

**ANÁLISIS DE LA PROPAGACIÓN DEL CALOR EN PRODUCTOS  
ALIMENTICIOS**

**Y SEMIAUTOMATIZACIÓN DE UN EXHAUSTING**



**JUAN CARLOS CUNDUMI BANGUERA**

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

**ANÁLISIS DE LA PROPAGACIÓN DEL CALOR EN PRODUCTOS  
ALIMENTICIOS**

**Y SEMIAUTOMATIZACIÓN DE UN EXHAUSTING**



**JUAN CARLOS CUNDUMI BANGUERA**

**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

**El director y los jurados han revisado este documento, han escuchado la sustentación del mismo por su autor y lo han encontrado satisfactorio.**

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

**Mg. Edgar Matallana**

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

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

**Fecha de Sustentación:** \_\_\_\_\_

**A MI FAMILIA, Y AMIGOS  
QUIENES ME APOYARON  
TODO ESTE TIEMPO.**

## **AGRADECIMIENTOS**

**El autor expresa agradecimientos a:**

**Mg. Edgar Matallana    Director del trabajo de grado, por su apoyo**

**Sandra Patricia Godoy Y Lorena Motta. Coordinadoras de las Plantas Piloto de Alimentos de la Facultad Ciencias Agropecuarias de la Universidad del Cauca, por su invaluable colaboración y orientación durante este trabajo.**

**Profesores del Departamento de Física y compañeros que colaboraron con este trabajó de grado.**

## TABLA DE CONTENIDO.

Pág.

	RESUMEN	
	INTRODUCCIÓN	
1	JUSTIFICACION	
2	OBJETIVOS	
2.1	OBJETIVO GENERAL	
2.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS	
3.	MARCO CONCEPTUAL	
3.1	ANALISI DE LA PROPAGACION DEL CALOR	
3.1.1	Transferencia de calor por conducción	
3.1.2	Transferencia de calor por convección	
3.1.3	Ley de enfriamiento de newton	
3.1.4	Aplicabilidad de la ley de enfriamiento a las mediciones de temperatura.	
3.2	TERMOPARES.	
3.2.1	Amplificador para termopares compensado.	
3.2.2	Microcontroladores pic.	
3.2.3	Características del microcontrolador pic 18f452	
3.3.	COMUNICACION SERIAL.	
3.3.1	Interfase RS-485.	
3.3.2	Circuito integrado RS-485.	
3.4	SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS.	
3.4.1	Transductor de temperatura.	
3.4.2	Acondicionamiento de la señal.	
3.4.3	Comunicación serial RS-485	
3.5	IMPORTANCIA DE LA PROPAGACION DE CALOR EN PRODUCTOS ALIMENTICIOS.	
3.5.1	Tipos de productos conservados térmicamente.	
3.5.2	Método appert de conservación de alimentos.	

- 3.5.3 El exhausting.
- 3.5.4 Características del exhausting.
- 4. PROPUESTA PARA LA SEMIAUTOMATIZACION DEL EXHAUSTING
  - 4.1 PARTES DE LA UNIDAD.
    - 4.1.1 Teclado matricial 4X4
    - 4.1.2 Lcd 2x16.
    - 4.1.3 Termocuplas tipo J.
    - 4.1.4 Perilla.
    - 4.1.5 Conector.
    - 4.1.6 Reloj de tiempo real.
    - 4.1.7 Amplificador operacional.
- 5. RESULTADOS.
  - 5.1 MONITOREO DE TEMPERATURA.
    - 5.1.1 Descripción del software para el monitoreo y guardado de datos.
  - 5.2 IMPLEMENTACION DE LA PROPUESTA PARA LA SEMIAUTOMATIZACION DEL EXHAUSTING.
    - 5.2.1 Descripción de la unidad de monitoreo y semiautomatización.
  - 5.3 ENSAYO SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE LA PROPAGACION DE CALOR EN CONSERVAS DE ALIMENTOS.
  - 5.4 DESCRIPCION DEL AMBIENTE DE MEDICION.
  - 5.5 MEDICIONES DE TEMPERATURA EN PIÑA. EN ALMIBAR Y ENCURTIDOS.
  - 5.6 ANALISIS DE LOS DATOS DE TEMPERATURA MEDIDOS EN P. EN ALMIBAR Y ENCURTIDOS prueba 1
  - 5.7 ANALISIS DE LOS DATOS DE TEMPERATURA MEDIDOS EN P. EN ALMIBAR Y ENCURTIDOS prueba 1.
- 6 CONCLUSIONES.
- 7 RECOMENDACIONES.
- 8 BIBLIOGRAFIA
- ANEXOS.

## LISTA DE FIGURAS

Pág.

- Figura 3.1 Transferencia de calor en una superficie.
- Figura 3.2 Esquema de las termocuplas en el interior del producto alimenticio.
- Figura 3.3 Termopar tipo J.
- Figura 3.4 Compensador para termocuplas.
- Figura 3.5 Funciones adicionales de los microcontroladores.
- Figura 3.6 Interfase RS-232.
- Figura 3.7 Circuito integrado 75176.
- Figura 3.8 Termocupla tipo J recubierta con funda térmica.
- Figura 3.9 Curva característica de la termocupla tipo J con el condensador AD59
- Figura 3.10 Acondicionamiento de señal.
- Figura 3.11 Diagrama de la comunicación serial mediante la interfaz RS-485.
- Figura 3.12 Piña en almíbar.
- Figura 3.13 Encurtido.
- Figura 3.14 Esquema de exhausting.
- Figura 3.15 Exhausting planta de proceso en vegetales Universidad del Cauca.
- Figura 3.16 Exhausting y producto alimenticio con las termocuplas.
- Figura 5.1 Diagrama general del censado y transmisión serial de los datos de  
Temperatura.
- Figura 5.2 Panel frontal para el monitoreo del canal 6.
- Figura 5.3 Diagrama de software para el guardado de datos.
- Figura 5.4 Diagrama circuital del sistema de monitoreo y semiautomatización.
- Figura 5.5 Interfaz para la semiautomatización del Exhausting.
- Figura 5.6 Equipo para la semiautomatización del Exhausting.
- Figura 5.7 Esquema de las termocuplas en el interior del producto alimenticio  
(piña en almíbar)
- Figura 5.8 Dirección del flujo de calor.



- Figura 5.9 Grafica de los puntos A, B, C, sobre eje horizontal de la figura 5.7.
- Figura 5.10 Grafica de los puntos E, F, B, G, H sobre eje vertical de la figura 5.7.
- Figura 5.11 Graficas de los puntos A, B, C sobre el eje horizontal de la figura 5.7.
- Figura 5.12 Graficas de los puntos E, F, B, G, H sobre el eje vertical de la figura 5.7.
- Figura 5.13 Esquema de las termocuplas en el interior del producto alimenticio para encurtido prueba 1.
- Figura 5.14 Grafica de los puntos A, B, E, C para encurtido prueba 2.
- Figura 5.15 Esquema de las termocuplas en el interior del producto alimenticio para piña en almíbar prueba 2.
- Figura 5.16 Grafica de los puntos A, B, E, C para piña en almíbar prueba 2.
- Figura 5.17 Grafica de los puntos F, G, E, H para piña en almíbar prueba 2.
- Figura 5.18 3D Eje horizontal.
- Figura 5.19 3D Eje vertical.

## LISTA DE TABLAS

Pág.

- Tabla 3.1 Grupo I Metales Nobles.
- Tabla 3.2 Grupo II Metales Base.
- Tabla 5.1 Datos de temperatura en el tiempo para piña en almíbar prueba 1.
- Tabla 5.2 Datos de temperatura en el tiempo de encurtido prueba 1.
- Tabla 5.3 Datos de temperatura y tiempo medidos en cada punto, encurtido prueba 2.
- Tabla 5.4 Datos de temperatura y tiempo medidos en cada punto, P. Almíbar prueba 2.
- Tabla 5.5 Temperatura inicial y final en los puntos A, B, E, C.
- Tabla 5.6 Puntos sobre el eje horizontal.
- Tabla 5.7 Puntos sobre el eje vertical.
- Tabla 5.8 Tiempos característicos para los puntos sobre el eje horizontal.
- Tabla 5.9 Tiempos característicos para los puntos sobre el eje vertical.

## LISTA DE ANEXO

Pág.

**Anexo A.** GRAFICA DE LOS DATOS DE PIÑA EN ALMIBAR prueba 1.

**Anexo B.** GRAFICA DE LOS DATOS DE ENCURTIDOS prueba 1

**Anexo C.** GRAFICA DE LOS DATOS DE PIÑA EN ALMIBAR prueba 1

**Anexo D.** FUNCIONES DE TRANFERENCIA DE LAS CURVAS EN LOS ANEXOS A, B, C.

## Glosario

**Caracterización:** determinar los atributos particulares de un dispositivo

**Circuito integrado:** Un circuito integrado es un pastilla o chip en la que se encuentran todos o casi todos los componentes electrónicos necesarios para realizar alguna función

**Energía térmica:** Energía liberada en forma de calor, obtenida de la naturaleza

**Equilibrio térmico:** cuando en todos los puntos del sistema la temperatura es la misma o, dicho de otra forma, cuando las propiedades físicas del sistema, que varían con la temperatura, no cambian con el tiempo.

**F.E.M:** La Fuerza electromotriz (f.e.m.), es una característica de cada generador eléctrico, y se define como el trabajo que el generador realiza para pasar la unidad de carga positiva del polo negativo al positivo por el interior del generador.

**Función de transferencia:** es un modelo matemático que describe el comportamiento de un sistema (conocer cómo va a responder) cuando a su entrada se le aplica una variable física.

**Interfase:** Dispositivo o elemento intermedio de hardware o de software que permite conectar dos sistemas.

**Sistema de adquisición:** sistema capaz de recopilar y registrar los datos en una forma adecuada para su procesamiento y/o presentación.

## RESUMEN

En el presente trabajo, se tuvieron en cuenta dos factores de gran importancia:

- **Diseño y montaje de hardware:** Este aspecto fue fundamental para llevar a cabo la semiautomatización del exhausting y la captura de los datos de temperatura medidos en el interior de los productos alimenticios mediante comunicación serial utilizando para su montaje circuitería esencial como circuito integrado PIC 18f452, termocuplas tipo j, compensadores de termocuplas, relevos , etc.
- **Análisis de los datos de temperatura:** los datos de temperatura obtenidos para el análisis presentaron un porcentaje de error relativamente bajo, mediante estos se pudo observar la dinámica de cambio de la temperatura en el tiempo en cada punto en el interior del producto alimenticio, esta dinámica fue similar al comportamiento que describe la ley de enfriamiento de newton, que en este caso fue utilizada para explicar el proceso de calentamiento, la cual es válida. En particular el tiempo necesario para alcanzar la temperatura requerida para hacer vacío en el interior del frasco de vidrio que contenía los productos alimenticios y depende de las condiciones iniciales del producto alimenticio al inicio del proceso en el interior del Exhausting.

## INTRODUCCIÓN

Hasta este momento se tiene información de trabajos similares que sólo se han basado en la medición de la energía térmica en el interior de diversos alimentos sólidos, principalmente en frituras y frutos, con el fin de determinar el coeficiente de calor como principales variable a medir. En particular estos trabajos permiten predecir el posible comportamiento de la temperatura o flujo de energía térmica en un punto determinado en el interior del producto alimenticio.

Mediante este trabajo se logró la medición de temperaturas en varios puntos, en el interior de diferentes productos alimenticios, con el objetivo de analizar el comportamiento de la temperatura en cada punto en el tiempo y a una distancia respecto del centro del frasco que contiene el producto alimenticio, esto induce a la comprensión de la dinámica del flujo radial de energía térmica en cuerpos no homogéneo, y la posibilidad de generar ecuaciones que describan el estado o dinámica de cambio de la temperatura en todo el cuerpo del producto alimenticio en cualquier instante de tiempo. La medición de temperatura en ciertos puntos en el interior del producto alimenticio facilita la toma de datos en tiempo real para generar graficas que permitan el análisis del comportamiento térmico de los productos. La toma de datos se hace mediante comunicación serial simultáneamente en todos los puntos dentro del producto alimenticio.

Para la obtención de los datos de temperatura que se analizan en el trabajo, se diseñó un sistema de adquisición de datos basados en termocuplas y compensadores para termocuplas tipo J encargados de censar la temperatura, estos facilitan la electrónica y hacen parte de la semiautomatización del *Exhausting*, semiautomatización que se construyó como una unidad totalmente independiente, cuyo objetivo es sistematizar el movimiento de la banda transportadora en la que se colocan los productos alimenticios para evacuarlos del

interior del *Exhausting* cuando se ha alcanzado la temperatura adecuada en el interior del producto.



## 1. JUSTIFICACIÓN

En la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad del Cauca, ubicada en a sede de las "Guacas" en el área de las plantas de proceso de vegetales cuentan con un equipo conocido como túnel de vacío (Exhausting) en el que se realiza el proceso de evacuación de aire presente en frutas y/o verduras contenidas en recipientes de vidrio u hoja lata. El monitoreo de la temperatura en el interior de los frascos se hace calculando el tiempo en que el centro del frasco logra alcanzar la temperatura de 85°C del producto en el centro del frasco; este tiempo está basado en pruebas en el equipo y la experiencia de los operadores (profesores y estudiantes que están en prácticas), hasta el momento se ha propuesto que el producto debe permanecer al interior del túnel saturado de vapor por espacio de 15 minutos para lograr dicho objetivo. se ha demostrado que el flujo de temperatura en el túnel depende del producto y de aspectos como el volumen del frasco de vidrio y la cantidad del producto en él, características termodinámicas del producto alimenticio, y el flujo de gas en el interior del Exhausting entre otras. Lo anterior significa que el proceso de monitoreo de la temperatura necesita ser mejorado.

Por lo tanto es fundamental encontrar un método adecuado que permita analizar cada producto alimenticio de forma eficiente y mejorar los cálculos estimados por los operarios (estudiantes, profesores) en sus respectivas prácticas además de lograr monitorear en tiempo real el comportamiento de la temperatura durante el proceso de empaque al vacío en el exhusting.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL.**

Semi-automatizar en el Exhausting el tiempo de producción de vacío en los diferentes productos alimenticios y realizar muestreo de temperatura en diversos puntos dentro de frascos de vidrio, para analizar y/o modelar el comportamiento dinámico de la temperatura para determinados productos alimenticios.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Construir un prototipo para la semiautomatización del exahusting que permita la toma de datos en tiempo real, para determinar el tiempo y la temperatura de vacío óptima para productos alimenticios (frutos en almíbar y encurtidos).
- Monitorear y registrar las condiciones físicas (presión, temperatura, peso del producto etc.) mediante las cuales se logra vacío en el Exhausting.
- Realizar una prueba piloto y pruebas de mejoramiento de diseño para la toma de datos de temperatura en función de tiempo mediante adquisición de datos por el puerto serial del ordenador.

### 3. MARCO CONCEPTUAL

#### 3.1 ANALISIS DE LA PROPAGACION DEL CALOR.

Es el proceso por el 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; es decir 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 mas 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.

##### 3.1.1 Transferencia de calor por conducción.

Ha sido ampliamente demostrado que cuando existe un gradiente de temperatura en un cuerpo, hay una transferencia de energía de la región de alta temperatura a la de baja temperatura. La energía es transferida por conducción y la rapidez de transferencia de energía por unidad de área es proporcional al gradiente normal de temperatura.

$$(q/A) \sim (\partial T / \partial X) \quad [3.1]$$

Cuando se inserta la constante de proporcionalidad,

$$q = -kA (\partial T / \partial X) \quad [3.2]^1$$

---

<sup>1</sup> conducción del calor, consultado en Física tomo1, Ramond A. Serway cuarta edición.

Donde  $q$  es la rapidez de transferencia de calor y  $(\partial T/\partial X)$  es el gradiente de temperatura en la dirección del flujo de calor. A la constante positiva  $k$  se le llama conductividad térmica del material, y el signo menos se inserta para que satisfaga el segundo principio de la termodinámica.

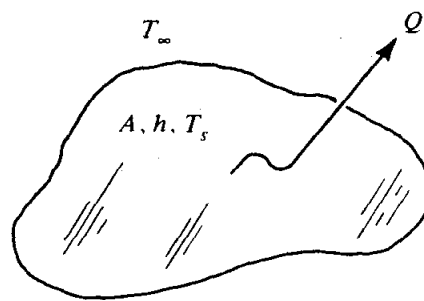
### 3.1.2 Transferencia de calor por convección.

Los problemas de convección en la transferencia de calor son considerablemente más difíciles que los que se encuentran en la conducción y con demasiada frecuencia es imposible encontrar soluciones analíticas. Dichas dificultades surgen del hecho de que el mecanismo básico para la convección es una combinación de conducción y movimiento de fluidos. La convección ocurre siempre que una superficie esta en contacto con un fluido que tiene temperatura diferente a la de la superficie en cuestión, por ejemplo, considere una pared caliente vertical y en contacto con un fluido muy frío, con el transcurso del tiempo, el fluido en contacto inmediato con la pared se calienta por conducción, provocando que el fluido se haga menos denso. Debido a la diferencia de densidad, se obtiene una fuerza de rotación resultante, provocando que el fluido mas ligero se eleve y lo reemplace otra cantidad del fluido mas frío, repitiéndose continuamente este proceso. Puesto que el movimiento del fluido queda restablecido por fuerzas naturales, a este tipo de convección se le llama convección *natural o libre*. Se tienen otros ejemplos de convección natural en los mecanismos asociados con el aire caliente que sale de los radiadores de calor caseros y el flujo del humo de cigarrillos en una habitación. Si la pared que antes mencionamos fuera la de una habitación en una casa y se pusiera a funcionar un ventilador dirigido hacia la pared, entonces una fuente externa (el ventilador) provocaría el movimiento de fluido, dando por resultado un efecto de convección *forzada*. Se tiene un ejemplo más de convección forzada en los radiadores de auto. De nuevo, hay una pequeña transferencia de calor por radiación de un "radiador" de auto, pero mas bien el mecanismo para el flujo de calor es el de convección forzada. Si la velocidad del aire debida a la acción de un ventilador dirigido hacia la pared fuera suficientemente baja, digamos 0.5 pies/seg,

entonces el movimiento total del aire sería el resultado en parte debida al ventilador y parte a la fuerza de flotación, resultando una convección combinada. En la práctica, los ingenieros usan la siguiente expresión para determinar razones, de transferencia de calor por convección.

La ecuación de transferencia de calor por convección desde una superficie es:

$$q = ha (T_s - T) \quad [3.3]$$



**Figura 3.1** Transferencia de calor en una superficie.

Refiriéndonos a la figura 3.1, tenemos que:

$q$  = calor transferido de la superficie al fluido circulante, Btu/h o W.

$A$  = área de la superficie, pies<sup>2</sup> o m<sup>2</sup>.

$h$  = coeficiente conectivo de transferencia de calor, Btu/h-pie<sup>2</sup> °F

$T_s$  = temperatura en la superficie, °F o °C.

$T$  = temperatura del fluido circundante, °F o °C.

Se usa el subíndice para identificar aquella parte del fluido que está suficientemente alejado de la superficie como para que no afecte ésta por medio del proceso de transferencia de calor. En la práctica es importante entender la tasa a la cual la energía térmica se está transfiriendo entre un sistema y sus alrededores y los mecanismos responsables de la transferencia.

### 3.1.3 Ley de enfriamiento de newton.

Un objeto a temperatura diferente de la de sus alrededores terminará alcanzando una temperatura igual a la de sus alrededores. Un objeto relativamente caliente se enfría al calentar a sus alrededores; un objeto frío se calienta cuando enfría a sus alrededores<sup>2</sup>.

La "rapidez" de pérdida de calor, sea por conducción, convección o radiación, es proporcional a la diferencia de temperaturas, entre la del objeto y la de sus alrededores.

La ley es válida en el calentamiento. Si un objeto está más frío que sus alrededores, también su rapidez de calentamiento es proporcional a la diferencia de temperatura.

Se denomina **enfriamiento newtoniano** a aquel proceso de enfriamiento que sigue una ley determinada experimentalmente por **Isaac Newton**, según la cual la velocidad de enfriamiento de un cuerpo cálido en un ambiente más frío cuya temperatura es  $T_m$ , es proporcional a la diferencia entre la temperatura instantánea del cuerpo y del ambiente.

$$\frac{dT(t)}{dt} = -r(T - T_m) \quad [3.4]$$

Donde  $r$  es una constante de proporcionalidad.

Esta expresión no es muy precisa y se considera tan sólo una aproximación válida para pequeñas diferencias entre  $T$  y  $T_m$ . En todo caso la expresión superior es útil

---

<sup>2</sup> <http://shibiz.tripod.com/id17.html>

para mostrar como el enfriamiento de un cuerpo sigue aproximadamente una ley de decaimiento exponencial:

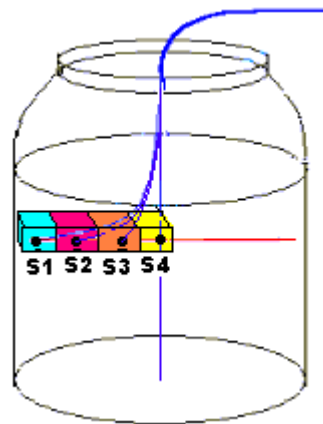
$$T(t) = T_m + (T(0) - T_m) e^{-rt}. \quad [3.5]$$

Donde  $T_m$  y  $(T(0) - T_m)$  son constantes. El parámetro  $r$  se mide en unidades de tiempo y representa un “tiempo característico” del enfriamiento.

Una formulación más precisa del enfriamiento de un cuerpo en un medio necesitaría un análisis del flujo de calor del cuerpo cálido en un medio inhomogéneo de temperatura. La aplicabilidad de esta ley simplificada viene determinada por el valor del número de Biot.

### 3.1.4 Aplicabilidad de la ley de enfriamiento a las mediciones de temperatura.

La temperatura interna en un tiempo dado en el producto alimenticio no es constante en todo su volumen, cada punto tiene una temperatura diferente, para la aplicabilidad de la ley de enfriamiento tendríamos que definir un objeto imaginario  $S$  para cada punto como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 3.2** Esquema de las termocoplas en el interior del producto alimenticio

Donde la temperatura en el interior del objeto imaginario se asume constante en un instante de tiempo, y la temperatura externa (fuera del objeto imaginario) es la temperatura del medio. La temperatura del medio para el objeto S2 sería la temperatura externa a él. Lo mismo para el objeto S1, S3, S4. La temperatura del medio para los objetos S2, S3 y S4 sería cambiantes en el tiempo, por lo tanto esto hace que el ritmo de crecimiento de la temperatura en estos cuerpos dependa de la diferencia de temperatura con el medio externo.

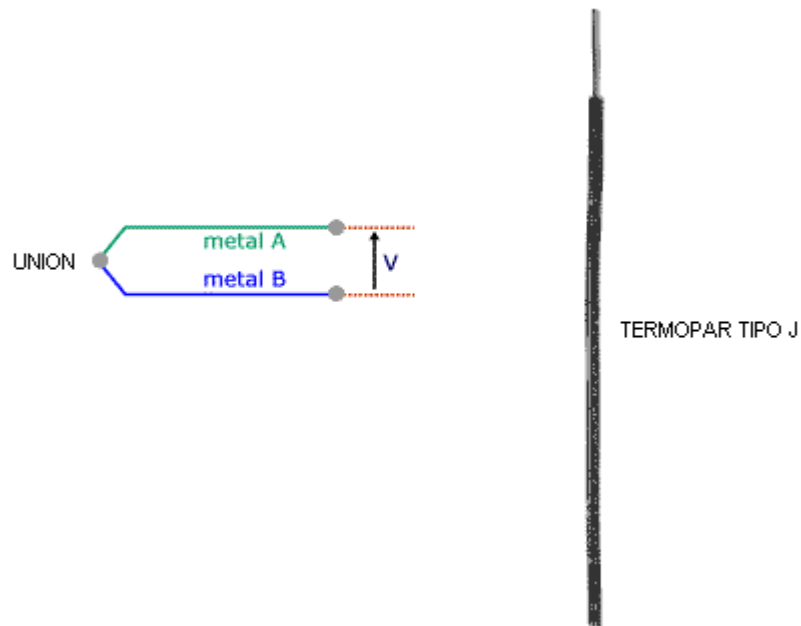
La temperatura del medio para el objeto S1 sería la temperatura externa del frasco que contiene el producto, esta es la temperatura en el interior del exhausting que es constante durante el proceso de esterilización.

Con el objeto de facilitar el análisis de los resultados gráficos de las mediciones de temperatura en el tiempo en distintos puntos dentro del producto alimenticio, y teniendo en cuenta que se utiliza la ley de enfriamiento de Newton para este fin, suponemos que la temperatura en un punto en un tiempo dado dentro del producto alimenticio, es la misma para todo el producto.

### **3.2 TERMOPARES.**

Un termopar es un dispositivo para la medición de temperatura, basado en efectos termoeléctricos, capaz de convertir la energía calorífica en energía eléctrica.





**Figura 3.3** Termopar tipo J.

Es un circuito formado por dos conductores de metales diferentes o aleaciones de metales diferentes, unidos en sus extremos y entre cuyas uniones existe una diferencia de temperatura. Estudios realizados sobre el comportamiento de termopares han permitido establecer tres leyes fundamentales:

1. Ley del circuito homogéneo. En un conductor metálico homogéneo no puede sostenerse la circulación de una corriente eléctrica por la aplicación exclusiva de calor.
2. Ley de los metales intermedios. Si en un circuito de varios conductores la temperatura es uniforme desde un punto de soldadura 'A' a otro 'B', la suma algebraica de todas las fuerzas electromotrices es totalmente independiente de los conductores metálicos intermedios y es la misma que si se pusieran en contacto directo 'A' y 'B'.
3. Ley de las temperaturas sucesivas. La f.e.m generada por un termopar con sus uniones a las temperaturas  $T_1$  y  $T_3$  es la suma algebraica de la f.e.m. del

termopar con sus uniones a T1 y T2 y de la f.e.m. del mismo termopar con sus uniones a las temperaturas T2 y T3.

Hay 7 tipos de termopares conocidos como E, S, T, J, K, B y R su composición química varia y a continuación se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 3.1** Grupo I Metales Nobles.

METAL	METAL	TIPO
platino	platino	10% rodio conocido como Tipo S
platino	platino	13% rodio conocido como Tipo R

**Tabla 3.2** Grupo II Metales Base.

METAL	METAL	TIPO
cobre	constantano	conocido como Tipo T
Acero	constantano	conocido como Tipo J
cromel	alumel	conocido como Tipo K
cromel	constantano	conocido como Tipo E

Termopar tipo J (Hierro- Constantan)

Termoelemento positivo: Fe99, 5%.

Termoelemento negativo: Cu55%, Ni45%.

Rango de utilización: -210°C a 760°C.

F.E.M. producida: -8,096 mV a 42,919 mV.

Características: puede utilizarse en atmósferas neutras, oxidables o reductoras. No se recomienda en atmósferas muy húmedas y a bajas temperaturas el termoelemento positivo se vuelve quebradizo. Por encima de 540°C el hierro se oxida rápidamente.

El voltaje generado por un termopar muestra un comportamiento no lineal, cuyo modelo matemático es de la forma:

$$E = AT + 0.5BT^2 + 0.33CT^3 \quad [3.6]$$

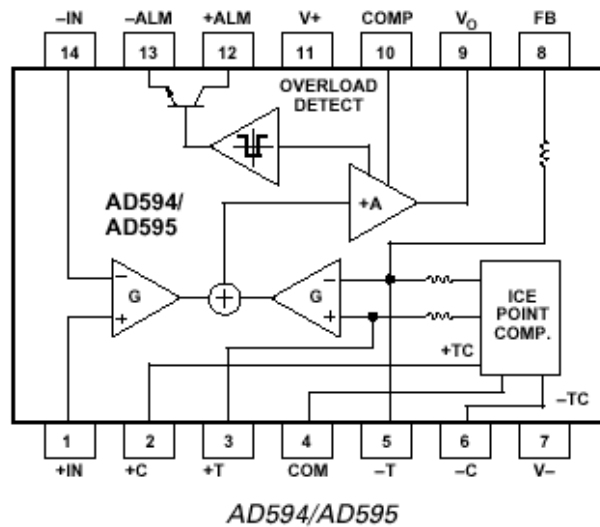
Donde  $T$  es la temperatura en °C,  $E$  es el voltaje y las constantes  $A$ ,  $B$ ,  $C$  dependen de los materiales de la junta.

Se sabe que la relación fem/temperatura o sensibilidad de un termopar esta dada por:

$$E = A + BT + CT^2 \quad [3.7]$$

### 3.2.1 Amplificador para termopares compensado (AD594).

El AD594 es un circuito integrado de *Analog Device* específico para termopares. Este contiene un amplificador de instrumentación y el circuito de compensación de la unión fría para un termopar tipo J. Aunque se podría calibrar para otros termopares. La termocupla se conecta a los pines 1 y 14, estas son las entradas a un amplificador diferencial de fase, este es un amplificador que usa la temperatura local como su temperatura de referencia.



**Figura 3.4** Compensador para termocuplas.

Algunas características de este sistema de medida son:

- El circuito esta calibrado a una temperatura de 25°C para un termopar tipo J.
- A la temperatura de 25°C la sensibilidad del termopar es 51.08  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ .
- A la temperatura de 25°C la ganancia del amplificador de instrumentación es 93.34.
- A la temperatura de 25°C la tensión que el circuito entrega a su salida es de 10 mV/°C (51.08 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ \*193.34).
- El circuito integrado introduce un *offset* en la salida del amplificador de 16 $\mu\text{V}$ , por tanto, la tensión exacta de salida para 25°C es:
- 

$$\mathbf{AD594_{output} = (V_{termopar} + 16\mu\text{V}) * 193.34 \quad [3.3]}$$

$$\mathbf{V_{termopar} = (AD594_{output} / 193.34) - 16\mu\text{V} \quad [3.4]}$$

- La exactitud de este dispositivo es de  $\pm 1^\circ\text{C}$
- Suministro de voltaje es de +5V a  $\pm 15\text{V}$

Hay que tener en cuenta que el comportamiento del termopar no es lineal. Esto quiere decir que la sensibilidad de  $51.08\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  es cierta para temperaturas alrededor de  $25^\circ\text{C}$ .

### 3.2.2 Microcontrolador PIC<sup>3</sup>.

Un microcontrolador es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes o secuencias que están grabadas en su memoria. Esta compuesto por varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica dentro del ordenamiento del mismo y a su vez permiten obtener configuraciones diferentes. Se pueden diferenciar según el tamaño y la cantidad de sus elementos básicos y características especiales.

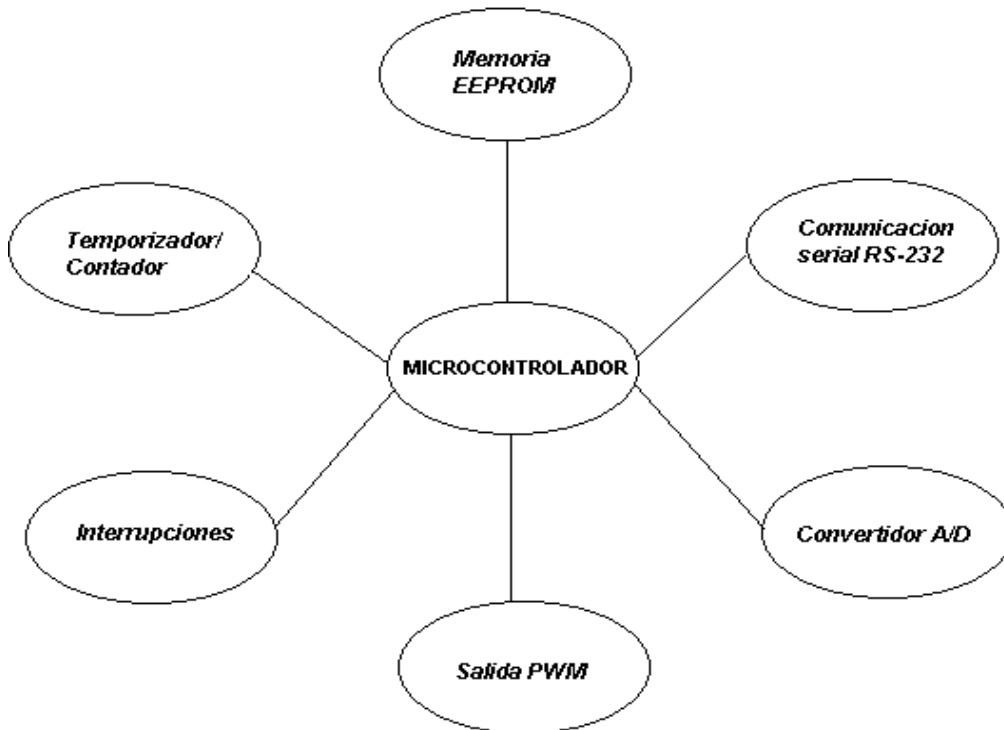
Partes básicas de un microcontrolador.

- **Memoria ROM** (Memoria de solo lectura).
- **Memoria RAM** (memoria de acceso aleatorio).
- **Líneas de entrada y salida (I/O)** también llamados puertos, se utilizan para conectar los elementos externos al microcontrolador.
- **Lógica de control.** Coordina la interacción entre los demás bloques.

---

<sup>3</sup>Actualmente existe un mercado de varias marcas reconocidas de microcontroladores PIC,. Entre estas están Motorola, Intel, Philips, Nacional y Microchip.

Componentes especiales en un microcontrolador.



**Figura 3.5** Funciones adicionales de los microcontroladores.

- Algunos microcontroladores tienen conversiones análogas a digital (A/D), en caso que se requiera medir señales no digitales.
- Si se requiere medir periodos de tiempos entre eventos, generar temporizaciones o salidas con frecuencias específicas se puede disponer de timers.
- Cuando se necesita establecer comunicación con otro microcontrolador o computador se puede disponer de una interfaz serial RS-232.
- Para quienes utilizan salidas PWM (modulación por ancho de pulso) en el control de cargas DC o cargas resistivas.
- Cuando se requiere atender eventos en tiempo real o se tienen procesos que no dan espera, se debe utilizar la técnica de interrupciones. Cuando una señal externa activa una línea de interrupción, el microcontrolador deja

de lado que se encuentra ejecutando para atender una situación especial y luego puede regresar a desempeñar la labor que estaba desempeñando.

- Para desarrollar una aplicación donde los datos no se alteren a pesar de que se retire la alimentación, se puede utilizar memoria EEPROM, que es un tipo de memoria ROM que se puede programar o borrar eléctricamente sin necesidad de circuitos especiales.

### **3.2.3 Características del microcontrolador PIC 18F452 :**

Este es un PIC de la familia 18FXXX (18F452). Es un PIC de la gama alta.

Las características principales de este PIC son las siguientes:

- Tecnología CMOS.
- Procesador RISC.
- Memoria Flash de 32k bytes.
- Memoria de instrucciones de 16384.
- Memoria RAM de 1536 bytes.
- Memoria EEPROM de 256 bytes.
- Bus datos de 8 bits, bus de instrucciones de 16 bits.
- Módulo de puerto serie síncrono (3-wire y I2C).
- USART direccionable, soporta RS-485 y RS-232.
- Módulo de puerto paralelo.
- Módulo conversor A/D de 10 bits.

### **3.3 COMUNICACIÓN SERIAL.**

El envío de niveles lógicos (bits) a través de cables o líneas de transmisión necesita la conversión a niveles de voltaje apropiados.

En un circuito lógico o con microprocesador se trabaja con niveles de voltaje inferiores a 0.8 para representar el nivel lógico cero y voltajes mayores a 2 para





### 3.3.1 Interfase RS-485.

La interfase seriales **RS-485** se diseñaron para la conexión física de computadores y terminales directamente y tienen grandes ventajas sobre su similar antiguo, la **RS-232**; entre ellas se encuentra: la longitud de la interfase que se puede extender hasta los 1200 metros, la velocidad puede llegar hasta los 10Mbits por segundo y el numero de elementos crece sustancialmente, las interfases seriales **RS-485** solo necesitan una fuente de 5 voltios para operar adecuadamente.

Para aumentar la distancia de comunicación, la interfase **RS-485**, emplea líneas balanceadas, las cuales requieren que cada señal tenga dos conductores sobre los cuales se establecen básicamente dos niveles de voltaje; la señal sobre el segundo conductor es el nivel complemento del primero. El receptor responde a la diferencia de voltaje entre los dos conductores; este método es también llamado medida diferencial.

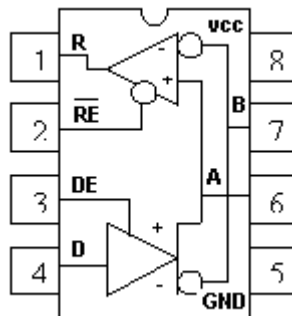
Las líneas balanceadas permiten la eliminación del ruido electrostático y electromagnético (picos de voltaje, oscilaciones e interferencias en general) común a las dos líneas. En las líneas balanceadas las señales diferenciales generan dos corrientes de retorno iguales pero opuestas, cuya suma finalmente es cero, por lo que se cancelan en el receptor, minimizando los problemas que se puedan presentar por las interferencias.

La interfase **RS-485** utiliza cable par trenzado (twisted-pair), el cual consiste en dos conductores aislados que están retorcidos entre si y con el que se consiguen una buena inmunidad al ruido electromagnético.

### 3.3.2 Circuito Integrado RS-485.

La interfase RS-485, no define los conectores o los pines que se deben utilizar para implementar la interfase, únicamente los niveles de voltaje; así que una manera fácil de crear una interfase RS-485 es utilizar uno o mas de los circuitos integrados que permitan el traslado de niveles TTL a señales diferenciales de voltajes, y viceversa.

Para conseguir el traslado de estos niveles de voltaje, existen varios circuitos integrados (la serie 7517X de Texas Instruments), entre ellos el 75176, que contiene un transmisor y un receptor y solo dos líneas diferenciales de entradas/salida de datos, dos líneas adicionales determinan las funciones que cumple el integrado, permitiendo o inhibiendo la recepción o transmisión de datos.



**Figura 3.7** Circuito integrado 75176.

Este circuito está diseñado para permitir una comunicación half duplex estableciéndose por tanto una Interfase RS-485, la que resulta muy conveniente cuando se trata de implementar una red de computadores y/o microcontroladores.

### 3.4 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

#### 3.4.1 Transductor de temperatura.

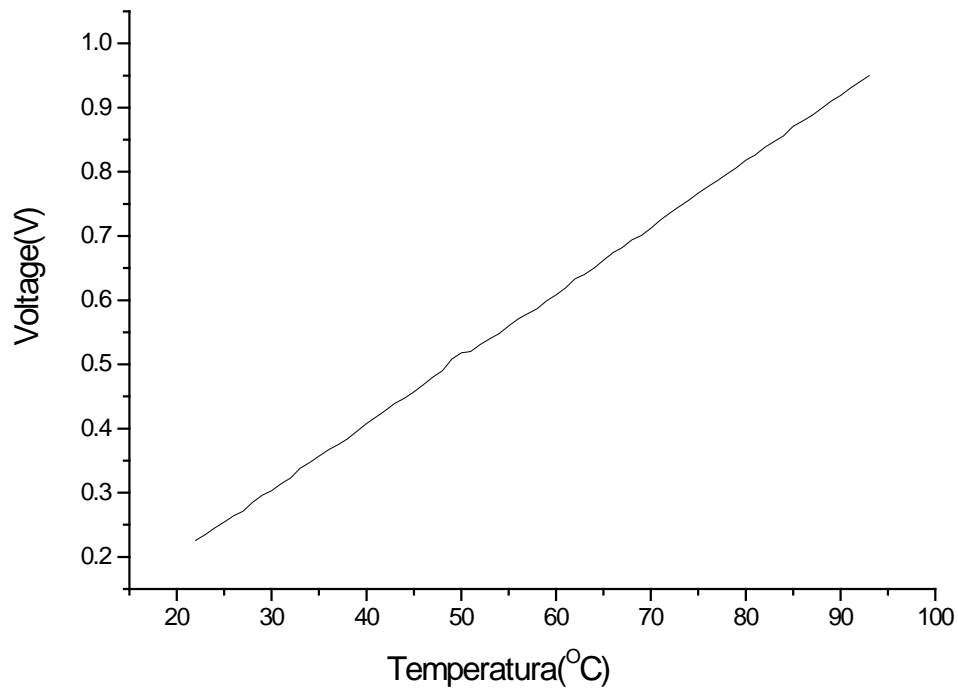
En la actualidad existen un gran numero de transductores de temperatura, entre estos tenemos las termocuplas, estos dispositivos se utilizaron para medir la temperatura en puntos dentro de los productos alimenticios, especialmente se utilizo termocuplas tipos J. Fue necesario utilizar el compensador para termocuplas tipo J, el AD594, que es un amplificador de instrumentación que produce 10 milivoltio por grado centígrado, esto hace que la conexión termocupla-compensador produzca una salida lineal como se muestra en la figura 3.9.



**Figura 3.8** Termocupla tipo J recubierta con funda térmica.

La figura 3.8 es una muestra de las termocuplas utilizadas para la medición de temperaturas. Estas termocuplas se cubrierón con una funda térmica con el objeto de aislarlas debido a que durante el proceso de medición de temperatura cada una de estas conducía una pequeña corriente por su superficie, de manera que al

hacer contacto dos termocuplas estas distorsionaban los valores de temperatura que se estaban adquiriendo en el PC.

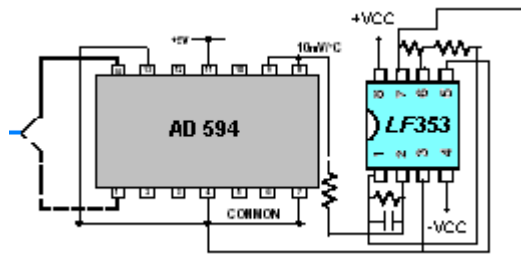


**Figura 3.9** Curva de caracterización de la termocupla tipo J con el compensador AD594.

En la figura 3.9 se muestra una de las curvas de caracterización de la termocuplas utilizadas en el proceso de medición de la temperatura.

### 3.4.2 Acondicionamiento de la señal.

Debido a que el compensador de termocuplas entrega una señal de voltaje relativamente buena, se limitó la amplificación a cinco veces y filtrarla simultáneamente como muestra la figura 3.10.



**Figura 3.10** Acondicionamiento de señal.

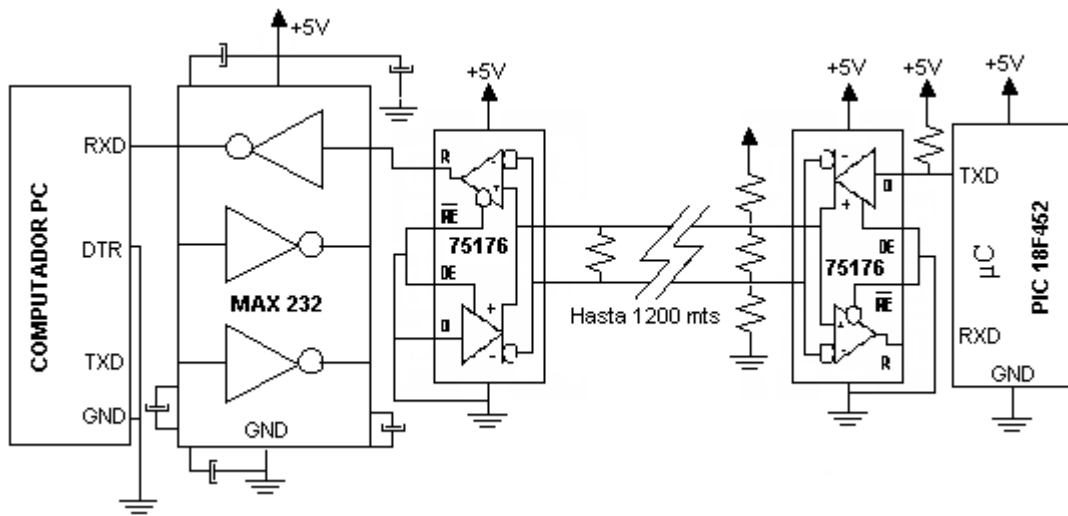
El voltaje amplificado va aun seguidor de voltaje para un acople de impedancia e inversión del voltaje.

El voltaje de salida amplificado va al PIC, donde este con una resolución de 10 bits hace la conversión análoga a digital para transmitir vía comunicación serial.

### 3.4.3 Comunicación serial RS-485.

En esta etapa de comunicación, se implementó la comunicación serial RS-485 para la transmisión de datos de temperatura tomados por los sensores, el modo de comunicación implementado fue el SIMPLEX, es decir solo hacemos transmisión de datos del microcontrolador al PC, a través del cable par trenzado, que por su configuración ayuda a evitar cualquier tipo de interferencia, también se utilizó el PIC 18f452, este dispositivo básicamente toma los valores de voltajes dados por los sensores y hace la conversión análogo digital para luego ser transmitidos al PC por medio del modulo de transmisión serial (USART).

EL siguiente es el diagrama de comunicación serial mediante la interface RS-485, entre un computador y un microcontrolador utilizado para la adquisición de los datos, que se muestra en la siguiente figura.



**Figura 3.11** Diagrama de la comunicación serial mediante la interfase RS-485.

Mediante comunicación serial se tomó temperaturas simultáneamente en puntos, dentro de los productos alimenticios.

## 3.5 IMPORTANCIA DE LA PROPAGACION DE CALOR EN PRODUCTOS ALIMENTICIOS.

### 3.5.1 Tipos de productos conservados térmicamente<sup>4</sup>.

#### Pina en almíbar



**Figura 3.12** Piña en almíbar.

Los **frutos en almíbar** y las frutas en conserva hacen parte de una serie de alimentos llamados Productos de Primera Línea. Estos productos son altamente apetecidos a nivel mundial, por presentar una alta rotación. Son productos conservados entero o fraccionado (trozos, rodajas, cubos, julianas, mitades) cuya conservación se realiza por efecto combinado de la cobertura con jarabe con una alta concentración de sólidos solubles y tratamiento térmico

---

<sup>4</sup> Godoy Sandra, Motta Lorena Manual de prácticas de tecnología de frutas y hortalizas Universidad de la Cauca.

## Encurtido



**Figura 3.13** Encurtido.

Se llaman ENCURTIDOS NO FERMENTADOS a aquellos que se preparan con vinagre natural; el efecto preservador se debe a la presencia del ácido acético en cantidad no menor del 6%, con un valor de pH entre 2.8-3.3.

Los factores para conservar la integridad y estabilidad del producto son: Baja actividad de agua, Contenido en sal, Aumento de sólidos solubles, Tratamientos térmicos, Adición de conservantes y Presencia de antioxidantes. Los productos de esta naturaleza presentan como ventaja un riesgo mínimo de intoxicación alimenticia.

Antes de su utilización el vinagre debe calentarse a 85°C/10min en combinación con la sal y especias involucradas en el proceso, para impedir el deterioro por microorganismos del genero acetobacter que lo enturbian.

El tratamiento térmico mediante aplicación medio de cobertura en caliente, previo al envase aséptico de conservas (almíbares y encurtidos) en estos productos favorece los siguientes efectos:

- Mejora en la transmisión de calor
- Permite que el producto sea osmoticamente activo



- Inhibe el pardeamiento fruto e impide el desarrollo de microorganismos
- Permite adición de aditivos
- Disminuye actividad de agua

### **3.5.2 Método appert de conservación de alimentos<sup>5</sup>.**

Este método de conservación realimentos mediante la aplicación de calor debe su nombre al francés Nicolás Appert, quien lo estudió y puso en práctica en 1809 y desde esa época en un procedimiento válido, el invento surgió durante las guerras napoleónicas, suceso que forzó a desarrollar técnicas para enviar alimentos a los soldados en batalla, appert propuso envasar el recipientes de hojalata que sometía a baño maría (vacío), y luego tapaba herméticamente, este procedimiento fue mejorado cuando Louis pasteur formuló su teoría y luego se desarrolló el proceso de esterilización con la aparición del autoclave y desde éstos principios se ha empleado el calor como tratamiento para conservación de alimentos, posteriormente el siglo XIX se realizaron mejoras al proceso de vacío y surgieron equipos como el túnel de vacío, equipo que es saturado con vapor para lograr que los recipiente que se encuentren en su interior evacuen el oxígeno presente en el envase y al interior de la conserva, esta es una operación esencial previa al empaque hermético y esterilización comercial, la realización de vacío permite disminuir la tensión del recipiente debidas a la expansión del aire durante el calentamiento, la expulsión del oxígeno evita la oxidación de productos y la corrosión de latas, el tratamiento térmico finaliza cuando el empaque y producto se enfrían.

En el procesamiento de alimentos para el análisis de transmisión de calor desde los alrededores hacia el empaque se emplea vapor vivo de caldera, aproximadamente a 96°C para que los productos logren evacuar el oxígeno disuelto en el líquido de cobertura (jarabe o salmuera), espacios intercelulares del alimento y el oxígeno que se deposita en la parte superior del envase de vidrio

---

<sup>5</sup> Ac.hersom conservas alimenticias procesado térmico y microbiología, editorial acribia S.A.

denominado espacio de cabeza, de la misma manera se logra evacuar gases indeseables, con esto se logra hacer vacío para proceder a tapar herméticamente el producto para esterilización comercial.<sup>6</sup>

### **3.5.3 El Exhausting.**

El **Exhausting** es un equipo diseñado para la pre-esterilización y evacuación de aire presente en los productos enlatados y en frascos, ideal para la elaboración de productos estériles. Es un aparato con forma cilíndrica, en cuyo interior se encuentra una banda transportadora en la que se colocan los frascos con alimentos con el objetivo de que estos alcancen internamente una temperatura óptima de conservación, que esta alrededor de los 85°C a 90°C. Una vez que esta temperatura óptima se ha conseguido, la banda transportadora se mueve sacando al exterior del exhausting los frascos con alimento.

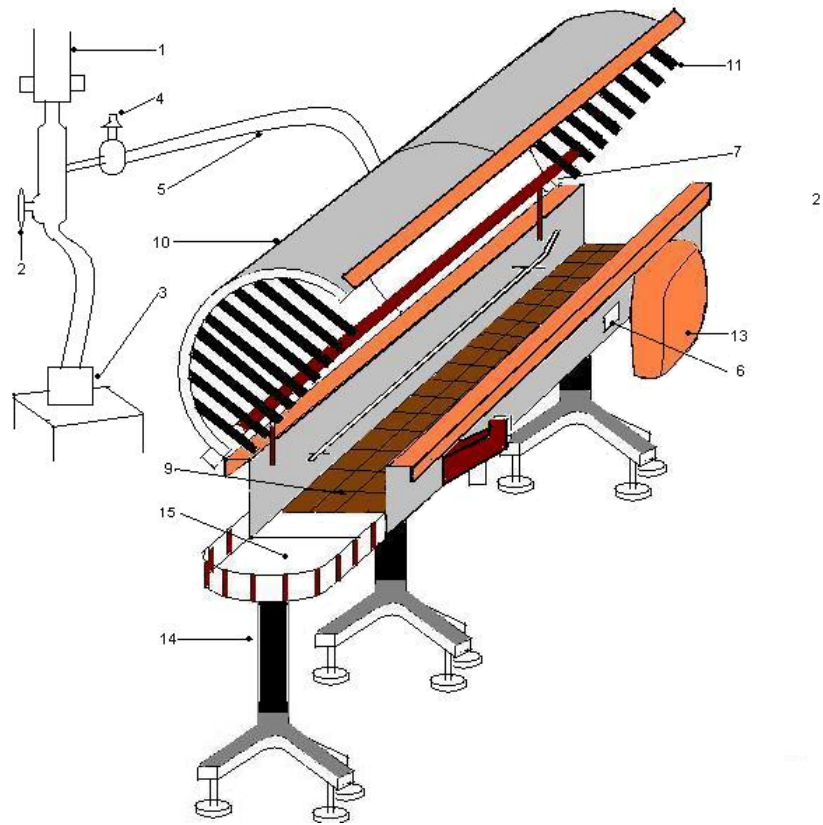
La temperatura en los frascos se consigue mediante el flujo interno de gas (vapor de agua) en el interior del Exhausting a una temperatura que oscila entre 88°C y 94°C, y una presión de 20Psig. Durante el funcionamiento del Exhausting, este nunca queda totalmente sellado debido a que la compuerta por donde sale el producto con alimento esta siempre abierta.

### **3.5.4 Características del Exhausting:**

- Fabricado completamente en acero inoxidable.
- Sistema de funcionamiento a vapor.
- Motor-reductor de alta potencia blindado.
- Banda transportadora en table-top de acero inoxidable
- Rendimiento aproximado: 20 unidades por minuto.
- Boquillas tipo hongo para suministro de vapor al producto.

---

<sup>6</sup>Hans jurgen sinell. Introducción a la higiene de los alimentos Editorial acribia



**Figura 3.14** Esquema del exhausting.

- 1 Tubería con recubrimiento aislante.
- 2 Llave de paso de vapor de purga.
- 3 Colector de vapor sucio.
- 4 Llave de pasote vapor a línea Exhausting.
- 5 Manguera de alimentación de vapor.
- 6 Panel de control.
- 7 Flautas.
- 9 Banda transportadora.
- 10 Túnel de protección.
- 11 Cortina de hule de protección.
- 13 Motor de banda transportadora.
- 14 Soporte de tres patas.
- 15 Bandeja de recepción



**Figura 3.15** Exhausting planta de proceso en vegetales Universidad del Cauca.



**Figura 3.16** Exhausting y producto alimenticio con las termocuplas.

#### 4. PROPUESTA PARA LA SEMIAUTOMATIZACION DEL EXHAUSTING

Para la semiautomatización del *Exhausting* se construyó una unidad móvil, el objetivo de esta unidad es brindar a los usuarios varias posibilidades para programar el movimiento de la banda transportadora en el interior del *Exhausting*. El equipo posee una banda transportadora para sacar el producto alimenticio de su interior, la idea es que mediante esta unidad se pueda mover la banda automáticamente mediante programación hecha a través de un teclado.

El movimiento de esta banda es activado mediante el cierre de un circuito eléctrico que conecta el motor que mueve la banda a la red eléctrica. La unidad construida para la semiautomatización mediante programación en tiempo o temperatura, produce un nivel de voltaje lógico alto, que con la ayuda de una interfaz de potencia activa un relevo para cerrar el circuito que conecta el motor del *Exhausting* a la red eléctrica y de esta forma generar el movimiento de la banda transportadora. La ventaja comparativa de esta unidad es que le proporciona al usuario mayor independencia operativa del *exhausting* a la hora de sacar los productos alimenticios de su interior.

##### 4.1 PARTES DE LA UNIDAD DE SEMIAUTOMATIZACION.

**4.1.1 Teclado matricial 4x4:** Dispositivo de entrada de datos que consta de 16 teclas o pulsadores, dispuestos e interconectados en filas y columnas. Dispone de un conector SIL (Single In Line) macho de 8 pines que se corresponden con las 4 filas y las cuatro columnas de las que dispone.

**4.1.2 LCD 2x16:** La pantalla de cristal líquido o LCD (Liquid Crystal Display) es un dispositivo microcontrolador de visualización gráfico para la presentación de

caracteres, símbolos o incluso dibujos (en algunos modelos), en este caso dispone de 2 filas de 16 caracteres cada una y cada carácter dispone de una matriz de 5x7 puntos (pixels), aunque los hay de otro número de filas y caracteres. Este dispositivo está gobernado internamente por un microcontrolador Hitachi 44780 y regula todos los parámetros de presentación, este modelo es el más comúnmente usado y esta información se basará en el manejo de este u otro LCD compatible.

**4.1.3 Termocuplas tipo J:** Dispositivo para la medición de la temperatura en el Exhausting.

**4.1.4 Perilla:** esta tiene internamente un potenciómetro, la función de esta perilla es graduar el contraste en el lcd.

**4.1.5 Conector:** este se utiliza para la transmisión serial de los datos de temperatura desde la unidad de semiautomatización hacia el PC.

Internamente consta de:

**4.1.6 Reloj de tiempo real (DS 1302):** El reloj de tiempo real es un integrado encargado de proporcionar el dato del tiempo. El DS1302 contiene un RTC (Real-time clock)/Calendar y 31 bytes de RAM estático. La comunicación con un microprocesador vía una interface de serie simple. El RTC/calendar proporciona segundos, minutos, horas, día, fecha, mes, e información del año, al final de cada mes la fecha es ajustado automáticamente para meses con menos de 31 días. El reloj opera en modo 24 horas o de 12 horas con indicador AM/PM. Para la aplicación presente se utiliza solo el dato del tiempo (hora, minutos y segundos, en formato de 24 horas).

**4.1.7 Amplificador operacional LM 324:** El LM324 consiste de cuatro amplificadores operacionales independientes, de alta ganancia y compensación de frecuencia interna; los cuales fueron diseñados específicamente para operar como fuentes de voltaje en una gran variedad de rangos. Sus áreas de aplicación son

extensas; ya sea como amplificadores de transductores, bloques de ganancia de DC, y todos aquellos circuitos convencionales donde se requieren amplificadores operacionales.

Sus características son las siguientes:

- \* Es compatible con todas las formas lógicas.
- \* Posee compensación de frecuencia interna.
- \* Tiene una ganancia de voltaje de 100dB.
- \* Tiene un ancho de banda de 1MHz.
- \* Puede ser alimentado desde 3V a 30V, +/- 1.5 a +/-16V.
- \* Cuenta con un voltaje de offset de 2mV y una corriente de offset de 5nA.

***Amplificador AD594:*** Circuito integrado, descrito anteriormente.

***Microcontrolador PIC 18f452:*** Circuito integrado, descrito anteriormente.

***Circuito integrado 75176:*** Interfaz para la comunicación serial, descrito anteriormente.

## 1. RESULTADOS

El diagrama de la figura 5.1 está formado por una interfaz RS-485 mostrada anteriormente encargado de la comunicación en serial. Las termocuplas, ubicadas dentro del envase de vidrio (en la cual se va hacer la medición de temperaturas en su interior) están conectadas con el compensador de temperaturas, este es el encargado de amplificar el voltaje que viene de la termocupla, este compensador entrega 10 mV/°C. Este voltaje se amplifica un número de veces y se filtra simultáneamente en un filtro activo pasa bajas, con el objeto de eliminar cualquier tipo de ruido. Este filtro es suficiente para obtener datos de temperatura confiables, debido a que el compensador, entrega la señal amplificada y limpia de ruidos.

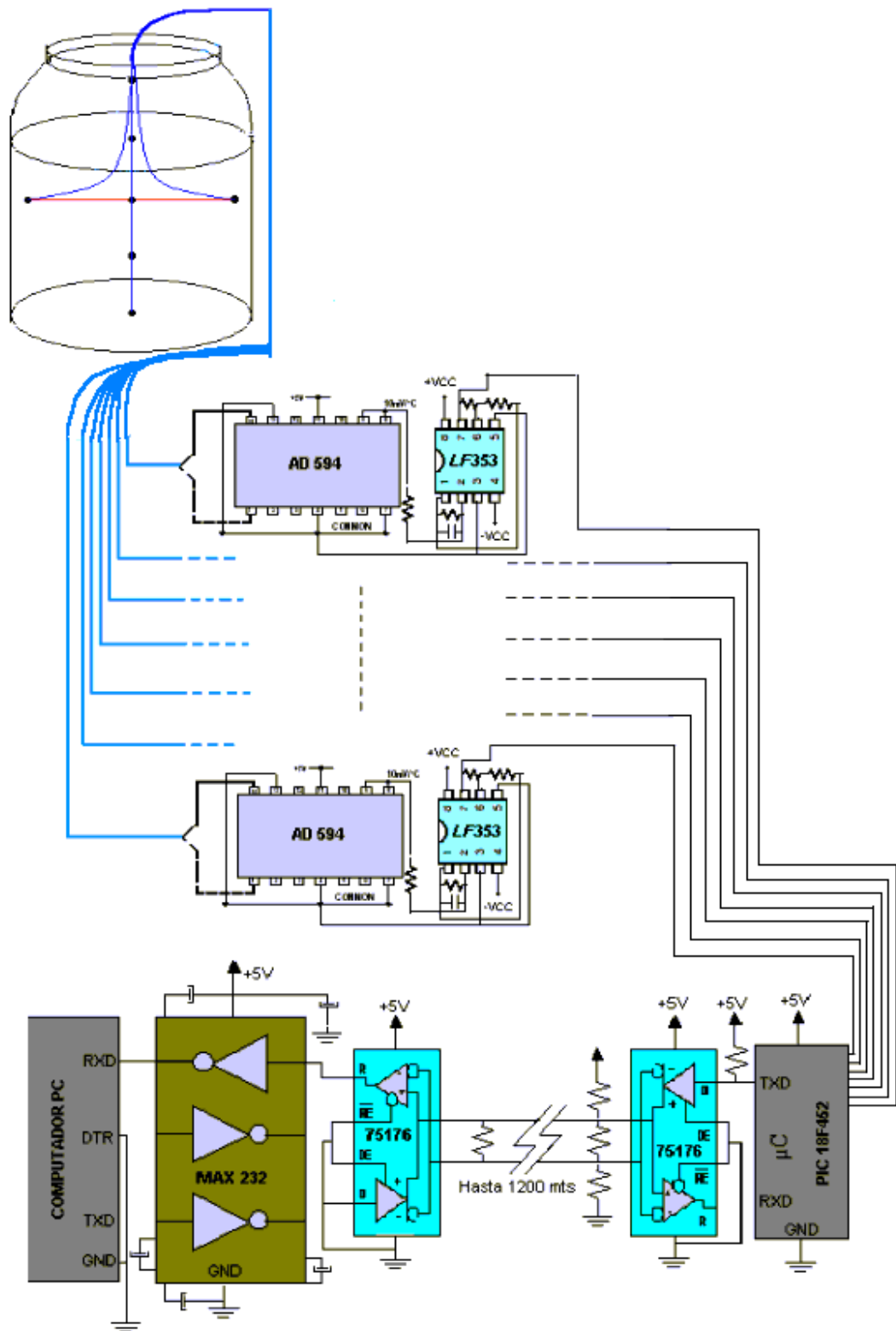
Las salidas de la señal van a los canales análogos del PIC18F452 que es el encargado de hacer la conversión análoga digital y la transmisión serial.

### 5.1 MONITOREO DE TEMPERATURAS.

Para guardar y monitorear los valores de temperatura se utiliza el lenguaje de programación grafica LABVIEW (*Laboratorio Virtual Instrument Engineering Workbench*) que es un lenguaje poderoso de instrumentación y análisis para PCs, útil para el diseño de sistemas de adquisición de datos, instrumentación y control.

Labview permite el diseño interfaces de usuario, mediante el diseño de una consola interactiva basada en software se puede diseñar especificando un sistema funcional, un diagrama de bloque o una notación de diseño de ingeniería. La filosofía de programación del lenguaje grafico toma como base la estructura de un instrumento tradicional, el cual cuenta con un panel frontal (controles, botones e interruptores).





**Figura 5.1** Diagrama general del sensado y transmisión serial de los datos de temperatura.

Un instrumento virtual (VI) es un programa diseñado en labview para que tenga las características de un instrumento tradicional.

En particular un VI tiene un panel frontal desplegado en la pantalla del computador y opera mediante el teclado o mouse.

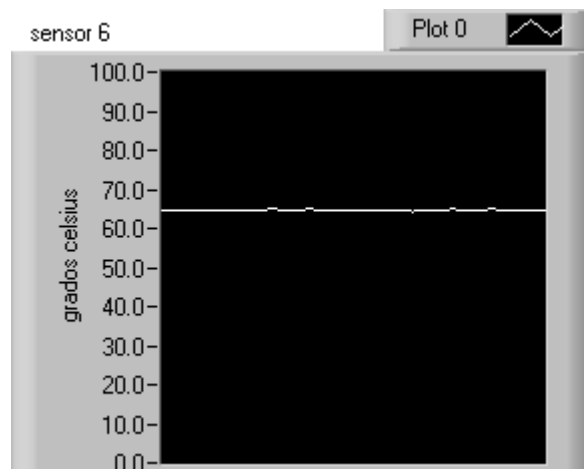
### **5.1.1 Descripción del software para el monitoreo y guardado de datos.**

El PIC hace la conversión análoga a digital de las señales de voltaje que provienen de la medición de temperaturas, en el interior del producto alimenticio. El PIC envía mediante comunicación serial la conversión análoga a digital de cada canal, uno a la vez. En el PC (en labview) esta el software para recibir cada conversión enviada por el PIC correspondiente a cada canal de forma sincronizada, el proceso es tan rápido que la temperatura se puede observar simultáneamente en cada uno de los paneles frontales.

En la figura 5.2 se muestra la ventana de conversión de solo el canal 6, pues la ventanas para los otros canales son similares por eso se omitieron.

Cada dato de cada uno de los canales que llega al software se etiqueta mediante letras para saber que dato corresponde a un determinado sensor que esta midiendo la temperatura en el interior del producto alimenticio.

Para guardar estos datos de temperatura mediante el software en *Labview*, lo hacemos de forma manual mediante el teclado del PC. El archivo del dato sensado se crea en el primer recuadro de color verde de la figura 5.3, este archivo se puede abrir mediante excel u otro software.

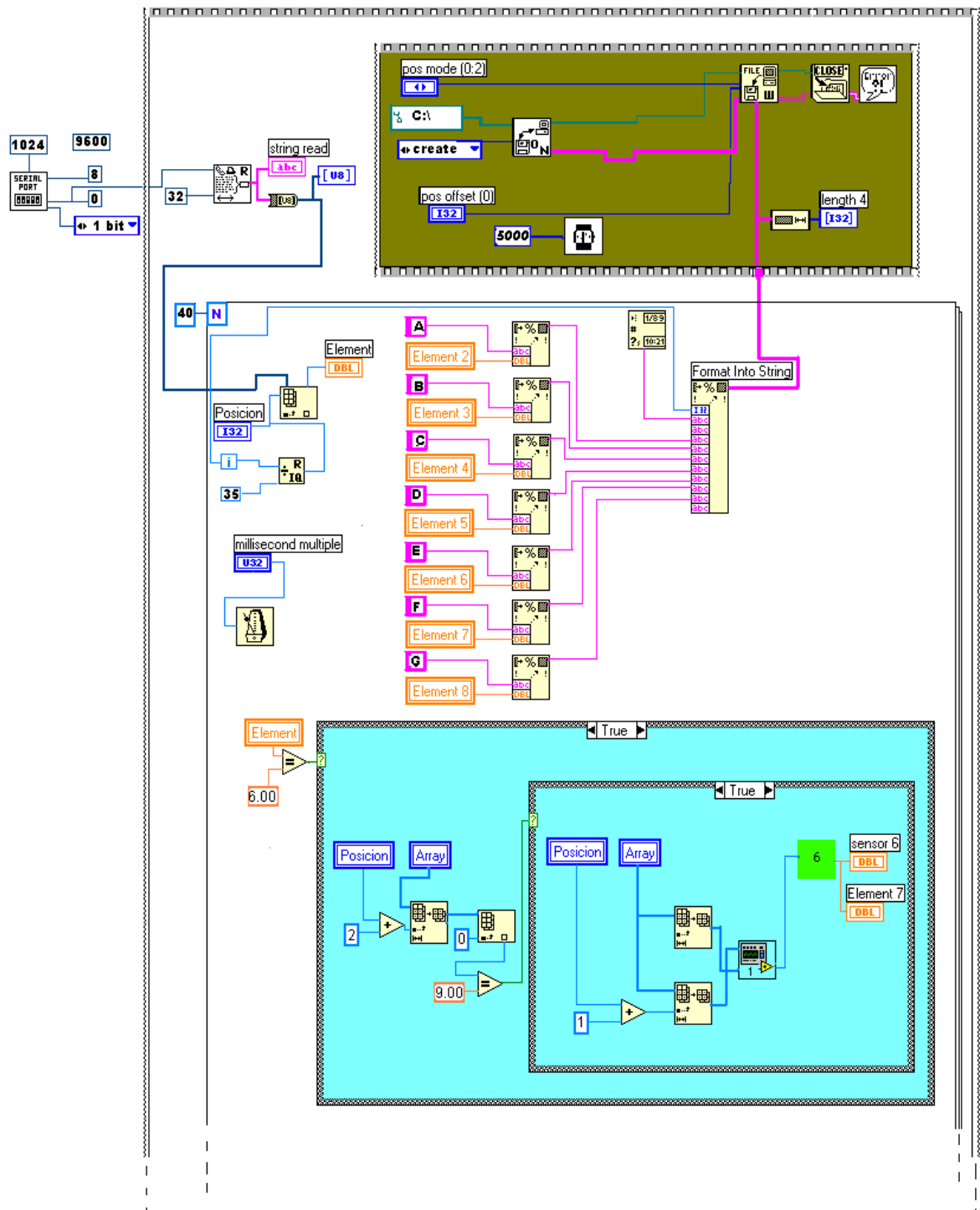


**Figura 5.2** Panel frontal para el monitoreo del canal 6 (termocupla 6).

Como el panel de la figura 5.2 hay otros que corresponden a los canales de los otros sensores.

En el diagrama de la figura 5.3 hay un recuadro color cyan con subVI (color verde) en el cual esta implementado la función de transferencia de la termocupla 6 como resultado de la caracterización de la misma, este subVI regresa el valor de la temperatura para el monitoreo en el panel frontal.

En el software de adquisición en la figura 5.3, hay un recuadro de color cyan por cada sensor de temperatura.



7

**Figura 5.3** Diagrama del software para el guardado de datos.

<sup>7</sup> Como el recuadro color cyan de la figura 5.3 hay tantos como sensores hay en el sistema de adquisición de datos.

## **5.2 IMPLEMENTACION DE LA PROPUESTA PARA LA SEMIAUTOMATIZACION DEL EXHAUSTING.**

En la figura 5.4 se muestra el esquema de la unidad de semiautomatización, continuación se describe las funciones de esta unidad.

### **5.2.1 Descripción de la unidad de monitoreo y semiautomatización.**

Desde esta unidad móvil se podrá observar la temperatura en el interior de los productos alimenticios, tiempo, cómo otras opciones para programar el movimiento de la banda transportadora, como:

- Programar temperatura.
- Programar tiempo.
- Monitoreo de temperaturas.
- Comunicación serial.

Las termocuplas se pueden conectar y desconectar para la respectiva medición, el sistema posee un mecanismo de alarma que avisa mediante una señal de un led si una termocupla conectada está dañada o mal conectada.

Antes de poder acceder a cualquier opción en el panel principal de la unidad móvil, se observa el valor de temperatura y el dato del tiempo así como indicaciones de cómo ver las otras opciones. Las opciones de programación giran entorno a las medidas de temperatura y tiempo.

Para la programación del movimiento de la banda en temperatura, el usuario, mediante el teclado digita la temperatura que desea que se mueva la banda, esta debe ser mayor que la temperatura que se está monitoreando. El valor de

temperatura programado es capturado utilizando recursos de programación del lenguaje C como arreglos, luego, este valor de temperatura se compara con el valor de temperatura monitoreado por la unidad; Cuando sus temperaturas coinciden la unidad produce una señal de voltaje que mueve la banda transportadora. La unidad de semiautomatización posee un reloj de tiempo real que le proporciona la hora continuamente. Para la programación del movimiento de la banda transportadora en tiempo se utilizo el mismo procedimiento que para la programación en temperatura, solo que para la programación en tiempo el usuario solo podrá programar los minutos mayores que los de la hora actual.

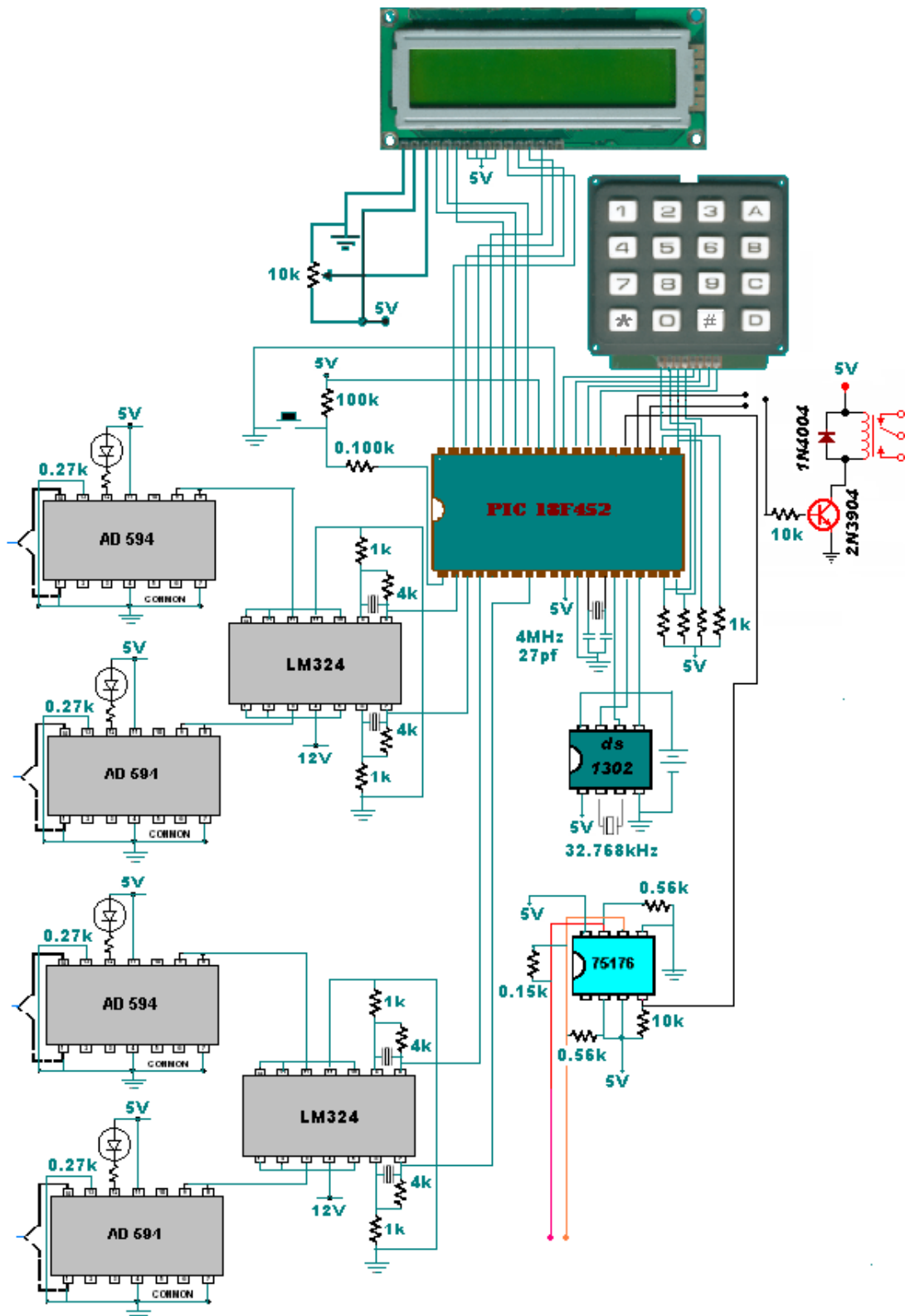


Figura 5.4 Diagrama circuital del sistema de monitoreo y semiautomatización.

El teclado matricial se utiliza para seleccionar opciones funcionales de la unidad móvil, entre ellas se tiene:

- **Programar temperatura:** En esta opción el usuario mediante el teclado podrá programar la temperatura (del interior del producto alimenticio) a la que desea que se mueva la banda transportadora, que posteriormente sacará los productos alimenticios que están sobre ellas.

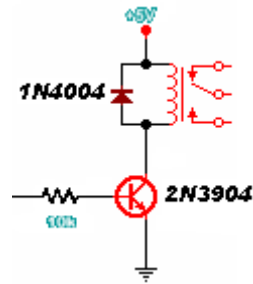
La temperatura a la que se programa la unidad móvil es mayor que 30°C, debido a que el valor de temperatura a programar para sacar el producto alimenticio sometido a vacío esta entre 70°C y 90°C valores superiores a 30.

- **Programar tiempo:** esta opción nos brinda la posibilidad de programar en tiempo el movimiento de la banda transportadora, la cual sacara los productos alimenticios del *Exhausting*. Se podrá programar los minutos de la hora actual, y los de la siguiente siempre y cuando los minuto programados de la hora siguiente no sean mayores que los de la hora actual.

El tiempo máximo del movimiento de la banda transportadora corresponde a un recorrido completo de esta, que dura alrededor de los 58 Segundos.

Tanto la opción para programar tiempo como la opción para programar temperatura tienen salidas independiente, el usuario solo conectara la interfaz de semiautomatización en los pines RC4 o RC5 del PIC 18F452, dependiendo de la programación en temperatura o tiempo.





**Figura 5.5** Interfaz para la semiautomatización del Exhausting.

Cuando se programa tiempo o temperatura, un pin o salida del PIC saca un nivel lógico alto, al cual se conecta la interface anterior.

Esta interfaz mediante el relé, produce el movimiento del motor que acciona la banda transportadora.

- **Monitoreo de temperaturas:** Esta opción permite el monitoreo de varias temperaturas al mismo tiempo, si se quiere observar las temperatura en diferentes puntos dentro del producto alimenticio. Esta parte de la unidad móvil utiliza termocuplas, compensadores amplificadores operacionales etc. Cabe mencionar que las termocuplas para esta opción deben estar conectadas a la unidad móvil.
- **Comunicación serial:** En la opción de monitoreo de temperatura hay otra opción para enviar los datos a un PC vía serial y poder hacer el monitoreo a distancia mediante un programa en LABVIEW.

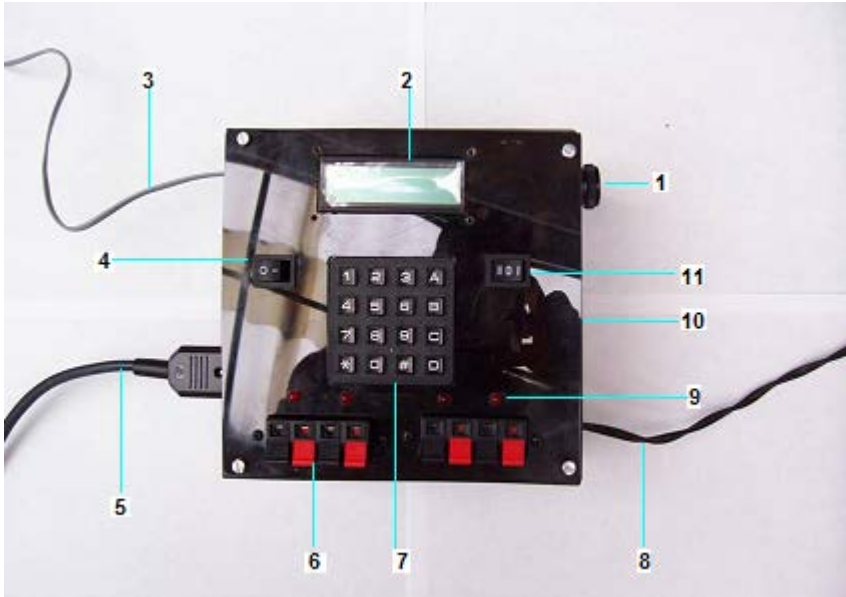
Cundo se ingresa a las opciones de programación estas tienen opciones para borrar y retornar al panel principal.

Mediante esta opción se puede guardar los datos de temperatura en el tiempo de los sensores.

Nota: la fotografía de la unidad terminada se anexara para el informe corregido.



Figura 5.6 Equipo para la semiautomatizacion del exhausting.



Partes del equipo de semiautomatización.

1. Perilla
2. Pantalla lcd 2x16.
3. Cable para la comunicación serial.
4. switch on/off.
5. Salida para la semiautomatización.
6. conectores para la termocupla.
7. Teclado matricial.
8. Cable para la alimentación del equipo.
9. Led alarma.
10. Reset.
11. Switch para seleccionar opción

### **5.3 ENSAYO SOBRE EL COMPARTAMIENTO DE LA PROPAGACION DE CALOR EN CONSERVAS DE ALIMENTOS.**

Para el estudio de la conducción del calor en productos alimenticios se trabajó con dos productos diferentes; Piña en almíbar y Encurtidos. Para la preparación de la piña en almíbar hay que tener en cuenta los grados brix del líquido de gobierno, estos miden la cantidad de **sólidos solubles** presentes en la pulpa expresados en porcentaje de sólidos solubles. Los sólidos solubles están compuestos por los azúcares, y ácidos orgánicos presentes en los jugos de las células de una fruta. Se determinan empleando un refractómetro calibrado, y a 20 °C. Si la pulpa o jugo se hallan a diferente temperatura se podrá realizar un ajuste en °Brix, según la temperatura en que se realice la lectura. Los sólidos solubles además de contribuir a la calidad del producto alimenticio ayudan a la transferencia de la energía térmica del medio líquido al interior de los cuerpos sólidos que están en el interior del producto alimenticios.

### **5.4 DESCRIPCION DEL AMBIENTE DE MEDICION.**

Las respectivas mediciones de temperaturas se llevaron acabo en el interior del producto alimenticio ubicado dentro del *Exhausting*, este posee en los extremos un conjunto de cortinas de hule que son las encargadas de retener parcialmente el vapor antes de que pueda escaparse de su interior. Posteriormente se calienta el producto alimenticio con vapor de agua que viene de una caldera a una presión de 20 Psi y a una temperatura que en el interior del *Exhausting* varia de 88°C a 96°C de extremo a extremo, este estado no homogéneo de la temperatura es debido a la falta de algunas cortinas de hule encargadas de retener el vapor en su interior, y que de alguna manera afecta el proceso de hacer vacío en los productos alimenticios.

Dependiendo del producto alimenticio es necesario saturar el túnel de vacío con vapor vivo aproximadamente a 96 °C para que los productos logren evacuar el

oxígeno presente en el líquido de gobierno, espacios intercelulares del alimento y espacio de la cabeza del frasco, lográndose con esto hacer vacío para proceder a tapar herméticamente y posteriormente realizar la esterilización de los productos.

## **5.5 MEDICIONES DE TEMPERATURA PIÑA EN ALMÍBAR Y ENCURTIDOS.**

En las prácticas en el exhausting, parcialmente se sellaron los extremos para minimizar el escape de vapor debido a la falta de algunas cortinas de hule que realizan esta función, esto hace que la temperatura se vuelva más homogénea tanto en los extremos como en el centro.

**Pina en almíbar** / prueba 1.

Presión 20psi.

Temperatura máx. : Exhausting Extremo izquierdo 94 °C.

Temperatura máx. : Exhausting Extremo derecho 94 °C.

Los grados brix de la piña y almíbar son similares porque el producto se encuentra en equilibrio osmótico con 20°Brix

Volumen 339.29 cm<sup>3</sup>.

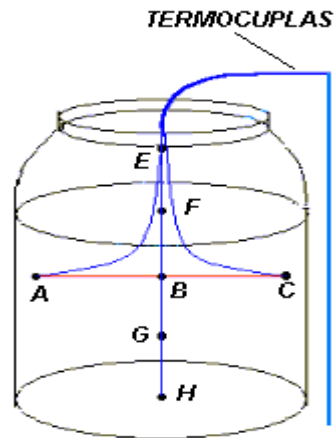
Peso piña 335 gr.

Edad producto 1 año.

Distancia entre termocuplas eje horizontal 3cm.

Distancia entre termocuplas eje vertical 2.75cm.

Disposición de las termocuplas.



**Figura 5.7** Esquema de las termocuplas en el interior del producto alimenticio para Piña en almíbar prueba 1.

La tabla de datos, muestra la hora de la toma del dato y temperaturas de los puntos A, B, C, E, F, G, H.

**Tabla 5.1** Datos de temperatura en el tiempo de pina en almíbar prueba1.

Tiempo (s)	A	B	C	E	F	G	H
	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)
3:39:00	50.06	52.63	51.86	44.33	50.42	48.88	43.51
3:40:01	50.06	52.057	53.38	48.90	49.26	46.20	40.45
3:41:00	59.57	52.72	61.00	57.28	50.03	42.75	41.22
3:42:00	68.32	57.00	69.01	67.20	48.50	48.12	44.28
3:43:04	71.75	63.19	73.96	70.25	51.95	54.63	49.27
3:44:01	76.69	67.18	77.01	74.44	56.16	60.38	55.02
3:45:00	78.98	70.32	80.83	77.49	57.70	63.45	59.23
3:46:00	81.26	72.32	81.59	78.25	59.62	68.43	61.91
3:47:00	82.40	75.08	83.88	79.01	63.45	70.35	64.98
3:48:01	86.59	76.12	86.16	80.16	66.90	71.88	67.28
3:49:00	86.97	77.55	87.31	82.44	68.43	74.18	68.82
3:50:01	89.25	79.55	88.07	83.21	72.27	74.95	71.88
3:51:00	88.49	81.35	89.21	83.97	72.65	76.48	74.18
3:52:16	89.63	82.59	90.36	83.97	75.72	78.02	75.33
3:53:01	89.25	82.87	91.11	84.35	77.25	78.78	75.72
3:54:03	90.39	83.54	90.74	84.73	77.63	81.47	74.95
3:55:00	89.25	85.36	91.12	87.01	79.55	81.85	76.87

**Encurtido** /prueba 1.

Presión 20psi.

Temperatura máx. : Exhausting Extremo izquierdo 94 °C.

Temperatura máx. : Exhausting Extremo derecho 94 °C.

Volumen 709.31cm<sup>3</sup>.

Peso encurtido 570 gr.

Edad producto 1 año.

Distancia entre termocuplas eje horizontal 4 cm.

Distancia entre termocuplas eje vertical 3 cm.

Disposición de las termocuplas: similar a la mostrada en la figura 5.7

La siguiente tabla de datos, muestra la hora de la toma del dato y las temperaturas de los puntos A, B, C, E, F, G, H.

**Tabla 5.2** Datos de temperatura en el tiempo de encurtido.

Tiempo(s)	A	B	C	E	F	G	H
	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)
12:50:02	58.4	53.9	64.0	69.2	70.2	63.8	49.4
12:51:02	64.5	53.4	67.1	77.6	75.2	61.9	52.8
12:52:02	71.7	53.1	72.0	81.0	77.4	62.3	53.6
12:53:01	75.1	52.4	75.1	83.0	80.5	62.3	55.9
12:54:16	81.6	53.6	80.8	85.6	81.6	62.6	60.5
12:55:02	84.3	55.8	82.3	86.0	83.5	64.2	60.5
12:56:02	86.9	59.2	83.1	86.8	85.1	65.3	61.7
12:57:33	88.4	64.5	84.6	87.6	87.7	71.8	64.7
12:58:01	88.8	65.1	85.0	88.7	87.7	74.1	65.5
12:59:02	89.6	67.8	85.7	88.7	88.5	76.8	68.2
1:01:32	92.2	71.7	88.0	89.9	90.4	78.7	72.0
1:02:21	93.8	75.6	88.4	90.2	91.2	81.4	75.8
1:03:33	93.4	76.2	89.5	90.2	91.9	84.5	77.4
1:04:46	92.6	77.9	91.1	90.6	92.7	85.6	78.1
1:06:32	91.9	79.7	91.8	91.8	93.6	85.3	82.4

## **5.6 ANALISIS DE LOS DATOS DE TEMPERATURA MEDIDOS PIÑA EN ALMIBAR Y ENCURTIDOS prueba 1.**

En este análisis interesa saber el comportamiento de la energía térmica respecto al tiempo y la variación de distancia hacia el centro del frasco. Este análisis se hace en cada uno de los puntos. Como indicador de la energía térmica medimos la temperatura en cada uno de los puntos.

Como se observar en la figura 5.7 la variación de temperatura ocurre primero en los puntos más externos del producto alimenticio, puntos (A, C, E, H) y posteriormente los puntos más internos (B, F, G,). En los puntos (B, F, G,) en los primeros minutos la temperatura muestra un comportamiento en la que la temperatura no aumenta, esto es debido a que la energía térmica no ha llegado ha ese punto, si se comparan los puntos B, F, G y los puntos A, C, E, H, se puede observar que la energía térmica varia primero en los puntos A, C, E, H, que son los puntos más externos.

Los últimos datos de temperatura en cada uno de los puntos indican que la variación de temperatura cada minuto es menor, esto significa que se empieza a llegar al equilibrio térmico que esta alrededor de los 94 °C, si se observa los únicos puntos simétricos A y C en el almíbar, donde el flujo de energía térmica es similar, las temperaturas son casi idénticas y se mantienen muy similares durante el proceso de transmisión de calor, además la variación de temperatura minuto a minuto en estos puntos(A y C) es similar, esto no se cumple para el encurtido, donde probablemente la causa sea porque el encurtido es una mezcla no muy homogénea, pues esta formada por formas y tamaños de partículas heterogéneas, en la cual cada uno tiene una capacidad calórico diferente.



***En puntos simétricos de una sustancia homogénea (composición y densidad), el flujo de energía térmica o gradiente tiende a ser igual, siempre y cuando el flujo de calor proporcionado sea similar por todos los lados del frasco que contiene el producto alimenticio.***

En el almíbar en el punto B (ubicado en el centro) la temperatura tarda aproximadamente en 15 minutos para alcanzar los 85°C, si se tiene en cuenta que este tiempo es determinado en el momento en que empieza a incrementarse la temperatura no en el momento en que se le inicia a proporcionar energía térmica al producto alimenticio.

Se debe tener en cuenta que la temperatura en un punto determinado no empezara a cambiar si no le ha llegado el flujo de la energía térmica y este depende de la ubicación de la termocupla dentro del frasco, así que se espera que los puntos más externos aumenten de temperatura un poco más temprano que los puntos más internos.

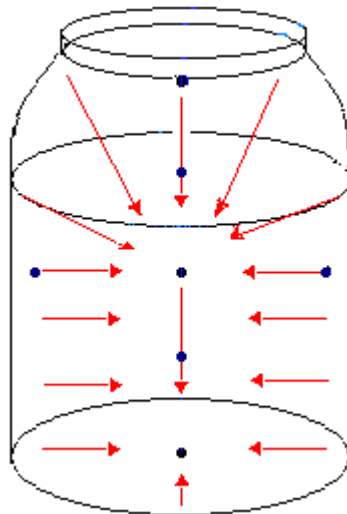
Se puede observar en la figura 5.7 que la diferencia de temperatura oscila entre 7 y 10 grados centígrados en el punto A y el punto C respecto al punto central B; esto indica que el flujo de energía hacia el centro del producto alimenticio es casi homogéneo, obviamente esta diferencia decrece cuando se acerca al equilibrio térmico; en el encurtido, la diferencia de temperatura entre el punto A y el punto C es un poco diferente respecto de la diferencia de temperatura entre el punto B y el punto central C, esto debido probablemente a una mayor heterogeneidad del producto alimenticio.

También se puede observar en los datos que la diferencia de temperatura entre los puntos externos A y C respecto del punto central C en el encurtido es mayor que la del almíbar en los mismos puntos, esto debido a la diferencia de diámetro entre los frascos que contienen los productos alimenticio, pues el diámetro del frasco que contiene el encurtido es mucho mayor que la del almíbar.

Hay un aspecto que no se ha tocado, el cual se refiere a la cantidad de producto alimenticio en el interior de los frascos con los distintos productos; Pues entre más denso sea un producto alimenticio más tiempo le tomara al punto central llegar a una determinada temperatura; De modo que se podría sugerir una relación entre la masa del producto y el tiempo en la cual se llega a una determinada temperatura en un punto en el interior del producto.

***El tiempo empleado para que la temperatura en un punto dado llegue a un valor determinado, es directamente proporcional a la densidad del producto alimenticio y a la distancia desde un extremo lateral hacia centro del frasco.***

La probable dirección de flujo de energía térmica dentro del producto alimenticio ubicado en el interior del exhausting se muestra en la siguiente figura.



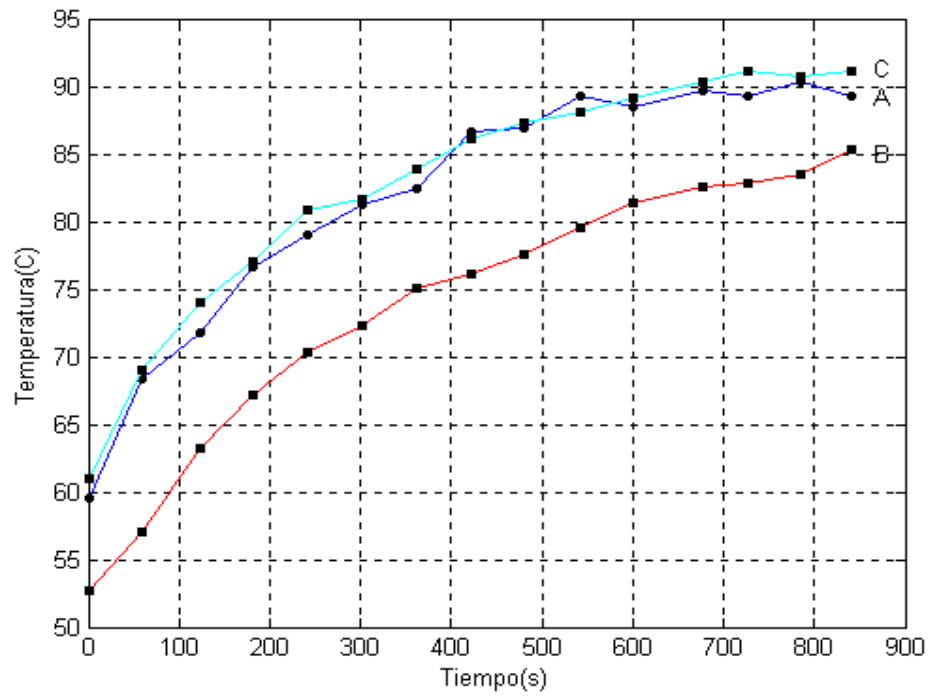
**Figura 5.8** Dirección de flujo de calor.

El principal flujo de energía térmica de los puntos que están en la línea central (excepto los puntos extremos) del frasco provienen del flujo representado por las líneas horizontales, el flujo de energía térmica antes de llegar de la parte superior del frasco llega de los lados por que la distancia hacia el centro es menor. El flujo de energía térmica de los puntos centrales extremos proviene principalmente no de los lados sino de la energía térmica de la banda en el caso del punto sobre la base del frasco y el flujo de energía térmica que pase sobre la tapa para el caso de punto más cercano a esta:

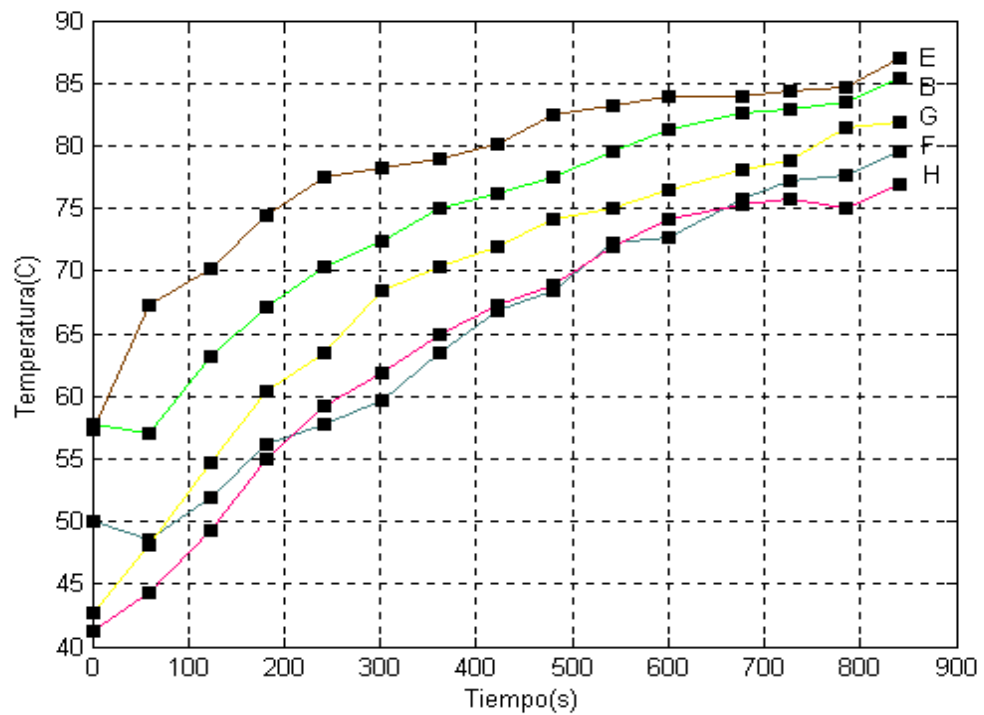
***Un punto determinado en el interior de un producto alimenticio, recibirá primero la contribución de flujo de energía térmica de la dirección de un vector que me represente la menor trayectoria respecto del medio externo.***

La variación de temperatura en función del tiempo en cada uno de los puntos señalados se representa mediante las siguientes graficas, además se puede observar la variación de esta con la distancia.

Graficas de los datos de piña en almíbar.

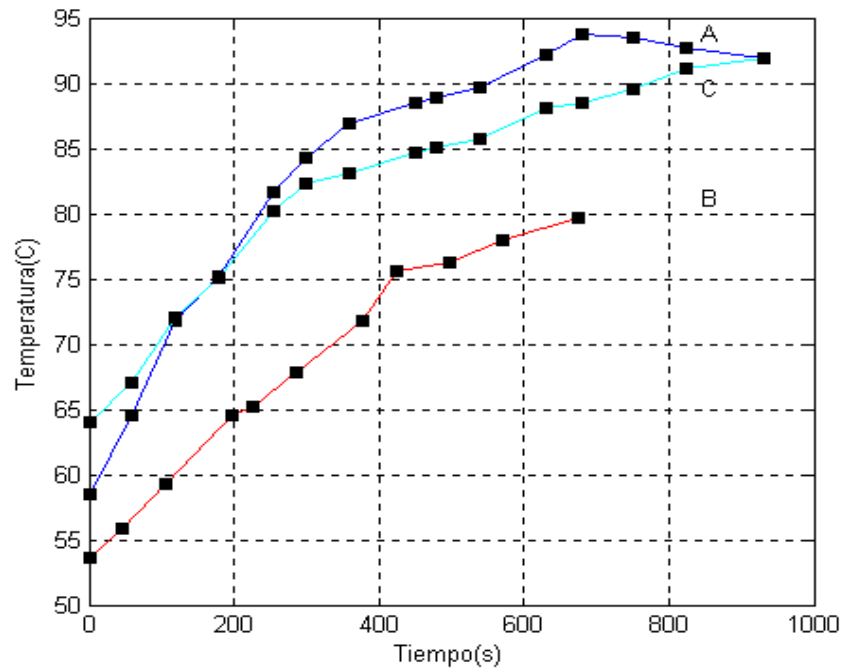


**Figura 5.9** Grafica de los puntos A, B, C sobre eje horizontal de la figura 5.7.

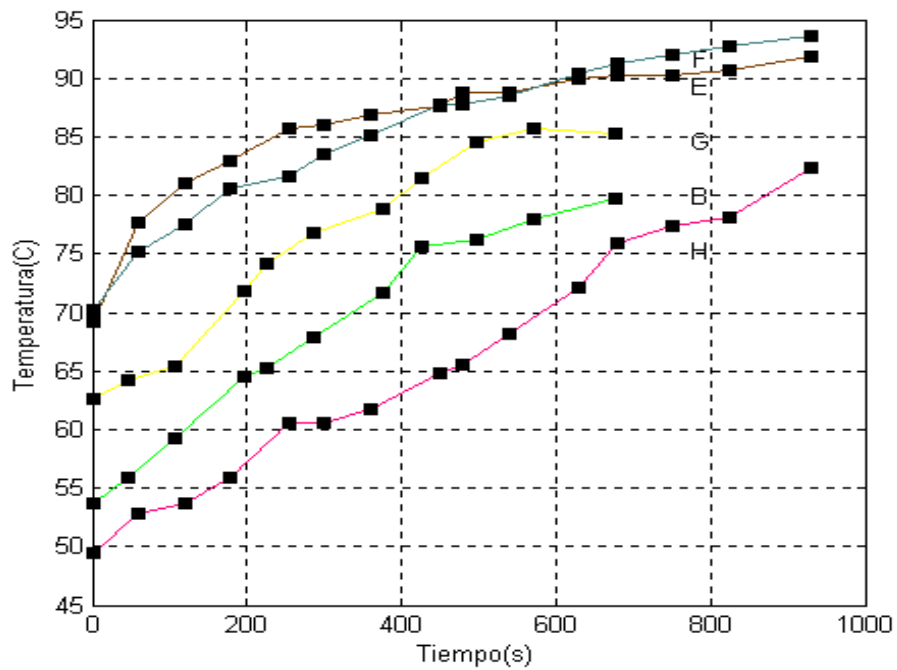


**Figura 5.10** Grafica de los puntos E, F, B, G, H sobre eje vertical de la figura 5.7.<sup>8</sup>

<sup>8</sup> Anexo A tabulación de los datos reportados en la grafica.



**Figura 5.11** Graficas de los puntos A, B, C sobre el eje horizontal de la figura 5.7.



**Figura 5.12** Graficas de los puntos E, F, B, G, H sobre el eje vertical de la Fig. 5.7<sup>9</sup>

<sup>9</sup> Para ver las graficas de cada uno de los puntos consultar el anexo B.

Un análisis de las graficas de temperatura en función del tiempo en cada uno de los puntos a lo largo del eje horizontal y algunos puntos del eje vertical de la figura 5.7 revela que estas describen el comportamiento de la ley de enfriamiento de newton, es decir:

$$T=T_0 + Ae^{(-t/k)} \quad A = (T(0)-T_0) \quad [5.1]$$

Donde  $T_0$   $\equiv$  temperatura del medio.

$T(0)$   $\equiv$  temperatura inicial del objeto

$t$   $\equiv$  tiempo.

$k$   $\equiv$  constante de tiempo característico del calentamiento

Las anteriores graficas se hicieron con los datos tomados donde empieza a crecer la temperatura.

Como se puede observar las graficas de los puntos extremos excepto el punto H de la figura 5.7 son más curvas que la de los puntos más internos, esto indica que a medida que se acerca al centro del frasco las curvas se vuelven un poco, tendiendo hacia una línea recta, esto sucede por que los puntos más externos reciben primero el flujo de energía, lo que no sucede con el punto H por que el flujo hacia este punto no es tan inmediato como en los otros puntos más externos.

En la siguiente medición de encurtido se redujo el escape de vapor considerablemente del interior del exhausting, a demás la masa del encurtido se redujo un poco con respecto a la cantidad que usualmente se trabaja.

### **Encurtido / prueba 2.**

Presión 20psi

Temperatura máx. : Exhausting Extremo izquierdo 94 °C

Temperatura máx. : Exhausting Extremo derecho 94 °C

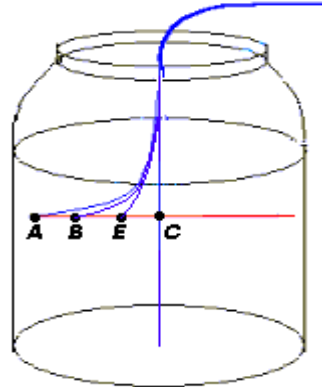
Volumen frasco de vidrio 709.3 cm<sup>3</sup>

Peso encurtido 360 gr. (disminuida)

Edad producto reciente.

Distancia entre termocuplas eje horizontal (A-B-E-C) 1.12cm.

Disposición de las termocuplas.

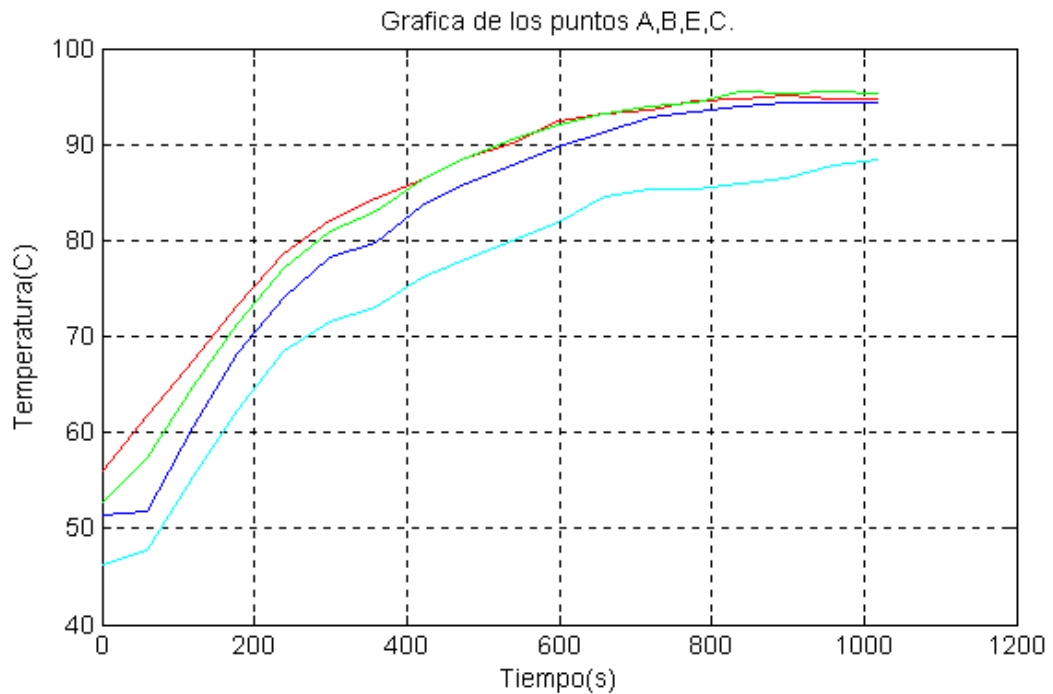


**Figura 5.13** Esquema de las termocuplas en el interior del producto alimenticio para Encurtido

**Tabla 5.3** Datos de temperatura y tiempo, medidos en cada punto encurtido prueba 2.

Tiempo	Punto A	Punto B	Punto E	Punto C
t(s)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)
11:18:42	56.0	52.8	51.4	46.2
11:19:41	61.7	57.4	51.8	47.7
11:20:41	67.5	64.8	60.7	55.4
11:21:41	73.3	71.3	68.3	62.3
11:22:41	78.6	77.1	74.1	68.4
11:23:41	82.0	81.0	78.3	71.5
11:24:41	84.3	83.0	79.8	73.0
11:25:41	86.3	86.3	83.6	76.1
11:26:41	88.6	88.6	85.9	78.0
11:27:41	90.1	90.5	87.9	79.9
11:28:41	92.4	92.0	89.8	81.8
11:29:41	93.2	93.2	91.3	84.5
11:30:41	93.5	93.9	92.9	85.3
11:31:41	94.5	94.4	93.3	85.3
11:32:41	94.7	95.4	94.0	86.0
11:33:41	95.1	95.3	94.4	86.4
11:34:41	94.7	95.5	94.4	87.9
11:35:41	94.7	95.3	94.4	88.4

En la siguiente figura A-rojo, B-verde, E-azul, C-cyan.



**Figura 5.14** Grafica de los puntos A, B, E, C para encurtido prueba 2.

#### **Análisis de la grafica de la figura 5.14.**

Como se puede observar en la grafica anterior, cuando se redujo la masa del producto alimenticio y la cantidad de pérdida de vapor del exhausting, las temperatura en los puntos crecen mas rápido y llegan al valor de la temperatura del medio, es decir la del interior del *Exhausting* en un menor tiempo.

En el punto central, la temperatura llega a 85 °C en un tiempo promedio de 12 segundos, y como podría esperarse una vez iniciado el proceso las temperaturas en todos los puntos crecen rápidamente debido a que el flujo de energía térmica se mueve muy rápido hacia el centro.



Estas graficas describen el comportamiento de la ley de enfriamiento de newton, es decir:

$$T=T_0 + Ae^{(-t/k)} \quad A = (T(0)-T_0) \quad [5.2]$$

Donde  $T_0$   $\equiv$  temperatura del medio.

$T(0)$   $\equiv$  temperatura inicial del objeto.

$t$   $\equiv$  tiempo.

$k$   $\equiv$  constante de tiempo característico del calentamiento.

Se hicieron varias mediciones con la siguiente disposición de termocuplas para estudiar el fenómeno más afondo, y a diferencia de las otras mediciones en las siguientes se minimizo la perdida de vapor por los extremos del *Exhausting*, con el objeto de minimizar el efecto producido por la falta de algunas cortinas de hule. Esto implico un aumento de la temperatura interna en el *Exhausting*.

#### **Piña en almíbar /prueba 2.**

Presión de vapor proveniente de la caldera: 20psi.

Temperatura máx. : Exhausting Extremo izquierdo 95 °C.

Temperatura máx. : Exhausting Extremo derecho 96 °C.

°Brix del almíbar: 65.

Volumen frasco de vidrio 339.29 cm<sup>3</sup>.

Peso piña 230 gr.

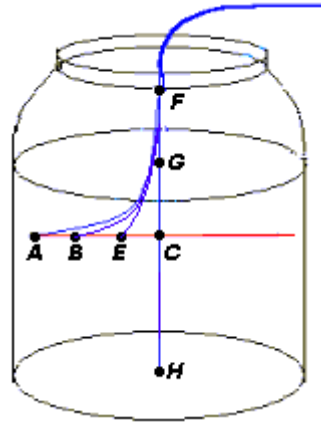
Edad producto reciente.

Distancia entre termocuplas eje horizontal (A-B-E-C) 1cm.

Distancia entre termocuplas eje vertical (F-G-C) 2.75cm.

Distancia entre termocuplas eje vertical (C-H) 5.5cm.

Disposición de las termocuplas.



**Figura 5.15** Esquema de las termocuplas en el interior del producto alimenticio Piña en almíbar /prueba 2.

**Tabla 5.4** Datos de temperatura y tiempo, medidos en cada punto P. almíbar prueba 2.

Tiempo	Punto A	Punto B	Punto E	Punto C	Punto F	Punto G	Punto H
t(s)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)
10:38:20	55.9				67.1		
10:39:00	66.8				76.3	64.8	
10:40:01	74.5	57.4			81.6	68.6	
10:41:00	77.2	59.1			87.4	74.3	
10:42:00	79.1	60.7	53.0		89.3	77.8	
10:43:04	79.5	62.1	57.0	56.8	93.5	82.4	56.2
10:44:01	81.8	65.7	59.2	60.2	95.0	84.7	59.6
10:45:00	84.5	66.3	61.5	61.4	96.2	87.0	60.8
10:46:00	86.4	71.3	64.0	64.1	97.1	90.4	61.5
10:47:00	88.3	72.9	69.6	65.2	97.5	92.4	63.5
10:48:01	89.1	74.6	70.4	68.3	97.5	93.9	63.8
10:49:00	89.8	76.4	72.0	69.8	97.5	95.8	65.0
10:50:01	90.2	77.0	75.4	72.1	97.5	95.8	66.1
10:51:00	90.6	78.7	76.9	74.4	97.5	96.6	67.3
10:52:16	91.7	80.1	76.3	75.6	97.5	97.7	68.3

10:53:01	91.7	80.7	78.7	75.9	97.5	97.6	69.2
10:54:03	91.7	80.9	79.6	77.5	97.5	97.7	70.0
10:55:00	91.7	82.3	80.3	78.6	97.5	97.7	71.1
10:56:00	91.7	82.6	81.1	80.2	97.5	97.7	71.9
10:57:00	92.1	83.4	82.1	81.7	97.5	97.7	73.0
10:58:00	92.1	84.7	83.6	82.8	97.5	97.7	73.8
10:59:00	92.1	84.9	84.0	84.0	97.5	97.6	73.8
11:00:00	92.1	85.1	84.2	85.1	97.5	97.7	74.6
11:01:00	92.1	85.3	84.7	85.5	97.5	97.7	74.9
11:02:00	92.1	86.6	84.7	86.3	97.5	97.7	75.0

En la tabla 5.4, se muestran los valores de temperatura cuando ésta empieza a incrementarse.

## **5.7 ANALISIS DE LOS DATOS DE TEMPERATURA MEDIDOS PIÑA EN ALMIBAR Y ENCURTIDO prueba 2.**

Como se puede observar en la figura 5.15 los valores de temperatura en el punto A y F ubicados cerca a la pared y tapa del frasco, la temperatura aumenta rápidamente, debido precisamente a que son puntos apartados respecto del centro del frasco, aquí el flujo de energía térmica es más intenso, exceptuando el punto H.

Uno de los aspectos que hay que tener en cuenta a la hora de la preparación del producto alimenticio, es la temperatura de la mezcla piña y almíbar, puesto que de este factor depende que la temperatura interna cuando se efectúa el proceso de vacío en el interior del producto alimenticio llegue al valor deseado. Para el caso 85 °C en un tiempo dado.

Otro factor que hay que tener en cuenta durante el proceso de evacuación del aire del interior del producto alimenticio, es el flujo de energía térmica, pues viaja de la parte más externa a la parte más interna (centro del frasco) y esto le toma tiempo según el producto alimenticio y condiciones del proceso.

Como consecuencia, algunos puntos en el interior del producto alimenticio simétricos al centro de este empezaran a aumentar su temperatura mucho antes que los puntos más internos.

*En cada una de las pruebas o mediciones que se hizo, cuando la temperatura de la mezcla piña-almíbar en los puntos B, E, C como indica la figura 5.15 llega a 60°C, hasta el valor de 84±1°C, le toma aproximadamente 14±1 seg.*

Lo anterior indica que el flujo de energía llega primero al punto A, este se incrementa rápidamente por su cercanía a la pared del frasco que contiene el producto alimenticio, luego el flujo pasa al punto B, cuando la temperatura en este punto este en 60 °C, para llegar a 84±1 °C, le toma aproximadamente 14±1 seg. Luego el flujo llega al punto E y ocurre lo mismo que en el punto B y posteriormente el flujo llega al punto C donde ocurre lo mismo.

**Tabla 5.5** Temperatura inicial y final en los puntos A, B, E, C.

	°C ±1	t (seg.) ±1	punto
T <sub>i</sub>	60	0	A
T <sub>f</sub>	85	8	
T <sub>i</sub>	60	0	B
T <sub>f</sub>	84	15	
T <sub>i</sub>	60	0	E
T <sub>f</sub>	83	15	
T <sub>i</sub>	60	0	C
T <sub>f</sub>	84	15	

T<sub>i</sub> : Temperatura inicial. T<sub>f</sub> : Temperatura final.

Si el valor de temperatura del producto piña-almíbar a la hora de colocarlo en el interior del exhausting, está a una temperatura menor de 60 °C, se necesitará más tiempo para alcanzar los 85 °C en el interior del producto alimenticio, especialmente en el centro del mismo. Para los puntos sobre el eje vertical, el flujo de energía térmica tiene un comportamiento diferente. En los puntos F y G el flujo

de energía térmica es más rápido que en otros puntos, Lo que significa una mayor variación de temperatura en los mismos debido a que estos puntos están cerca a la tapa del producto alimenticio; como ésta es metálica la transferencia de energía térmica a través de ésta es mucho mayor que a través de la pared de vidrio del producto alimenticio.

El flujo de energía sobre la base del producto alimenticio, es el menor comparado con el flujo en otros puntos del frasco, por que en este, el flujo de energía proviene de la parte superior del frasco y de los lados del mismo, por eso se demora un poco más en llegar.

Esto hace que en el proceso de vació en el interior del producto alimenticio ubicado en el interior del exhausting durante un tiempo de 15 minutos, la temperatura permanezca en un rango de 75 a 80 grados, siendo la parte del producto alimenticio con la temperatura más baja.

El flujo de calor no se siente igual en todos los puntos en el interior del producto alimenticio, es decir, casi instantáneamente cuando empieza el proceso de evacuación de aire del interior del producto alimenticio, se siente el flujo de calor en el punto A, unos minutos más tarde se siente el flujo en el punto B, luego en el punto C y así sucesivamente, lo mismo sucede con los puntos sobre el eje vertical, pero mientras el flujo de energía no llegue aun determinado punto la temperatura en este punto no aumenta.

Según los datos tomados para la piña en almíbar, se muestra en la siguiente tabla, el punto y el tiempo en la cual se siente el flujo de la energía térmica.

**Tabla 5.6** Puntos sobre el eje horizontal.

D(cm.)	Punto	T(min.)
0	A	0
1	B	2
2	E	4
3	C	5

D: distancia de la pared del frasco del producto alimenticio al eje central de este.  
t: tiempo transcurrido en minutos.

**Tabla 5.7** Puntos sobre el eje vertical

D <sub>i</sub> (cm.)	punto	T(min.)
0	F	0
2.75	G	1
11	H	5

D<sub>i</sub>: distancia de la tapa del frasco a los puntos sobre el eje central.

t: tiempo transcurrido en minutos.

El punto H es el que esta en la base del frasco, por tanto el flujo inicial que se siente proviene de la pared del mismo.

Las graficas de cada punto se construyeron con los valores de temperatura que inician el crecimiento de ésta, es decir con valores de temperatura que estaban en aumento.

Mediante un análisis de regresión, las graficas de temperatura en función del tiempo en cada uno de los puntos a lo largo del eje horizontal de la figura 5.15 revelan que estas describen el comportamiento de la ley de enfriamiento de newton, es decir:

$$T = T_0 + Ae^{(-t/k)} \quad A = (T(0) - T_0) \quad [5.3]$$

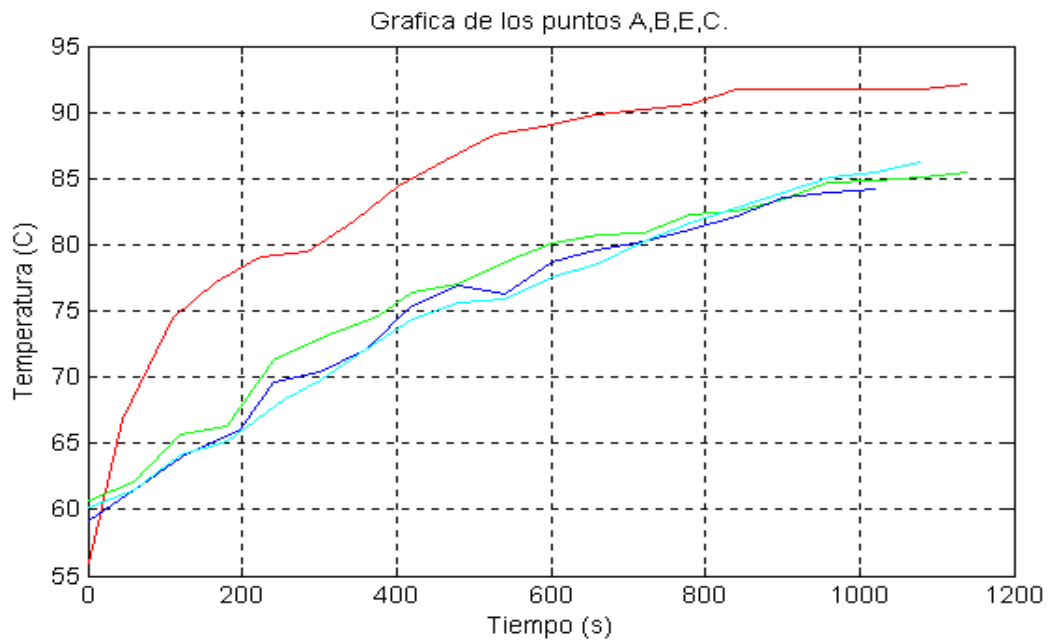
Donde  $T_0 \equiv$  temperatura del medio.

$T(0) \equiv$  temperatura inicial del objeto.

$t \equiv$  tiempo.

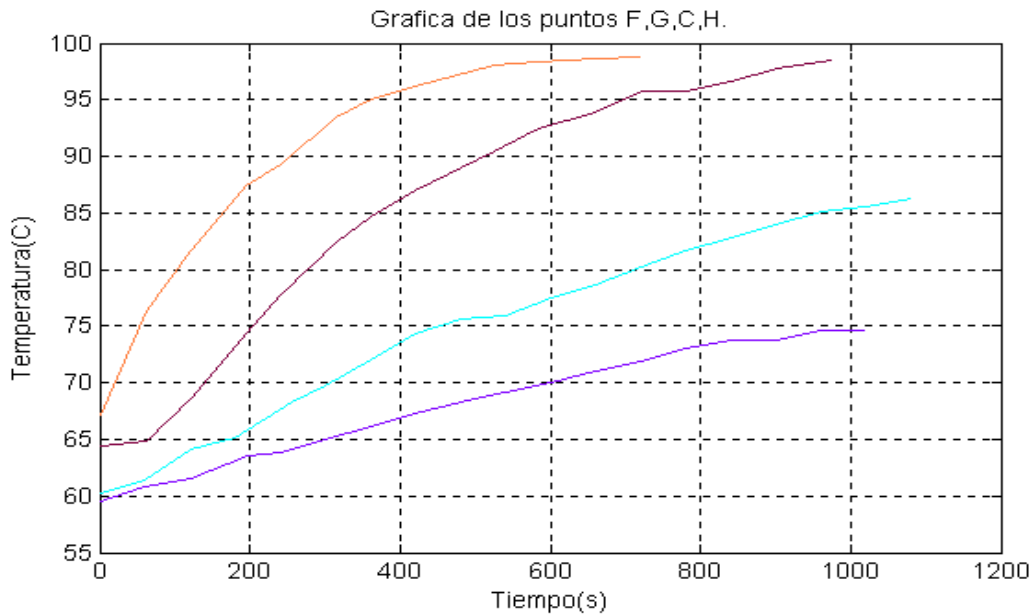
$k \equiv$  constante de tiempo característico del calentamiento.

En la siguiente figura: A-rojo, B-verde, E-azul, C-cyan.



**Figura 5.16** grafica de los puntos A, B, E, C para Productos en almíbar<sup>10</sup> prueba 2.

En la siguiente figura: F-zapote, G-vinotinto, C-cyan, H-violeta.



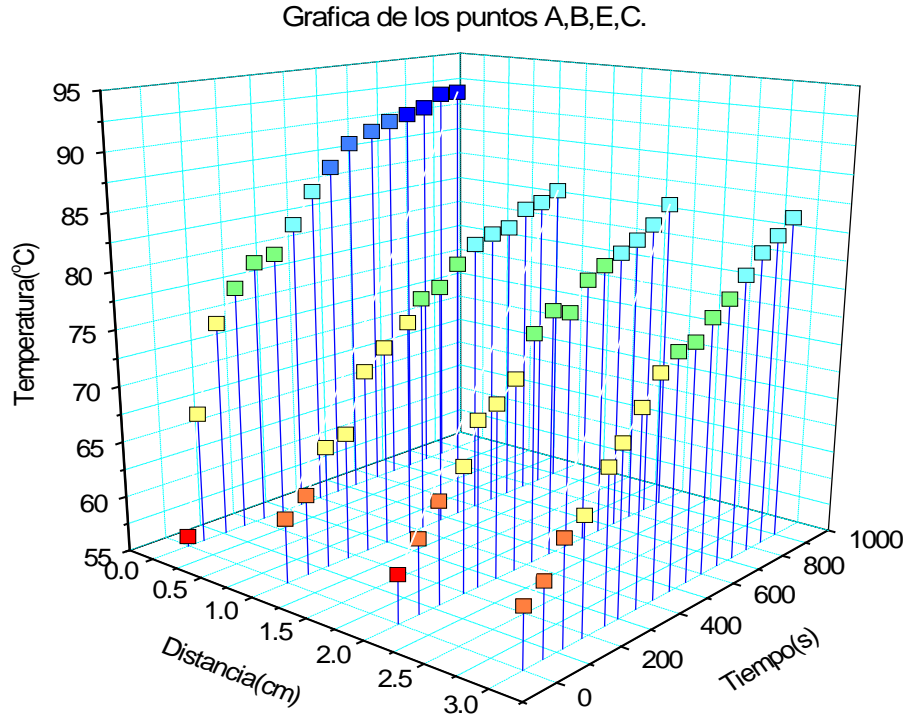
**Figura 5.17** grafica de los puntos F, G, C, H para P. en almíbar prueba 2.

<sup>10</sup> ANEXO C. datos tabulados de la variación de temperatura en función del tiempo en cada uno de los puntos señalados en la figura 5.15,

En las figuras anteriores se pudo observar mejor el comportamiento de las curvas que representan el crecimiento de la temperatura en el tiempo en cada uno de los puntos.

A medida que alejamos del punto imaginario A de la figura 5.16 y nos movemos hacia el punto central C (eje horizontal) y del punto F de la figura 5.17 hacia el punto H (eje vertical), las curvas empiezan a desviarse del comportamiento de la ley de enfriamiento de Newton, y empiezan a describir un comportamiento con tendencia lineal, donde la temperatura tiende a crecer de manera proporcional al tiempo, esto implica que la ecuación exponencial que describe los puntos extremos (excepto el punto H) dentro del frasco tiende a convertirse en una ecuación lineal, debido a que la diferencia de temperatura del medio externo al punto y la temperatura del punto se mantienen constante en el tiempo.

Lo anterior también se aplica para las curvas que describen los puntos sobre el eje vertical.

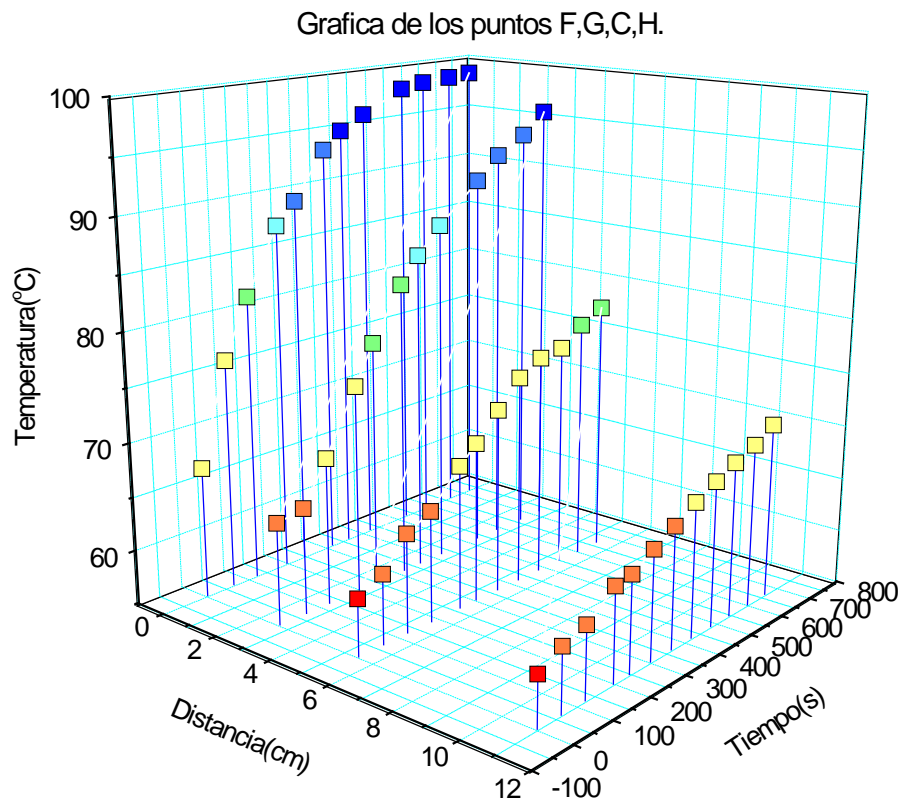


**Figura 5.18** 3D eje horizontal.



En esta grafica se puede observar el crecimiento simultaneo de la temperatura en los puntos A, B, E, C, en donde los tres últimos puntos la temperatura crece a un ritmo similar.

La diferencia real entre estos últimos tres puntos radica en que primero el flujo de calor llega al punto A, y luego al punto B después al punto E y por ultimo al punto C, esto hace que la temperatura en un punto más externo respecto de la temperatura en un punto más interno llegue a un valor de temperatura determinada en un menor tiempo, por lo tanto su curva va hacer más pronunciada respecto de las curvas de los puntos más internos en un tiempo dado antes de llegar al equilibrio térmico.



**Figura 5.19** 3D eje vertical.

La grafica de los puntos sobre el eje vertical al igual que la figura anterior muestra el crecimiento de la temperatura en el tiempo en los puntos, todos al mismo

tiempo. Aquí las curvas de los tres últimos puntos no son similares como en la grafica de la Fig. 5.18, una de las razones es que las distancia entre los puntos son mayores y como consecuencia el tiempo para producir el proceso de evacuación de aire en el producto alimenticio no es suficiente para que todas las temperaturas en cada punto lleguen a un valor determinado, cada una en un tiempo dado.

En el proceso de evacuación de aire en el producto alimenticio real, la temperatura en cada uno de los puntos no empiezan a crecer todas al mismo tiempo como se muestran las graficas, si no que, primero empieza a crecer la temperatura del punto más externo y luego la de los puntos más internos y así sucesivamente y aunque la temperatura en cada punto crezca al mismo ritmo las curvas no serian iguales pues crecen a ritmos similares en tiempos diferentes.

Cada una de las curvas de las figuras 5.16 y 5.17 poseen un tiempo característico de crecimiento del sistema, a medida que las curvas tienden a comportarse de forma lineal este valor se incrementa cada vez más.

En las siguientes tablas se muestra los tiempos característicos de crecimiento de la temperatura en cada uno de los puntos y datos de la regresión, para las curvas 5.16 y 5.17 que corresponden a la disposición de termocuplas de la figura 5.15.

**Tabla 5.8** Tiempos característicos para los puntos sobre el eje horizontal.

<b>Punto</b>	<b>Tiempo característico 'k' (s)</b>	<b>T<sub>0</sub> (°C)</b>	<b>A (°C)</b>
A	243.3	91.9	-32.6
B	526.1	88.9	-29.2
E	639.2	91.0	-32.3
C	1061.6	101	-42.3

**Tabla 5.9** Tiempos característicos para los puntos sobre el eje vertical.

<b>Punto</b>	<b>Tiempo característico 'k' (s)</b>	<b>T<sub>o</sub> (°C )</b>	<b>A (°C)</b>
F	203.3	100	-33.0
G	510.9	105	-44.2
C	1061.6	101	-42.3
H	1371.7	89.7	-30.4

La curva del punto H, figura 5.17 (curva color violeta), es una línea recta que en cuyo caso un intento por describirla con la ecuación que describe la ley de enfriamiento de newton no es muy acertado. La ecuación de la recta es una buena opción para describir el comportamiento lineal de este punto, y es debido ha este comportamiento lineal que el tiempo característico de crecimiento del sistema, descrito por la ley de enfriamiento es relativamente grande.

El crecimiento de la temperatura en cada punto sea modelado con la ecuación que describe la ley de enfriamiento de newton, cada punto está a una distancia del origen o centro de coordenadas del frasco que contiene el producto alimenticio.

Se obtuvo una expresión en función del tiempo y la distancia de ubicación del punto respecto de la pared del frasco, para el caso de los puntos sobre el eje horizontal de la figura 5.15. De tal forma que si ha ésta ecuación le damos la distancia del punto a la pared del frasco y un valor de tiempo determinado nos da el valor de la temperatura aproximado del punto en ese tiempo.

La expresión es de la forma:

$$T = T_0 + Ae^{(-t/k(x))} \quad A = (T(0) - T_0) \quad [5.4]$$

Donde

$$k(x) = k_0 + be^{(x/c)}$$

$k(x)$   $\equiv$  expresión de la constante de tiempo característico del calentamiento en función de la distancia del punto a la pared del frasco de vidrio que contiene el producto alimenticio.

$k_0$   $\equiv$  constante de tiempo

$b$   $\equiv$  constante.

$x$   $\equiv$  distancia a la pared del frasco.

$c$   $\equiv$  constante de crecimiento.

$T_0$   $\equiv$  temperatura del medio.

$T(0)$   $\equiv$  temperatura inicial del objeto.

$t$   $\equiv$  tiempo.

Como los valores de las constantes  $T_0$  y  $A$  varían un poco, se puede pensar en generar funciones para aumentar la exactitud de la ecuación anterior.

Donde  $T_0(x)$  y  $A(x)$  son expresiones matemáticas en función de la distancia del punto donde esta la termocupla a la pared del frasco que contiene el producto alimenticio.

Para generar las ecuaciones  $k(x)$ ,  $T_0(x)$  y  $A(x)$  mediante regresión lineal, se tienen que considerar puntos intermedios entre las termocuplas con el objeto de generar datos de temperatura promedio para la que la ecuación resultante de la regresión sea mejor.

Por lo tanto la ecuación queda:

$$T = T_0(x) + A(x)e^{(-t/k(x))} \quad [ 5.5]$$

Las ecuaciones 5.4 y 5.5 serían aplicables suponiendo que una vez iniciado el proceso de evacuación de aire del interior del producto alimenticio la temperatura se incrementará simultáneamente en todos los puntos, pero como la temperatura no se incrementa simultáneamente en todos los puntos tendríamos que sumar una constante de tiempo a la variable de entrada "t" que corresponda a un valor de tiempo en la cual el punto evaluado empiece a incrementar su temperatura. De esta forma podríamos evaluar la temperatura simultáneamente en todos los puntos en un tiempo t.

Por lo tanto la ecuación 5.4 quedaría:

$$T = T_0 + Ae^{(-[t + J]/k(x))} \quad [ 5.6]$$

Donde J es el valor de una constante de tiempo en la cual un punto cualquiera empieza a aumentar su energía térmica.

## 6. CONCLUSIONES

1. La construcción del equipo para la semiautomatización, implicó diseño de hardware así como programación del PIC 18f452 con lenguaje C, y el manejo de dispositivos electrónicos como, teclado, interfaces seriales, reloj de tiempo real entre otros.

El equipo construido mide temperatura con una precisión de  $\pm 1.5$  °C, además es muy fácil de instalar y manejar.

2. Durante los ensayos realizados para determinar el comportamiento de la temperatura en función del tiempo al interior de un producto, se realizó la medición con base en diferentes proporciones de masa, encontrándose que en el recipiente con menor masa se logró alcanzar una temperatura de 85°C en el centro del producto menor tiempo.
3. Para una temperatura inicial de 60 a 65 °C en el interior del producto piña en almíbar y bajo condiciones estándar de preparación del producto y funcionamiento del exhausting la temperatura en el centro del frasco alcanza los 85 °C en un tiempo de 15 minutos, mientras que en recipientes más grandes para productos encurtidos en 15 minutos el producto solo logra alcanzar 80 °C
4. la temperatura en los puntos más internos hacia el centro del frasco que contiene el producto alimenticio no aumenta la temperatura inmediatamente iniciado el proceso para producir vacío, si no minutos después, y dependiendo de la ubicación del punto y producto alimenticio, este tiempo puede ser mayor o menor. Si hay poco escape de vapor del interior del

exhausting, la temperatura empieza a aumentar en todos los puntos de forma inmediata.

5. Durante el proceso de evacuación, tanto para la piña de almíbar como para el encurtido, en la base central del frasco que contiene el producto, la temperatura es la más baja durante todo el proceso y jamás llega a 85 °C en el tiempo que dura el proceso de evacuación de aire del interior de los productos.
6. El crecimiento de la temperatura en cada punto en el interior del producto alimenticio en el tiempo, se comporta como la ley de enfriamiento de newton, la temperatura tiende ha desviarse de este comportamiento y semejarse a un comportamiento lineal a medida que se acerca al centro del frasco.

## 7. RECOMENDACIONES:

- Reducir la pérdida de vapor del interior del Exhausting durante el proceso de evacuación de aire en el interior de los productos. Esto hace que la temperatura interna aumente un poco y sea más homogénea a lo largo del Exhausting.
- Procurar que la temperatura de la mezcla al iniciar el proceso de evacuación sea del orden de los 60 a 65 grados centígrados. Esta medida aumenta las posibilidades de que la temperatura interna una vez el flujo de energía llegue a un punto determinado alcance los 85 °C en 15 minutos.
- Estandarizar la preparación de los productos alimenticios similares (Cantidad de masa, presión del vapor caliente, tamaño y forma del frasco).

Se recomienda las siguientes condiciones normales de funcionamiento en el Exhausting:

- Control de escape de vapor del interior del exhausting: que la pérdida de vapor sea controlada y procurar que siempre sea la misma.
- Tiempo estándar de duración del proceso de evacuación de aire del interior del producto alimenticio: que este tiempo sea el mismo cada vez que se efectúe el proceso.
- Presión de vapor proveniente de la caldera: 20 Psi mínimo y constante.



- La falta de cortinas de hule en los extremos del Exhausting hace que la temperatura interna sea no homogénea a lo largo de esta afectando el proceso de vacío en los productos alimenticios.

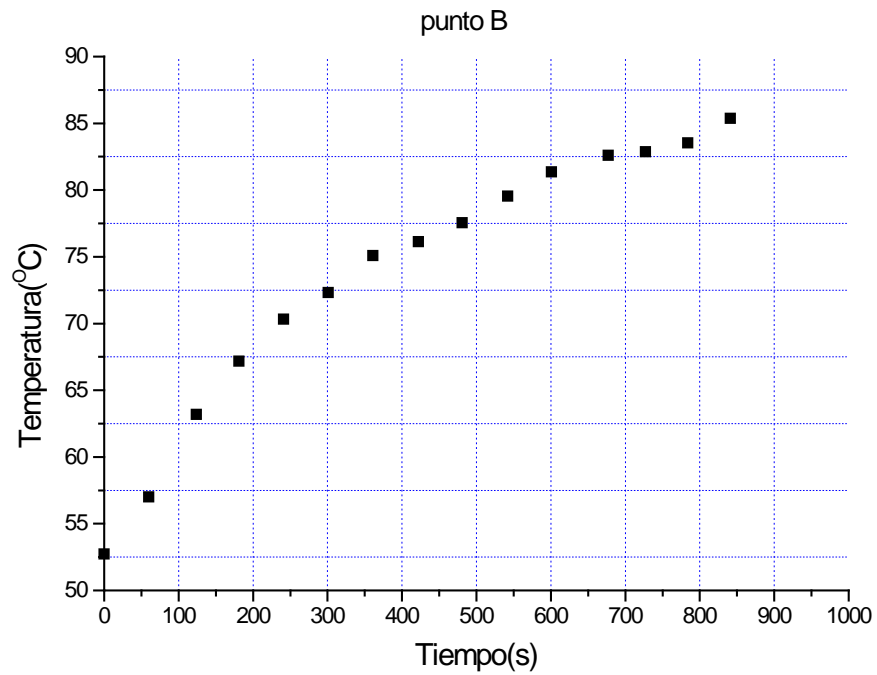
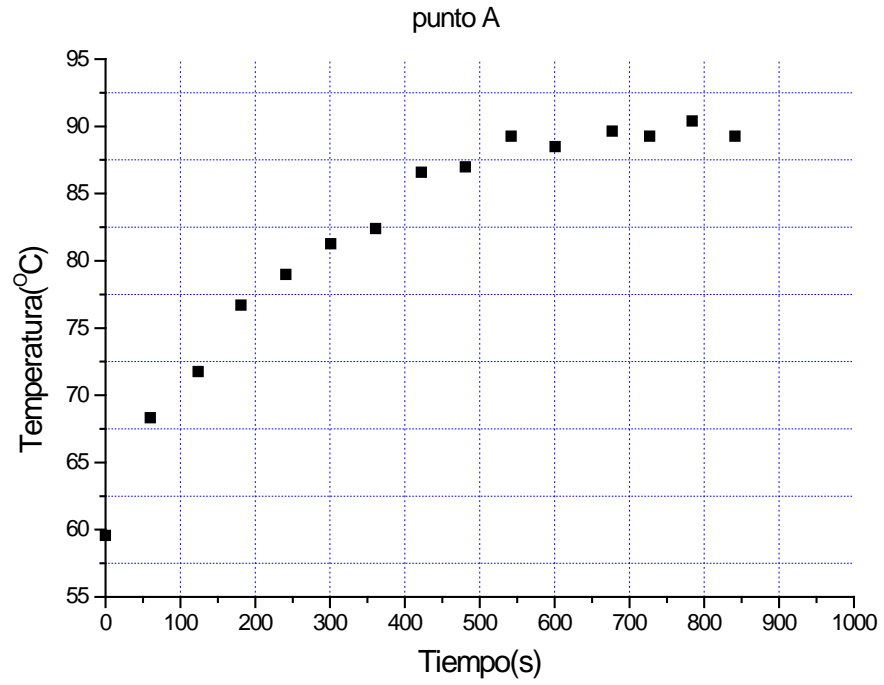
## 8. BIBLIOGRAFÍA

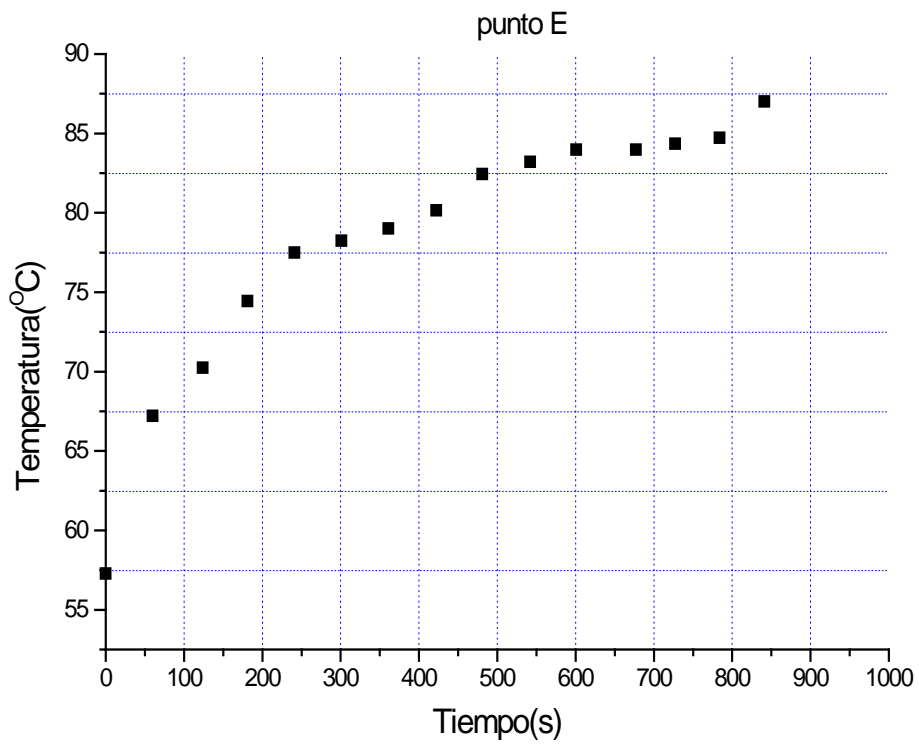
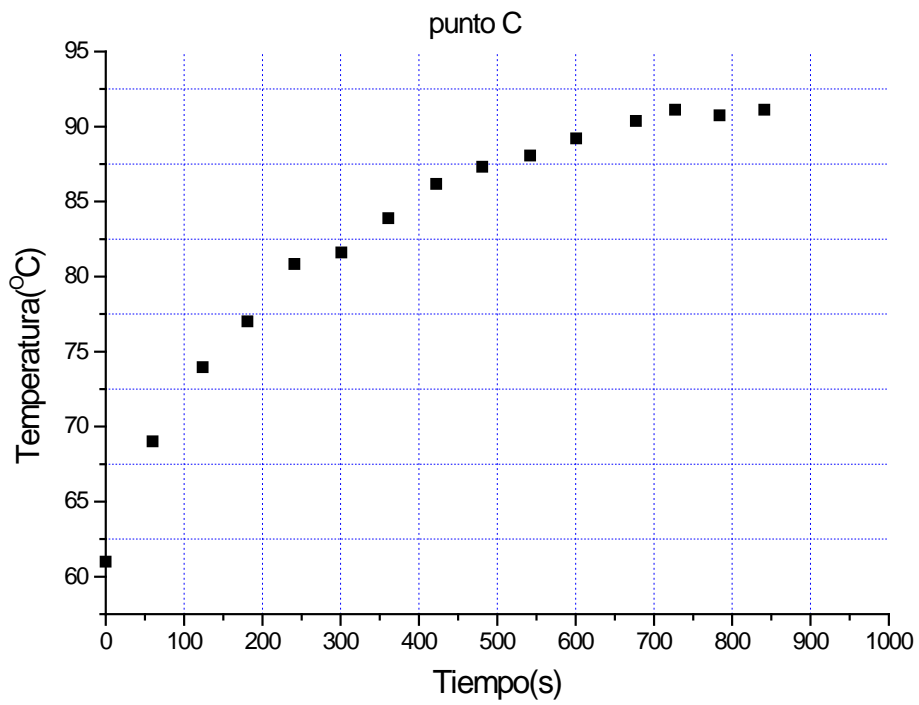
1. RAMOND A. Serway. Calor y la primera ley de la termodinámica. Física serway tomo1. Cuarta edición. MEXICO. D.F McGRAW-HILL.1997. Pág. 569-562.
2. HOLMAN J. P. Transferencia de calor. 5ª edición. Madrid. Mc Graw-Hill. 1985.
3. CREUS sole A. Sistemas electrónicos digitales Instrumentación industrial. Marcombo. 5ª edición. Barcelona. Marcombo. (1997).
4. BOLTON, W. Instrumentación y control industrial. 6ª Edición. Ed Paraninfo. Joseph Harrington Jr. (1996).
5. Prentice–Hall. Sistemas de adquisición de datos digitales y análogos. Instrumentación electrónica y mediciones .1ª edición. México. Prentice–Hall Hispanoamericana S.A. 1982. Pág. 452-482.
6. CEKIT compañía editorial de tecnología. Microcontrolador pic. Curso basico de microcontroladores pic. P. 9-10.
7. Línea de Exhausting. Disponible en:  
URL: <http://www.javar.com.co/maqFrutasVeg.htm>.
8. Termocuplas tipo j. Disponible en:  
URL: [http://www.sapiensman.com/medicion\\_de\\_temperatura/termocuplas.htm](http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/termocuplas.htm).
9. Procesamiento de Alimentos. Disponible en:  
URL: <http://www.monografias.com/trabajos15/encurtidos/encurtidos/shtml>.

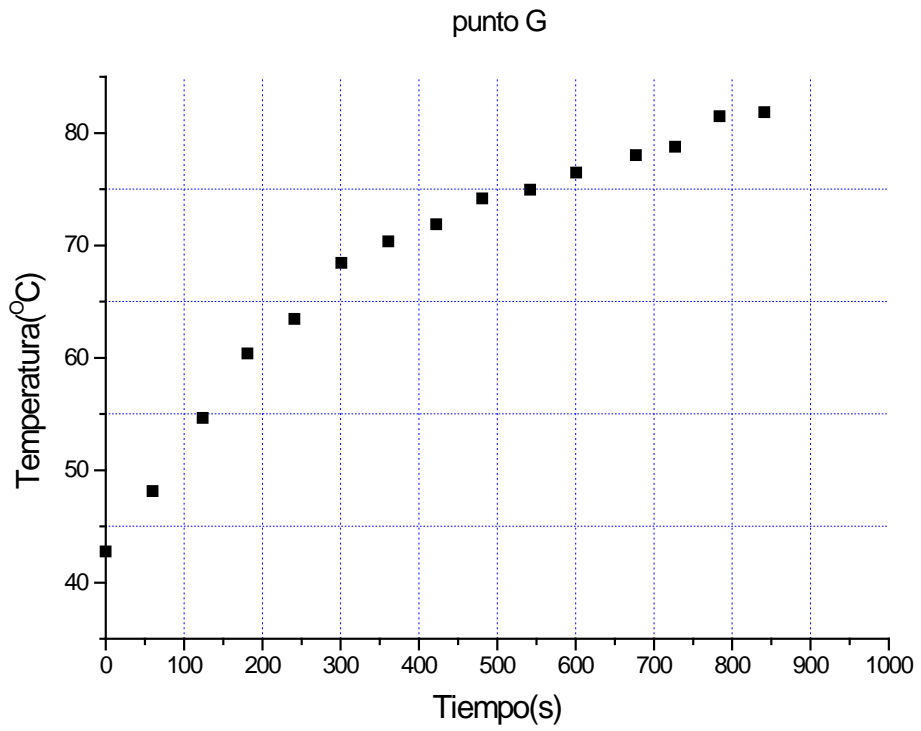
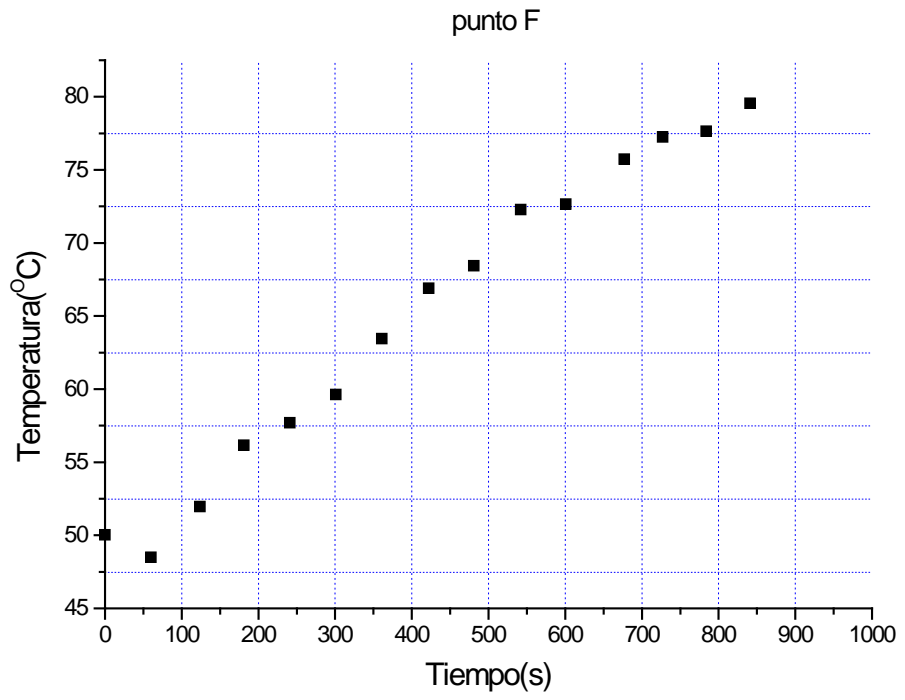
- 12.** PIC 18 f452. Disponible en:  
URL:<http://www.microchip/1010/pline/picmicro/category/embctrl/14kbytes/devices/>.

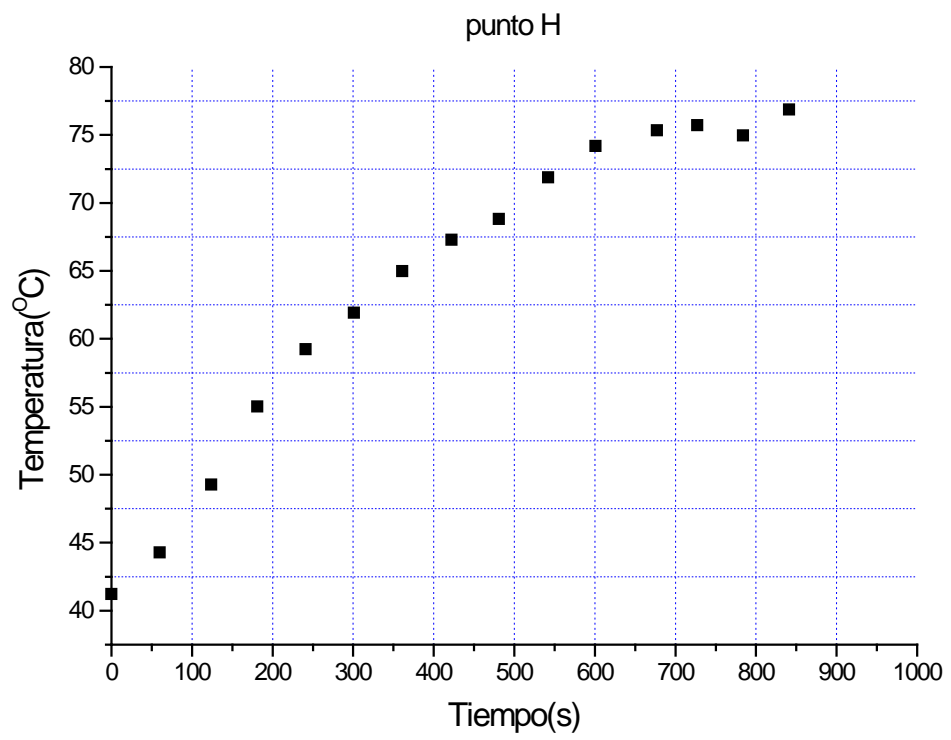
## ANEXO A

### GRAFICA DE LOS DATOS DE PIÑA EN ALMIBAR prueba 1





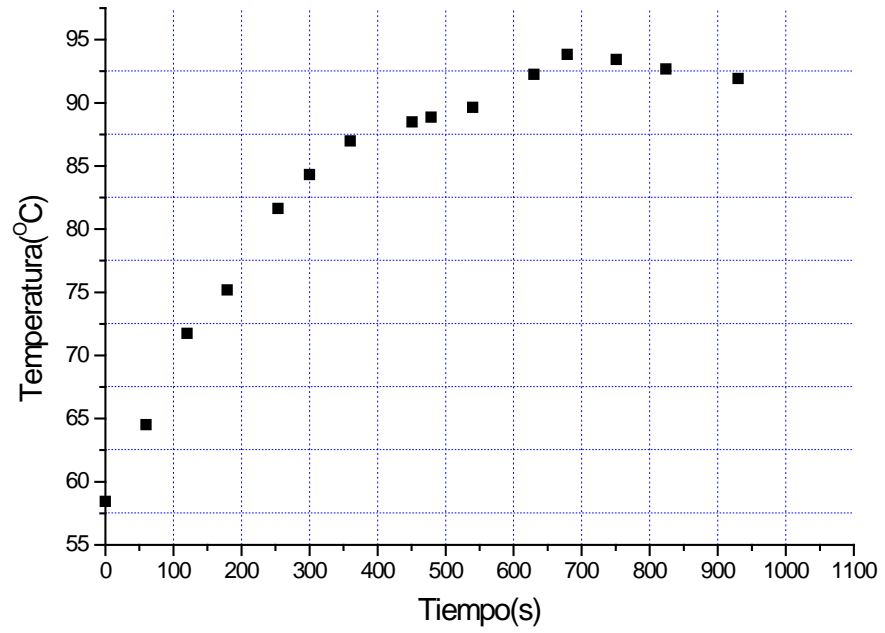




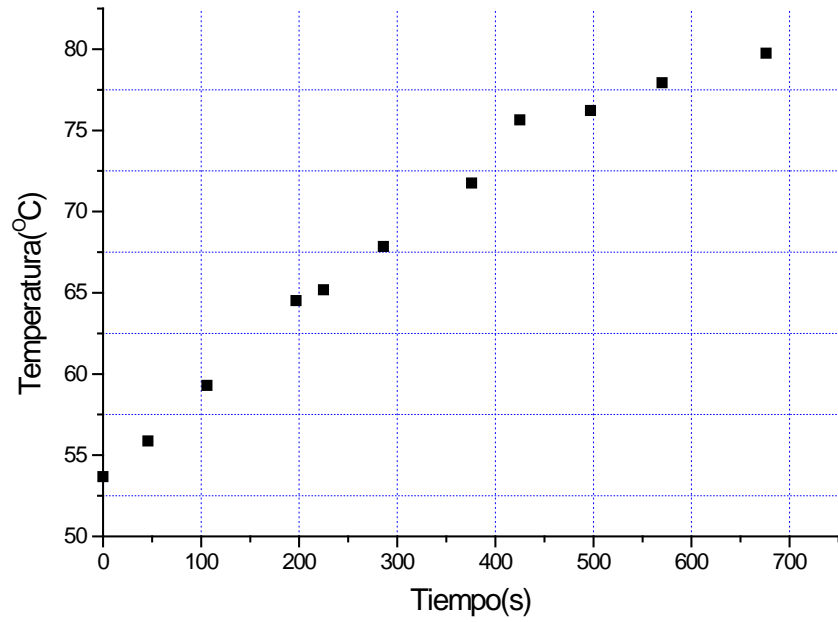
ANEXO B

GRAFICA DE LOS DATOS DE ENCURTIDOS prueba 1

Punto A

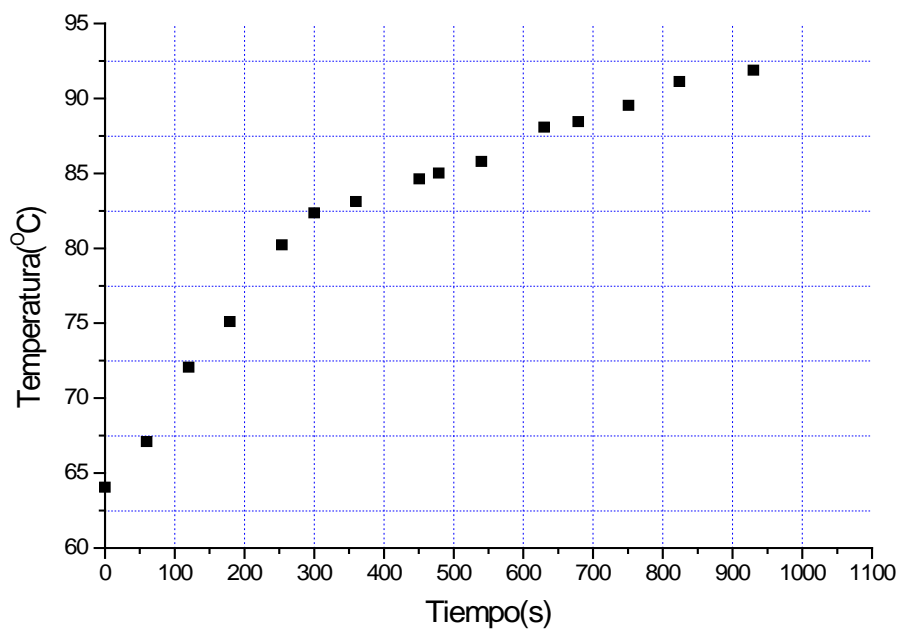


punto B

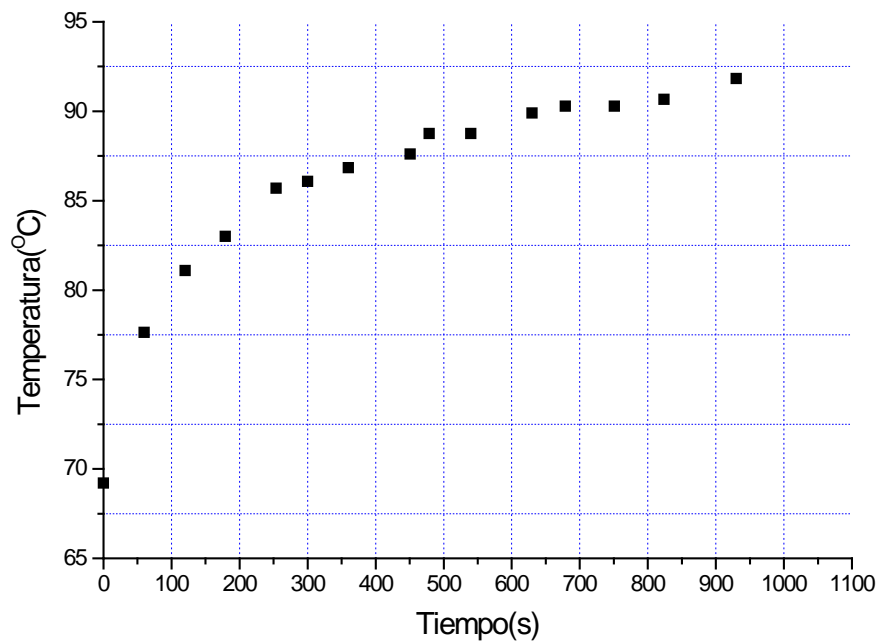


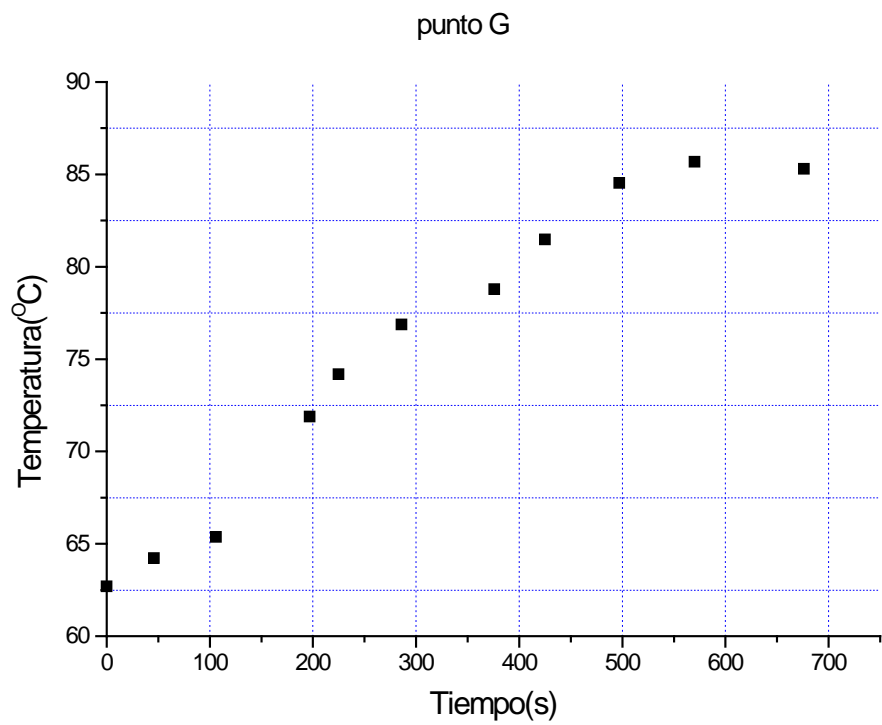
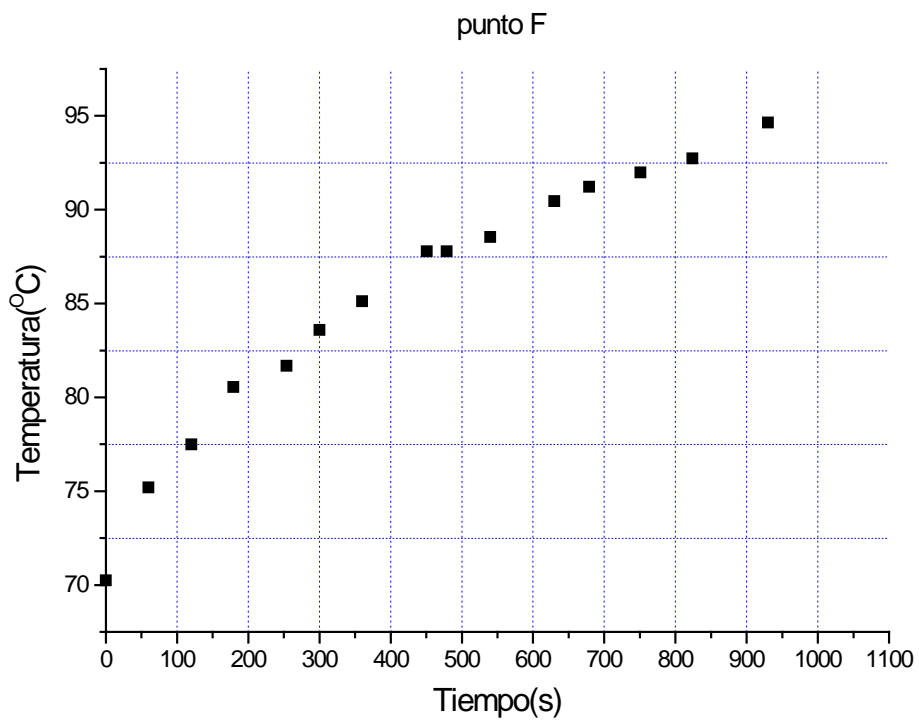


punto C

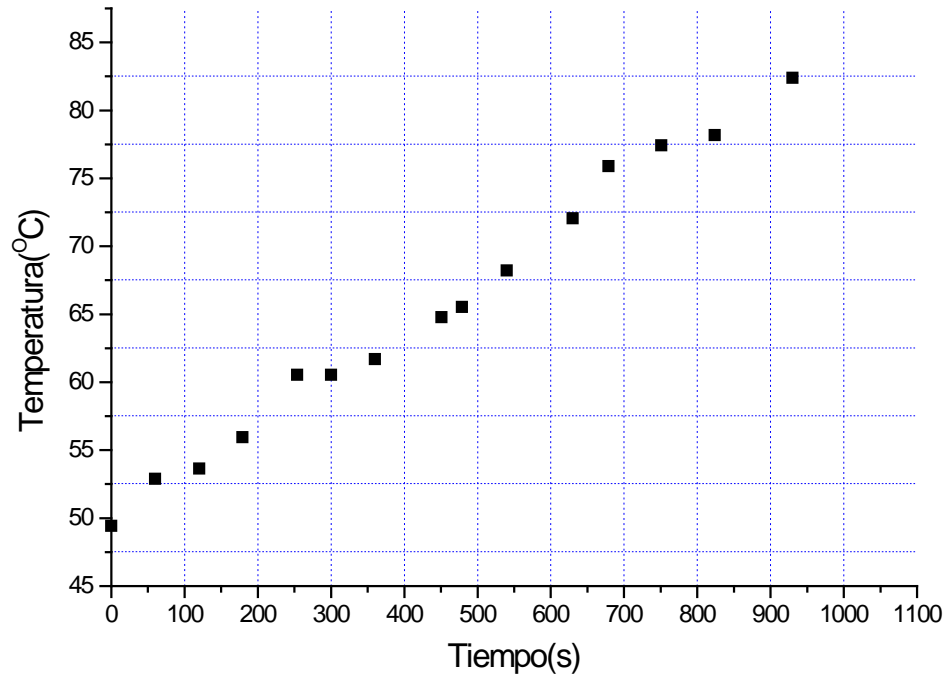


punto E



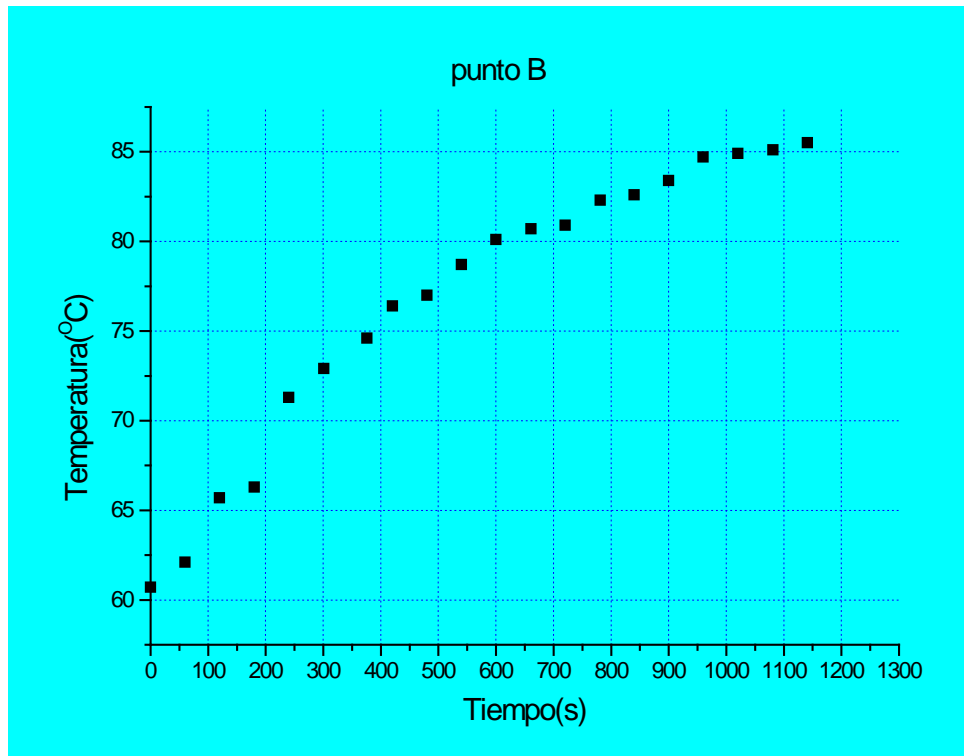
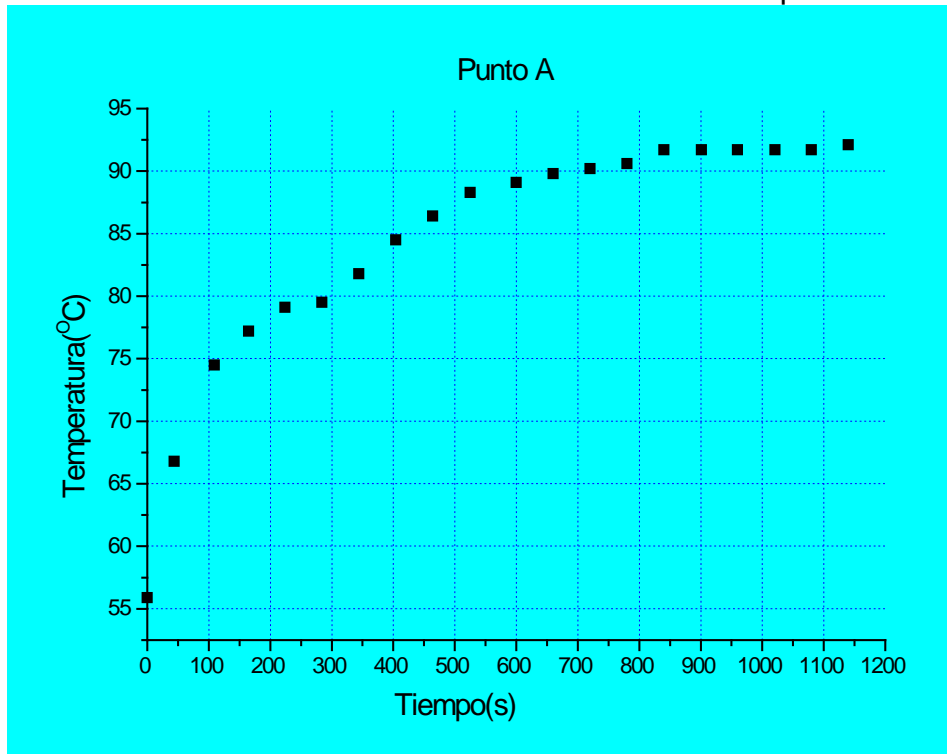


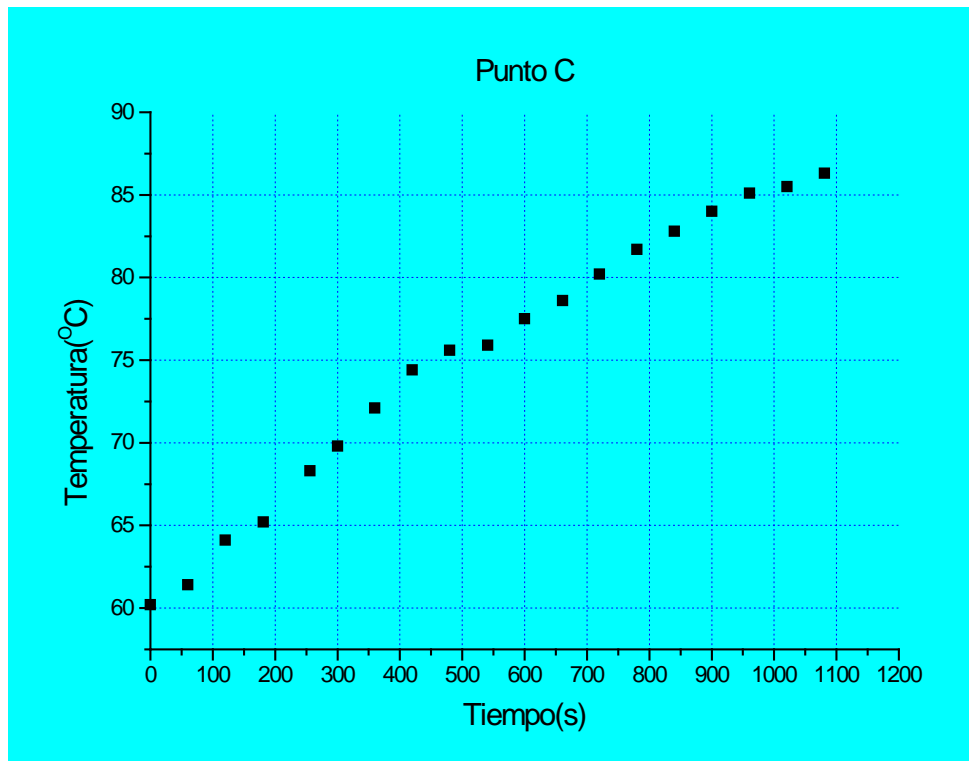
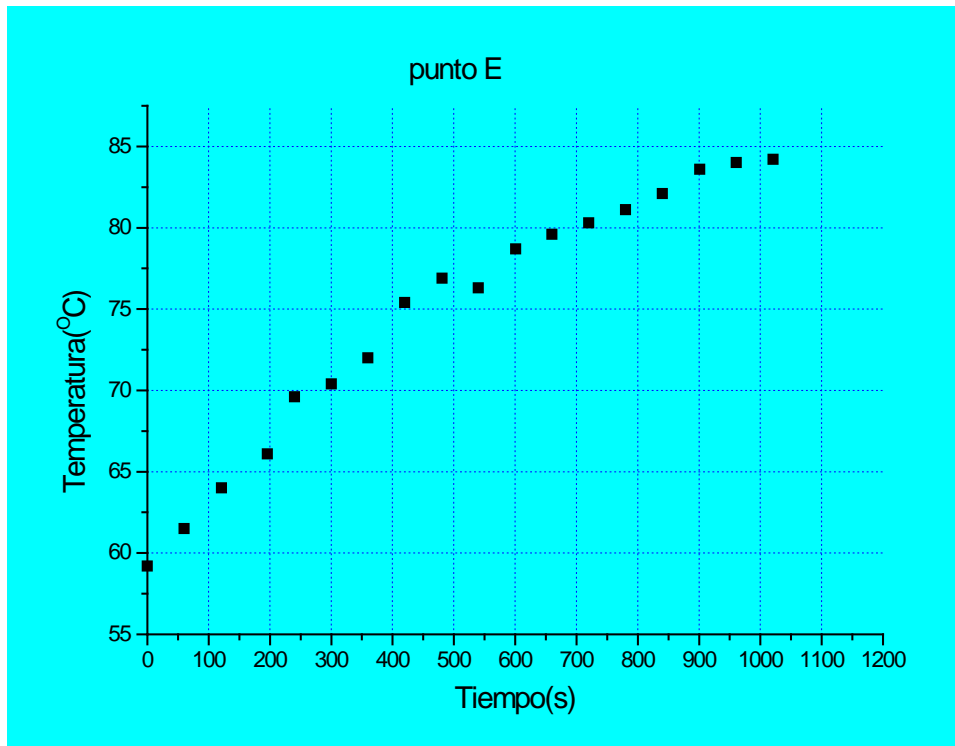
punto H

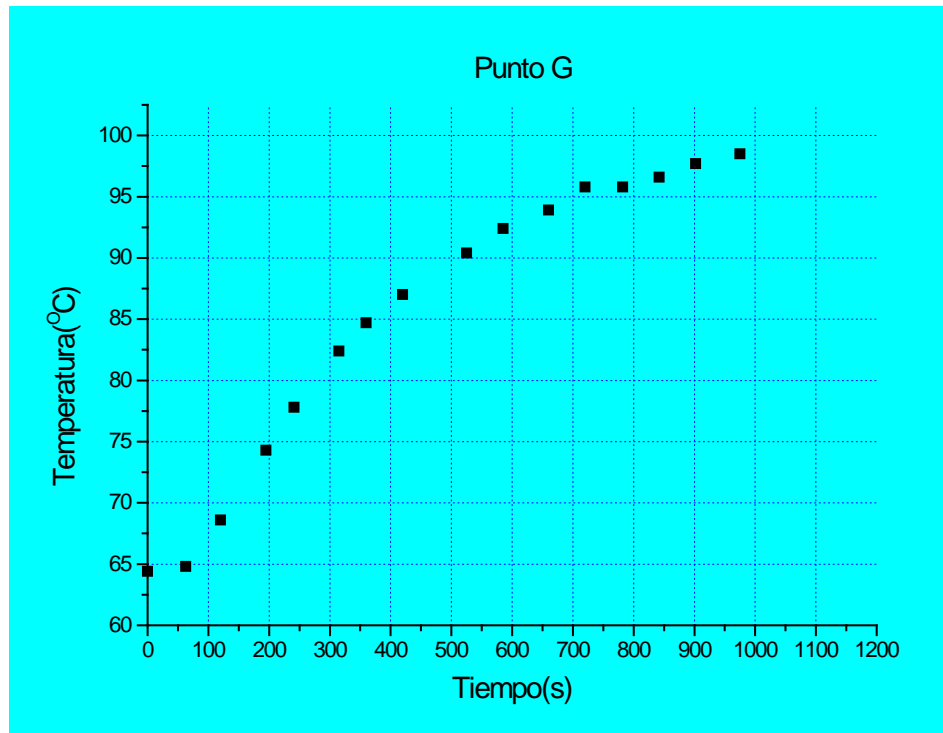
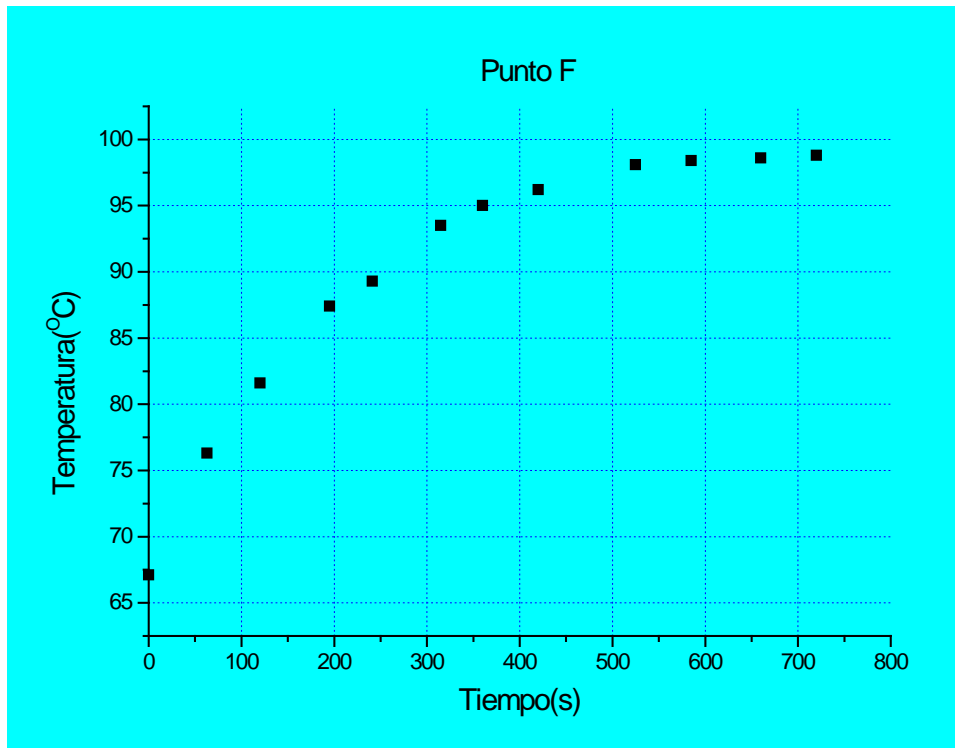


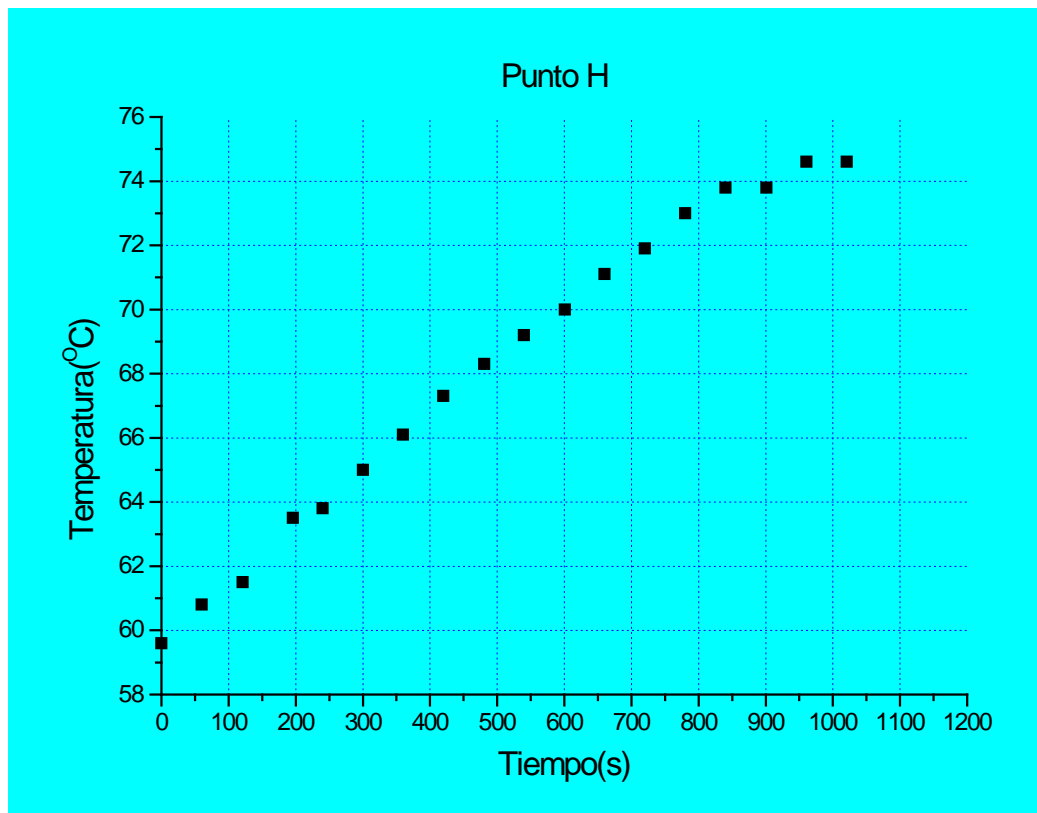
# ANEXO C

## GRAFICA DE LOS DATOS DE PIÑA EN ALMIBAR prueba 2









## ANEXO D

### FUNCIONES DE T DE LAS CURVAS DE LOS ANEXOS A, B, C

#### PRUEBA 1

##### PIÑA EN ALMIBAR

###### Punto A

Fit  $y_0+A_1e^{-(x-x_0)/t_1}$  to Data1\_B:

y0	91.3948	0.7233
x0	0	0
A1	-31.15792	0.88005
t1	252.03556	19.75993

###### Punto B

Fit  $y_0+A_1e^{-(x-x_0)/t_1}$  to Data1\_B:

y0	88.00845	0.84639
x0	0	0
A1	-35.3757	0.76583
t1	367.14428	22.50312

###### Punto C

Fit  $y_0+A_1e^{-(x-x_0)/t_1}$  to Data1\_B:

y0	92,36612	0,51034
x0	0	0
A1	-30,47846	0,59044
t1	263,9406	14,42462

###### Punto E

Fit  $y_0+A_1e^{-(x-x_0)/t_1}$  to Data1\_B:

y0	85,55827	0,7306
x0	0	0
A1	-26,79415	1,04143
t1	219,73973	22,36379

###### Punto F

Fit  $y_0+A_1e^{-(x-x_0)/t_1}$  to Data1\_B:

y0	120,74855	23,81657
----	-----------	----------



x0	0	0
A1	-73,45048	23,21356
t1	1424,06825	613,3649

Punto G

Fit  $y_0+A_1e^{-(x-x_0)/t_1}$  to Data1\_B:

y0	84,60063	1,03918
x0	0	0
A1	-42,31974	0,96961
t1	342,84754	22,65281

Punto H

Fit  $y_0+A_1e^{-(x-x_0)/t_1}$  to Data1\_B:

y0	83,24517	1,71645
x0	0	0
A1	-43,56491	1,50501
t1	420,37191	38,63201

ENCURTIDO

Punto A

Fit  $y_0+A_1e^{-(x-x_0)/t_1}$  to Data1\_B:

y0	94.503	0.72072
x0	0	0
A1	-37.02032	0.93989
t1	245.92296	16.84841

Punto B

Fit  $y_0+A_1e^{-(x-x_0)/t_1}$  to Data1\_B:

y0	93.33645	4.77263
x0	0	0
A1	-40.27042	4.46601
t1	591.93245	115.27274

Punto C

Fit  $y_0+A_1e^{-(x-x_0)/t_1}$  to Data1\_B:

y0	93.07333	0.98824
x0	0	0
A1	-29.56632	0.95266
t1	342.76853	31.68955

Punto E

Fit  $y_0 + A_1 e^{-(x-x_0)/t_1}$  to Data1\_B:

y0	90,48193	0,46288
x0	0	0
A1	-20,0174	0,84091
t1	181,71542	18,23715

Punto F

Fit  $y_0 + A_1 e^{-(x-x_0)/t_1}$  to Data1\_B:

y0	97.43839	1.09886
x0	0	0
A1	-26.16815	0.96532
t1	469.06131	43.99649

PUNTO G

Fit  $y_0 + A_1 e^{-(x-x_0)/t_1}$  to Data1\_B:

y0	96.4592	5.98771
x0	0	0
A1	-35.16941	5.52682
t1	516.60013	153.91439

Punto H

$$Y = A + B * X$$

Parameter	Value	Error
A	49.83955	0.49989
B	0.03532	9.65083E-4

R	SD	NP
0.99518	1.03859	15<0.0001

## PRUEBA 2

### PIÑA EN ALMIBAR

#### Punto A

Fit  $y_0+A_1e^{-(x-x_0)/t_1}$  to Data1\_B:

y0	91.96727	0.72176
x0	0	0
A1	-32.68076	1.27788
t1	243.36506	23.26716

#### Punto B

Fit  $y_0+A_1e^{-(x-x_0)/t_1}$  to Data1\_B:

y0	88.937	0.88885
x0	0	0
A1	-29.21349	0.77751
t1	526.14371	39.42072

#### Punto C

Fit  $y_0+A_1e^{-(x-x_0)/t_1}$  to Data1\_B:

y0	101.87683	2.90076
x0	0	0
A1	-42.37003	2.70145
t1	1061.592	116.34019

#### PuntoE

Fit  $y_0+A_1e^{-(x-x_0)/t_1}$  to Data1\_B:

y0	91.0246	1.59151
x0	0	0
A1	-32.32277	1.39245
t1	639.19456	63.45691

#### Punto F

Fit  $y_0+A_1e^{-(x-x_0)/t_1}$  to Data1\_B:

y0	100,17566	0,32995
x0	0	0
A1	-33,04103	0,41916
t1	203,37464	6,90036

Punto G

Fit  $y_0 + A_1 e^{-(x-x_0)/t_1}$  to Data1\_B:

y0	105.71785	2.38145
x0	0	0
A1	-44.23546	2.0627
t1	510.90765	62.14871

Punto H

$$Y = A + B * X$$

Parameter	Value	Error
A	60.28084	0.28351
B	0.01552	4.73975E-4

R	SD	NP
0.99262	0.62448	18<0.0001