

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE  
TEMPERATURA PARA UN TANQUE DE COCCIÓN EN LA UNIVERSIDAD DEL  
CAUCA**



**CARLOS ERNESTO SÁNCHEZ VIDAL**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
GRUPO I + D EN INGENIERÍA FÍSICA  
INGENIERÍA FÍSICA  
POPAYÁN  
2006**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE  
TEMPERATURA PARA UN TANQUE DE COCCIÓN EN LA UNIVERSIDAD DEL  
CAUCA**



**CARLOS ERNESTO SÁNCHEZ VIDAL**

**Trabajo de Grado en la Modalidad de Pasantía Presentado como Requisito Parcial  
Para Optar el Título de Ingeniero Físico**

**Director**

**Mg. EDGAR MATALLANA**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA**

**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN**

**GRUPO I + D EN INGENIERÍA FÍSICA**

**INGENIERÍA FÍSICA**

**POPAYÁN**

**2006**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

Director: \_\_\_\_\_

**Mg. Edgar Matallana**

Jurado: \_\_\_\_\_

**Ing. Mario Andrés Córdoba**

Jurado: \_\_\_\_\_

**Mg. Jorge Washington Coronel**

**Fecha de Sustentación: Popayán, junio 22 de 2006**

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>7</b>
<b>1. PLANTAS PILOTO.....</b>	<b>9</b>
<b>2. TEMPERATURA.....</b>	<b>10</b>
2.2 Calor.....	10
2.3 Transferencia de Calor.....	10
2.4 Modos de Transferencia de Calor.....	11
2.4.1 Conducción.....	11
2.4.2 Convección.....	12
2.4.3 Radiación.....	14
<b>3. COCCIÓN.....</b>	<b>16</b>
<b>4. TIPOS DE CONTROL Y CONTROLADORES INDUSTRIALES.....</b>	<b>18</b>
4.1 Control On/Off Encendido-Apagado.....	22
4.2 Control Proporcional.....	25
4.3 Control Integral.....	27
4.4 Control Derivativo.....	28
4.5 Control PID.....	29
4.6 Características del Proceso y Controlabilidad.....	30
4.7. Escogencia del Modo de Control.....	32
<b>5. CARACTERISTICAS DEL SENSOR DE TEMPERATURA.....</b>	<b>35</b>
5.1 Termopares.....	36
5.2 Leyes empíricas de los circuitos termoelectrónicos.....	40
5.3 Características de los termopares.....	41
5.4 Tipos de termopares.....	42
5.5 Características de corrosión de los termopares.....	43
<b>6. AMPLIFICADOR PARA TERMOPARES COMPENSADO.....</b>	<b>44</b>
<b>7. MICROCONTROLADORES.....</b>	<b>45</b>

7.1	Arquitectura.....	47
7.2	Procesador.....	50
7.3	La Memoria.....	50
7.4	Recursos Auxiliares.....	51
	7.4.1 Reloj Principal.....	52
	7.4.2 Timers.....	52
	7.4.3 Perro Guardián o Watchdog.....	52
	7.4.4 Bajo Consumo.....	52
	7.4.5 Modulador de Anchura de pulsos o PWM.....	52
	7.4.6 Conversores A/D y D/A.....	53
	7.4.7 Sistema de protección ante fallos de la alimentación.....	53
	7.4.8 Puertas de Entrada-Salida.....	53
7.5.	Herramientas de aplicación.....	54
7.5.1	Ensamblador.....	54
7.5.2	Compilador.....	54
7.5.3	Depurador.....	55
7.5.4	Simulador.....	55
7.5.5	Placas de evaluación.....	55
7.5.6	Emuladores en circuito.....	56
7.6	PIC 18F452.....	56
<b>8.</b>	<b>SOFTWARE DE APLICACIÓN MPLAB.....</b>	<b>57</b>
8.1	Características y aplicaciones de Mplab.....	57
8.2	Programación en MplabC18.....	57
<b>9.</b>	<b>PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR.....</b>	<b>58</b>
9.1	Adquisición de datos y control.....	58
9.2	Monitoreo y Calibración del sensor de temperatura.....	59
9.3	Reloj de tiempo real DS1302.....	60
<b>10.</b>	<b>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE TEMPERATURA.....</b>	<b>61</b>
10.1	Descripción General.....	61
10.2	Componentes del Sistema de Monitoreo y Control de Temperatura...	62

10.3	Opciones del Sistema de Monitoreo y Control de Temperatura.....	63
10.3.1	Temperatura de referencia.....	63
10.3.2	Operación del equipo diseñado.....	63
10.3.1	Diferencia de temperatura.....	63
10.3.2	Monitoreo del tiempo en el proceso de cocción.....	64
<b>11.</b>	<b>OPERACIÓN DE CONTROL.....</b>	<b>65</b>
11.1	Configuración del Sistema de Monitoreo y Control de Temperatura.....	65
11.2	Diseño electrónico del Sistema de Monitoreo y Control de Temperatura.....	67
11.3	Interfaz con el Usuario.....	67
11.4	Circuito Esquemático del Sistema de Monitoreo y Control de Temperatura...69	
11.5	Acondicionamiento de Señales.....	70
11.6	Válvula de Control de gas como Actuador.....	70
<b>12.</b>	<b>INSTALACIÓN DEL SISTEMA ELECTRÓNICO EN EL ESCALDADOR.....</b>	<b>71</b>
12.1	Funcionamiento del escaaldador con el dispositivo electrónico.....	72
12.2	Elementos que componen el sistema de monitoreo de temperatura...73	
12.3	Implementación y puesta a punto de un encendido electrónico.....	73
12.4	Implementación y puesta en funcionamiento de un medidor de Gas .74	
<b>13.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>75</b>
<b>14.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>76</b>

## INTRODUCCIÓN

El progreso y desarrollo tecnológico esta marcado por el aprendizaje de nuevos y mejores métodos para controlar cualquier proceso.

En general existen distintos tipos de procesos industriales en los que intervienen diferentes variables como: la temperatura, la presión, el nivel, la humedad, entre otras. Estas variables forman parte de alguna manera de los procesos de control que usan instrumentos analógicos y digitales de lectura o registradores que se deben ajustar, y calibrar para registrar las variables del proceso.

Los procesos industriales manejan variables que requieren de control de magnitudes conocidas y ya mencionadas, el sistema de control para dichas magnitudes se define como un procedimiento que compara el valor de una variable a controlar con un valor deseado y cuando éste presenta una desviación, efectúa una acción de corrección sin que exista intervención humana.

Un sistema de control elemental incluye todo tipo de medidas como indicadores, registradores, un elemento final de control y el propio proceso a controlar; estos elementos forman conceptualmente el tipo de control a utilizar dependiendo de las necesidades del proceso.

El proyecto desarrollado consistió en diseñar e implementar un sistema de monitoreo de temperatura, para un *Escaldador* utilizado especialmente para la cocción de los alimentos, el cual se mejoró notoriamente, convirtiéndolo en un *Controlador de Temperatura de Tipo on/off*, con una electroválvula como actuador. De tal forma que cuando la temperatura del tanque de cocción sobrepase la temperatura de referencia este actuador se cerrara evitando el paso de gas, apagando el equipo automáticamente y evitando que el alimento se queme.

También se le adicionó un sistema de monitoreo de tiempo integrado por una alarma y un reloj de tiempo real, para que el usuario pueda manipular horas, minutos, segundos en la cocción del producto, asimismo posee indicadores para visualizar la temperatura, y un teclado matricial permitiendo al operario manejar opciones de control en el sistema.



## **1. PLANTAS PILOTO**

Las plantas piloto de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad del Cauca, es una pequeña microempresa dedicada a la industria alimenticia con diferentes secciones en su planta de procesos. Tales como cárnicos, frutas, verduras y lácteos.

Esta planta de procesos cuenta con diversos equipos diseñados para los diferentes tipos de productos alimenticios, pero su mayor inconveniente es la falta de dispositivos de medición y control que le permitan optimizar el procesamiento de sus alimentos y así mejorar el desempeño de sus equipos.

El objetivo principal de las plantas piloto, es formar profesionales de alta competencia capaces de procesar productos de buena calidad, que permitan desarrollar y crear su propia empresa en el campo industrial.

## 2. TEMPERATURA

La temperatura es una medida de la energía cinética de las moléculas, en un líquido o gas, esta energía permite el movimiento aleatorio, así como los vibratorios y rotacionales.

Para la mayoría de la gente la temperatura es un concepto intuitivo, que indica cuando un cuerpo está caliente o frío. En los enunciados de la segunda ley de la termodinámica relaciona la temperatura con el calor, donde se sabe que éste fluye de los niveles de mayor temperatura a los de más baja.

### 2.2 Calor

El calor se define como la forma de energía que se transfiere entre dos sistemas (o un sistema y sus alrededores) debido a una diferencia de temperatura. Una interacción de energía es calor, si se transfiere solo, si ocurre debido a una diferencia de dos sistemas que se encuentran a la misma temperatura.

Físicamente, el calor es la transferencia de energía entre dos cuerpos por acción del desequilibrio térmico entre ellos. Su concepto está ligado al *Principio Cero de la Termodinámica*, que dictamina que *“dos cuerpos en contacto intercambian energía en forma de calor hasta que su temperatura se equilibra”*.

## 2.3 Transferencia de calor

Es el proceso por el medio del cual se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos, o entre diferentes partes de un mismo cuerpo, que están a distinta temperatura, la transferencia de energía sucede entre el cuerpo y los alrededores hasta que se establece el equilibrio térmico; o sea cuando el cuerpo y los alrededores alcanzan la misma temperatura. La dirección de transferencia de energía siempre es del cuerpo de temperatura más alta al de temperatura más baja. El calor se transfiere mediante conducción, convección y radiación . Aunque estos tres procesos pueden tener lugar simultáneamente, puede ocurrir que uno de los mecanismos predomine sobre los otros dos. Por ejemplo, el calor se transmite a través de la pared de una casa fundamentalmente por conducción, el agua de una cacerola situada sobre un quemador de gas se calienta en gran medida por convección, y la Tierra recibe calor del Sol casi exclusivamente por radiación electromagnética.

## 2.4 Modos de Transferencia de Calor

El calor se transfiere en tres diferentes maneras: conducción, convección y radiación. A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de los modos de transferencia de calor.

### 2.4.1 Conducción

Es la transferencia de energía de partículas más energéticas de una sustancia a las adyacentes menos energéticas, debido a las interacciones entre ellas.

La conducción sucede en sólidos, líquidos o gases, en los gases y en los líquidos la conducción se debe a las colisiones entre las moléculas durante su movimiento aleatorio.

En los sólidos, se debe a la combinación de vibraciones de las moléculas de una estructura y a la energía transportada por electrones libres, en los sólidos la única forma de transferencia de calor es la conducción. Si se calienta un extremo de una varilla metálica, de forma que aumente su temperatura, el calor se transmite hasta el extremo más frío por conducción.

Esta teoría explica por qué los buenos conductores eléctricos también tienden a ser buenos conductores del calor. En 1822, el matemático francés *Joseph Fourier* dio una expresión matemática precisa que hoy se conoce como *ley de Fourier de la conducción del calor*. En la siguiente ecuación la tasa de conducción de calor  $Q_{\text{cond}}$ , mediante una capa de espesor constante  $\Delta x$ , es proporcional a la diferencia de temperatura,  $\Delta T$ , a través de la capa y el área,  $A$ , normal a la dirección de la transferencia de calor, e inversamente proporcional al espesor de la capa.

$$Q_{\text{cond}} = K_t \Delta T / \Delta X \quad [\text{W}] \quad (2.1)$$

El factor de proporcionalidad se denomina  $K_t$  conductividad térmica del material, la cual es una medida de la capacidad de un material para conducir calor. Los materiales como el oro, la plata o el cobre tienen conductividades térmicas elevadas y conducen bien el calor.

#### 2.4.2 Convección

Es la transferencia de energía entre una superficie sólida y un líquido o gas adyacente que está en movimiento, e implica los efectos combinados de la conducción y del movimiento de un fluido. Si existe una diferencia de temperatura en el interior de un

líquido o un gas, es casi seguro que se producirá un movimiento del fluido. Este movimiento transfiere calor de una parte del fluido a otra por un proceso llamado convección.

El movimiento del fluido puede ser natural o forzado. Si se calienta un líquido o un gas, su densidad (masa por unidad de volumen) suele disminuir.

Si el líquido o gas se encuentra en el campo gravitatorio, el fluido más caliente y menos denso asciende, mientras que el fluido más frío y más denso desciende. Este tipo de movimiento, debido exclusivamente a la no uniformidad de la temperatura del fluido, se denomina Convección Natural.

La Convección Forzada, se logra sometiendo el fluido a un gradiente de presiones, con lo que se fuerza su movimiento de acuerdo a las leyes de la mecánica de fluidos.

La tasa de transferencia de calor por convección  $Q_{conv}$  se determina por la siguiente ecuación denominada Ley de Enfriamiento de Newton.

$$Q_{conv} = hA (T_s - T_f) \quad [W] \quad (2.2)$$

Donde  $h$  es el coeficiente de transferencia de calor por convección,  $A$  es el área de la superficie mediante la cual ocurre la transferencia térmica,  $T_s$  es la temperatura de la superficie y  $T_f$  es la temperatura del fluido más allá de la superficie.

### 2.4.3 Radiación

Es la energía emitida por la materia mediante ondas electromagnéticas (o fotones), como resultados de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. La radiación además presenta una diferencia fundamental respecto a la conducción y la convección: las sustancias que intercambian calor no tienen que estar

en contacto, sino que pueden estar separadas por un vacío. La radiación es un término que se aplica genéricamente a toda clase de fenómenos relacionados con ondas electromagnéticas. Todas las sustancias emiten energía radiante sólo por tener una temperatura superior al cero absoluto. Cuanto mayor es la temperatura, mayor es la cantidad de energía emitida. Además de emitir radiación, todas las sustancias son capaces de absorberla.

En una superficie pequeña de emisividad  $e$  y de área de la superficie  $A$ , a temperatura absoluta  $T_s$ , que esta totalmente encerrada por una superficie mas grande a temperatura absoluta  $T_{air}$  separada por un gas que no interacciona con la radiación, la tasa neta de transferencia de calor por radiación entre estas dos superficies se determina a partir de la siguiente ecuación.

$$Q_{rad} = \epsilon \sigma A (T_s^4 - T_{air}^4) \quad [W] \quad (2.3)$$

Donde  $\sigma$  es la constante de *Stefan-Boltzmann*. En este caso la emisividad y el área de la superficie circundante no tienen ningún efecto en la transferencia de calor por radiación neta.

### 3. COCCIÓN

La cocción al vapor evita perder las vitaminas y las sales minerales contenidas en los alimentos; permite derretir las grasas de la carne sin empobrecerla ni endurecer su consistencia. Con la cocción al vapor, los valores nutritivos se mantienen intactos y los alimentos conservan todo su sabor y consistencia.

Este método es muy utilizado en Oriente, imponiéndose en la actualidad en Occidente gracias a sus características peculiares: la otra forma de cocinar es la cocción "*al vapor de agua*" en este caso, el contacto del alimento con el agua es mínimo, por consiguiente el pasaje de nutrientes al medio es mucho menor o exiguo.

Hay dos formas de cocinar al vapor: con el recipiente abierto o con recipiente cerrado y a presión (la olla a presión), tal como se utiliza en el tanque de cocción. Esta forma de cocinar, hace que los alimentos mantengan mejor su aspecto, su forma y consistencia, que permite la pérdida mínima de los nutrientes.

La cocción con el calor húmedo del vapor, es un método indispensable por los *gourmets* para cocinar, porque con él se conserva el aroma típico y el propio sabor del alimento que se prepara, al igual que su aspecto, forma y color; es un proceso que trata al alimento con mucha suavidad.

El agua es el elemento de cocción más corriente; pero su "derivado" más conocido, el vapor, está conquistando un lugar privilegiado en la cocción de platos dietéticos y sabrosos.

Con esta forma de cocción no es el agua sino el vapor, quien transmite el calor, de esta manera se cocen los alimentos grasos, tales como el pescado ciertas carnes, legumbre, patatas, etc.

#### **4. TIPOS DE CONTROL Y CONTROLADORES INDUSTRIALES**

La automatización se define como un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos.

Un sistema automatizado consta de dos partes principales:

- Parte de mando
- Parte operativa

La parte de mando: suele ser un autómeta programable (tecnología programada), aunque hasta hace poco se utilizaban relés electromagnéticos, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos (tecnología cableada). En un sistema de fabricación automatizado el autómeta programable esta en el centro del sistema éste debe ser capaz de comunicarse con todos los componentes del sistema automatizado.

La parte operativa: es la parte que actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada. Los elementos que forman la parte operativa son los accionadores como motores, cilindros, compresores, fotodiodos y finales de carrera.

Los objetivos fundamentales de la automatización son:

Mejorar la productividad de la empresa, reduciendo los costos de la producción para mejorar la calidad de la misma, y realizar las operaciones imposibles de controlar manualmente, con el fin de optimizar la disponibilidad de los productos y proveer las cantidades necesarias en el momento preciso, simplificar el mantenimiento de forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo.



Los instrumentos de medición y control son ampliamente utilizados en la industria. En líneas generales, el porcentaje económico que ocupan en la inversión de una planta de proceso varía desde un 5% en plantas con poca instrumentación hasta un 12% máximo en plantas totalmente automatizadas.

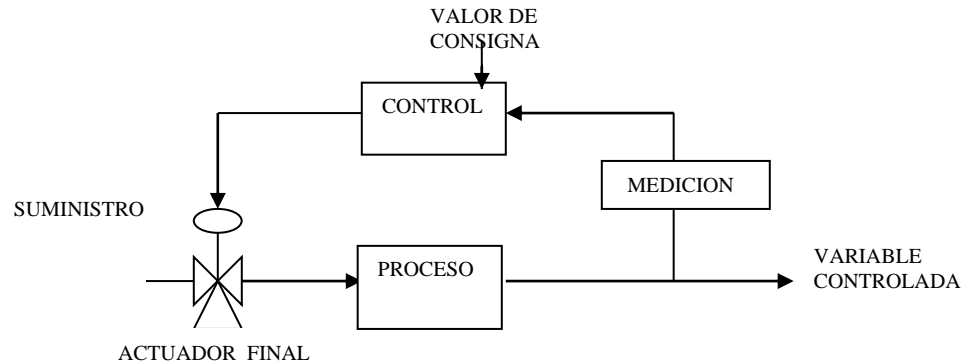
De ahí que sea importante el que los instrumentos en todas sus versiones transmisores, registradores, controladores, válvulas de control, estén continuamente en perfecto estado de funcionamiento, a fin de evitar paros parciales o totales en la planta o en los equipos y así reducir el costo de mantenimiento de estos. Los instrumentos permiten garantizar la calidad de los productos terminados y aseguran su producción masiva para mantener una buena repetibilidad en sus características finales.

La realización de un buen mantenimiento preventivo y la aplicación de los métodos adecuados para la calibración de los instrumentos será el objetivo primordial de toda planta industrial ya sea pequeña, mediana o grande. Porque se obtendrán productos de calidad. En este sentido, los sistemas de control se diseñan con el objetivo de obtener señales estables que permitan tener una excelente estabilidad, confiabilidad y repetibilidad en la medición.

#### 4.1 Sistemas Realimentados

El principio de realimentación es de fundamental importancia en las técnicas de control y la instrumentación. Este tipo de sistema compara el valor real de la salida de una planta con la entrada de referencia, calcula la desviación y genera una señal de control reduciendo la señal a cero. También se llama de realimentación negativa porque la variable manipulada se mueve en dirección opuesta a la variable del proceso.

El lazo de control realimentado simple sirve para ilustrar los cuatro elementos principales de cualquier lazo de control.



## 1. Control de Realimentación

La medición debe ser hecha para indicar el valor actual de la variable controlada por el lazo. Mediciones corrientes usadas en la industria incluyen caudal, presión, temperatura, mediciones analíticas tales como pH, conductividad y muchas otras particulares específicas de cada industria.

Las características más importantes del sistema de realimentación son el aumento de la exactitud, reducción de la sensibilidad de la salida, efectos reducidos de la no linealidad y de la distorsión, aumento del intervalo de frecuencias (de la entrada) en el cual el sistema responde satisfactoriamente (aumento del ancho de banda).

### 4.2 Clasificación de los sistemas de control

Los sistemas de control se clasifican en sistemas de lazo abierto y sistemas de lazo cerrado. La distinción la determina la acción de control, que es la que activa al sistema para producir la salida.

- Un sistema de control de lazo abierto es aquel en el cual la acción de control es independiente de la salida.

- Un sistema de control de lazo cerrado es aquel en el que la acción de control es en cierto modo dependiente de la salida.

Los sistemas de control de lazo cerrado se llaman comúnmente sistemas de control por realimentación (o retroacción).

Existen diferentes tipos de controladores, según el tipo de control que ejercen. Pueden ser:

- Control ON-OFF ó de dos posiciones.
- Control Proporcional (P).
- Acción de Control Integral.
- Acción de Control Derivativa.
- Control Proporcional-Integral-Derivativo (PID).

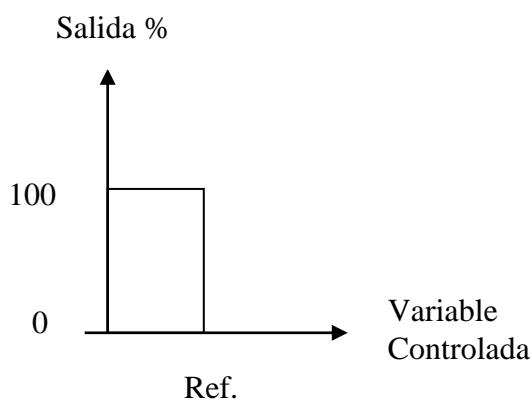
Los controladores industriales se pueden clasificar de acuerdo con el tipo de energía que utilizan en su operación, tales son: hidráulicos, neumáticos y hoy en día los más utilizados como los electrónicos. El tipo de controlador que se utilice deberá tener en cuenta parámetros como el entorno o el medio de la planta y sus condiciones de trabajo, incluyendo medidas como la confiabilidad, recursos, costos y seguridad para llevar a cabo una adecuada aplicación.

#### 4.3 Control ON-OFF ó de dos posiciones

A este tipo de control también se le denomina control de dos posiciones, control todo o nada ó control Bing-Bang.

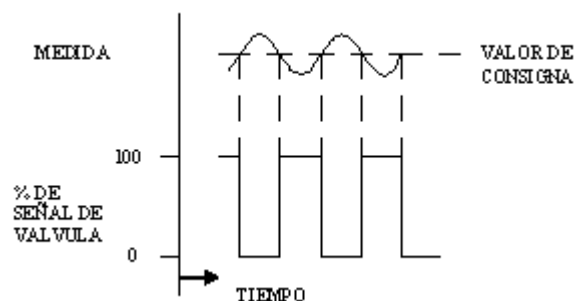
Este tipo de control encendido-apagado es simple y económico, razones por las cuales su uso es extendido en sistemas de control industriales. Se caracteriza porque la salida del controlador solo puede tener dos valores: 0% ó 100%.

Su comportamiento se observa en la figura 2. Cuando la variable controlada tiene un valor por encima de la referencia, la salida del controlador es de 0% y cuando la variable controlada tiene un valor por debajo de la referencia, la salida del controlador es del 100%.



**Figura N°2.** Comportamiento del control On -Off.

El comportamiento del control SI/NO también es mostrado en la figura 3.



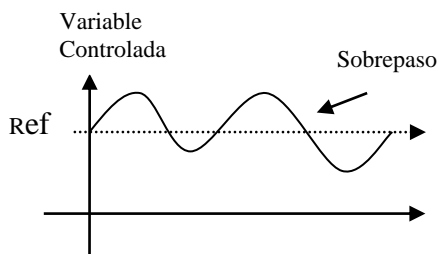
**Figura N°3.** Acción Si/No

El controlador Si/No tiene dos salidas que son para máxima apertura y para apertura mínima, o sea cierre. Para este sistema se ha determinado que cuando la medición cae

debajo del valor de consigna, la válvula debe estar cerrada para hacer que se abra, así en el caso en que la señal hacia el controlador automático esté debajo del valor de consigna, la salida del controlador será del 100%. A medida que la medición cruza el valor de consigna la salida del controlador va hacia el 0%. Esto eventualmente hace que la medición disminuya y a medida que la medición cruza el valor de consigna nuevamente, la salida vaya a un máximo. Este ciclo continuará indefinidamente, debido a que el controlador no puede balancear el suministro contra la carga. La continua oscilación puede, o puede no ser aceptable, dependiendo de la amplitud y longitud del ciclo. Un ciclo rápido causa frecuentes alteraciones en el sistema de suministro de la planta y un excesivo desgaste de la válvula.

Por lejos el tipo más común de control usado en la industria es el Si/No. Sin embargo si la medición del proceso es mas sensible a los cambios en el suministro, la amplitud y la frecuencia del ciclo comienza a incrementarse, en algún punto el ciclo se volverá inaceptable y alguna forma de control proporcional deberá ser aplicada.

La respuesta de un proceso con control ON-OFF se muestra en la siguiente figura.

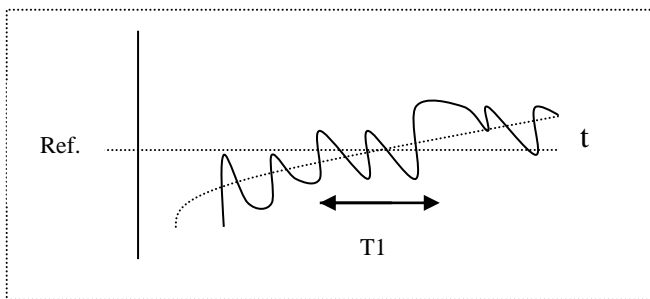


**Figura N°4.** Respuesta del control on-off.

Nótese que la variable controlada, por ejemplo la temperatura de un horno, oscila en el tiempo generándose un sobrepaso (la temperatura del horno sobrepasa el valor deseado). Esto es debido a la inercia propia de los procesos. Por ejemplo cuando un calefactor se desenergiza, la temperatura del horno sigue aumentando ya que el calefactor sigue radiando calor, solo después de un tiempo el calefactor se enfría lo

suficiente para que la temperatura del horno empiece a disminuir. Por lo tanto una característica de este tipo de control ON-OFF es que la variable de proceso es oscilante en el tiempo.

Además un problema típico de control ON-OFF es que el actuador sea sometido a un accionamiento excesivo. Ocurre cuando la variable controlada oscila rápidamente alrededor de la referencia. Por ejemplo por un ruido en la señal, como se muestra en la siguiente figura. En el intervalo T1, la variable controlada sobrepasa varias veces la referencia en lugar de seguir la trayectoria de la línea suave, cambiando rápidamente entre 0% y 100% la salida del controlador.



**Figura N°5.** Ruido en la variable controlada.

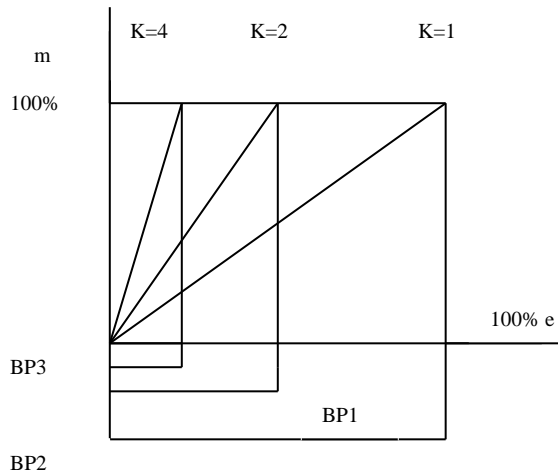
#### 4.4 Control Proporcional (P)

Este tipo de control establece una relación proporcional entre “m” y “e”: donde  $m(t) = K_p \cdot e(t)$ , transformando se tiene

$$m(s) = K_p \cdot E(s)$$

$K_p$ , es la ganancia proporcional (constante ajustable).

El controlador proporcional es esencialmente un amplificador con ganancia ajustable, si expresamos los valores de “m” y “e” en %, se tendrá para distintos valores de Kp la siguiente grafica.



**Figura N°6.** Control proporcional

Donde BP1, BP2 y BP3 indican las correspondientes bandas proporcionales a las ganancias Kp. La banda proporcional es la modificación expresada en porcentaje de variación de entrada al controlador e, requerida para producir un cambio del 100% en la salida m, digamos entonces que:

$$BP = 100 / Kp$$

La proporcional es la acción de control lineal más importante.

Como ventajas se puede mencionar:

- ✓ La instantaneidad de aplicación.
- ✓ La facilidad de comprobar los resultados.

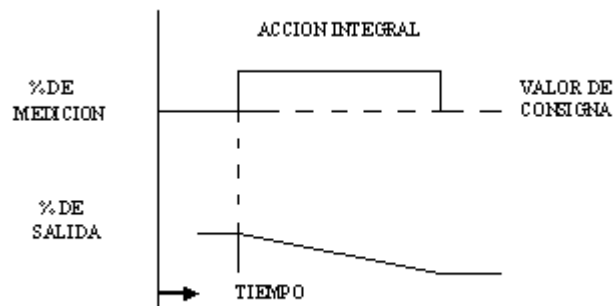
Como desventajas:

- La falta de inmunidad al ruido.
- La imposibilidad de corregir algunos errores en régimen permanente.

El control proporcional es relativamente sencillo y fácil de sintonizar, ya que tiene un sólo parámetro de ajuste. En general provee buena estabilidad, respuesta rápida y dinámicamente, relativamente estable. Su gran desventaja es que exhibe un desbalance u offset, lo que significa que en estado estacionario, el valor de la variable controlada, es siempre menor que la referencia. Debido a que el control requiere que exista un error para que la salida del controlador pueda variar y ajustarse a los cambios del proceso.

#### 4.5 Acción de Control Integral

Esta función es llamada acción integral o reset. La respuesta del lazo abierto del modo reset es mostrada en la figura 7, que indica un escalón de cambio en algún instante en el tiempo. En tanto que la medición estuviera en su valor de consigna, no existiría ningún cambio en la salida debido al modo de reset en el controlador.



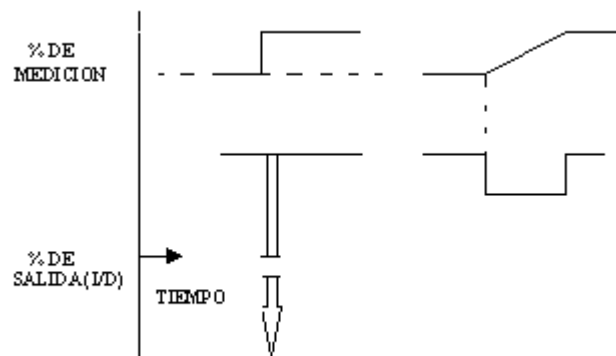
**Figura N°7.** Acción de Control Integral.



Sin embargo, cuando cualquier error exista entre la medición y el valor de consigna, la acción de *reset* hace que la salida comience a cambiar y continúe oscilando, en tanto el error exista. Esta función entonces actúa, sobre la salida para que cambie hasta un valor correcto necesario y así mantener la medición en el valor de consigna alcanzado a varias cargas.

#### 4.6 Acción de Control Derivativa

La tercer respuesta encontrada en controladores es la acción derivativa. Así como la respuesta proporcional responde al tamaño del error y el *reset* responde al tamaño y duración del error, el modo derivativo responde a cuan rápido cambia el error. En la figura 8. Dos respuestas derivativas son mostradas.



**Figura N°8.** Acción de Control Derivativa.

La primera es una respuesta a un corte en la medición alejada del valor de consigna. Para un escalón, la medición cambia en forma infinitamente rápida y el modo derivativo

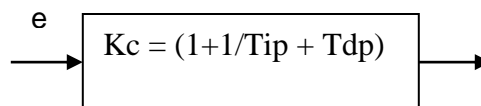
del controlador, produce un cambio grande y repentino en la salida, que muere inmediatamente debido a que la medición ha dejado de cambiar luego del escalón.

La segunda respuesta muestra la respuesta del modo derivativo a una medición que está cambiando a un régimen constante. La salida derivativa es proporcional al régimen de cambio de éste error. Cuanto mayor sea el cambio, mayor será la salida debido a la acción derivativa. La acción derivativa mantiene ésta salida mientras la medición esté cambiando. Tan pronto como la medición deja de cambiar, esté o no en el valor de consigna, la respuesta debido a la acción derivativa caerá.

#### 4.7 Control Proporcional-Integral-Derivativo (PID).

Como su nombre lo indica, en el sistema PID el controlador posee los tres modos de control que se analizaron anteriormente: el proporcional, el integral y el derivativo. En este tipo de instrumentos se desea aprovechar las ventajas que ofrece cada tipo de control.

A continuación se muestra un diagrama en bloques del control. La salida esta compuesta de tres componentes: la parte proporcional, la integral y la parte derivativa.



$$m = K_c \cdot e + K_c / T_i \int e dt + K_c / T_d \cdot de / dt.$$

El control PID provee una respuesta rápida y hace el error cero. Sin embargo, es difícil de sintonizar ya que ahora se tienen tres parámetros que ajustar. Por tanto el PID se usa en muy pocas aplicaciones y a menudo requiere un extensivo y constante ajuste para mantenerlo sintonizado en forma apropiada.

#### 4.8 Características del Proceso y Controlabilidad.

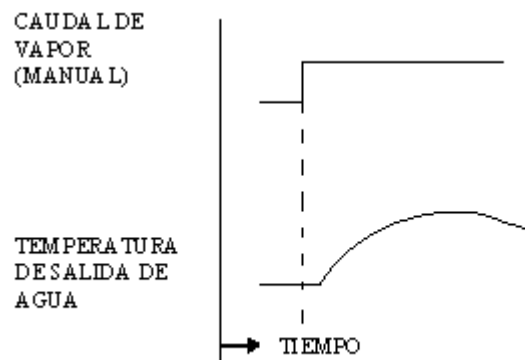
El controlador automático usa cambios en la posición del actuador final, para controlar la señal de medición, moviendo el actuador para oponerse a cualquier cambio que observe en la señal de medición. La controlabilidad de cualquier proceso es función de lo bien que una señal de medición responde a éstos cambios, en la salida del controlador; para un buen control la medición debería comenzar a responder en forma rápida, pero luego no cambiar rápidamente. Debido al enorme número de aplicaciones del control automático, que caracteriza un proceso por lo que hace, o por industria, es una tarea engorrosa. Sin embargo, todos los procesos pueden ser descritos por una relación entre las entradas y las salidas. Por ejemplo en la figura 20, se ilustra la respuesta de la temperatura de un intercambiador de calor cuando la válvula es abierta incrementando manualmente la señal de salida del controlador.

Al comienzo, no hay una respuesta inmediata en la indicación de temperatura, luego la respuesta comienza a cambiar, se eleva rápidamente al inicio, y se aproxima al final a un nivel constante. El proceso puede ser caracterizado por dos elementos de su respuesta.

El primero es el tiempo muerto *dead time* o sea el tiempo antes que la medición comience a responder, en éste ejemplo, el tiempo muerto se eleva debido a que el calor en el vapor debe ser conducido hasta el agua antes de que pueda afectar la temperatura, luego hacia el transmisor antes de que el cambio pueda ser percibido.

El segundo, la capacidad de un proceso es la energía que debe ingresar o abandonar a éste para cambiar las mediciones. La medición de una capacidad es su respuesta para un paso de entrada. Específicamente, el tamaño de una capacidad es medida por una constante de tiempo, que es definido como el tiempo necesario para completar el 63% de su respuesta total.

*La constante de tiempo* es una función del tamaño del proceso y del régimen de transferencia de energía. Para este ejemplo, cuanto más grande sea el tanque, y menor el caudal de vapor, mayor será la constante de tiempo. Estos números pueden ser de tan sólo algunos segundos, y tan largos como varias horas. Combinados con el tiempo muerto, los mismos definen cuanto tiempo lleva para que la señal responda a cambios en la posición de la válvula. Un proceso puede comenzar a responder rápidamente, pero no cambiar muy rápido si su tiempo muerto es pequeño y su capacidad muy grande. En resumen, cuanto mayor sea la constante de tiempo de la capacidad comparada con el tiempo muerto, mejor será la controlabilidad del proceso.



**Figura N°9.** Tiempo de Respuesta del Proceso.

### 5.94.9 Escogencia del Modo de Control

Para efectuar un buen control sobre un proceso, debe escogerse adecuadamente el modo de control, pero qué se entiende por un buen control.

Se tiene el caso de un sistema controlado, con la variable de proceso en un cierto valor. En estas condiciones se espera que:

1. La variable controlada se encuentre lo más cerca posible de la referencia. Idealmente que ambos valores sean iguales o sea, error cero y sin oscilaciones en las variable.
2. Ante un disturbio que modifique el valor de la variable controlada, ésta vuelva a la referencia en el menor tiempo posible (tiempo de establecimiento corto).
3. Si la variable controlada se debe cambiar de un valor a otro, esto ocurra sin oscilaciones o con oscilaciones con la menor amplitud posible.

Obtener el comportamiento anterior puede ser sencillo en algunos casos. Pero imposible en otros, no importa que modo de control se escoja ni como se ajusten los parámetros del controlador.

Por ejemplo, si para la producción del pan de una buena calidad se ha demostrado que no es necesario mantener la temperatura del horno en un valor exacto o constante durante el proceso de cocción, entonces un control on-off podría ser suficiente para controlar dicho horno. Pero no se puede decir lo mismo si se trata de un horno usado en un laboratorio biológico, usado para mantener en un cultivo bacteriano a una temperatura de  $38^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ . En este caso un control on-off no sería el adecuado ya

que seguramente la oscilación de la variable excedería los requisitos de precisión deseados.

Otro aspecto a tener en cuenta es el económico. El costo de un controlador se incrementa apreciablemente con su complejidad, y suele ser mucho mas barato un controlador on-off que un PID, lo mismo puede decirse de su mantenimiento: es mas fácil y menos costoso arreglar o reemplazar un controlador on-off, que un proporcional ó un PID. Además entre mas complejo sea un dispositivo, mayor posibilidad de falla tendrá. Estas consideraciones son muy importantes en las aplicaciones industriales, en donde la falla de un componente puede implicar la interrupción de un proceso de producción, con pérdidas económicas muy grandes.

Entre los ingenieros de control desde hace mucho tiempo se conoce una notable expresión que dice: *para una aplicación de control, siempre utilice el modo de control más simple que sirve a sus propósitos*. Cuando esto se cumple, el funcionamiento del sistema será más confiable y las preocupaciones del ingeniero serán menores.

Cuando se tiene un sistema a lazo cerrado de un proceso dado, el modo de control escogido está directamente relacionado con la respuesta del mismo. Algunos no son apropiados para las maquinas, por que responden de cierta manera, si se desea un control adecuado.

A continuación la tabla N°1. Muestra una idea del modo de control que puede resultar adecuado para los diferentes tipos de procesos ya mencionados.

<b>Modo de control</b>	<b>Retardo de primer orden (mínimo)</b>	<b>Atraso de transferencia (máximo)</b>	<b>Tiempo muerto (máximo)</b>	<b>Magnitud del disturbio en la carga (máximo)</b>	<b>Velocidad del disturbio en la carga (máximo)</b>
<b>On-off</b>	Largo (no puede ser corto)	Muy corto	Muy corto	Pequeño	Lento
Proporcional	Largo o moderado (no puede ser corto)	Moderado	Moderado	Cualquiera	Lento
Proporcional-Integral-Derivativo (PID)	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera

**Tabla N°1.** Relación Respuesta del Proceso vs. Modo de Control.

En general el *Control On-Off* exige que las magnitudes de los disturbios en la carga sean pequeñas, así como de que la velocidad de estos disturbios sea lenta. De esta manera se obtiene un control adecuado. Si el proceso posee un tiempo muerto muy corto, podría utilizarse un control *on-off*, siempre y cuando se cumplan los requisitos mencionados en la tabla.

## 5. CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR DE TEMPERATURA

### 5.1 Termopares

En un circuito formado por dos metales distintos A y B, con dos uniones a diferente temperatura, aparece una corriente eléctrica, donde se produce una conversión de energía térmica en energía eléctrica, o bien si se abre el circuito, en una fuerza termo-electromotriz (f.t.e.m) que depende de los metales y de la diferencia de temperatura entre las uniones:

$$e_{AB} = \alpha T$$

Donde  $\alpha$  es el coeficiente de Seebeck y T la temperatura absoluta.  $\alpha$  representa la variación de tensión producida por la variación de 1° de temperatura para cada par de materiales. Así para la termocupla tipo J, que esta fabricada con hierro-constantan  $\alpha$  es de 0,0828mV por grado.

Las termocuplas son el sensor de temperatura más común utilizado industrialmente. Estas se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo (soldados generalmente). Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño llamado efecto Seebeck, del orden de los milivoltios el cual aumenta con la temperatura.

La termocupla tipo J está hecha con un alambre de hierro y otro de constantán (aleación de cobre y nickel). Normalmente las termocuplas industriales se consiguen encapsuladas dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material, en un extremo está la unión y en el otro el terminal eléctrico de los cables protegido adentro de una caja redonda de aluminio (cabezal).





**Grafica N° 10.** Termocupla Industrial tipo J

Existen diferentes tipos de termocuplas, en la tabla siguiente aparecen algunas de las más comunes, pero casi el 90% de las termocuplas utilizadas son del tipo J ó del tipo K.

Termocupla	Cable + Aleación	Cable – Aleación	Rango Temperatura (Min, Max) [°C]	Tensión Max [mV]
<b>J</b>	<b>Hierro</b>	<b>cobre/nickel</b>	<b>(0, 750)</b>	<b>42.2</b>
K	Nickel/cromo	Nickel/aluminio	(-180, 1372)	54.8
T	Cobre	cobre/nickel	(-250, 400)	20.8
R	87% Platino 13% Rhodio	100% Platino	(0, 1767)	21.09
S	90% Platino 10% Rhodio	100% Platino	(0, 767)	18.65
B	70% Platino 30% Rhodio	94% Platino 6% Roído	(0, 1820)	13.814

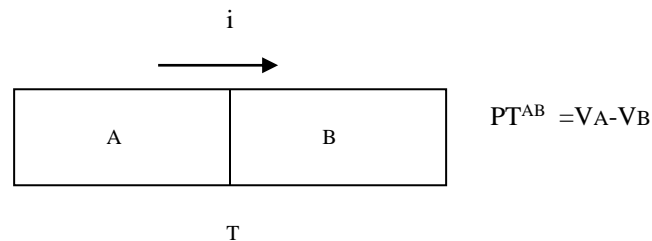
**Tabla N° 2.** Características de los distintos tipos de termocuplas.

La dependencia entre la tensión entregada por la termocupla y la temperatura no es lineal, es deber del instrumento electrónico destinado a mostrar la lectura, de efectuar la *linealización*.

A pesar de los avances efectuados con otros sensores de temperatura, las termocuplas continúan siendo las más usadas debido al amplio intervalo de temperatura, en el cual pueden utilizarse por su bajo costo y su versatilidad ya que pueden medir en atmósfera corrosiva, en sitios de difícil acceso. La señal se puede transmitir a distancia, etc. La desventaja más relevante es que la termocupla mide una diferencia de temperatura y no una temperatura absoluta, por lo que debe utilizarse una junta de referencia.

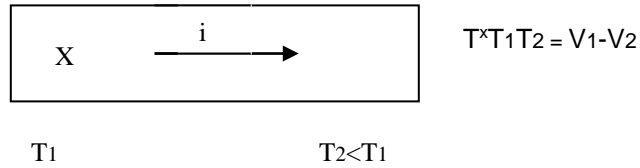
La medición de temperatura con termocuplas esta basada en los siguientes efectos:

- a. **Efecto Peltier:** el cual dice que dos conductores distintos a la misma temperatura tienen diferentes densidades de portadores de carga libre. Entonces cuando estos conductores se ponen en contactos por medio de una soldadura o de un contacto óhmico muy bueno, a través de esta unión hay una difusión de electrones desde el conductor de mayor densidad electrónica al de menor densidad. Cuando esto sucede, el conductor que entrega electrones adquiere un voltaje positivo respecto al otro conductor. Este voltaje denominado f.e.m. Peltier  $P_{T^{AB}}$ , es función de la temperatura  $T$  de la unión entre los conductores A y B que constituyen el termopar, tal como se representa en la figura 11. sus coeficientes de temperatura típicos van desde 10 a 50  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$



**Figura N°11.** Efecto Peltier

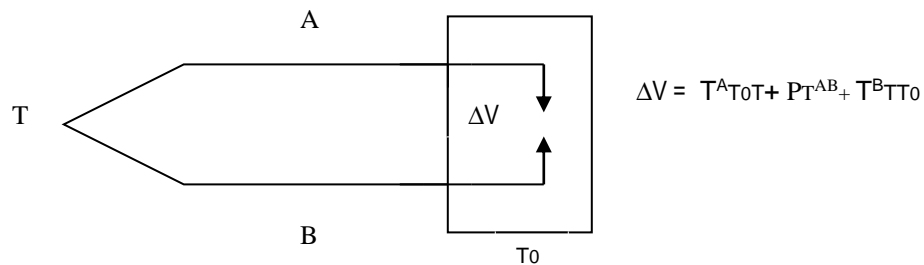
- b. **Efecto Thomson:** Si en un conductor se mantienen sus extremos a diferentes temperaturas, se produce un flujo de calor que tiende a establecer el equilibrio térmico tal como se muestra en la figura 12.



**Figura N°12.** Efecto Thomson

Dicho flujo de energía calórica es transportado por electrones, por lo tanto, entre los extremos del material X aparece una diferencia de potencial,  $T^x \cdot T_1 T_2$ , que es proporcional a la diferencia de temperaturas  $T_1 - T_2$ . Los coeficientes típicos de la f.e.m. Thomson para  $0^\circ\text{C}$  varían desde  $2\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  para el Cu hasta  $-23\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  para el constantán (60%Cu, 40%Ni).

c. La combinación de ambos efectos se resume en el llamado efecto Seebeck. Que dice que cuando dos metales A y B, cuyos extremos se hallan a dos temperaturas diferentes  $T_0$  y  $T$ , se sueldan en un extremo, aparece una f.e.m. Seebeck como se muestra en la figura 13.



**Figura N°13.** Efecto Seebeck.

Además del efecto Seebeck, (determinado antes que los Peltier y Thomson) existen otros circuitos termoelectrónicos basados en las siguientes leyes:

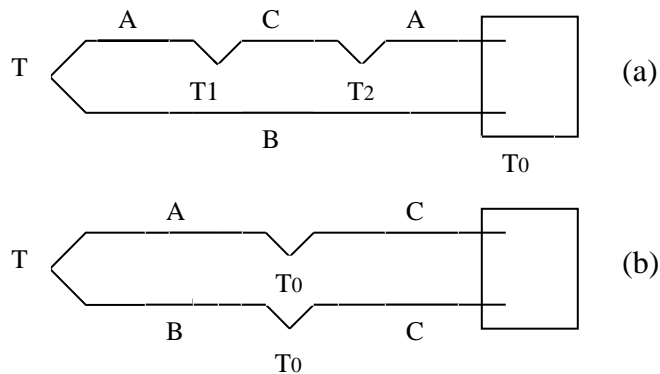
## 5.2 Leyes empíricas de los circuitos termoeléctricos

1. Ley de los materiales homogéneos: Dice que en un conductor metálico homogéneo no se genera corriente termoeléctrica al aplicarle calor, aunque varíe la sección transversal del conductor.

Consecuencias:

- Para formar un termopar hacen falta dos metales diferentes.
- Si un metal sometido a un gradiente de temperatura genera una fuerza electromotriz indica que no es homogéneo.

2. Ley de los materiales intermedios: la inserción de un metal intermedio en el circuito de una termocupla no afecta la f.e.m. neta si las dos juntas introducidas sobre el tercer metal se mantienen a la misma temperatura. La figura 14. Muestra dos ejemplos que cumplen la ley.



**Figura N°14.** Ejemplos que ilustran la ley de los metales intermedios.

Del arreglo de la figura 10. Resulta la siguiente relación.

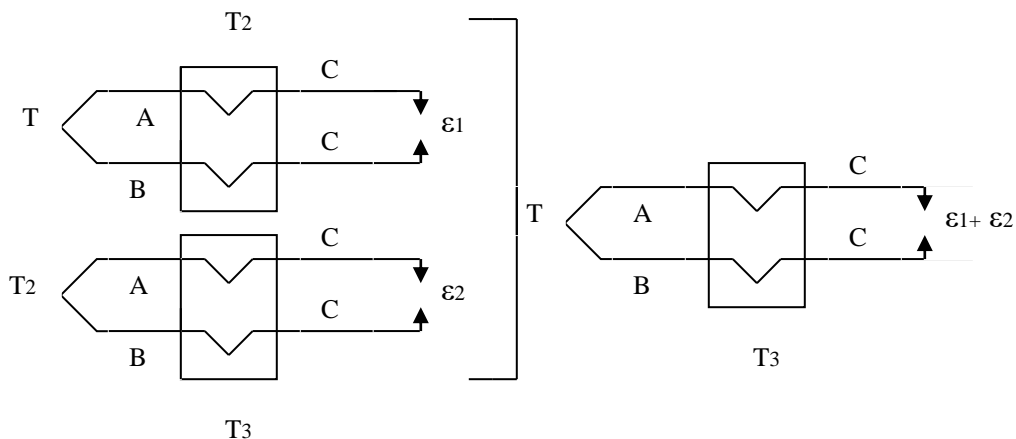
$$T^{A T_0 T_1} + T^{A T_1 T} = T^{A T_0 T}$$

Mientras que, cerrando el circuito de la figura 14. (b) Considerando que todas las uniones están a la misma temperatura T se puede probar que,

$$P_{T^{AB}} + P_{T^{BC}} + P_{T^{CA}} = 0$$

Con lo cual la f.e.m. del arreglo (b) resulta independiente del material C.

3. Ley de las temperaturas intermedias: Si una termocupla desarrolla una f.e.m.  $\epsilon_1$  cuando sus uniones están a las temperaturas  $T_1$  y  $T_2$ , una f.e.m.  $\epsilon_2$  cuando dichas uniones están a las temperaturas  $T_2$  y  $T_3$ , producirá una f.e.m.  $\epsilon_1 + \epsilon_2$  si las temperaturas de las uniones son  $T_1$  y  $T_3$ . En efecto, puede demostrarlo considerando (1) y (2) y expresando las f.e.m.  $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$  y  $\epsilon_1 + \epsilon_2$ , esquematizadas en la figura 15, en términos de las tensiones *Thomson* y *Peltier*. Este resultado posibilita la corrección de las temperaturas de las juntas que no pueden ser controladas directamente y también permite emplear tablas de calibración referidas a una temperatura Standard  $T_2$ , aun cuando esta referencia no sea la empleada por el usuario.



**Figura N°15.** Esquema de la ley de las temperaturas intermedias.

### 5.3 Características de los termopares

Comparativamente con los otros transductores de temperatura, los termopares se destacan por su amplio margen de medida, generalmente de  $-270$  a  $+3300^{\circ}\text{C}$  y en particular por las características siguientes:

Características Positivas:

- Robustos, versátiles y fiables.
- Estabilidad a largo plazo.
- Dimensiones reducidas.
- Económicos.

Transductores activos (no requieren excitación externa).

Características Negativas:

- Baja linealidad.
- Requieren unión de referencia.

### 5.4 Tipos de termopares:

Para cada tipo de aplicación hay que escoger el tipo de termopar que mas se ajuste a las necesidades del diseño. Los factores que determinan la elección en orden de importancia son:

- Costo.
- Tensión por grado de temperatura.
- Linealidad.
- Margen de temperatura a medir.
- Compatibilidad con la atmósfera de entorno del termopar.

## 5.5 Características de Corrosión de los termopares

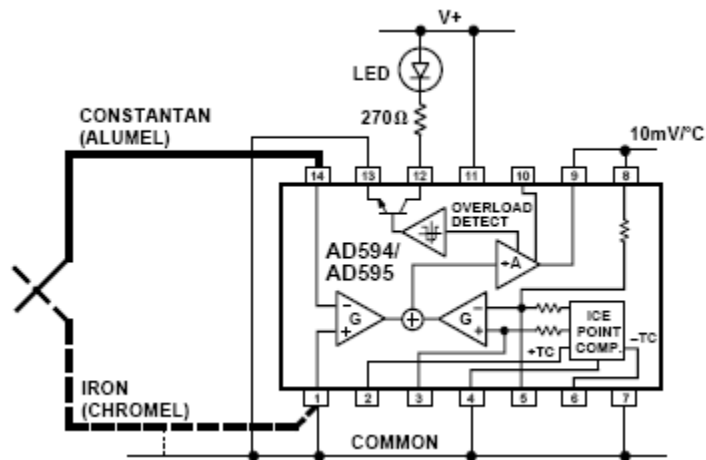
**Tabla Nº 3.** Características de los termopares más comunes

<b>Tipo de unión</b>	<b>Resistencia a atmósferas oxidantes</b>	<b>Resistencia a atmósferas reductoras</b>	<b>Resistencia al azufre</b>	<b>Tipo de protección</b>
BRS	Muy buena	Pobre		Tubo cerámica
K	Buena o muy buena	Pobre	Le afecta el azufre	
<b>J</b>	<b>Buena &lt;400°C</b> <b>Pobre &gt;700°C</b>	<b>Buena &lt; 400°C</b>		<b>Usarlo en atmósfera seca</b>
T	Buena	Buena		
E	Buena	Pobre	Mala	

## 6. AMPLIFICADOR PARA TERMOPARES COMPENSADO

Para hacer la compensación de la unión fría se utilizó un circuito integrado de *Analog Devices*, amplificador para termopares compensado (*AD594AD*), específico para termopares tipo J o T, este contiene un amplificador de instrumentación y el circuito de compensación de la unión fría para un termopar.

También el integrado introduce un *offset* en su salida y un sistema de alarma para determinar la ruptura o deterioro del sensor, gracias a todas las ventajas que presenta este *chip* se pudo acondicionar todo el sistema electrónico y obtener una señal mucho más exacta y confiable.



**Figura N°16.** Amplificador para Termopares Compensado (AD594AD).



## 7. MICROCONTROLADORES

Los microcontroladores están conquistando el mundo. Están presentes en muchos aparatos o dispositivos electrónicos que por lo general son de uso diario en cualquier hogar. Se pueden encontrar controlando el funcionamiento de los teclados de los computadores, impresoras, *módems*, en los hornos microondas, en videojuegos y en muchas otras aplicaciones como la Instrumentación Electrónica.

Pero la invasión acaba de comenzar y el nacimiento del siglo XXI será testigo de la conquista masiva de estos diminutos computadores, que gobernarán la mayor parte de los aparatos electrónicos que se utilizarán por varios años. Cada vez existen más productos que incorporan un microcontrolador, con el fin de aumentar sustancialmente sus prestaciones, reducir su tamaño, costo, mejorar su fiabilidad y disminuir el consumo.

*Un microcontrolador*, es un circuito integrado que contiene todos los elementos electrónicos que se emplea para controlar el funcionamiento de una tarea determinada, debido a su reducido tamaño suele ir incorporado en el propio dispositivo, al que gobierna. Esta última característica es la que confiere la denominación de “controlador incrustado” (*embedded controller*).

Para hacer funcionar un sistema basado con un microprocesador; se necesita la Unidad de Proceso, la memoria RAM, memoria ROM, puertos de entrada, salidas y otros periféricos, con la consiguiente reducción de espacio. Es utilizado por su amplia simplificación de circuitos y por el tiempo de desarrollo que se disminuye considerablemente en cualquier proyecto electrónico

## Ventajas de utilizar un microcontrolador

- ✓ El alto nivel de integración reduce notablemente la cantidad de componentes externos y los costos de desarrollo, mejora el desempeño del sistema y reduce la interferencia electromagnética, minimiza el consumo de potencia y agiliza el tiempo de realización.
- ✓ El número de productos que utilizan uno o varios microcontroladores aumentan de forma exponencial.
- ✓ Aumento de prestaciones, fiabilidad, flexibilidad y se precisan menos ajustes.

### 7.1 Arquitectura interna

- Procesador.
- Memoria no volátil para contener el programa.
- Memoria de lectura y escritura para guardar los datos.
- Líneas de E/S para los controladores de periféricos:
  - Comunicación paralelo.
  - Comunicación serie.
  
- Recursos auxiliares:
  - Circuito de reloj
  - Temporizadores
  - Perro guardián (watchdog)
  - Conversores A/D y D/A
  - Comparadores analógicos
  - Protección ante fallos de la alimentación
  - Estado de reposo o de bajo consumo.

Estos microcontroladores poseen dos Tipos de arquitecturas:

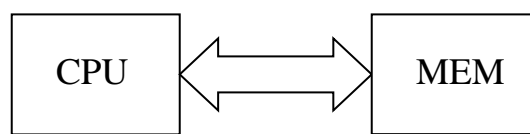
- Arquitectura Von Neumann.
- Arquitectura Harvard tiene la unidad central de proceso (CPU).

La arquitectura tradicional de computadoras y microprocesadores está basada en la arquitectura Von Neumann, en la cual la unidad central de proceso (CPU), está conectada a una memoria única donde se guardan las instrucciones del programa y los datos.

El tamaño de la unidad de datos o instrucciones está fijado por el ancho del *bus* que comunica la memoria con la CPU. Así un microprocesador de ocho *bits* con un *bus* de ocho *bits*, tendrá que manejar datos e instrucciones de una o más unidades de 8 *bits* (*bytes*) de longitud. Si tiene que acceder a una instrucción o dato de más de un *byte* de longitud, tendrá que realizar más de un acceso a la memoria. Y el tener un único *bus* hace que el microprocesador sea más lento en su respuesta, ya que no puede buscar en la memoria una nueva instrucción mientras no finalicen las transferencias de datos de la instrucción anterior.

Las principales limitaciones que se encuentran con la arquitectura Von Neumann son:

1. La limitación de la longitud de las instrucciones por el *bus* de datos, que hace que el microprocesador tenga que realizar varios accesos a la memoria para buscar instrucciones complejas.
2. La limitación de la velocidad de operación a causa del *bus* único para datos e instrucciones que no deja acceder simultáneamente a unos y a otras, lo cual impide superponer ambos tiempos de acceso.



### Figura N°17. Arquitectura Von Neumann

- Arquitectura Harvard tiene la unidad central de proceso (CPU)

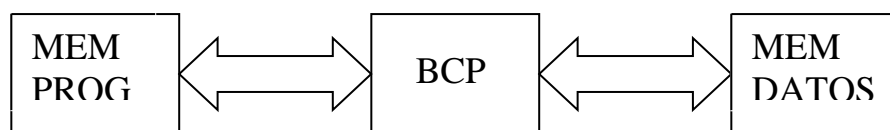
Conectada a dos memorias, una con las instrucciones y otra con los datos por medio de dos *buses* diferentes. Una de las memorias contiene solamente las instrucciones del programa (Memoria de Programa), y la otra almacena datos (Memoria de Datos).

Ambos *buses* son absolutamente independientes y pueden ser de distintos anchos. Para un procesador de *Set de Instrucciones Reducido*, o *RISC* (Reduced Instrucción Set Computer), el *set* de instrucciones y el *bus* de memoria de programa pueden diseñarse de tal manera, que todas las instrucciones tengan una sola posición de memoria de programa de longitud.

Además, al ser los *buses* independientes, la CPU puede acceder a los datos para completar la ejecución de una instrucción y al mismo tiempo leer la siguiente instrucción a ejecutar.

Ventajas de esta arquitectura:

1. El tamaño de las instrucciones no está relacionado con el de los datos por lo tanto puede ser optimizado para que cualquier instrucción ocupe una sola posición de memoria de programa, logrando así mayor velocidad y menor longitud de programa.
2. El tiempo de acceso a las instrucciones puede superponerse con el de los datos logrando una mayor velocidad en cada operación.



## **Figura N°18. Arquitectura Harvard**

### 7.2 Procesador

Es el principal elemento que determina las principales características del microcontrolador, se encarga de direccionar la memoria de instrucciones, recibir el código OP de la instrucción en curso, su decodificación y la ejecución de la operación que implica la instrucción, así como la búsqueda de los operandos y el almacenamiento del resultado. Existen tres orientaciones en cuanto a la arquitectura y funcionalidad de los procesadores que hoy en día operan.

- CISC (Computadores de Juego de Instrucciones Complejo): Disponen de más de ochenta instrucciones máquina en su repertorio, algunas de las cuales son muy sofisticadas y potentes, requiriendo muchos ciclos para su ejecución.
- RISC (Computadores de Juego de Instrucciones Reducido): En estos procesadores el repertorio de instrucciones máquina es reducido y las instrucciones son simples y generalmente se ejecutan en un ciclo. La sencillez y rapidez de las instrucciones permiten mejorar el hardware y el software del procesador.
- SISC (Computadores de Juego de Instrucciones Específico): en los microcontroladores destinados a aplicaciones muy concretas, el juego de instrucciones además de ser reducido es específico, o sea que las instrucciones se ajustan a las necesidades de la aplicación prevista.

### 7.3 Memoria

Los microcontroladores están diseñados para que en su memoria de programa se almacenen todas las instrucciones del programa de control.

Una parte debe ser no volátil, tipo ROM que se destina a contener el programa de instrucciones que gobierna la aplicación y la otra parte de memoria será de tipo RAM volátil y se destina a guardar las variables y los datos. Los tipos de memoria adecuados para esta función admiten cinco versiones diferentes:

#### 1° ROM con máscara

En este tipo de memoria, el programa se graba en el *chip* durante el proceso de su fabricación mediante el uso de máscaras. Los altos costos de diseño de estas aconsejan usar la memoria cuando se precisan sumas muy grandes.

#### 2° EPROM

La grabación de la memoria se realiza mediante un dispositivo físico gobernado desde un ordenador personal. En la superficie de la cápsula del microcontrolador existe una ventana de cristal por la que se puede someter el *chip* de la memoria a rayos ultravioletas para producir su borrado y emplearla nuevamente.

#### 3° OTP (programable una vez)

Sólo puede grabarse una vez por parte del usuario, utilizando el mismo procedimiento que con la memoria EPROM. Posteriormente, no se puede borrar. Su bajo costo y la sencillez de la grabación aconsejan este tipo de memoria para prototipos finales y series de producción cortas.

#### 4° EEPROM

La grabación es similar a las memorias OTP y EPROM, pero el borrado se hace eléctricamente. Puede ser programada y borrada muchas veces.

## 5° FLASH

Se trata de una memoria no volátil de bajo consumo, que se puede escribir y borrar en circuito al igual que las EEPROM, pero suelen disponer de mayor capacidad que estas últimas. El borrado sólo es posible con bloques completos y no se puede realizar sobre posiciones concretas. Son muy recomendables en aplicaciones en las que sea necesario modificar el programa a lo largo de la vida del producto.

### 7.4 Recursos Auxiliares

Según las aplicaciones cada microcontrolador, incorpora una diversidad de complementos que refuerzan la potencia y flexibilidad del dispositivo.

Los recursos más importantes son:

- Circuito de reloj, encargado de generar los impulsos que sincronizan el normal funcionamiento de todo el sistema.
- Temporizadores, dedicados a controlar tiempos.
- Perro guardián (watchdog), destinado a provocar una reinicialización cuando el programa queda bloqueado.
- Conversores AD y DA, que sirven para recibir y enviar señales analógicas.
- Comparadores analógicos, ayudan a verificar el valor de una señal analógica.
- Sistema de protección ante fallos de la alimentación.
- Estado de reposo en el que el sistema queda congelado y el consumo de energía se minimiza.
- Modulador de anchura de impulsos.

#### 7.4.1 Circuito de Reloj

Todo microcontrolador dispone de un circuito oscilador que genera una onda cuadrada de alta frecuencia, que configura los impulsos de reloj usados en la sincronización de todas las operaciones del sistema. Generalmente el circuito de reloj esta incorporado en el microcontrolador, y sólo se necesitan unos pocos componentes exteriores para seleccionar y estabilizar la frecuencia de trabajo. Regularmente estos componentes son un cristal de cuarzo con elementos pasivos como una resistencia o condensador.

#### 7.4.2 Temporizadores

Dedicado a controlar periodos de tiempo para llevar la cuenta de acontecimientos que suceden en el exterior, (contadores) para la medida de tiempos se carga un registro con el valor conveniente y luego se va incrementando o decrementando al ritmo de los impulsos de reloj, o algún múltiplo hasta que se desborde y llegue a cero, momento en el que se produce un aviso.

#### 7.4.3 Perro Guardián

Destinado a provocar una reinicialización cuando el programa (software) queda bloqueado. El perro guardián consiste en un temporizador que, cuando se desborda y pasa por cero, provoca un reset o reinicialización automáticamente en el sistema.



#### 7.4.4 Estado de Reposo o de Bajo Consumo

Para ahorrar energía, factor importante en los equipos portátiles, los microcontroladores disponen de una instrucción especial (*Sleep*), que pasa al estado de reposo o de bajo consumo, en el cual los requerimientos de potencia son mínimos. En dicho estado se detiene el reloj principal y se congelan sus circuitos asociados, obligando al microcontrolador a permanecer inmerso en un profundo sueño. Al activarse una interrupción ocasionada por el acontecimiento esperado, el microcontrolador se despierta y restaura su trabajo.

#### 7.4.5 Modulador de Anchura de Impulsos (PWM)

Son circuitos que proporcionan en su salida impulsos de anchura variable, que se ofrecen al exterior a través de las patitas del encapsulado.

#### 7.4.6 Conversores A/D y D/A

Los conversores A/D (analógico-digital), procesan señales analógicas en las aplicaciones. Algunos microcontroladores disponen de un multiplexor que permite aplicar a la entrada del conversor análogo-digital varias señales analógicas desde las patitas del circuito integrado. Los conversores D/A (digital -analógico), transforman los datos digitales del procesamiento del computador en su correspondiente señal analógica que saca al exterior por una de las patitas del encapsulado del microcontrolador.

#### 7.4.7 Sistema de Protección Ante Fallos de la Alimentación

Es un circuito que reinicializa el microcontrolador cuando el voltaje de alimentación (VDD) es inferior a un voltaje mínimo llamado *brownout*. Mientras el voltaje de alimentación sea menor al de *brownout* el dispositivo se mantiene reseteado, empezando a funcionar normalmente cuando excede dicho valor.

#### 7.4.8 Puertas de Entrada / Salida

A excepción de cinco patitas, dos destinadas a recibir la alimentación o polarización, dos para el cristal de cuarzo, que regula la frecuencia de trabajo y una más para provocar el *reset*, las restantes patitas de un microcontrolador sirven para soportar comunicación con los periféricos externos que controla. Las líneas de E/S que se adaptan con los periféricos, manejan información en paralelo y se agrupan en conjuntos de ocho llamadas Puertas.

#### 7.5 Herramientas Para el Desarrollo de Aplicaciones

Uno de los factores que más importancia tiene a la hora de escoger un microcontrolador es el soporte a nivel *software* y *hardware* que dispone. Un buen conjunto de herramientas de desarrollo puede ser determinante en la elección, ya que pueden suponer una ayuda inestimable en el desarrollo del proyecto. Las principales herramientas de ayuda al desarrollo de sistemas basados en microcontroladores son:

### 7.5.1 Ensamblador

La programación en lenguaje ensamblador resulta en algunos casos complicado para el principiante, pero permite desarrollar programas muy eficientes, ya que concede al programador un dominio absoluto del sistema. Los fabricantes suelen proporcionar el programa ensamblador de forma gratuita.

### 7.5.2 Compilador

La programación en lenguaje de alto nivel como el C permite disminuir el tiempo de desarrollo de un producto. Aunque si no se programa bien el código puede resultar muy ineficiente que el programado en ensamblador. Las versiones más potentes suelen ser muy caras, aunque para los microcontroladores más utilizados pueden encontrarse versiones demo limitadas e incluso compiladores gratuitos.

### 7.5.3 Depuración

Debido a que los microcontroladores necesitan controlar dispositivos físicos, los desarrolladores necesitan herramientas que les permitan comprobar el buen funcionamiento del microcontrolador cuando es conectado al resto de circuitos.

### 7.5.4 Simulador

Pueden ejecutar en un PC programas realizados para el microcontrolador. Los simuladores permiten tener un control absoluto sobre la ejecución de un programa, siendo ideales para la depuración de los mismos. Su gran inconveniente es que es

difícil simular la entrada y salida de datos del microcontrolador. Tampoco cuentan con los posibles ruidos en las entradas, pero al menos permiten el paso físico de la implementación de un modo más seguro y menos costoso.

#### 7.5.5 Placas de Evaluación

Se trata de pequeños sistemas con un microcontrolador ya montado y que suelen conectarse a un PC, en el que se cargan los programas que se ejecutan en el microcontrolador. Las placas suelen incluir visualizadores LCD, teclados, LEDs, fácil acceso a los pines de E/S, etc. El sistema operativo de la placa recibe el nombre de programa monitor. El programa monitor de algunas placas de evaluación, aparte de permitir cargar programas y datos en la memoria del microcontrolador, puede permitir en cualquier momento realizar ejecución paso a paso, monitorear el estado del microcontrolador o modificar los valores almacenados.

#### 7.5.6 Emuladores en circuito

Se trata de un instrumento que se coloca entre el PC anfitrión y el zócalo de la tarjeta de circuito impreso, donde se alojará el microcontrolador definitivo. El programa es ejecutado desde el PC, pero para la tarjeta de aplicación es como si lo hiciese el mismo microcontrolador que luego irá en el zócalo.

### 7.6 El PIC 18F452

Este microcontrolador posee un buen rendimiento y características notables entre las cuales están:

- CPU RISC de alto rendimiento.
- Memoria de programa de 32 Kbytes.
- Memoria de datos de 1.5 Kbytes.
- Memoria EEPROM de 256 bytes.
- Multiplicador Hardware de 8x8 bits.
- Cuatro Temporizadores/Contadores (Timer0, Timer1, Timer2, Timer3).
- Dos módulos de Captura/Comparación/PWM.
- Modulo MSSP (SPI y I2C).
- Modulo USART (RS-485 y RS-232).
- Conversor A/D de 10 bits (8 canales).
- Máxima entrada de reloj de 40Mhz.

## **8. SOFTWARE DE APLICACIÓN MPLAB**

### 8.1 Características y Aplicaciones de Mplab

- El Mplab incorpora todas las utilidades necesarias para editar código fuente en ensamblador y simularlo paso a paso en pantalla.
- Es un Software que permite simular y programar diferentes gamas de microcontroladores PIC presentes en el mercado.

### 8.2 Programación en MplabC18

Este software permite obtener al programador un mejor entendimiento y desarrollo en el código, también proporciona mayor flexibilidad en cuanto al tamaño del código y tiempo de ejecución del proyecto. MplabC18 es adecuado para trabajar con microcontroladores, por ser un lenguaje estructurado y de alto nivel.

## 9. PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR

La programación que se le hace al microcontrolador agrega entradas al mundo real y procesamiento en tiempo real. Para la elaboración de este software se utilizó lenguajes de alto nivel (como el C) y de bajo nivel (como el ensamblador), éste último es muy dependiente del tipo de procesador en el que se ejecutan. El software determina los parámetros de entrada en la ejecución.

En este caso la programación del microcontrolador es un código que se diseñó para implementar los algoritmos de control, la adquisición de datos, la interfaz con el usuario (teclado y la LCD), la señal hacia el actuador entre otros. La programación fue realizada en C, por su gran facilidad y entendimiento para programar, se utilizó la versión 3.0 de MPLAB C18 de Microchip Technology.

### 9.1 Programa de adquisición de datos y de control

La conversión análoga-digital tiene como objetivo obtener una palabra digital que represente la posición en un instante de tiempo. Al cambiar la temperatura en el sensor (Termocupla tipo J), esta hace que en la salida la f.e.m cambie este voltaje del orden de los milivoltios, éste se acondiciona y se ajusta a un valor entre cero y cinco voltios el cual entra por la terminal de conversión análoga/digital del *PIC18F452*.

Este microcontrolador convierte el voltaje en una palabra de diez bits, es decir que hay 1024 valores posibles entre la señal de cero a cinco voltios y cada valor posible de estos 1024 representa un grado centígrado.

El Sistema Electrónico fabricado posee la acción básica de control on-off y esta función lo que hace es cerrar la válvula de control de gas cuando la temperatura del tanque de cocción sobrepase la temperatura de referencia y si esa temperatura del proceso baja y

es menor a la temperatura de referencia la válvula se abre totalmente y permite el paso del gas hacia las flautas que alimentan el equipo de cocción.

## 9.2 Monitoreo y Calibración del sensor de Temperatura

Para realizar el monitoreo de la temperatura del proceso de cocción al vapor se usó la termocupla industrial tipo J en acero inoxidable y con conexión roscada al tanque para sujetarla, esta es una característica elemental para el diseño porque con ello se garantiza que el sensor tenga un tiempo de vida y un funcionamiento mayor. Mostrada anteriormente en la figura N°10, cuyo rango de operación es de 0 a 750°C, claro esta que en este proyecto el rango de operación del controlador es de 0 a 250°C.

Aunque las termocuplas tienen sus datos de calibración entregadas por el fabricante se hizo necesaria su caracterización para mostrar datos más confiables y más exactos. Se graficó el comportamiento de la termocupla f.e.m vs Temperatura.

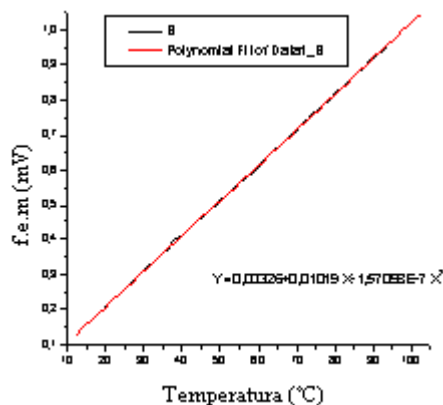
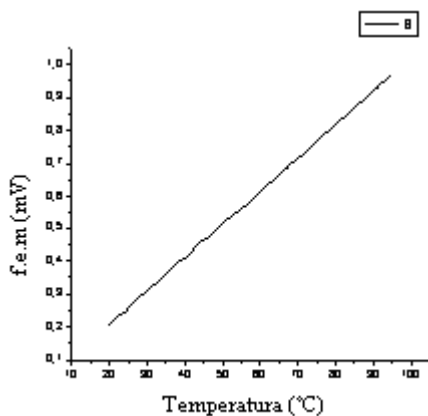
En la figura N°20 se puede observar la grafica correspondiente a esta relación, se tomo los valores obtenidos y se comparó con los datos suministrados por las tablas de las termocuplas y se encontró gran similitud en la caracterización. Después de este proceso se obtuvo una aproximación polinómica con su respectiva ecuación matemática, esta expresión muestra claramente que el comportamiento de la termocupla es de carácter no lineal.

La ecuación matemática que rige dicho sensor es:

$$V = 0,00326 + 0,01019T - 1,57098E - 7T^2$$

Aquí V es la f.e.m generada por la termocupla y T es la temperatura.





**Fig. N°19** Caracterización del Sensor (fabricante). **Fig. N°20** Caracterización del Sensor (proyecto).

### 9.3 Reloj de Tiempo Real DS1302

El DS1302 circuito integrado fue programado para monitorear constantemente el tiempo en el proceso de cocción, este dispositivo se comunica con el microcontrolador mediante tres hilos en forma serial, este *chip* proporciona tiempo/calendario, provee segundos, minutos, horas, día, datos del mes y año.

Contiene una memoria RAM de buen tamaño para almacenar datos en la memoria auxiliar y además puede conmutar su alimentación de cinco voltios, con una pila de tres voltios de tal forma que cuando se apague el dispositivo electrónico fabricado este integrado siga contando todo el tiempo.

Este *chip* se le adicionó al Sistema de Monitoreo y control de Temperatura para tener un equipo mas robusto y con mejores prestaciones.

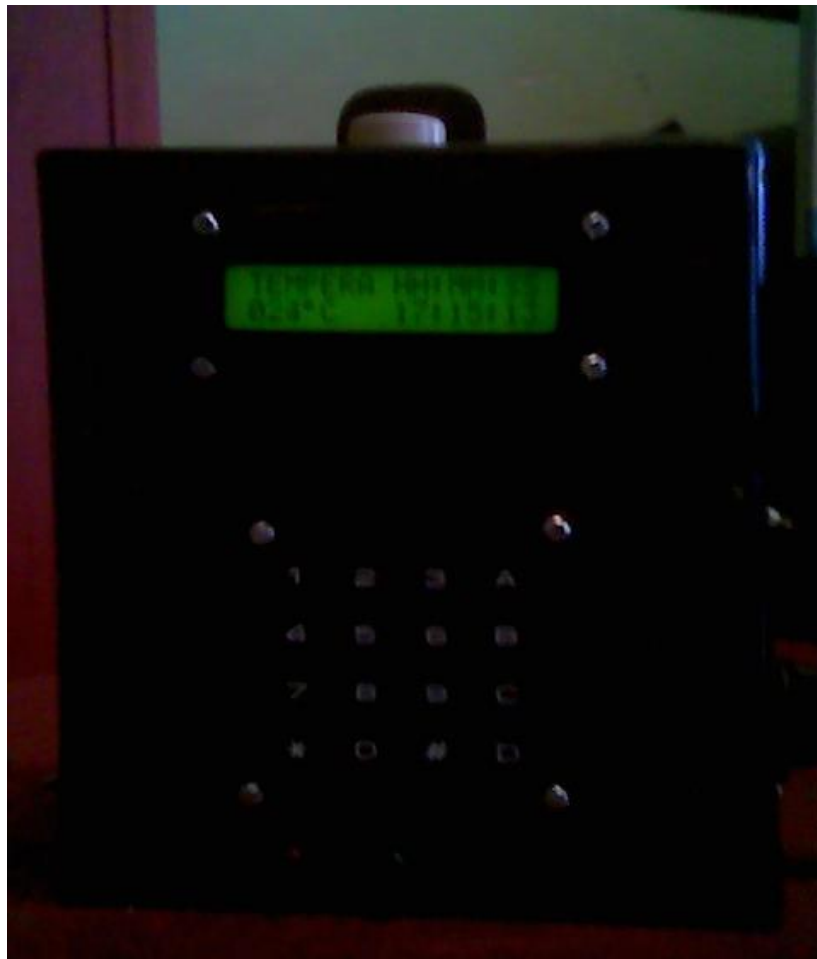
## **10. SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE TEMPERATURA**

### 10.1 Descripción General

El sistema de monitoreo de temperatura implementado también proporciona un monitoreo constante de tiempo real del proceso y una acción de control On-Off. Esta operación de control permite que la temperatura del proceso no exceda el valor previamente programado, de tal forma que cuando la temperatura del tanque sobrepase la temperatura de referencia puesta por el operador, el elemento actuador (válvula de control de gas), se cerrará evitando el suministro de gas hacia las flautas y por ende disminuyendo la temperatura del proceso, claro está que el tanque de cocción tiene un piloto de seguridad que evita que este equipo se apague en ausencia de gas, es decir mantiene el piloto encendido hasta que la temperatura sea menor a la temperatura de referencia, entonces de nuevo la válvula se abre dejando pasar el gas hacia las flautas, el equipo se encenderá de nuevo automáticamente gracias a la ayuda de la llama piloto, ésta evita de nuevo el proceso de encendido del escaudador y asimismo impide que el producto se pierda por tener una temperatura elevada.

Para este proceso, el sistema de Monitoreo de Temperatura recibe la señal de una termocupla tipo J como sensor. En la figura N°21. Se observa el dispositivo electrónico ya fabricado.

## 10.2 Componentes del Sistema de Monitoreo y Control de Temperatura



**Figura N°21.** Sistema de Control y Monitoreo de Temperatura y Tiempo

Se observa en este dispositivo una entrada conectada al sensor de temperatura y una salida acoplada hacia el elemento actuador (válvula de control de gas).

Este dispositivo dispone de dos indicadores, un *LEDs* de color rojo que muestra cuando las flautas de alimentación de gas están cerradas por el incremento de la temperatura

del proceso, otro *LEDs* verde que sirve como alarma para mostrar el deterioro o ruptura del sensor de temperatura.

También tiene una alarma que se puede programar en horas y minutos el fin del proceso de cocción de los alimentos. Además posee una LCD y un teclado matricial, que sirven de interfaz con el operario, estos elementos permiten el despliegue de las medidas y la configuración del dispositivo electrónico.

### 10.3 Opciones del Sistema de Monitoreo y Control de Temperatura

Este sistema se utiliza principalmente para el proceso de cocción de los alimentos en el Tanque de Cocción, este dispositivo posee varias funciones importantes que son de mucha utilidad para el normal funcionamiento del equipo, entre ellas están:

10.3.1 Temperatura de referencia: el usuario puede colocar la temperatura de referencia en el proceso para evitar que el producto se queme, o sea una vez puesto la referencia si la temperatura del tanque excede su referencia el dispositivo envía una señal de control hacia la válvula, para que cierren las flautas que suministran el gas.

10.3.2 Operación del equipo diseñado: la acción de control que maneja este dispositivo es on-off. Aquí la válvula de gas se cierra o se abre totalmente.

10.3.3 Diferencia de temperatura: es necesario que la temperatura de referencia tenga una pequeña brecha diferencial, evitando oscilaciones grandes que puedan dañar la válvula de control. Este valor esta dentro del intervalo de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  a  $\pm 4^{\circ}\text{C}$ .

10.3.4 Monitoreo del tiempo en el proceso de cocción: a este modulo electrónico también se le puede programar en horas y minutos, el tiempo que el operario considere

necesario para cocer un producto. Según el tiempo programado el *speaker* o alarma emite un sonido indicando al operador el fin del proceso de cocción del alimento.

## 11. OPERACIÓN DE CONTROL

Una vez encendido el tanque de cocción la temperatura de éste empieza a aumentar lentamente, el software en el microcontrolador comienza a leer los datos de temperatura del tanque de cocción y a realizar la comparación con la temperatura de referencia que el operario previamente configuró, al llegar a esta temperatura de referencia el programa envía un pulso o una señal a la válvula de gas, permitiéndole cerrarla para que corte el suministro del gas hacia las flautas y así evitar que el alimento se quemara, el piloto del tanque de cocción o *Escaldador* sigue encendido e impide que el equipo se apague totalmente, ya que espera a que la temperatura de referencia sea menor a la temperatura del proceso para que la válvula se abra de nuevo y suministre el gas hacia las flautas.

La válvula de control de gas que utiliza el sistema de monitoreo y control de temperatura es normalmente cerrada por razones de seguridad.

### 11.1 Configuración del Sistema de Monitoreo y Control de Temperatura

Es necesario programar adecuadamente los parámetros del equipo electrónico implementado, los cuales consisten en dos opciones de configuración si el usuario desea disponer de este sistema, las cuales son:

➤ Opción A:

FEC	CTRL	HOR	D	C
1	2	3	Guardar los datos ingresados por el operario.	RETORNAR

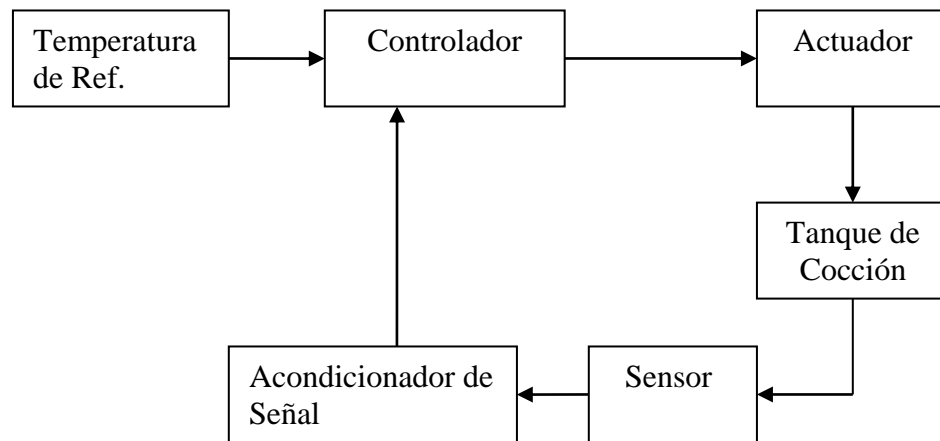
- Opción 1 (FEC), Configuración de la fecha en día, mes y año (DD:MM:AA) que le sirve al operario para llevar un historial de toda la producción en la semana o en el mes.
- Opción 2 (CTRL), el sistema pide en Minutos y Horas (MM:HH) para configurar una alarma que emitirá un sonido por un Minuto.
- Opción 3 (HOR), para configurar la hora, los minutos y los segundos (SS:MM:HH) en tiempo real.
- Opción D para guardar los datos ingresados por el operario.
- Opción C para retornar al inicio.

➤ Opción B:

TEMP_REF	D	C
087°C	OK (Guardar los datos ingresados por el operario).	OUT (RETORNAR)

En esta opción si la temperatura del proceso es mayor a la temperatura de referencia (TEMP\_REF), el sistema de monitoreo y control envía un mensaje en la LCD indicando temperatura alta (TEMPERA ALTA) y una señal de control a la válvula de gas para que se cierre (Off) y a su vez se cierran las flautas en el Tanque de cocción, luego se enciende un diodo LEDs como indicador del incremento de temperatura o ausencia de gas. El tanque de cocción es ideal para coser alimentos grasosos, es un equipo que opera con temperaturas alrededor de 70° y 90°C, con estos datos suministrados por las pruebas en la cocción de un cierto número de productos, el equipo fabricado trabaja en un rango de 0°C a 250°C.

## 11.2 Diseño electrónico del Sistema de Monitoreo y Control de Temperatura



**Figura N°22.** Diagrama en bloques del Sistema de Monitoreo y control de Temperatura.

## 11.3 Interfaz con el usuario

En este sistema de control se utilizó el microcontrolador *PIC18F452*, dispositivo encargado de controlar todo el sistema electrónico del proyecto. En este microchip se realizaron los diferentes subprogramas de control que manejan la conversión análoga-digital, la pantalla de cristal líquido (LCD), la lectura de los datos mediante el teclado matricial, la salida a una alarma y por último la salida a la válvula de control de gas.



11.4 Circuito esquemático del Sistema de Monitoreo y Control de temperatura.

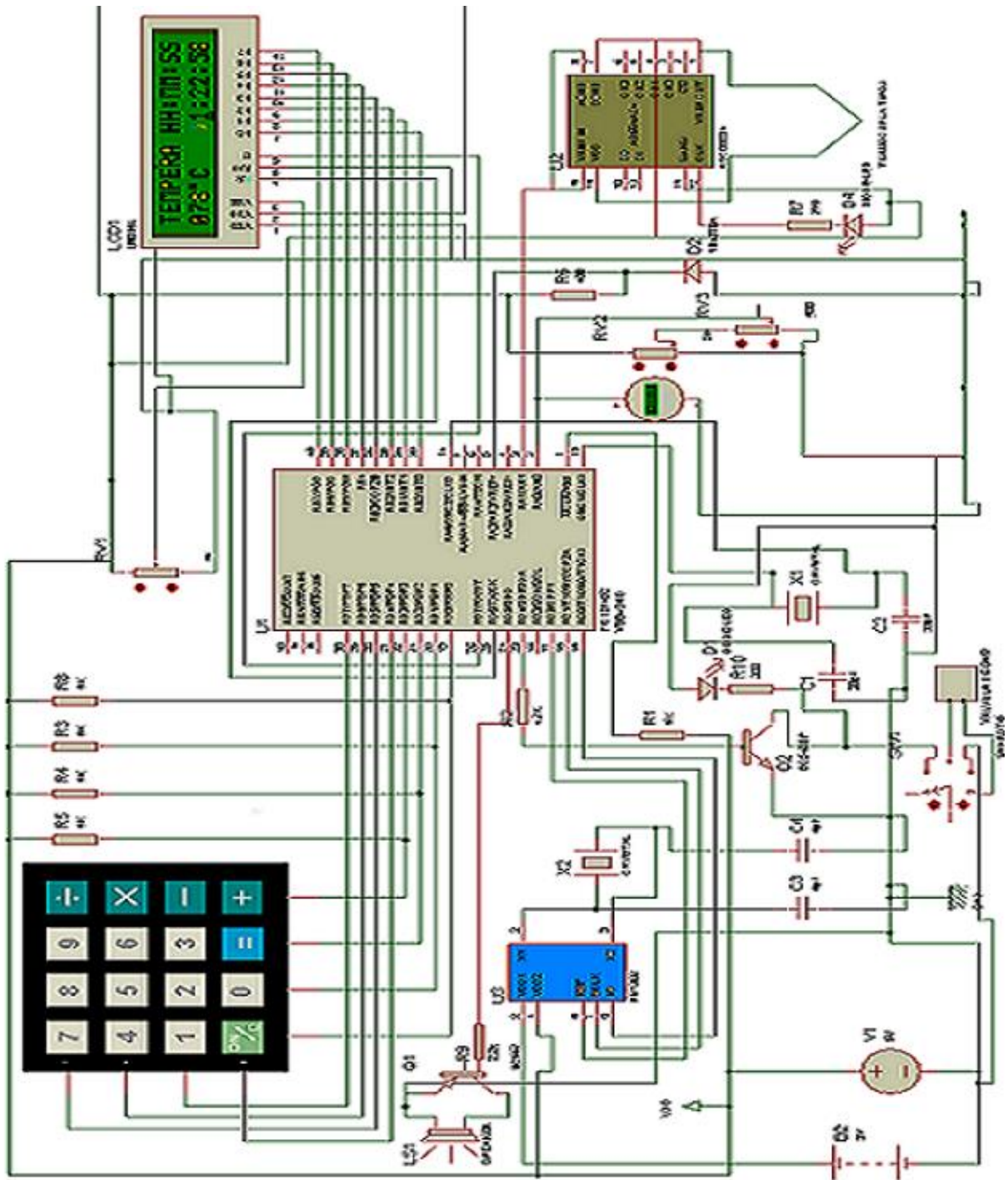


Figura N°23. Circuito esquemático del Proyecto Implementado

## 11.5 Acondicionamiento de señales

Para esta etapa se tuvo mayor interés en la interfaz de entrada, porque a través de ella se recibe la señal del sensor, que forman parte del sistema y cuyas características eléctricas de voltajes, corrientes, e impedancias de salida pueden ser diferentes entre si, en esta parte se recoge la señal proveniente de la termocupla seguida de una serie de etapas que se reajustan para ser enviadas al microcontrolador.

Esta fase de acondicionamiento de la señal por lo general consta de seis etapas, pero en este proyecto estas etapas no se necesitaron porque se utilizó un chip llamado *Amplificador para termopares compensado (AD594AD)*, dispositivo específico para termopares.

El *AD594AD* es un completo amplificador de instrumentación contiene el circuito de compensación de la unión fría, contiene filtros para que la señal sea limpia, además este circuito integrado introduce un offset en la salida del amplificador a la temperatura de 25°C, la tensión que el circuito entrega a su salida es de 10 mV/°C y un factor de ganancia en su amplificación de 193,34 por lo que no se hizo necesaria toda la etapa de Acondicionamiento de la señal.

Sólo para evitar frecuencias altas se utilizó un circuito pasabajas pasivo (con una frecuencia de 79 Hz) para eliminar las frecuencias altas y alteraciones como ruido en el microcontrolador, una vez la señal es filtrada se envía hacia el conversor del microcontrolador para obtener una señal confiable.

Como el *AD594AD* posee un factor de ganancia considerable pero no suficiente y con el fin de evitar amplificar la señal con los típicos amplificadores generadores de impedancia y ruido se hizo necesario colocar un voltaje de referencia de 2.5 voltios, con un potenciómetro en el pin 5, RA3/AN3/VREF+ a nivel hardware y configurando los bits de control en el registro *ADCON1* del mencionado pin a nivel de software para obtener la señal deseada.

## 11.6 Válvula de Control de Gas como Actuador

La válvula de control de gas on/off, o de dos posiciones, trabaja con un voltaje pequeño del orden de los 750 milivoltios y contiene un llama piloto de seguridad que sirve como precaución en caso de alguna fuga de gas. Gracias a las características que posee esta válvula se pudo construir un sistema estable.



**Figura N°24.** Válvula de Control de Gas con Piloto.

## 12. INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE TEMPERATURA

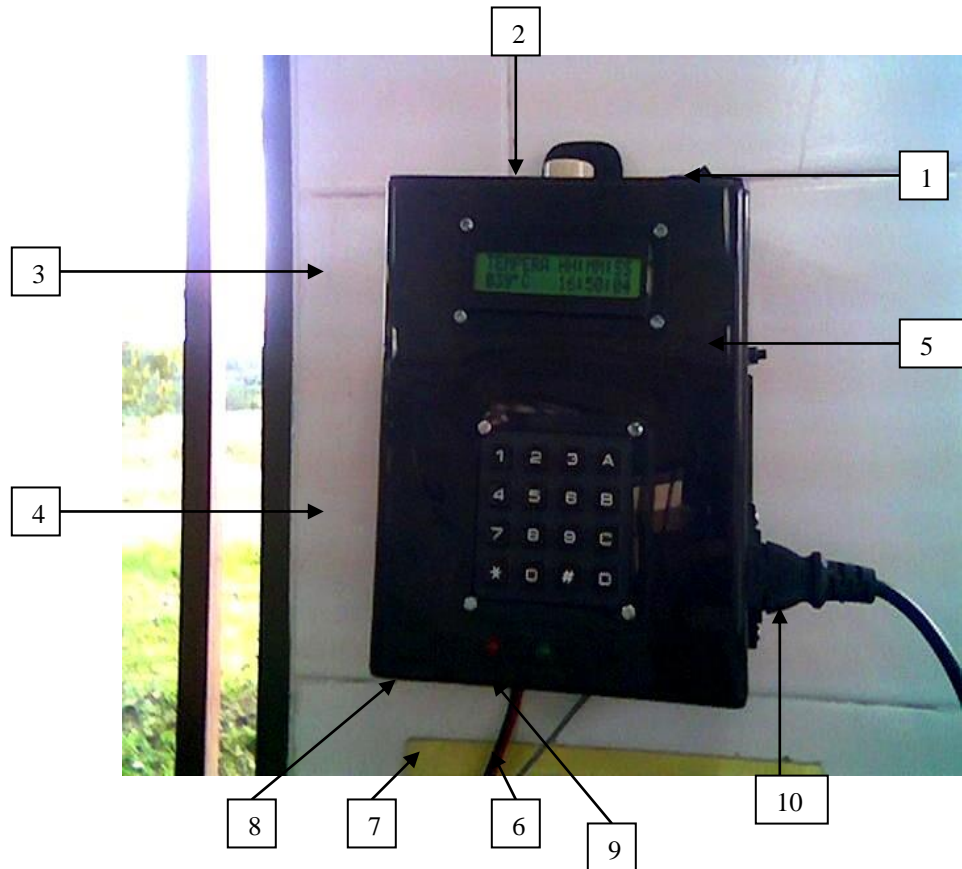


**Figuras N°25.** Instalación del Sistema de Monitoreo y Control de Temperatura en el Tanque de Cocción (*Escaldador*).

### 12.1 Funcionamiento del *Escaldador* con el dispositivo electrónico

Una vez implementado el dispositivo en el *Escaldador*, se hicieron todas las pruebas necesarias para observar estabilidad y confiabilidad en la medida suministrada por equipo y se obtuvieron resultados satisfactorios en el proceso.

## 12.2 Elementos que Componen el Sistema de Monitoreo de Temperatura.



**Figura N°26.** Elementos que Componen el Instrumento Fabricado.

1. Switch.
2. Speaker (Alarma).
3. Pantalla de Cristal Líquido.
4. Teclado Matricial.
5. Reset.
6. Entrada del Sensor.
7. Salida a válvula de Gas.
8. Indicador de Ausencia de Gas.
9. Alarma de Deterioro del Sensor.
10. Entrada 115V AC.

### 12.3 Implementación del Encendido Electrónico

Debido a la deficiencia que se presentaba para prender el equipo en el tanque de cocción se rediseño un encendido electrónico típico de ignición colocándole una bobina de mayor número de vueltas y una bujía como electrodo para que produjera una chispa grande. Este encendido se implementó satisfactoriamente cerca de la llama piloto ya que éste es el encargado de prender luego las flautas del equipo.

Además se tuvieron consideraciones como la longitud del electrodo, la proximidad de la chispa hacia el piloto aproximadamente 3mm y la alimentación del encendido de 3V DC. Obviamente a este sistema también se le colocó un Switch especial para generar el pulso en el encendido electrónico y por ende producir una chispa de mayor tamaño, mejorando satisfactoriamente el proceso de encendido en el Tanque de Cocción.



**Figura N°27.** Encendido electrónico con bujía como electrodo.

## 12.4 Implementación de un Medidor de Gas Industrial

También se implementó un MEDIDOR DE GAS TIPO G-2.5 INDUSTRIAL, para monitorear el consumo de gas en toda la planta, esta implementación se logró gracias al aporte de una empresa fabricante de medidores y reguladores de gas llamada METREX S.A. Este medidor de gas se instaló al lado del tanque de gas propano que suministra gas a todos los equipos.

A continuación se listan las características más importantes del medidor:

- Gas de operación: gas natural, LPG (propano) o gases no corrosivos.
- Mecanismo de medición: válvula rotatoria.
- Referencia: G2,5 Industrial.
- Flujo máximo: 4,0 m<sup>3</sup>/h.
- Flujo mínimo: 0,025 m<sup>3</sup>/h.
- Presión Máxima: 50Kpa (7,2Psi)/ 0,5bar.
- Peso Neto: 1,81 Kg.



**Figura N°28.** Medidor de Gas Tipo G2,5 Industrial.

## CONCLUSIONES

- ✓ Se implementó un sistema de monitoreo y control de temperatura altamente confiable, estable y de buena calidad.
- ✓ Las pruebas efectuadas con todos los dispositivos instalados resultaron satisfactorias.
- ✓ Se construyó un equipo electrónico con todas las necesidades requeridas por el usuario en el proceso de cocción.
- ✓ El encendido electrónico fabricado e instalado en este proyecto se colocó en un lugar estable para mejorar la chispa en la llama piloto.
- ✓ También se monitoreo de forma estable el tiempo real del proceso en el tanque de cocción mediante el circuito integrado DS1302.
- ✓ Igualmente se implementó en un lugar seguro el medidor de gas industrial que servirá para monitorear el gas que se consume en toda la planta.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Pallás Areny, Ramón. Sensores y acondicionamiento de señales. Marcombo.
2. Creus Sole, Antonio. (1997) Instrumentación industrial. Marcombo.Barcelona.
3. Usategue, José M. Angulo, Martines, Ignacio Angulo. (1999). Microcontroladores PIC Diseño practico de aplicaciones. Mc Graw Hill.
4. Manual de Funcionamiento del Tanque de Cocción (ESCALDADOR), Industrias JAVAR de Colombia.
5. <http://www.microchip.com/1010/pline/picmicro/category/embctrl/14kbytes/devices/16f877/>
6. Bolton, W. (1996). Instrumentación y Control Industrial. Paraninfo.
7. <http://esloquehay.com/item-35.html>.
8. [http://www.sapiensman.com/medicion\\_de\\_temperatura/termocuplas.htm](http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/termocuplas.htm).