó fue el C18

El programa realizado en lenguaje C se puede observar en el anexo 1.

6.4 SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS

6.4.1 Microprocesador

El microprocesador a utilizar es el pic 18f452, se escogió por las siguientes características que tiene:

- Altas velocidades de reloj
- Reprogramable
- Tecnología CMOS de 8 bits y 40 pines
- Interfase disponible SCI (Interfase Comunicación Serial) o modulo USART (Transmisión Recepción síncrono asíncrono Universal)
- Operación de voltaje amplio
- Económico

6.4.2 Teclado

Desde el punto de vista eléctrico cada tecla del teclado es un mecanismo idéntico a un pulsador. La portación del teclado consiste en la configuración de las teclas para que necesiten pocas líneas de entrada en la detección de la que sea presionada.

Un teclado matricial esta organizado de tal forma que cada tecla se conecta a una fila y una columna. El número de líneas de entrada necesarias para la matriz del teclado es igual a la suma de columnas y filas. El número de teclas que pueden conectarse a la matriz es el producto de las filas por las columnas (ver figura 26).

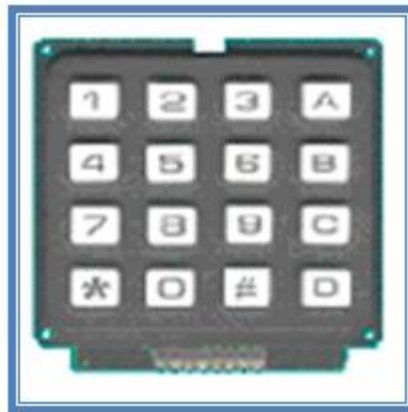


Figura 26. Teclado Matricial

6.4.3 Pantalla de Cristal Líquido (LCD)

La pantalla de cristal líquido (LCD) es uno de los visualizadores más utilizado en la actualidad, debido a las importantes ventajas que ofrece (ver figura 27).

Los módulos visualizadores LCD estándar se componen de una pantalla de cristal líquido que consta de una matriz de 16, 32, 40 u 80 cada uno de ellos de 5x7 píxeles y cursor. Puede conectarse directamente a un microprocesador o a un microcontrolador mediante un bus de 4 u 8 bits.

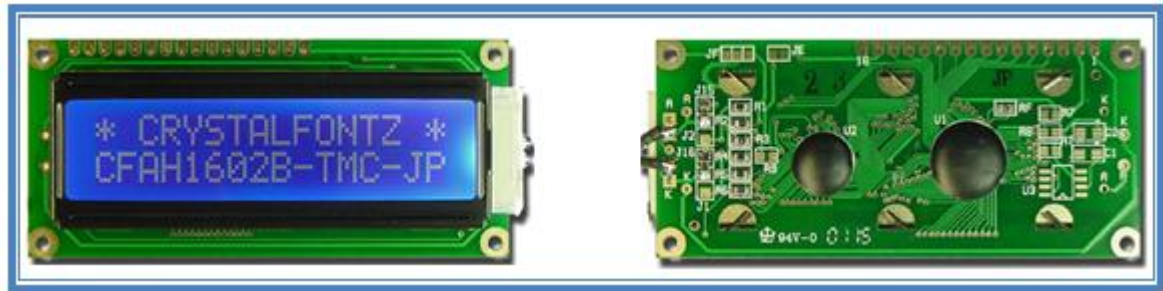


Figura 27. Pantalla LCD

Fuente: <http://www.crystallfontz.com/product/CFAH1202ATMIJT.html>

El consumo del modulo es muy reducido (7,5 mW) y su fácil manejo lo hacen un producto ideal para dispositivos que necesitan una capacidad de visualización pequeña o media.

6.4.4 Sensor de temperatura

Como sensor se utilizó una termocupla tipo J (ver figura 28) , debido a que son satisfactorias para uso en atmosferas oxidantes, reductoras e inertes y en vacio, la máxima temperatura alcanzada es de 760°C, además la temperatura a medir no supera los 100° Centígrados en el proceso de ahumado y también se tuvo en cuenta su bajo costo



Figura 28. Sensor de temperatura (Termocupla tipo J)

6.4.5 Actuadores: está formado por el conjunto de los siguientes elementos:

6.4.5.1 Válvula solenoide: la cual permite el paso de gas, modelo 2DV040N-15 de 2 vías, normalmente cerrada de 1/2 de pulgada



Figura 29. Válvula solenoide

Especificaciones:

- Fluidos: aire, agua y aceite
- Presión: 150psi
- Máxima presión 220psi
- Voltaje: 110 volts
- Corriente: 180mA

6.4.5.2 Encendido Automático: genera la chispa necesaria para encender la llama que se activa al recibir una señal del pic (ver figura 30).



Figura 30. Encendido automático y bujía

Especificaciones:

- Voltaje 110 volts
- Tmax 120°C
- Corriente: 5mA
- Modelo BK 10025-00
- Tipo: bk 10025-00

6.4.5.3 Buzzer: Genera alarma auditiva indicando que el proceso de ahumado a culminado (ver figura 31)



Figura 31. Buzzer

Especificaciones:

- Voltaje 110 V
- Corriente 36 mA

6.5 DISEÑO DEL CIRCUITO DEL SISTEMA DE CONTROL

El circuito general consta de 3 etapas las cuales describiremos a continuación:

6.5.1 Primera etapa del sistema de control

La primera etapa es el sensado y conversión de la temperatura (ver figura 32) , la cual consta de una termocupula tipo J que es la encargada de percibir la variación de temperatura y así ofrecer datos del comportamiento de la temperatura al pic 18f452, como amplificador y acondicionador de señal tenemos el circuito integrado ad594 que suministra una salida de 10mv por cada grado centígrado es alimentado con 5voltios y además esta etapa consta de un potenciómetro para comprobar la temperatura simulando al sensor cuando este no esta conectado.

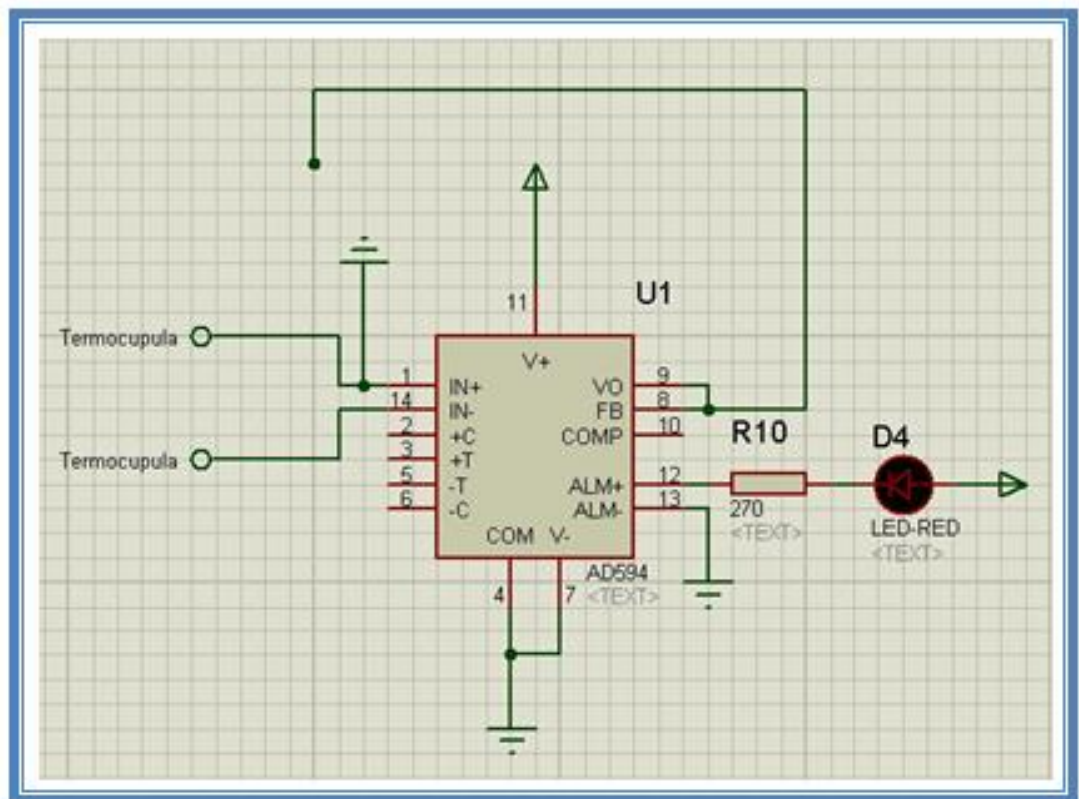


Figura 32. Etapa de sensado

6.5.2 Segunda etapa del sistema de control

Esta etapa corresponde a la lógica del circuito y consta de un pic 18f452 en el que esta contenido el algoritmo del proceso, la generación del registro y la unidad de adquisición de datos, recibe la señal proveniente del teclado, con la cual puede digitarse la temperatura y el tiempo y a la vez ser desplegado (ver figura 34).

Además es el encargado de accionar y cerrar la válvula, es decir, es el encargado de hacer funcionar todo el sistema de control. En la parte de alimentación del circuito se debe utilizar una fuente de 12 voltios de salida y con un máximo de 2000 mA con un regulador 7805, que convierte estos 12 V en 5V (ver figura 33).

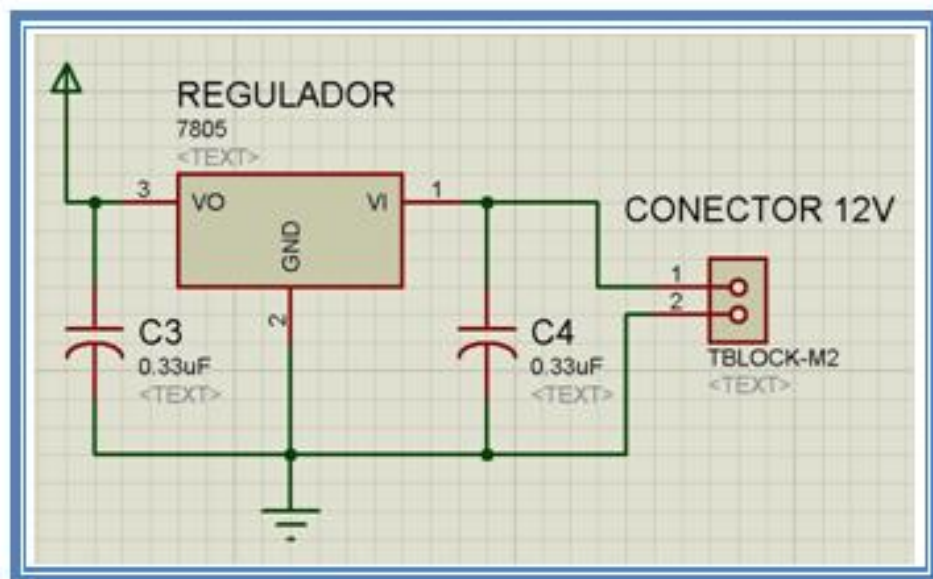


Figura 33. Alimentación del circuito

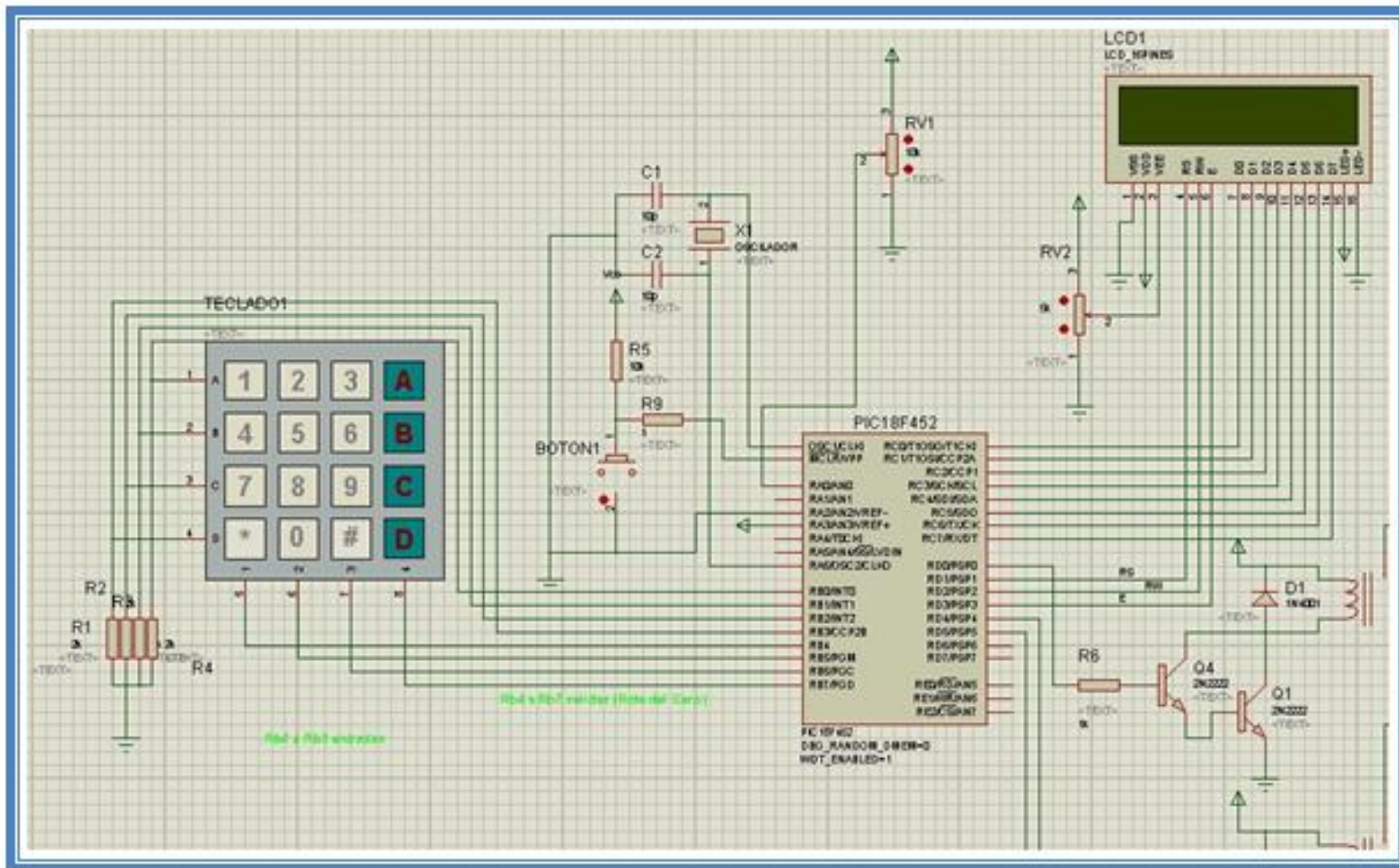


Figura 34. Etapa de adquisición de datos y ejecución del programa de control

6.5.3 Tercera etapa del sistema de control

Esta etapa corresponde al circuito analógico de conversión y adaptación de las señales digitales entregadas por el microcontrolador para ser utilizadas por los actuadores. Esta etapa es la etapa de potencia, consta de 3 relés los cuales manejan para AC una corriente de 1A máximo, cada uno de ellos lleva su etapa de amplificación, los relés 1 y 2 tienen arreglo Darlington debido a que se necesita amplificar mas corriente y son los encargados de dar paso a la válvula, el encendido automático y también llevan sus respectivos pilotos indicando cada proceso, lleva además diodos de protección para evitar que regrese corriente AC al resto del circuito (ver figura 35).

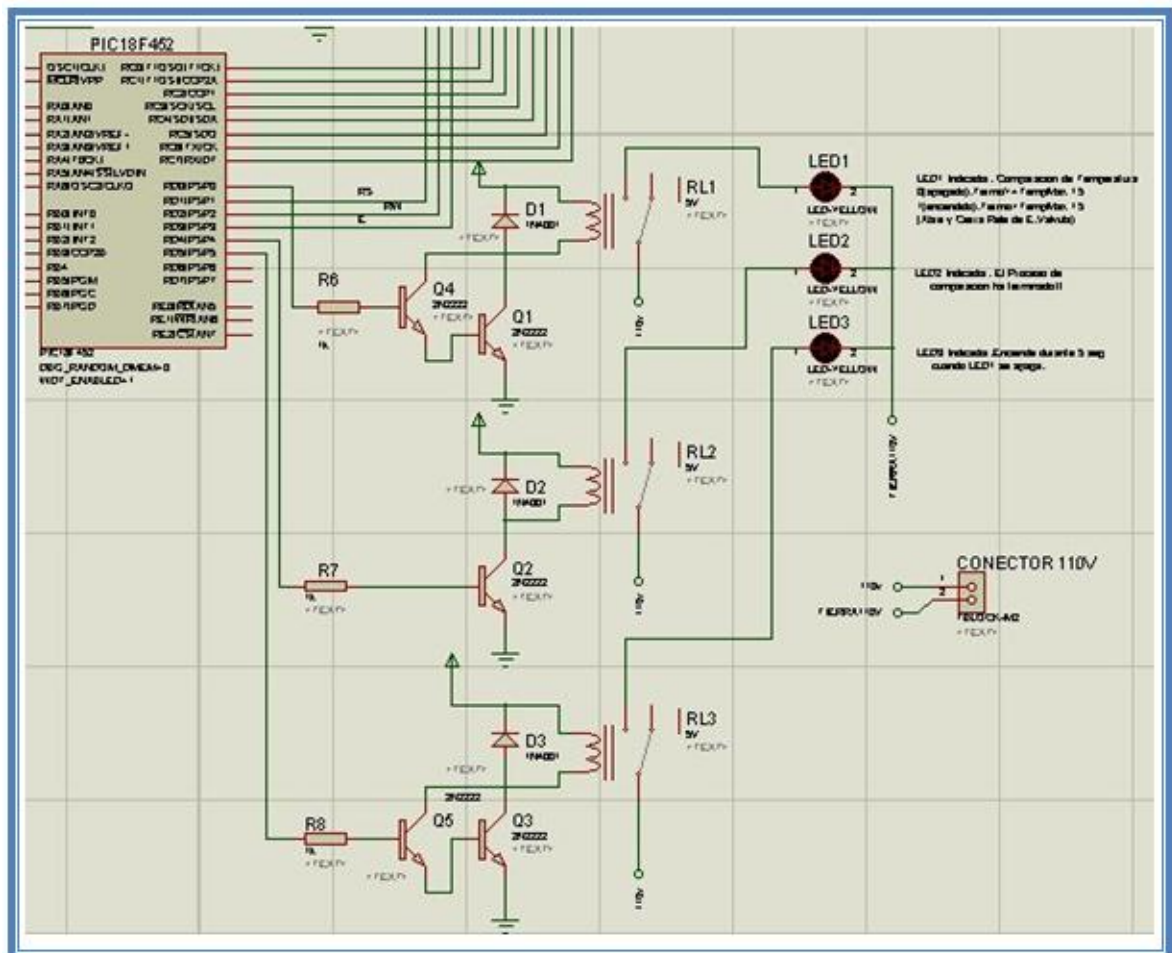


Figura 35. Etapa de potencia

6.5.4 Circuito impreso

El circuito impreso se realizó en fibra de vidrio, se dividió en 3: PCB1 (3,5 *5cm), PCB2 (10*14.5cm), PCB3 (10*8.5cm) para facilitar su posterior cambio.

El panel de conexión y los detalles del circuito impreso se ilustran en la figura 36

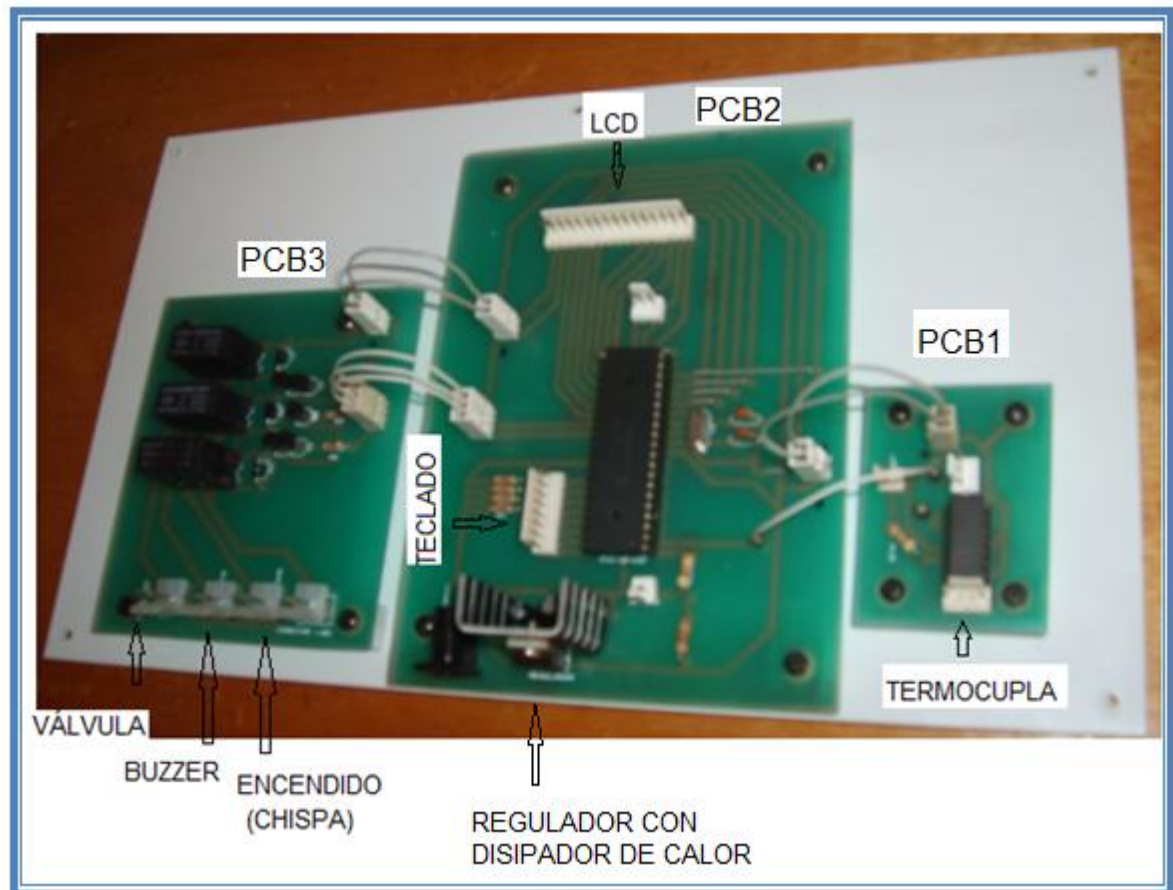


Figura 36. Circuito impreso del controlador de Temperatura

6.5.5 Montaje Las dimensiones para la carcasa que contiene el control son largo= 30.5 cm, ancho = 18,2 cm y alto= 7.5 cm, el material en el que fue hecho es multienchape (material polimérico similar al acrílico) (ver figuras 37 y 38)



Figura 37. Montaje final del control de temperatura (exterior)

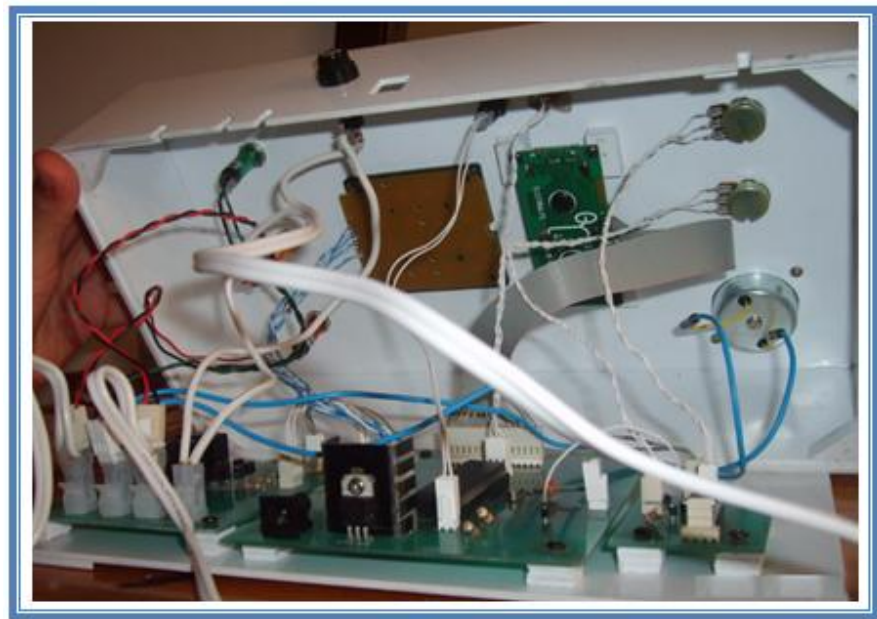


Figura 38. Montaje final del control de temperatura (interior)

CAPÍTULO 7

PRUEBAS Y RESULTADOS

7.1 VERIFICACION CONTRA PATRÓN

La verificación del correcto funcionamiento del Controlador de Temperatura se realizó con pruebas contra el patrón de medición de temperatura de Metrex S.A el Termómetro Lutron.



Figura 39. Termómetro Lutron TM 936

Este proceso de verificación se realizó con la comparación de temperaturas en agua caliente, arrojando los siguientes datos:

Tabla 2. Datos de temperatura de termómetro Lutron Vs. Controlador

Tiempo (min)	Temperatura Lutron (°C)	Temperatura Controlador (°C)	Tiempo (min)	Temperatura Lutron (°C)	Temperatura Controlador (°C)
0	24,8	24	16,5	49,1	51
1,5	27,3	25	18	53,2	54
3	29,6	28	19,5	57,1	56
4,5	31,2	32	21	58,4	59
6	34,5	33	22,5	60,9	60
7,5	36,8	35	24	61,8	60
9	38,1	39	25,5	62,7	61
10,5	40,2	41	27	63,2	62
12	44,1	42	28,5	63,9	63
13,5	45,3	47	30	64,4	66
15	47,3	48	31,5	65,4	67

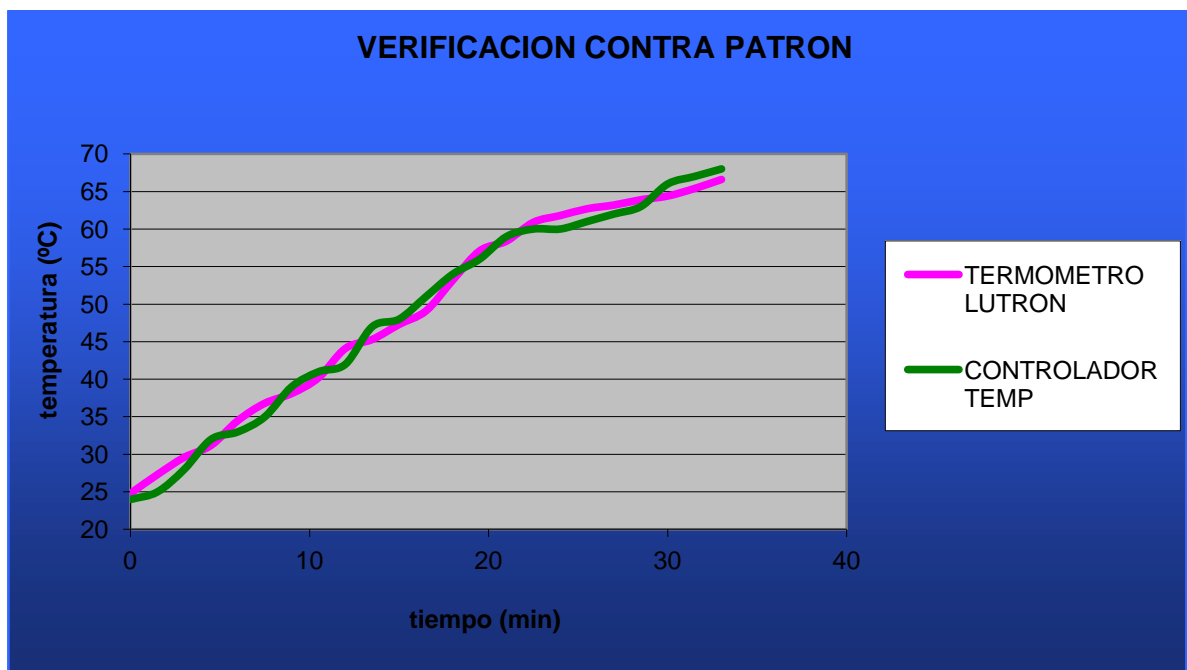


Figura 40. Verificación contra Patrón: Termómetro Lutron Vs. Controlador Temperatura Vs. Tiempo

Se pudo verificar que el error que se presentó en la toma de datos fue del 1.33.

7.2 PRUEBAS REALIZADAS

Para probar el funcionamiento del sistema de control se realizaron varias pruebas básicas en la panadería SUPERSORPRESA ubicada en la calle 63N # 9ª-30 Barrio Bellavista, debido a que para realizar las pruebas en el horno ahumador de la facultad de Ciencias agropecuarias se requería de una instalación de gas que no se encuentra disponible en estos momentos.

- Funcionamiento con el horno vacío
- Funcionamiento con el horno abastecido Carne

Para establecer a que temperatura se debe ingresar la carne, se tomará como referencia la temperatura del horno, debido a que de este modo la cocción es independiente de la cantidad de productos cárnicos que se encuentren en el interior del horno.

7.2.1 Prueba con el horno vacío

La primera prueba fue realizada para verificar el funcionamiento del control con el horno vacío, se estableció la temperatura en 65°C en un tiempo de 20 min.

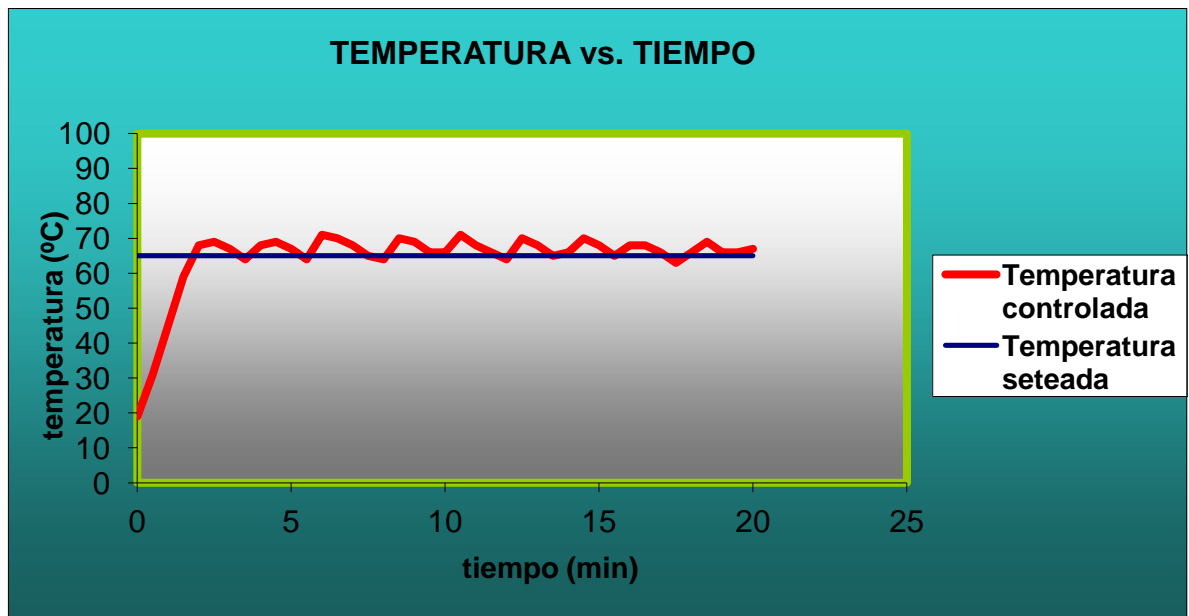


Figura 41. Temperatura Vs Tiempo horno vacío

Como se puede observar en la figura 41, la temperatura requerida o de referencia que se ingresó fue de 65°C, el tiempo en alcanzarla fue de 1,5 minutos, al momento en que la temperatura sube a 70°C la válvula se cierra y la temperatura empieza a descender, y cuando la temperatura baja a 65°C la válvula se abre, el controlador mantuvo la temperatura dentro del rango establecido garantizando la eficiencia del sistema de control diseñado.

7.2.2 Prueba con el horno provisto de cárnicos:

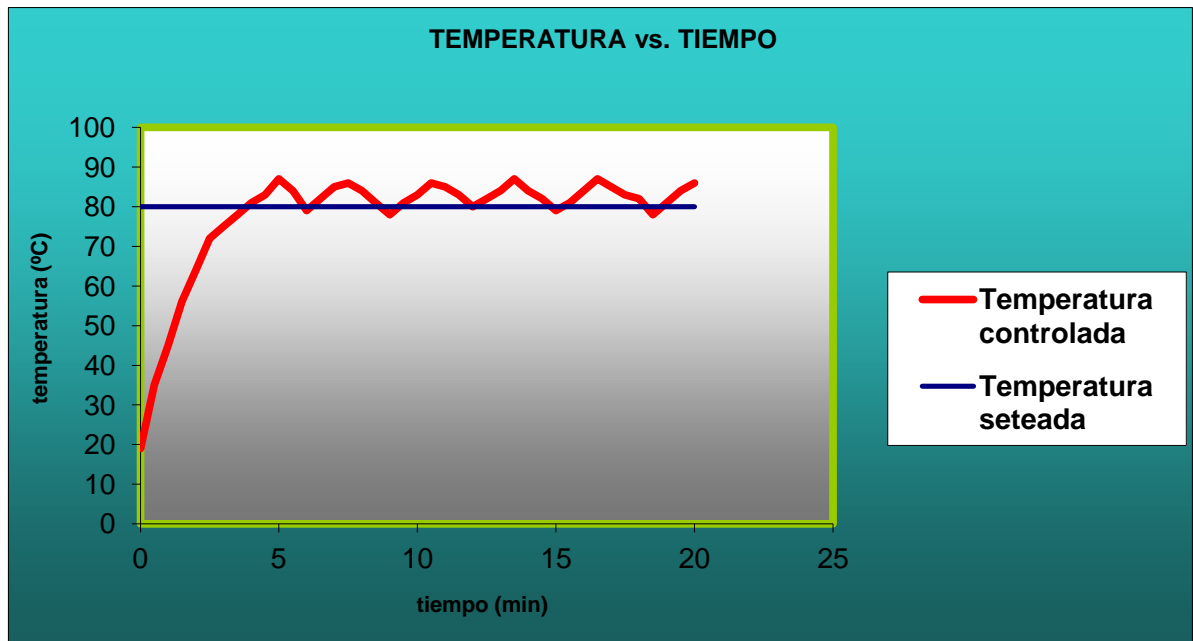


Figura 42. Temperatura Vs Tiempo (producto cárnico)

Como era de esperarse, en la figura 40 se puede apreciar que se demora alrededor de 4 minutos en alcanzar y estabilizar la temperatura requerida que es 80°C.

Con las pruebas realizadas, el control funcionó de manera adecuada, debido a que no excedió el rango de temperatura (5°C) lo que asegura un buen ahumado de los productos cárnicos.

CAPITULO 8.

RECOMENDACIONES

- ❖ Las conexiones de suministro de gas deben ser realizadas por personas capacitadas, según resolución 03742 de Febrero de 2001, el cual requiere de una buena presión en el suministro para evitar un mal funcionamiento en el control de encendido
- ❖ La adquisición de un regulador de voltaje o un regulador no break, que incluye aparte del regulador de voltaje una batería, para que el controlador y los actuadores puedan seguir operando en caso de variaciones o de ceses de energía y de esta manera no arruinar el proceso de ahumado.
- ❖ Fuente que suministre una corriente adecuada para el funcionamiento de la solenoide y encendido electrónico ideal 2A y 12V
- ❖ El no sobrepaso de los valores para la termocupla tipo j de 1-150°C y para el tiempo de ahumado de 1-99 min debido a que el control no servirá para valores fuera de esos rangos.
- ❖ El control debe ubicarse en un lugar estable, para evitar movimientos que puedan desajustar los circuitos internos del mismo.
- ❖ Se sugiere la instalación de un sensor de llama infrarrojo Honeywell C7027A1023
- ❖ Según la Norma Técnica Colombiana NTC 2505:2001 (cuarta actualización 05-24-2006); la implementación del control de temperatura requiere de unos requisitos generales de seguridad, tubería conectora, accesorios, válvulas de protección apropiadas de acuerdo a los correspondientes requisitos nacionales de instalación vigentes, por ello no se pudo realizar la instalación, debido a que no se cuenta con los recursos necesarios, pero en el momento que sean adquiridos por la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad del Cauca, se hará una asesoría para su correcta implementación.

CAPITULO 9.

CONCLUSIONES

- ❖ La utilización del sensor de temperatura termocupla tipo j, fue acertada, puesto que el rango de operación es el adecuado para obtener una medida confiable, además es de fácil manejo y de fácil reemplazo.
- ❖ El control diseñado maneja una precisión de $\pm 5^{\circ}\text{C}$, debido a que en el ahumado de carnes no se necesita que la temperatura sea muy precisa por tal razón puede oscilar en dicho rango.
- ❖ La implementación del diseño del control de temperatura emplea integrados que son de fácil adquisición en Colombia
- ❖ El sistema implementado es un control eficiente y sencillo para facilitar el manejo por parte del operador.
- ❖ El diseño realizado para el control de temperatura fue exitoso, con lo cual se cumplió el objetivo general debido a que se obtuvo un producto de buena calidad y bajo costo, apto para trabajar en ambientes industriales, cumpliendo con las especificaciones propuestas para su funcionamiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. GIRARD, J. P. Tecnología de la carne y de los productos cárnicos. Acribia, S.A. Zaragoza – España. 1991
2. WALKER, Kate. Manual Práctico del ahumado de los alimentos. Acribia, S.A. Zaragoza – España. 1995
3. GIRONZA, Humberto, Curso Instrumentación Industrial, Universidad del Cauca, 2001.
4. ANALOG DEVICES INC, Analog Devices Monolithic Thermocouple Amplifiers with Cold Junction Compensation AD594/AD595, USA. 1999.
5. CREUS, Antonio. “Instrumentación Industrial”, Marcombo, 1979.
6. Omega Engineering, Inc; “Temperatura measurement handbook”, 1981.
7. MICROCHIP PIC18F452 DATA SHEET, Microchip Technology Inc, 2002.
8. OGATA, Katsuhiko. Ingeniería de control moderna: Control ON-OFF. 3ed. Minnesota. Pearson, 1998.

ANEXO 2. MANUAL DE USUARIO

PARTES DEL CONTROL DE TEMPERATURA



Figura 1. Identificación de los componentes, parte delantera.

1. **BUZZER**: Genera alarma auditiva indicando que el proceso de ahumado ha culminado.

2. **RESOLUCIÓN DEL LCD:** Potenciómetro de 5K Ω encargado de mejorar la resolución de la pantalla LCD.
3. **SIMULACIÓN DE TEMPERATURA:** Sirve para comprobar el funcionamiento del control de temperatura cuando la termocupla no está conectada.
4. **PANTALLA LCD:** visualiza los datos de temperatura y de tiempo.
5. **LED:** indica que la termocupla se ha desconectado.
6. **RESET:** Finaliza el proceso en cualquier momento.
7. **TECLADO MATRICIAL:** Sirve para ingresar los datos de temperatura y de tiempo de ahumado.
8. **PILOTO VÁLVULA:** Se enciende para indicar en que momento el control manda la señal para abrir la válvula solenoide y permite el paso de gas.
9. **PILOTO ENCENDIDO:** Se enciende para indicar cuando el encendido automático genera una chispa para encender las flautas.
10. **PILOTO BUZZER:** se enciende para indicar que el proceso de ahumado ha finalizado.



Figura 2. Identificación de los componentes parte posterior

11. **FUSIBLE:** el fusible utilizado es de 750 mA.

12. **FUENTE DE 12 V, 2A:** Alimenta la parte DC del circuito.

13. **SWITCH:** consta de 2 posiciones ST y T; donde: ST=es para simular temperatura y T= temperatura sensada con la termocupla.

14. **VÁLVULA SOLENOIDE** (ver figura 3)



Figura 3. Válvula solenoide

15. ENCENDIDO AUTOMÁTICO



Figura 4. Encendido automático y bujía

16. TERMOCUPLA TIPO J



Figura 5. Sensor de temperatura (Termocupla tipo J)

FUNCIONAMIENTO DEL CONTROL DE TEMPERATURA

1. Verifique que el switch este en la posición de T que indica que la temperatura es sensada con la termocupla.
2. Conecte la fuente de 12 voltios
3. Conecte el cable de poder al toma (alimentación ac 110V)
4. Pulsar el reset para limpiar la pantalla
5. En el teclado presione la letra A seguida de la temperatura de ahumado en grados centígrados ej A 070 para indicar que es de 70°C
6. Presione la letra B seguida del tiempo de ahumado ej B 03 minutos. Para el ejemplo anterior de temperatura 70°C y tiempo de 3 minutos la pantalla LCD mostrara :

T Tr: 070	Tv: 000
Clr: 03	Clv: 00

Donde:

T Tr= Temperatura de referencia

Tv= Temperatura sensada o variable

Clr= clock de referencia o tiempo de referencia

Clv= clock variable o tiempo variable

7. Pulsar la tecla (*) para que el sistema empiece a funcionar
8. Al terminar el proceso sonará una alarma auditiva (*buzzer*) y se mostrará una alarma visual (piloto) para indicar que el proceso de ahumado a finalizado y el producto cárnico puede ser retirado.

ANEXO 3. CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN TERMÓMETRO LUTRON

CERTIFICADO DE CALIBRACION

Calibration Certificate

Número: TE-0894-10

Number

EMITIDO BAJO NORMA

Has been assessed in accordance with the standard

NTC/ISO/IEC 17025

LABORATORIO DE TEMPERATURA

Temperature Laboratory

INSTRUMENTO: Termómetro Digital con Termopar Tipo K
Instrument

FABRICANTE: Lutron
Manufacturer

MODELO: TM-936
Type

NÚMERO DE SERIE: AA.35857
Serial Number

IDENTIFICACIÓN: Indicador: LAB-029 // Sensor: TP-02A
Identification

SOLICITANTE: METREX S.A.
Customer

DIRECCIÓN / CIUDAD: Parque Industrial Lote 3-E
Popayán, Cauca
Address/City

FECHA DE RECEPCIÓN: 2010-04-22
Reception Date

FECHA DE CALIBRACIÓN: 2010-04-27
Calibration Date

NÚMERO DE PÁGINAS DE ESTE REPORTE INCLUYENDO ANEXOS: 3
Number of pages of this report and Documents Attached

ITEM: 100765-TE001

Los resultados del presente reporte se refieren al dispositivo relacionado y al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Metrocal Ltda no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento.

The results of this report refer to related dispositive and the moment and conditions in which the measurements were made. Metrocal Ltda assumes no responsibility for damage ensuing of this instrument.

Este reporte solo puede ser reproducido en forma total con la debida autorización por escrito de Metrocal Ltda.
This report shall not be reproduced, except in full, without the written approval of Metrocal Ltda.

Fecha de emisión
Issuance Date

2010-04-28

Sello
Label

Firma Autorizada
Approved Signatory

Ing. Rodolfo Ortega Acosta.
Gerente Técnico
Technical Manager

Cra. 29 No. 39-43 Tels.: (571) 269 5099 - 269 1594 - 269 8640 / Fax: (571) 244 3732 / Cel.: 311 276 1355, Bogotá D.C.
Cra. 46 No. 70-135, L. 4 y 5 C.C. Surí, Telefax: (075) 369 3415 - 319 83 63 / Cel.: 310 874 5447, Oficina Barranquilla
www.metrocalltda.com

Cu

MetroCal Ltda

Metrología y Calibración

ACREDITADO



Industria y Comercio
SUPERINTENDENCIA

Temperatura
Resolución No. 28 856

Página 1 de 3

CERTIFICADO DE CALIBRACION

Calibration Certificate

Número: TE-0894-10

Number



DESCRIPCIÓN DEL INSTRUMENTO - Description of Instrument :

El Termómetro Digital cuenta con las siguientes características :

Rango del instrumento (Indicador): -50,0 °C a 1300,0 °C

Rango de calibración: 0,0 °C a 200,0 °C

Resolución: 0,1 °C

Condición del instrumento:

El instrumento se encuentra en buenas condiciones, con desgaste normal de uso.

MÉTODO - Method:

Comparación directa de las indicaciones del instrumento a calibrar con el patrón. Según lo establecido en el procedimiento interno P-TE002, el cual está basado en el procedimiento TH-001 para la calibración de termómetros digitales. MINER-CEM., y en las normas NTC 4476 "Métodos de ensayo para la inspección y verificación de termómetros ICONTEC Bogotá D.C." y ASTM E563-02 "Standard Practice for Preparation and Use of an Ice-Point Bath as a Reference Temperature".

Profundidad de Inmersión del sensor (mm): 150

SITIO DE MEDICIÓN - Measurement place:

Laboratorio de Temperatura, MetroCal Ltda.

CONDICIONES AMBIENTALES - Ambient conditions:

Las condiciones Ambientales durante la calibración del instrumento fueron las siguientes :

Temperatura : (22,9 ± 1,9) °C

Humedad relativa : (54 ± 4) % HR

RESULTADOS DE LA MEDICIÓN - Measurement results:

Tabla No.1

Indicación Promedio Patrón (°C)	Indicación Promedio Instrumento (°C)	Corrección (°C)	Incertidumbre (°C)
0,1	0,0	0,1	± 0,15
19,9	19,8	0,1	± 0,34
75,1	75,0	0,1	± 0,33
100,1	100,1	0,0	± 0,33
200,0	200,3	-0,3	± 0,44

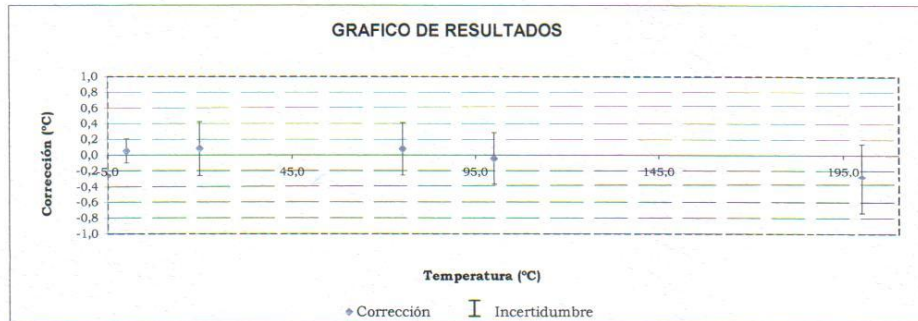
Temperatura correcta: Indicación promedio instrumento + corrección

CERTIFICADO DE CALIBRACION

Calibration Certificate

Número TE-0894-10

Number



INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN - Measurement uncertainty:

La incertidumbre estimada en el proceso de calibración (ver tabla No. 1) se ha evaluado teniendo en cuenta la incertidumbre estándar combinada con las siguientes contribuciones: repetibilidad, patrón, resolución, estabilidad del medio de calibración, uniformidad del medio de calibración; esta incertidumbre fue expandida por un factor de cobertura $k = 2$, que garantiza un nivel de confianza del 95,45% obedeciendo una distribución normal. La incertidumbre se estimó siguiendo los lineamientos expuestos en el procedimiento interno P-GM006.

TRAZABILIDAD - Traceability :

MetroCal Ltda., garantiza la trazabilidad de los patrones utilizados en estas mediciones hacia patrones nacionales o internacionales (ver Tabla 2).

Tabla No.2

Equipo	Marca	Modelo	Código	Certificado No.	Trazabilidad
Termómetro Digital con Pt 100 acodada	TES	1317	TE-130 TE-139	TE-2372-10	MetroCal Ltda.
Termómetro Digital con Pt 100 acodada	TES	1317	TE-130 TE-140	TE-2372-10	MetroCal Ltda.

OBSERVACIONES - Comments :

El usuario es responsable de la calibración de sus instrumentos a intervalos apropiados.
Se adjunta estampilla.

FINAL DE ESTE CERTIFICADO

Cra. 29 No. 39-43 Tels.: (571) 269 5099 - 269 1594 - 269 8640 / Fax: (571) 244 3732 / Cel.: 311 276 1355, Bogotá D.C.
Cra. 46 No. 70-135, L. 4 y 5 C.C. Sur, Telefax: (075) 369 3415 - 319 83 63 / Cel.: 310 874 5447, Oficina Barranquilla
www.metrocalltda.com

Página 3 de 3