

# **ESCUELA POLITECNICA NACIONAL**

## **ESCUELA DE INGENIERÍA**

### **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE PASTEURIZACIÓN DE LECHE A PEQUEÑA ESCALA**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
ELECTRÓNICA Y CONTROL**

**EDISON FERNANDO NARVÁEZ SALVADOR  
VÍCTOR HUGO NARVÁEZ VEGA**

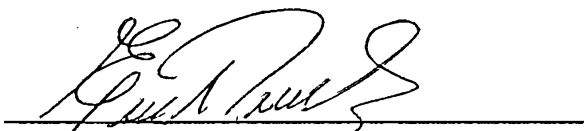
**DIRECTOR: ING. GERMÁN CASTRO MACANCELA**

**Quito, Agosto 2005**

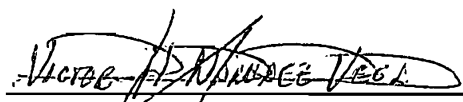
## DECLARACIÓN

Nosotros Edison Fernando Narváez Salvador y Víctor Hugo Narváez Vega, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.



**Edison Fernando Narváez Salvador**



**Víctor Hugo Narváez Vega**

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Edison Fernando Narváez Salvador y Víctor Hugo Narváez Vega bajo mi supervisión.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Germán Castro M.', written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

ING. GERMÁN CASTRO M.

DIRECTOR DE PROYECTO

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por darnos vida, salud y fuerza para afrontar las distintas circunstancias que se presentan en nuestro camino.

A nuestras respectivas familias por brindarnos su apoyo y confianza para la consecución de todas nuestras metas.

A nuestro Director de Tesis el Ing. Germán Castro Macancela por el apoyo y orientación en el desarrollo del presente proyecto.

A la Escuela Politécnica Nacional por habernos inculcado a través de sus profesores las mejores enseñanzas para nuestra formación profesional.

A nuestros amigos y todas las personas quienes aportaron directa e indirectamente en la realización del presente trabajo.

*Edison y Víctor Hugo*

## DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico principalmente a mis padres Manuel y Ximena por el amor, la confianza y el apoyo incondicional que me brindaron durante toda mi vida, gracias por su esfuerzo y sacrificio que hizo posible alcanzar este objetivo.

A mis hermanas Doris y Gaby por el cariño y apoyo que me ofrecieron en todo momento.

A mi tía Tania que ya no esta con nosotros pero que desde arriba nos guía y nos protege.

A mis tíos y primos por sus palabras de aliento que nunca faltaron.

A mis amigos Vero y Paco por siempre estar conmigo en los buenos y malos momentos.

*Edison*

## DEDICATORIA

A mis padres Víctor Hugo, Marlene y hermanos Doris, Ruth, David por su apoyo y confianza en todos los momentos de mi vida.

A mi familia por tenerme presente como ejemplo de perseverancia.

A los verdaderos amigos con quienes compartí los buenos y malos momentos en esta etapa de nuestras vidas. Además llevamos a cabo esta y muchas metas más.

Y a todas las personas que hubiera querido que estén conmigo en este momento pero que siempre están presentes en mi mente y en mi corazón.

*Víctor Hugo*

## CONTENIDO

<b>CONTENIDO</b>	<b>I</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>VII</b>
<b>PRESENTACIÓN</b>	<b>IX</b>

### CAPÍTULO 1

#### CONCEPTOS BÁSICOS DE LA PASTEURIZACIÓN

1.1. Aspectos Básicos de la Pasteurización de la leche de vaca	1
1.1.1 Introducción	1
1.1.2 Propiedades de la leche de vaca	2
1.1.2.1 Generalidades biológicas	2
1.1.2.2 Composición química y propiedades de la leche de vaca	3
1.1.2.3 Derivados directos principales	5
1.1.3 Pasteurización de la leche de vaca	6
1.1.3.1 Definición	6
1.1.3.2 Objetivos	6
1.1.3.3 Técnicas de pasteurización	7
1.2. Intercambiadores de Calor	11
1.2.1 Conceptos Básicos	11
1.2.2 Transferencia de Calor	13
1.2.2.1 Transferencia de Calor por Conducción	14
1.2.2.2 Transferencia de Calor por Convección	15
1.2.2.3 Transferencia de Calor por Radiación	18
1.2.3 Clasificación de los Intercambiadores de Calor	19
1.2.3.1 Intercambiador de calor de flujo paralelo	20
1.2.3.2 Intercambiador de calor de contraflujo	20
1.2.3.3 Intercambiador de calor de flujo cruzado	21
1.2.3.3.1 Tubulares con aletas	21
1.2.3.3.2 Tubulares sin aletas	22
1.2.3.4 Intercambiadores de calor de tubos y coraza o de pasos múltiples	23

1.2.3.5 Intercambiadores compactos o de placas	25
1.2.3.6 Regeneradores	26
1.2.4 Coeficiente Global de Transferencia de Calor	27
1.2.5 Análisis del Intercambiador de Calor por el Método DTML (Diferencia de Temperatura Media Logarítmica)	29
1.2.6 Aislantes Térmicos	35
1.2.6.1 Tipos de aislantes térmicos	36
1.2.6.2 Retenedor de Calor	37

## **CAPÍTULO 2**

### **PASTEURIZADOR PROTOTIPO DE LECHE**

2.1 Introducción	38
2.2 Estructura Modular del Pasteurizador Prototipo de Leche	41
2.2.1 Intercambiador de Calor	41
2.2.2 Calentador	43
2.2.3 Enfriador	44
2.3 Características de los Componentes del Pasteurizador Prototipo de Leche	47
2.3.1 Tuberías, accesorios y tanques de recolección	47
2.3.1.1 Tubería y accesorios de acero inoxidable	47
2.3.1.2 Tubería y accesorios HIDRO 3	48
2.3.1.3 Tanques de almacenamiento	48
2.3.2 Diseño y Construcción del Sistema Intercambiador de Calor	49
2.3.2.1 Etapa de calentamiento	49
2.3.2.1.1 Cálculo del intercambiador de calor	49
2.3.2.1.2 Construcción del intercambiador de calor	56
2.3.2.2 Etapa de enfriamiento	57
2.3.2.2.1 Cálculo del intercambiado de calor	58
2.3.2.2.2 Construcción del intercambiador de calor	64
2.3.2.3 Etapa de regeneración	65
2.3.2.3.1 Cálculo del regenerador	66
2.3.2.3.2 Construcción del regenerador	72



2.3.2.4	Etapa de retención de calor	73
2.3.2.4.1	Cálculo del retenedor de calor	73
2.3.2.4.2	Construcción del retenedor de calor	74
2.3.3	Dispositivos de Control	74
2.3.3.1	Bomba de alimentos	75
2.3.3.2	Bombas de recirculación	77
2.3.3.3	Refrigerador	78
2.3.3.4	Resistencias de calentamiento	79
2.3.3.5	Electroválvula	79
2.3.4	Sensores	80
2.3.4.1	Sensores de Temperatura	80
2.3.4.2	Sensor de Caudal	81
2.3.4.3	Sensores de nivel	83
2.3.5	Panel de Control	86
2.3.5.1	Controlador Lógico Programable PLC	88
2.3.5.2	Tarjetas de Control	89
2.3.5.3	Fuentes de Alimentación de DC	89
2.3.5.4	Contactores electromagnéticos	90
2.3.5.5	Relés electromagnéticos	90
2.3.5.6	Dispositivos de protección	91

### **CAPÍTULO 3**

#### **SOFTWARE Y HARDWARE DEL SISTEMA DE CONTROL PARA EL PASTEURIZADOR PROTOTIPO**

3.1	Control del Proceso de Pasteurización	92
3.1.1	Lógica de Programación del PLC y PIC 16f877	98
3.1.1.1	Programación del PLC SIEMENS SIMATIC S7-200 CPU224	98
3.1.1.2	Programación del Microprocesador PIC16F877	109
3.2	Hardware para la Automatización del Pasteurizador Prototipo	117
3.2.1	Diagrama de Bloques del Sistema de Control	117

3.2.2	Lectura y Visualización de Sensores	119
3.2.2.1	Etapas de acondicionamiento de Sensores	119
3.2.2.1.1	Termocuplas	120
3.2.2.1.2	Sensor de Caudal	124
3.2.2.1.3	Sensores de Nivel	127
3.2.2.2	Etapas de Conversión A/D y Visualización	130
3.2.2.2.1	Microprocesador como Conversor A/D	130
3.2.2.2.2	Visualización	133
3.2.3	Conexiones de Entradas y Salidas del PLC	135
3.2.3.1	Entradas del PLC	136
3.2.3.2	Salidas del PLC	138
3.2.3.3	Conexiones del PLC	140
3.2.4	Diagramas Eléctricos de Control y Fuerza	142
3.2.4.1	Diagrama Unifilar del Circuito de Fuerza	143
3.2.4.2	Diagrama de Conexiones del Circuito de Control y Fuerza	145

## **CAPÍTULO 4**

### **IMPLEMENTACIÓN DE LA HMI PARA EL MONITOREO DE LAS VARIABLES DE CONTROL**

4.1	Intouch	147
4.1.1	Componentes Principales	147
4.1.1.1	Intouch Application Manager	148
4.1.1.2	Window Maker	148
4.1.1.3	Window Viewer	148
4.1.2	Requerimientos Mínimos de Sistema	148
4.2	Lógica de Monitoreo	149
4.3	Descripción de las Ventanas de la HMI	150
4.3.1	Presentación	150
4.3.2	Registro de usuarios	151
4.3.3	Proceso	153

4.3.3.1	Gráficas	154
4.3.3.2	Históricos	155
4.3.3.3	Alarmas	155
4.3.3.4	Datos de sensores	156
4.3.4	Protecciones	157
4.3.5	Fin de proceso	157
4.4	Comunicación PLC – Intouch	158
4.4.1	Configuración del I/O Server	159
4.4.1.1	Configuración del puerto de comunicaciones	159
4.4.1.2	Configuración del Tepic	160
4.4.1.3	Configuración del servidor de datos	161
4.4.2	Configuración de Items en Intouch	162

## **CAPÍTULO 5**

### **PUESTA EN MARCHA Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PASTEURIZADOR PROTOTIPO**

5.1	Preparación del Software de Aplicación	164
5.1.1	Descarga del programa de aplicación en el PLC SIEMENS S7-200 CPU224	165
5.1.2	Comunicación PLC-PC (HMI)	167
5.2	Puesta en Marcha	170
5.2.1	Puesta en Marcha del Prototipo desde el PC o el Panel de Control	170
5.2.2	Operación y manejo	170
5.3	Pruebas de Funcionamiento	173
5.3.1	Condiciones Iniciales de Temperatura	174
5.3.2	Temperatura en la etapa de calentamiento	178
5.3.3	Temperatura en la etapa de retención	181
5.3.4	Temperatura en la etapa de enfriamiento	185
5.3.5	Caudal del producto	187
5.3.6	Tiempo de recuperación de Temperatura	189

5.3.7	Estimado de Producción	191
5.3.8	Estimado de Costos de Producción	193

## **CAPÍTULO 6**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

6.1	Conclusiones	194
6.2	Recomendaciones	196

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

### **LISTA DE FIGURAS Y TABLAS**

### **LISTA DE ANEXOS**

- ANEXO 1:** DATOS TÉCNICOS DEL PLC SIEMENS SIMATIC S7-200 CPU 224
- ANEXO 2:** DATOS TÉCNICOS DEL PIC 16F877
- ANEXO 3:** DATOS TÉCNICOS DE SENSORES
- ANEXO 4:** DATOS TÉCNICOS DE ELEMENTOS ELECTRICOS Y ELECTRÓNICOS
- ANEXO 5:** TABLA DE PROPIEDADES TERMOFÍSICAS DEL AGUA
- ANEXO 6:** PROGRAMA DEL PIC 16F877 PARA EL PASTEURIZADOR PROTOTIPO
- ANEXO 7:** SCRIPT DEL HMI DESARROLLADO EN EL PROGRAMA INTOUCH
- ANEXO 8:** DIAGRAMAS ESTRUCTURALES
- ANEXO 9:** DIAGRAMAS DE TUBERÍAS E INSTRUMENTACIÓN (P&ID)
- ANEXO 10:** DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS DE LOS CIRCUITOS IMPLEMENTADOS
- ANEXO 11:** DIAGRAMAS DE RUTEADO DE LAS TARJETAS ELECTRÓNICAS

## RESUMEN

En el presente proyecto se describe el diseño y construcción de un prototipo de pasteurización de leche usando como controlador a un PLC y para la creación de la interfaz gráfica HMI el paquete computacional Intouch, teniendo como objetivo brindar una visión adecuada y práctica de la operación del funcionamiento del proceso de pasteurización de leche.

El prototipo de pasteurización construido consta de una estructura metálica robusta, sistema electrónico montado en el panel de control y sistemas de transferencia y retención de calor.

Para el tratamiento de las variables análogas, temperatura y caudal, se utiliza un microprocesador PIC que en conjunto con una etapa acondicionadora se encarga de enviar los datos requeridos por el PLC para ejecutar el control.

En el capítulo 1 se tratan aspectos básicos sobre la pasteurización de la leche de vaca, las técnicas utilizadas y los sistemas de transferencia y retención de calor.

En el capítulo 2 se detalla el diseño y la construcción de los sistemas de transferencia y retención de calor así como también se describen las características de los elementos que conforman el pasteurizador prototipo.

En el capítulo 3 se describe el software y hardware del sistema de control implementado para el prototipo de pasteurización de leche.

En el capítulo 4 se detalla la implementación de la interfaz gráfica HMI para el monitoreo de las variables que intervienen en el proceso de pasteurización, en donde se describen las ventanas creadas y se presenta la configuración para establecer la comunicación entre el PLC y el Intouch.

En el capítulo 5 se describe los pasos a seguir para la puesta en marcha del pasteurizador prototipo y se presentan los resultados de las pruebas de funcionamiento realizadas.

Finalmente en el capítulo 6 se presentan las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron del prototipo de pasteurización de leche a pequeña escala.

## PRESENTACIÓN

El prototipo de pasteurización de leche a pequeña escala brinda una alternativa de solución a las necesidades de los pequeños productores que no poseen un adecuado sistema de tratamiento de la leche ordeñada, ya que con el mismo es posible garantizar que la leche mantenga su composición, sabor y valor nutritivo además de prolongar su tiempo de consumo.

Proporciona un excelente ejemplo de enseñanza sobre el criterio de “cadena de producción” en la fabricación de productos alimenticios, que se completa con otros sistemas y cuestiones relacionadas con el control.

La técnica de pasteurización implementada en este proyecto es la denominada *HTST High Temperature Short Time* (Alta Temperatura Corto Tiempo). El pasteurizador prototipo consta de tres etapas principales: Calentamiento, Retención y Enfriamiento.

Las temperaturas en las diferentes etapas del proceso de pasteurización son sensadas por termocuplas tipo J para luego ser enviadas a la unidad central de control PLC, donde se procesan y determina las acciones a tomarse para lograr las condiciones de funcionamiento deseado.

El caudal es medido a través de un sensor tipo turbina y el nivel supervisado por sensores de tipo conductivo y de desplazamiento por flotador. De igual manera estas señales ingresan a la unidad central de control PLC.

Esta provisto de un sistema de monitoreo que muestra la animación y visualización de los datos de las variables del proceso a través de una Interfaz Hombre Máquina (HMI), realizada mediante el programa computacional Intouch.

# LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

## FIGURAS

### CAPÍTULO 1

- Figura 1.1 Curva tiempo/temperatura de efecto letal para bacterias en la leche
- Figura 1.2 Perfil de velocidad de las partículas en Flujo Laminar
- Figura 1.3 Perfil de velocidad de las partículas en Flujo Turbulento
- Figura 1.4 Transferencia unidimensional de calor por Conducción
- Figura 1.5 Capa límite en la Transferencia de calor por Convección
- Figura 1.6 Procesos de Transferencia de calor por Convección
- Figura 1.7 Transferencia de calor por Radiación
- Figura 1.8 Intercambiador de Calor de Flujo Paralelo
- Figura 1.9 Intercambiador de Calor de Flujo Cruzado
- Figura 1.10 Intercambiador de Flujo Cruzado Tubular con Aletas
- Figura 1.11 Intercambiador de Calor Tubular sin Aletas
- Figura 1.12 Intercambiador de Tubos y coraza con un paso por la coraza y por los tubos
- Figura 1.13 Intercambiadores de Calor de Tubos y Coraza
- Figura 1.14 Cubiertas de Intercambiadores de Placas tipo tubo con aletas
- Figura 1.15 Cubiertas de Intercambiadores de Placas tipo tubos con placa
- Figura 1.16 Intercambiador Regenerador
- Figura 1.17 Balances globales de energía para los fluidos caliente y frío del intercambiador de calor
- Figura 1.18 Distribuciones de temperatura para un intercambiador del flujo paralelo
- Figura 1.19 Distribuciones de temperatura para un intercambiador en contraflujo
- Figura 1.20 Factor de corrección para un intercambiador de Coraza y Tubos (1 coraza y cualquier múltiplo de 2 pasos de tubo)

### CAPÍTULO 2

- Figura 2.1 Tratamiento de la leche
- Figura 2.2 Etapas del proceso de pasteurización
- Figura 2.3 Diagrama funcional del proceso de pasteurización de leche
- Figura 2.4 Intercambiador de calor
- Figura 2.5 Sistema de calentamiento por resistencias eléctricas
- Figura 2.6 Enfriador
- Figura 2.7 Tubería y accesorios de acero inoxidable
- Figura 2.8 Tubería y accesorios HIDRO3
- Figura 2.9 Tanques de recolección
- Figura 2.10 Representación para el cálculo del Intercambiador Calentador
- Figura 2.11 Componentes del intercambiador de la etapa de calentamiento
- Figura 2.12 Representación para el cálculo del Intercambiador Enfriador
- Figura 2.13 Componentes del intercambiador de la etapa de enfriamiento
- Figura 2.14 Representación para el cálculo del Regenerador
- Figura 2.15 Componentes del regenerador
- Figura 2.16 Componentes del retenedor de calor
- Figura 2.17 Turbina de la Bomba Centrífuga para leche
- Figura 2.18 Bomba para leche M1
- Figura 2.19 Bifurcación del caudal de salida de la Bomba para leche
- Figura 2.20 Diagrama de pines del microprocesador PIC 16F877
- Figura 2.21 Termocuplas tipo J
- Figura 2.22 Sensor de caudal tipo Turbina Q1
- Figura 2.23 Sensor de nivel de desplazamiento por flotador L3
- Figura 2.24 Sensores de nivel resistivo o conductivo L1 y L2
- Figura 2.25 Panel de control vista frontal
- Figura 2.26 Panel de control vista interior
- Figura 2.27 PLC SIMATIC S7-200



## CAPÍTULO 3

- Figura 3.1 Lógica de Control del Proceso de Pasteurización
- Figura 3.2 Condiciones Iniciales
- Figura 3.3 Proceso de Pasteurización
- Figura 3.4 Lógica de la etapa de Calentamiento
- Figura 3.5 Lógica de la etapa de Retención
- Figura 3.6 Lógica de la etapa de Enfriamiento
- Figura 3.7 Diagrama de bloques del programa para el PLC
- Figura 3.8 Diagrama de flujo Programa Principal del PLC
- Figura 3.9 Diagrama de bloques Subrutina Condiciones Iniciales
- Figura 3.10 Diagrama de flujo Subrutina Nivel del Calentador
- Figura 3.11 Diagrama de flujo Subrutina Temperatura y Nivel
- Figura 3.12 Diagrama de bloques Subrutina Funcionamiento Normal
- Figura 3.13 Diagrama de flujo Subrutina Control de bomba para leche
- Figura 3.14 Diagrama de flujo Subrutina Control de Temperatura
- Figura 3.15 Diagrama de flujo Subrutina Control de Nivel
- Figura 3.16 Diagrama de bloques del Programa para el PIC 16F877
- Figura 3.17 Diagrama de flujo del Programa para el PIC 16F877
- Figura 3.18 Diagrama de flujo Subrutina Interrupción Externa
- Figura 3.19 Diagrama de flujo Subrutina Conversión A/D
- Figura 3.20 Diagrama de flujo Subrutina Contador TMR0
- Figura 3.21 Diagrama de flujo Subrutina Timer TMR1
- Figura 3.22 Diagrama de bloques del Sistema de Control
- Figura 3.23 Diagrama Funcional del Circuito de Control
- Figura 3.24 Diagrama interno del AD627
- Figura 3.25 Circuito de acondicionamiento de Termocuplas tipo J
- Figura 3.26 Circuito de acondicionamiento del Sensor de Caudal
- Figura 3.27 Circuito de acondicionamiento de Sensores de Nivel
- Figura 3.28 Circuito de la Etapa de Conversión A/D y Visualización
- Figura 3.29 Circuito de las Entradas del PLC
- Figura 3.30 Circuito de Aislamiento de Salidas del PLC al Microprocesador
- Figura 3.31 Diagrama de Conexiones de Entradas y Salidas del PLC
- Figura 3.32 Diagrama Unifilar del Circuito de Fuerza
- Figura 3.33 Diagrama de Conexiones Eléctricas del Panel de Control

## CAPÍTULO 4

- Figura 4.1 Diagrama de funcionamiento de la HMI
- Figura 4.2 Pantalla "PRESENTACION"
- Figura 4.3 Ventana "REGISTRO DE USURIOS"
- Figura 4.4 Botón "CONFIGURAR USARIOS"
- Figura 4.5 Botón "CAMBIAR CONTRASEÑA"
- Figura 4.6 Proceso de Pasteurización de Leche
- Figura 4.7 Ventana "GRAFICAS DE PROCESO"
- Figura 4.8 Ventana "HISTORICOS DEL PROCESO"
- Figura 4.9 Ventana "ALARMAS DEL PROCESO"
- Figura 4.10 Ventana "DATOS DE SENSORES"
- Figura 4.11 Ventana "PROTECCIONES"
- Figura 4.12 Ventana "FIN DE PROCESO"
- Figura 4.13 Ventana del programa S7200PPI
- Figura 4.14 Ventana de configuración del puerto de comunicaciones
- Figura 4.15 Ventana de configuración del Topic
- Figura 4.16 Ventana de creación de un nuevo Topic
- Figura 4.17 Ventana de configuración del servidor de datos
- Figura 4.18 Ventana de configuración del Access Name
- Figura 4.19 Ventana del Tagname T5 utilizado para ver el dato temperatura en el Intouch

## CAPÍTULO 5

Figura 5.1	Pasos a seguir para la puesta en marcha del pasteurizador prototipo
Figura 5.2	Pasos a seguir para la descarga del programa de aplicación en el PLC
Figura 5.3	Ventana principal del programa STEP7 MicroWIN32
Figura 5.4	Comunicación por medio del cable PC/PPI
Figura 5.5	Ventana para establecer la comunicación con el S7200
Figura 5.6	Carga del programa en el CPU del PLC
Figura 5.7	Ruta para abrir I/O Server S7200PPI
Figura 5.8	Ventana para abrir la aplicación desarrollada en INTOUCH
Figura 5.9	Ventanas desarrolladas en Intouch Window Maker
Figura 5.10	Ventana "PRESENTACIÓN" en Window Maker
Figura 5.11	Componentes para el manejo del prototipo desde el Panel de Control
Figura 5.12	Pantalla de presentación del Proyecto de Titulación
Figura 5.13	Pantalla "REGISTROS DE USUARIOS"
Figura 5.14	Pantalla Principal de Monitoreo del Proceso
Figura 5.15	Límites de especificaciones de las Etapas del Proceso de Pasteurización
Figura 5.16	Gráfica Temperatura del Calentador vs Tiempo Prueba 1
Figura 5.17	Gráfica Temperatura del Calentador vs Tiempo Prueba 2
Figura 5.18	Gráfica Temperatura del Calentador vs Tiempo Prueba 3
Figura 5.19	Gráfica Temperatura del Enfriador vs Tiempo Prueba 1
Figura 5.20	Gráfica Temperatura del Enfriador vs Tiempo Prueba 2
Figura 5.21	Gráfica Temperatura del Enfriador vs Tiempo Prueba 3
Figura 5.22	Gráfica Temperatura de la Etapa de Calentamiento Prueba 1
Figura 5.23	Gráfica Temperatura de la Etapa de Calentamiento Prueba 2
Figura 5.24	Gráfica Temperatura de la Etapa de Calentamiento Prueba 3
Figura 5.25	Diagrama de Dispersión Etapa de Calentamiento
Figura 5.26	Gráfica Temperatura de la Etapa de Retención Prueba 1
Figura 5.27	Gráfica Temperatura de la Etapa de Retención Prueba 2
Figura 5.28	Gráfica Temperatura de la Etapa de Retención Prueba 3
Figura 5.29	Diagrama de Dispersión Etapa de Retención
Figura 5.30	Rango de tiempo de retención para la técnica de pasteurización HTST
Figura 5.31	Gráfica Temperatura de la Etapa de Enfriamiento Prueba 1
Figura 5.32	Gráfica Temperatura de la Etapa de Enfriamiento Prueba 2
Figura 5.33	Gráfica Temperatura de la Etapa de Enfriamiento Prueba 3
Figura 5.34	Gráfica del caudal del producto
Figura 5.35	Gráfica Temperatura del Calentador vs Tiempo de Recuperación Prueba 1
Figura 5.36	Gráfica Temperatura del Calentador vs Tiempo de Recuperación Prueba 2
Figura 5.37	Gráfica Temperatura del Calentador vs Tiempo de Recuperación Prueba 3
Figura 5.38	Gráfica de barras para el Estimado de Producción

## TABLAS

### CAPÍTULO 1

Tabla 1.1	Composición cuantitativa de la leche de vaca
Tabla 1.2	Vitaminas en la leche de vaca y requerimiento diario
Tabla 1.3	Principales técnicas para la pasteurización de leche
Tabla 1.4	Constantes de Conductividad Térmicas de Materiales Aislantes

### CAPÍTULO 2

Tabla 2.1	Número de Nusselt para flujo laminar
Tabla 2.2	Datos de Placa de la Bomba para leche M1
Tabla 2.3	Datos de Placa de Bombas M2 y M4
Tabla 2.4	Datos de Placa de Bomba M5
Tabla 2.5	Datos de Placa del Refrigerador

Tabla 2.6	Especificaciones de las Resistencias de Calentamiento
Tabla 2.7	Especificaciones de la Electroválvula
Tabla 2.8	Especificaciones de las Termocuplas tipo J
Tabla 2.9	Especificaciones del sensor inductivo
Tabla 2.10	Tanques donde se mide el nivel del líquido contenido

### CAPÍTULO 3

Tabla 3.1	Asignación de pines del Puerto A
Tabla 3.2	Asignación de pines del Puerto B
Tabla 3.3	Asignación de pines del Puerto C
Tabla 3.4	Asignación de pines del Puerto D
Tabla 3.5	Asignación de pines del Puerto E
Tabla 3.6	Voltajes de entrada y salida de los sensores
Tabla 3.7	Función de los Puertos del Microprocesador PIC 16F877
Tabla 3.8	Elementos de Control de las Entradas del PLC
Tabla 3.9	Elementos de Control de las Salidas del PLC
Tabla 3.10	Tabla resumen de conductores y dispositivos de protección
Tabla 3.11	Resumen de la nomenclatura utilizada en el diagrama de conexiones del panel de control

### CAPÍTULO 4

Tabla 4.1	Nombre, contraseña y nivel de acceso de usuarios
Tabla 4.2	Campos del Topic Definition

### CAPÍTULO 5

Tabla 5.1	Pruebas y resultados de la Temperatura del Calentador T4
Tabla 5.2	Pruebas y resultados de la Temperatura del Enfriador T5
Tabla 5.3	Pruebas y resultados de la Temperatura T1 de la Etapa de Calentamiento
Tabla 5.4	Pruebas y resultados de la Temperatura T4 de la Etapa de Calentamiento
Tabla 5.5	Pruebas y resultados de la Temperatura T1 de la Etapa de Retención
Tabla 5.6	Pruebas y resultados de la Temperatura T2 de la Etapa de Retención
Tabla 5.7	Pruebas y resultados de la Temperatura T3 de la Etapa de Enfriamiento
Tabla 5.8	Pruebas y resultados de la Temperatura T5 de la Etapa de Enfriamiento
Tabla 5.9	Pruebas y resultados del caudal del producto
Tabla 5.10	Pruebas y resultados del Tiempo de Recuperación de Temperatura
Tabla 5.11	Datos de producción
Tabla 5.12	Parámetros para el Estimado de Costos de Producción

# **CAPÍTULO 1**

# CAPÍTULO 1

## CONCEPTOS BÁSICOS DE LA PASTEURIZACIÓN

### 1.1 ASPECTOS BÁSICOS DE LA PASTEURIZACIÓN DE LA LECHE DE VACA

#### 1.1.1 INTRODUCCIÓN

Prácticamente por todas las partes de la tierra el hombre empezó domesticando los animales herbívoros para satisfacer sus múltiples necesidades de leche, carne, ropa, etc. Los animales herbívoros eran escogidos por ser menos peligrosos y de fácil manejo en comparación con los animales carnívoros.

Hoy en día los mismos animales se siguen empleando para la producción de leche por ser uno de los componentes alimenticios esenciales para el hombre. El animal más ordeñando en el mundo es la vaca ya que se encuentra en todos los continentes y en casi todos los países.

Las características nutricionales que hacen de la leche un alimento completo para la dieta de los seres humanos, también la hacen un medio de cultivo ideal para el crecimiento de una gran variedad de microorganismos.

En general se puede resumir la importancia del estudio microbiológico de la leche basado en tres aspectos:

- Los microorganismos producen cambios deseables en las características físico químicas de la leche durante la elaboración de diversos productos lácteos.
- Los productos lácteos y la leche pueden contaminarse con microorganismos patógenos o sus toxinas y provocar enfermedades en el consumidor.
- Los microorganismos pueden causar alteraciones de la leche y productos lácteos haciéndolos inadecuados para el consumo.

La infección bacteriana de la leche es en gran parte provocada por el equipo de ordeño empleado. Cualquier superficie que entra en contacto con la leche es una fuente potencial de infección, por consiguiente es muy importante limpiar y sanear el equipo cuidadosamente.

Además para prolongar el tiempo de vida y destruir ciertos microorganismos que dañan la leche sin producir cambios materiales en su composición, sabor y valor nutritivo se utiliza el proceso conocido como pasteurización llamado así en honor al químico francés Louis Pasteur, quien lo ideó en 1865.

## **1.1.2 PROPIEDADES Y DERIVADOS DE LA LECHE DE VACA**

### **1.1.2.1 Generalidades biológicas**

La leche se define como la secreción láctea magra, fresca y limpia, que se obtiene del ordeño de una o más vacas de hatos sanos y bien alimentados, estrictamente controlados para ofrecer un producto de excelente calidad.

Los componentes principales de leche son agua, grasa, proteínas, lactosa y minerales. También contiene cantidades de otras sustancias como los pigmentos, enzimas, vitaminas y gases.

La leche como alimento proporciona no sólo calorías, sino también sales minerales, proteínas, carbohidratos y vitaminas. Las sales minerales, principalmente el calcio y el fósforo, juegan un papel importantísimo en la vida de los niños, pues los huesos se forman a partir de estos nutrimentos.

### 1.1.2.2 Composición química y propiedades de la leche de vaca

La leche es un líquido blanco, opaco, de sabor ligeramente dulce. Su densidad, o peso específico, tiene un valor promedio casi constante. La densidad de la leche se mide con un lactodensímetro, o pesa - leche, un modelo especial de densímetro, con el vástago graduado de 15 a 40.

Las cantidades de los componentes principales de la leche pueden variar considerablemente entre las vacas de castas diferentes y entre las vacas individuales de la misma

La tabla 1.1 muestra los límites de variación y el valor promedio de los diferentes componentes de la leche de vaca.<sup>1</sup>

Componentes principales	Rango de variación	Valor promedio
Agua	85.5 – 89.5	87.5 %
Total de sólidos	10.5 – 14.5	13 %
Grasa	2.5 – 6	3.9 %
Proteínas	2.9 – 5	3.4 %
Lactosa	3.6 – 5.5	4.8 %
Minerales	0.6 – 0.9	0.8 %

Tabla1.1 Composición cuantitativa de la leche de vaca

La grasa de la leche se encuentra como glóbulos pequeños o gotas dispersadas en el suero de leche.

<sup>1</sup> Dairy Processing Handbook. Bylund Gösta.

Las proteínas disueltas en la leche son una parte esencial de nuestra dieta, estas son moléculas gigantes construidas a partir de unidades más pequeñas llamadas aminoácidos. Una molécula de proteína consiste en una o más cadenas ínterlazadas de aminoácidos colocadas en un orden específico; normalmente contiene alrededor de 100 a 200 aminoácidos.

La lactosa es un azúcar encontrado solamente en la leche; pertenece al grupo orgánico de compuestos químicos llamados hidratos de carbono, que son la fuente de energía más importante en nuestra dieta. Al ser un tipo de azúcar esta se puede fermentar produciendo el ácido láctico. Si se calienta la leche a una temperatura alta, y se persiste en esa temperatura, llega a adquirir un sabor de caramelo. A este proceso se lo llama la *caramelización* y es el resultado de una reacción química entre la lactosa y las proteínas.

La leche contiene varios minerales cuya concentración total es menos del 1%. Las sales minerales más importantes encontradas son calcio, sodio, potasio y magnesio, donde el potasio y el calcio son los más abundantes en la leche normal.

La leche contiene muchas vitaminas, entre las más conocidas son A, B1, B2, C y D. Las vitaminas A y D son solubles en la grasa, mientras que las otras son solubles en agua. En la tabla 1.2 se indica la cantidad de vitaminas que contiene la leche de vaca.<sup>2</sup>

Vitamina	Contenido en 1 litro de leche (mg)	Requerimiento diario (mg)
A	0.2 - 2	1 - 2
B1	0.4	1 - 2
B2	1.7	2 - 4
C	5 - 20	30 - 100
D	0.002	0.01

Tabla 1.2 Vitaminas en la leche de vaca y requerimiento diario.

<sup>2</sup> Dairy Processing Handbook. Bylund Gösta.



Otras características secundarias de la leche de vaca son una débil reacción alcalina y una reacción ácida. Esta última indica alteración por fermentación. Sin embargo, la leche tiene algunas desventajas: es por un lado, fácilmente alterable, por lo que en muchas ocasiones se encuentra adulterada, y es, por otro lado, vehículo frecuente de gérmenes, siendo su consumo a veces causa de enfermedades endémicas.

### 1.1.2.3 Derivados directos principales

Entre los principales derivados de la leche de vaca tenemos:

**Leche homogeneizada.-** La leche homogeneizada fue sometida a algún tratamiento físico, antes o después de la pasteurización, para romper los glóbulos de grasa que, una vez subdivididos, no se separan con facilidad del resto del líquido. La leche homogeneizada no acumula nata en la superficie, aunque quede en reposo durante 48 horas.

**Leche condensada.-** Se elimina agua operando a presión reducida (aproximadamente 0.5 at) hasta obtener un líquido espeso, de densidad: 1,3 g/ml. Se le agrega 30% de azúcar si la materia prima es leche entera, porcentaje que se eleva al 50% para leche descremada. La disolución en agua de 350 - 400 g de leche condensada regenera un litro de leche líquida.

**Leche en polvo.-** Exige deshidratación al vacío para no alterar sus componentes. Envasada herméticamente la leche en polvo, se conserva bien. Excepcionalmente pueden enranciarse las grasas. Con 125 g de leche en polvo se reconstruye un litro de leche líquida, es decir, cada kilogramo del producto desecado rinde 8 litros de leche para el consumo.

**Leches modificadas.-** Procedimientos químicos y biológicos provocan cambios en la composición de la leche. Las leches maternizadas y los alimentos para lactantes son

hidrolizados con fermentos especiales que desdoblan químicamente a la caseína y los restantes prótidos, que de esta manera son digeridos sin dificultad.

El yogurt ha experimentado una deliberada coagulación debido a la incorporación de bacilos lácticos seleccionados. En esta categoría se han incorporado las leches cultivadas.

### **1.1.3 PASTEURIZACIÓN DE LA LECHE DE VACA**

#### **1.1.3.1 Definición**

La pasteurización de la leche es uno de los métodos más comunes de conservación de los alimentos que mediante un calentamiento destruye los microorganismos patógenos y las enzimas que los dañan. El tratamiento térmico requerido no es único ya que se pueden emplear varias condiciones de tiempo-temperatura para lograr el objetivo, pero se prefieren los de altas temperaturas y cortos tiempos. Seguidos de un descenso brusco de temperatura, para garantizar la eficiencia del procedimiento.<sup>3</sup>

#### **1.1.3.2 Objetivos**

Los principales objetivos o propósitos de la pasteurización de leche de vaca son los siguientes:

- Eliminar el bacilo transmisor de la Tuberculosis (T.B.)
- Paralelamente a la destrucción de microorganismos patógenos, también destruir los microorganismos más termo sensibles, como los coliformes.
- Con el enfriamiento mantener a los microorganismos que no se pudieron eliminar en estado de latencia y así prolongar su tiempo de consumo.
- Garantizar su composición, sabor y valor nutritivo de la leche de vaca.

---

<sup>3</sup> [www.codexalimentarius.com/glosario.htm](http://www.codexalimentarius.com/glosario.htm)

### 1.1.3.3 Técnicas de pasteurización

La combinación tiempo/temperatura es muy importante y determina la intensidad del tratamiento térmico. La figura 1.1 muestra las curvas de los efectos letales para las bacterias coliformes, thyphus y la tuberculosis bacillus.<sup>4</sup>

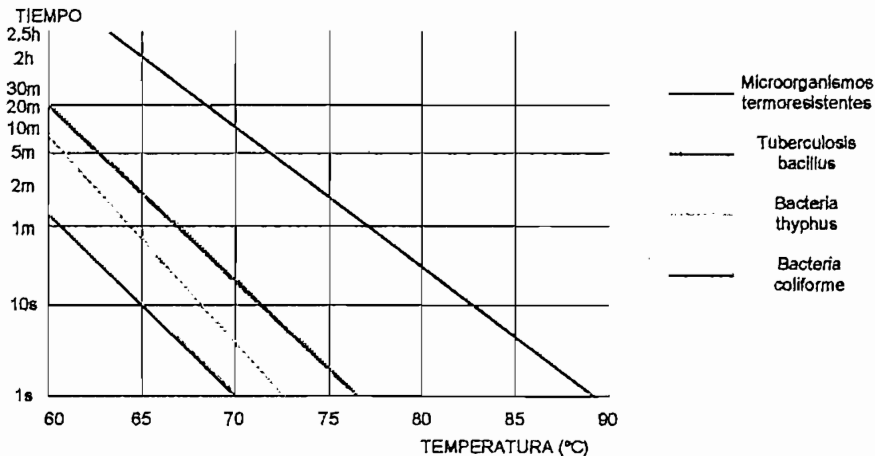


Figura 1.1 Curva tiempo/temperatura de efecto letal para bacterias en la leche

Según estas curvas, se matan las bacterias coliformes si la leche se calienta a 70°C y si se mantiene esa temperatura durante aproximadamente un segundo. A una temperatura de 65°C con un tiempo de 10 segundos también sirve para matar las bacterias coliformes. Estas dos combinaciones, 70°C/1 s y 65°C/10 s, tienen por consiguiente el mismo efecto letal.

La tuberculosis bacillus es más resistente al tratamiento térmico que las bacterias coliformes. Un tiempo de 20 segundos a 70°C o aproximadamente 2 minutos a 65°C es necesario para asegurar que todas estas bacterias sean destruidas. Podría haber también microorganismos termo resistentes en la leche, pero como una regla ellos son inofensivos al ser humano.

<sup>4</sup> Dairy Processing Handbook. Bylund Gösta.

Desde el punto de vista microbiológico es deseable un intenso tratamiento térmico, pero también involucra un riesgo de efectos adversos en la apariencia, sabor y el valor nutritivo de la leche. Las proteínas y vitaminas en la leche se pierden al someterla a altas temperaturas, así como también el sabor de la leche sabe a quemado. La solución es optimizar la combinación tiempo/temperatura para satisfacer los efectos microbiológicos y los aspectos de calidad de la leche.

El tratamiento térmico es la parte más importante en el procesamiento de la leche han surgido varias técnicas las cuales se indican en la tabla 1.3.<sup>5</sup>

Técnica	Temperatura	Tiempo
Termización	63 – 65 °C	15 s
LTLT	63 °C	30 min.
HTST	72 – 78 °C	15 – 20 s
Pasteurización Alta	85 °C	8 – 15 s
UHT	125 – 138 °C	2 – 4 s
Esterilización	115 – 120 °C	20 – 30 min.

Tabla 1.3 Principales técnicas para la pasteurización de leche

### Termización

En muchas plantas grandes no es posible pasteurizar y procesar toda la leche inmediatamente después de la recepción. Alguna parte debe guardarse en tanques o silos durante horas o días. Bajo estas condiciones, el enfriar a bajas temperaturas incluso no es suficiente para prevenir la deterioración de su calidad.

Muchas plantas precalientan la leche a una temperatura debajo del grado de pasteurización para impedir el crecimiento bacteriano temporalmente. Este proceso es llamado termización. La leche se calienta de 63 – 65 °C durante aproximadamente 15 segundos, una combinación tiempo/temperatura vuelve inactiva a la enzima fosfatasa alcalina.

<sup>5</sup> Dairy Processing Handbook. Bylund Gösta.

Para prevenir que se formen esporas después de la termización, la leche debe enfriarse rápidamente a 4°C y no debe ser mezclada con la leche no tratada o cruda.

La termización sólo debe aplicarse en casos excepcionales.

Lo ideal es pasteurizar toda la leche ordeñada dentro de 24 horas de llegada a la planta.

### **LTLT (Baja Temperatura Largo Tiempo)**

El tratamiento térmico original consistía en un proceso donde la leche era calentada a 63°C en tinas abiertas y se mantenía a esa temperatura durante 30 minutos. Este método se llama el método retenedor o método temperatura baja - tiempo largo (LTLT).

Actualmente la leche es casi siempre tratada con procesos térmicos continuos como la termización, pasteurización HTST o el tratamiento UHT.

### **HTST (Alta Temperatura Corto Tiempo)**

HTST es la abreviación de Alta temperatura - Corto Tiempo. La combinación de tiempo / temperatura varía según la calidad de la leche cruda, el tipo de producto tratado, y las propiedades requeridas de almacenamiento.

El proceso HTST consiste en elevar la temperatura de la leche hasta los 72 o 78°C y mantenerla durante 15 a 20 segundos antes de enfriarla.

La enzima fosfata alcalina es destruida por esta combinación del tiempo/temperatura. La prueba de la fosfata alcalina es por lo tanto usada para verificar que la leche ha sido pasteurizada correctamente. El resultado de la prueba debe ser negativo; lo que indica que no se detecto actividad de la fosfata alcalina.

## **Pasteurización Alta**

La pasteurización alta es preferida por su elevado efecto germicida, las modificaciones físico - químicas son bastante más acusadas que en la pasteurización HTST, pues la mayoría de los fenómenos de desnaturalización se producen por encima de los 75 °C. Las pérdidas de las vitaminas A, B1 y C se limitan al 20%.

## **UHT Ultra pasteurización**

La ultra pasteurización se puede utilizar cuando se requiere una particular vida útil de la leche. Para algunos fabricantes la conservación de dos días extras de la leche son suficientes, mientras que para otros su objetivo es para 30-40 días encima de los 2-16 días que son tradicionalmente asociados con los productos pasteurizados. El principio fundamental es reducir las causas principales de reinfeción del producto durante el procesamiento y empaquetamiento para extender la vida útil del producto. Esto requiere niveles sumamente altos de higiene en la producción y distribución a temperaturas no mayores a 7°C.

Calentando la leche de 125 -138°C por 2 - 4 segundos y enfriándola a temperaturas menores a 7°C, son la base para extender la vida útil de la leche.

## **Esterilización**

La forma original de esterilización, es utilizar recipientes esterilizadores normalmente a 115 -120°C por unos 20-30 minutos.

Después de la esterilización, homogenización y calentamiento a aproximadamente 80°C, la leche es almacenada en recipientes limpios normalmente en botellas de plástico o de vidrio; mientras que la leche evaporada en recipientes enlatados. El

producto, todavía caliente, se transfiere a las autoclaves en la producción del lote o a una torre hidrostática en la producción continua.

## 1.2 INTERCAMBIADORES DE CALOR

### 1.2.1 CONCEPTOS BÁSICOS

**CALOR (Q).**- Transferencia de energía de una parte a otra de un cuerpo, o entre diferentes cuerpos, en virtud de una diferencia de temperatura. El calor es energía en tránsito; siempre fluye de una zona de mayor temperatura a una zona de menor temperatura, con lo que eleva la temperatura de la segunda y reduce la de la primera, siempre que el volumen de los cuerpos se mantenga constante.<sup>6</sup>

La cantidad de calor se expresa en julios o caloría que se define como la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de 1 gramo de agua a 1 atmósfera de presión desde 15 hasta 16 °C.

**CALOR ESPECÍFICO (C<sub>p</sub>).**- La cantidad de calor necesaria para aumentar en un grado la temperatura de una unidad de masa de una sustancia se conoce como calor específico. Si el calentamiento se produce manteniendo constante el volumen de la sustancia o su presión, se habla de calor específico a volumen constante o a presión constante.<sup>6</sup>

**DENSIDAD (ρ).**- Es la relación entre la masa de un cuerpo homogéneo por unidad de volumen.<sup>6</sup>

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Ec 1.1}$$

---

<sup>6</sup> Fundamentos de la Transferencia de calor. Incropera Frank

**GRADIENTE DE TEMPERATURA ( $dt/dx$ ).**- Es la razón o velocidad de cambio de temperatura "t" con respecto a la longitud de un cuerpo "x"

**VISCOSIDAD ( $\mu$ ).**- Propiedad de un fluido que tiende a oponerse a su flujo cuando se le aplica una fuerza. Los fluidos de alta viscosidad presentan una cierta resistencia a fluir; en cambio los fluidos de baja viscosidad fluyen con facilidad. La fuerza con la que una capa de fluido en movimiento arrastra consigo a las capas adyacentes de fluido determina su viscosidad.

**MOVIMIENTO LAMINAR DE UN FLUIDO VISCOSO.**- Cuando un fluido viscoso se desplaza dentro de un tubo a velocidades bajas, las partículas del fluido están en movimiento laminar. El perfil de velocidad tiene la forma mostrada en la figura 1.2.

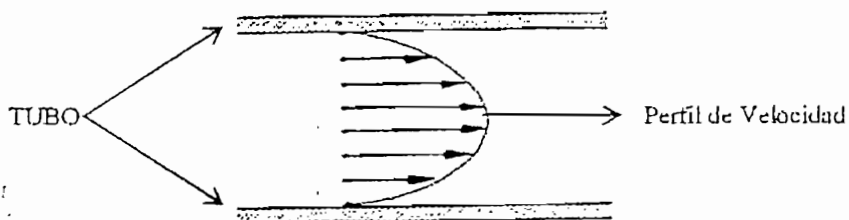


Figura 1.2 Perfil de Velocidad de las partículas en Flujo Laminar

**MOVIMIENTO TURBULENTO DE UN FLUIDO VISCOSO.**- Si un fluido viscoso se desplaza dentro de un tubo a velocidades elevadas, surgen fluctuaciones en la velocidad del flujo o remolinos que originan un aumento de la resistencia al movimiento, con lo que se dice que sus partículas están en movimiento turbulento. El perfil de velocidad se indica en la figura 1.3.

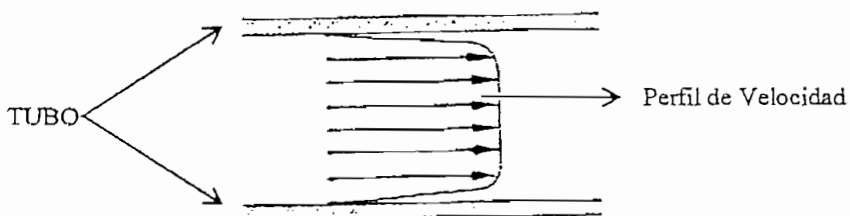


Figura 1.3 Perfil de Velocidad de las partículas en Flujo Turbulento



**NUMERO DE REYNOLDS ( $N_R$ ).**- Es un número adimensional que determina la condición o régimen de movimiento laminar o turbulento de un fluido viscoso que se desplaza a través de un tubo.<sup>7</sup>

Experimentalmente se comprobó que cuando el número de Reynolds se encuentra entre 0 y 2100 el régimen de un fluido viscoso es laminar, mientras que por encima de 3000 el régimen es turbulento. Entre 2100 y 3000 hay una zona de transición en la cual el régimen es inestable y puede pasar de un tipo a otro.

### 1.2.2 TRANSFERENCIA DE CALOR

La *Termodinámica* es un campo de la física que estudia la transferencia de la energía mediante interacciones de un sistema con su alrededor conocidas como Trabajo y Calor. Pero solamente trata de los estados finales del proceso durante el cual ocurre una interacción y no sobre su naturaleza o rapidez.

Los diferentes tipos de procesos de transferencia de calor, conocidos como *modos de transferencia de calor*, dan una visión adecuada acerca de la naturaleza de una interacción y por medio de ecuaciones o modelos apropiados es posible cuantificar la cantidad de energía que se transfiere por unidad de tiempo en dichos procesos.

Los Tipos o Modos de Transferencia de Calor son los siguientes:

- Transferencia de Calor por Conducción
- Transferencia de Calor por Convección
- Transferencia de Calor por Radiación

---

<sup>7</sup> Fundamentos de la Transferencia de calor. Incropera Frank

### 1.2.2.1 Transferencia de Calor por Conducción

Se denomina *Conducción* al proceso de transferencia de calor producido a través de un medio estacionario (un sólido o un líquido) debido a la presencia de un gradiente de temperatura.

La conducción esta relacionada con actividad atómica y molecular por lo que se considera como la transferencia de energía de las partículas más energéticas a las menos energéticas de una sustancia debido a las interacciones entre las mismas.

La ecuación que cuantifica el flujo de calor o transferencia de calor por conducción se conoce como Ley de Fourier. Para la pared plana unidimensional que se muestra en la figura 1.4, la cual tiene una distribución de temperatura  $T(x)$ , la ecuación se expresa como:

$$q''_x = -k \frac{dT}{dx} \quad \text{Ec 1.2}$$

$q''_x$  = transferencia o flujo de calor por unidad de área ( $W/m^2$ )

$k$  = coeficiente de conductividad térmica ( $W/m \cdot K$ )

$\frac{dT}{dx}$  = gradiente de temperatura.

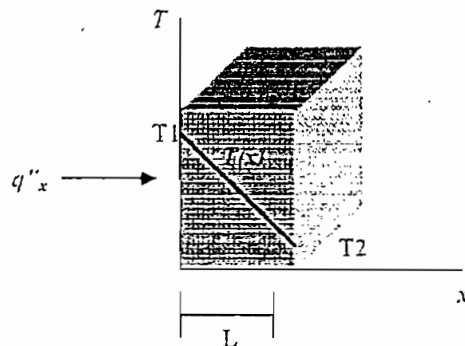


Figura 1.4 Transferencia unidimensional de calor por Conducción

La transferencia de calor por unidad de área, es la velocidad con que se transfiere el calor en la dirección de  $x$  por área unitaria perpendicular a la dirección de transferencia y es proporcional al gradiente de temperatura,  $dT/dx$  en esta dirección.

El signo negativo es consecuencia de que el calor se transfiere en la dirección de la temperatura decreciente. En condiciones de estado estable, donde la temperatura es lineal, el gradiente de temperatura se expresa como:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L} \quad \text{Ec 1.3}$$

reemplazando en la Ec 1.2 se tiene:

$$q''_x = k \frac{T_1 - T_2}{L} = k \frac{\Delta T}{L} \quad \text{Ec 1.4}$$

### 1.2.2.2 Transferencia de Calor por Convección.

El modo de transferencia de calor por Convección ocurre entre una superficie y un fluido en movimiento cuando están a diferentes temperaturas.

Se compone de dos mecanismos, además de la transferencia de energía debida al movimiento molecular aleatorio (difusión), la energía también se transfiere mediante el movimiento global o macroscópico del fluido. En un fluido, las moléculas se mueven en grandes números y de forma colectiva o como agregados; y que en presencia de un gradiente de temperatura, contribuyen a la transferencia de calor.

Considerando el flujo del fluido sobre la superficie calentada de la figura 1.5, una consecuencia de la interacción fluido-superficie es el desarrollo de una región en el fluido en la que la velocidad varía de cero en la superficie a un valor finito  $\mu_\infty$  asociado con el flujo; y que es conocida como capa límite hidrodinámica o de velocidad. De igual forma, si las temperaturas de la superficie y del fluido difieren, habrá una región del fluido a través de la cual la temperatura varía de  $T_s$  en  $y = 0$  a

$T_\infty$  en el flujo exterior, y que se denomina capa límite térmica. En cualquier caso, si  $T_s > T_\infty$ , ocurrirá la transferencia de calor por convección entre la superficie y el flujo exterior.

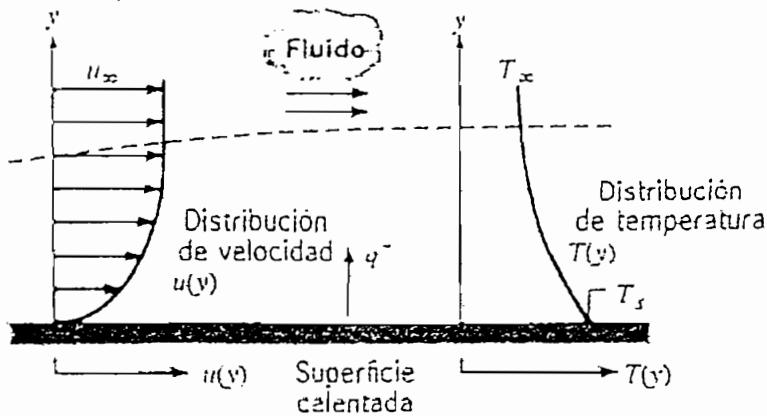


Figura 1.5 Capa límite en la Transferencia de calor por Convección

La transferencia de calor por convección se clasifica de acuerdo con la naturaleza del flujo, así se tiene:

**Convección Forzada.**- Cuando el flujo es causado por medios externos, como un ventilador, una bomba o vientos atmosféricos.

**Convección Libre.**- Cuando el flujo es inducido por fuerzas de empuje que surgen a partir de diferencias de densidad ocasionadas por variaciones de temperatura en el fluido.

**Convección Mezclada.**- Pueden existir condiciones correspondientes a convección forzada y natural, en donde además del flujo inducido por diferencias de densidad, se hace circular aire forzado de tal forma que ayude o se oponga al flujo de empuje.

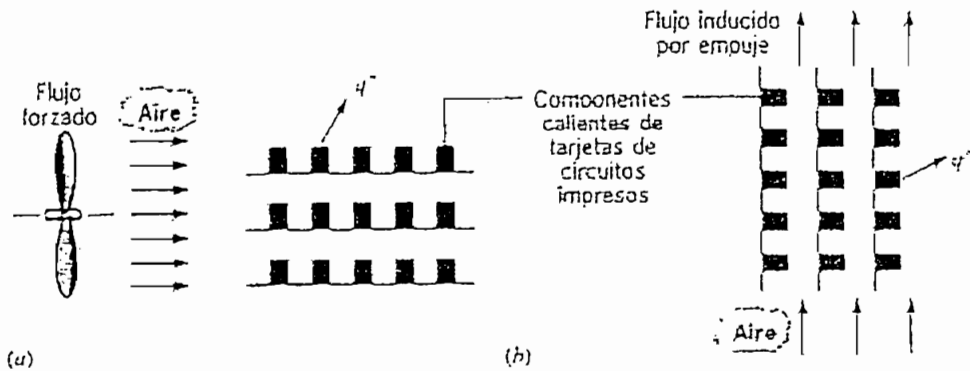


Figura 1.6 Procesos de Transferencia de calor por Convección

a) Convección Forzada b) Convección Natural

Para la transferencia de calor por convección, sin importar su naturaleza en particular, el flujo de calor está dado por la expresión conocida como Ley de Enfriamiento de Newton:

$$q'' = h(T_s - T_\infty) \quad (\text{Ec 1.5})$$

$q''$  = flujo de calor por convección ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

$h$  = coeficiente de transferencia de calor por convección ( $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ )

$T_s$  = temperatura de la superficie

$T_\infty$  = temperatura del flujo exterior

El flujo de calor por convección es proporcional a la diferencia entre las temperaturas de la superficie y del fluido,  $T_s$  y  $T_\infty$ , respectivamente.

El coeficiente de transferencia depende de las condiciones en la capa límite, en las que influyen la geometría de la superficie, la naturaleza del movimiento del fluido y una variedad de propiedades termodinámicas del fluido de transporte.

El flujo de calor por convección se considera positivo cuando el calor se transfiere desde la superficie ( $T_s > T_\infty$ ), y negativo cuando el calor se transfiere hacia la superficie ( $T_s < T_\infty$ ).

### 1.2.2.3 Transferencia de Calor por Radiación

Todas las superficies con temperatura finita emiten energía en forma de ondas electromagnéticas. Por lo tanto, en ausencia de un medio material, existe una transferencia de calor por radiación entre dos superficies a diferentes temperaturas.

Mientras que en la transferencia de energía por conducción o convección requiere de un medio material, la radiación no lo precisa y al contrario es más eficiente en el vacío.

La radiación que una superficie emite se origina a partir de la energía térmica de la materia limitada por la superficie, y la velocidad a la que libera la energía por unidad de área; la cual es denominada Potencia Emisiva Superficial "E".

La radiación también puede incidir sobre una superficie desde sus alrededores y que puede originarse desde una superficie especial, como el sol, o de otras superficies a las que se expone la superficie de interés. Sin considerar la fuente, se designa como Irradiación "G" a la velocidad con que toda esa radiación incide sobre un área unitaria de la superficie.

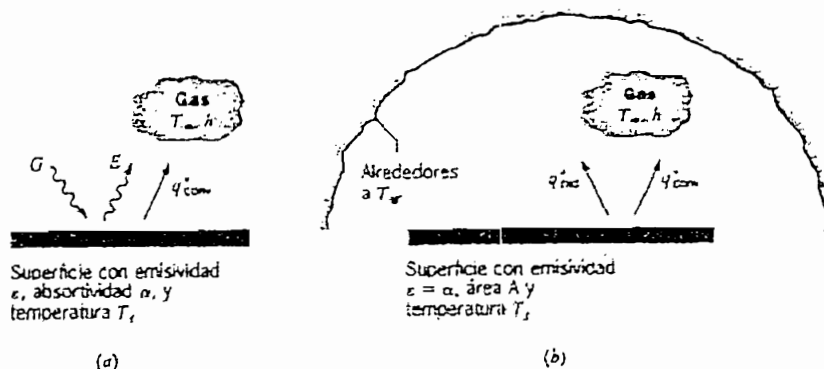


Figura 1.7 Transferencia de calor por Radiación

a) en la superficie b) entre una superficie y sus alrededores

La velocidad neta de transferencia de calor por radiación desde una superficie, expresada por unidad de área es:

$$\dot{q}_{rad} = \frac{q}{A} = \epsilon\sigma(T_s^4 - T_{abr}^4) \quad \text{Ec 1.6}$$

$\dot{q}_{rad}$  = Transf. de calor por radiación ( $W/m^2$ )

$T_s$  = temperatura absoluta de la superficie ( $^{\circ}K$ )

$\epsilon$  = emisividad (prop. radiativa de la superficie)

$T_{abr}$  = temperatura de los alrededores ( $^{\circ}K$ )

$\sigma$  = const. Stefan-Boltzmann ( $5.67 \times 10^{-8}$   
 $W/m^2 \cdot K^4$ )

Esta expresión proporciona la diferencia entre la energía térmica que se libera debido a la emisión por radiación y la que se gana debido a la absorción de radiación. Hay muchas aplicaciones donde es conveniente expresar el intercambio neto de radiación en la forma:

$$q_{rad} = h_r A (T_s - T_{abr}) \quad \text{Ec 1.7}$$

$q_{rad}$  = transferencia neta de calor por radiación

$h_r$  = coeficiente de transferencia de calor por conducción

### 1.2.3 CLASIFICACIÓN DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR

**Intercambiador de Calor.-** Es aquel dispositivo que permite el proceso de intercambio de calor entre dos fluidos que están a diferentes temperaturas y separados por una pared sólida.

Los intercambiadores de calor se clasifican considerando primeramente la dirección del flujo que circula y luego su tipo de construcción, como se indica a continuación:

- Intercambiador de calor de flujo paralelo
- Intercambiador de calor de contraflujo
- Intercambiador de calor de flujo cruzado
  - Tubulares con aletas

- o Tubulares sin aletas
- Intercambiador de calor de tubos y coraza o de pasos múltiples
- Intercambiador compacto o de placas
- Regeneradores

### 1.2.3.1 Intercambiador de Calor de Flujo Paralelo

Es un tipo de intercambiador donde los fluidos caliente y frío se mueven en la misma dirección. Está construido por un arreglo de tubos concéntricos o doble tubo donde los fluidos caliente y frío entran por el mismo extremo, fluyen en la misma dirección y salen por el mismo extremo.

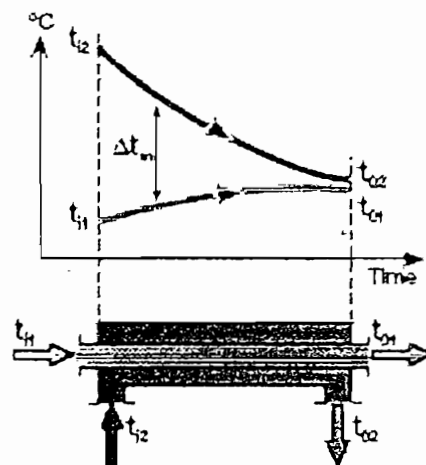


Figura 1.8 Intercambiador de Calor de Flujo Paralelo

### 1.2.3.2 Intercambiador de Calor de Contraflujo

En este tipo de intercambiador los fluidos caliente y frío se mueven en direcciones opuestas. Está construido por un arreglo de tubos concéntricos o doble tubo en el cual los fluidos caliente y frío entran por extremos opuestos, fluyen en direcciones opuestas y salen por extremos opuestos.



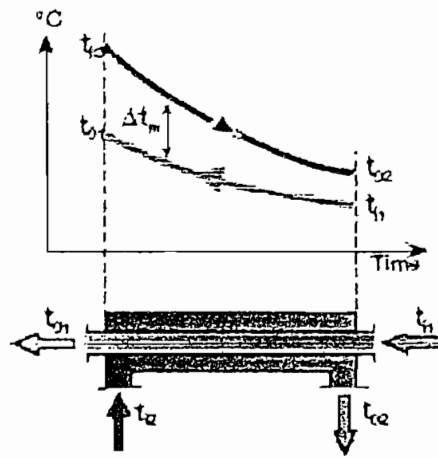


Figura 1.9 Intercambiador de Calor de Contraflujo

### 1.2.3.3 Intercambiador de Calor de Flujo Cruzado

Es un tipo de intercambiador en donde los fluidos caliente y frío se mueven perpendicularmente entre sí o en flujo cruzado.

Físicamente puede ser construido de dos formas que difieren según el movimiento que realiza un fluido con relación al otro. Estas configuraciones son conocidas como Tubulares con aletas o sin aletas, en los cuales el movimiento que realiza uno de los fluidos es no mezclado o mezclado respectivamente.

#### 1.2.3.3.1 Tubulares con Aletas

Está construido por varias aletas colocadas perpendicularmente a los tubos que llevan al fluido principal. El fluido secundario se mueve paralelamente a las aletas y cubriendo a los tubos del flujo principal.

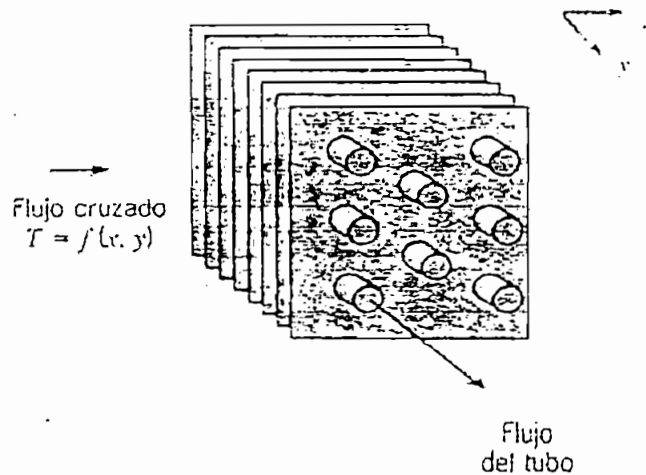


Figura 1.10 Intercambiador de Flujo Cruzado Tubular con Aletas

El fluido no está mezclado por que las aletas impiden el movimiento en una dirección ( $y$ ) que es transversal a la dirección del flujo principal ( $x$ ). En este caso la temperatura del fluido varía tanto en ( $x$ ) como en ( $y$ ).

Para este caso, dado que el flujo del tubo no es mezclado, ambos fluidos están sin mezclar.

#### 1.2.3.3.2 Tubulares sin Aletas

Está formado por un conjunto de tubos paralelos donde es posible el movimiento del fluido secundario en la dirección transversal, que en consecuencia es mezclado. Las variaciones de temperatura se producen, en principio, en la dirección del flujo principal.

En este intercambiador como un fluido está mezclado y el otro sin mezclar, la naturaleza de la condición de mezcla puede influir de manera significativa en el funcionamiento del intercambiador de calor.

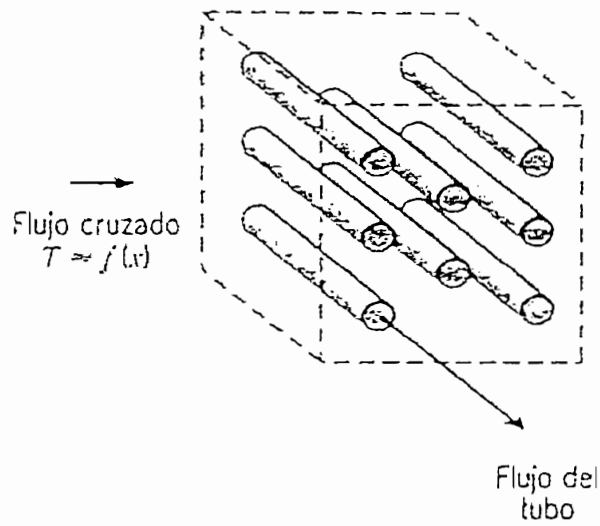


Figura 1.11 Intercambiador de Calor Tubular sin Aletas.

#### 1.2.3.4 Intercambiador de Calor de Tubos y Coraza o de Pasos Múltiples

Son intercambiadores compuestos en esencia por tubos de sección circular montados dentro de una coraza cilíndrica con sus ejes paralelos a la circulación del fluido dentro de la coraza. Normalmente se instalan deflectores para aumentar el coeficiente de convección del fluido del lado de la coraza al incluir turbulencia y una componente de velocidad de flujo cruzado.

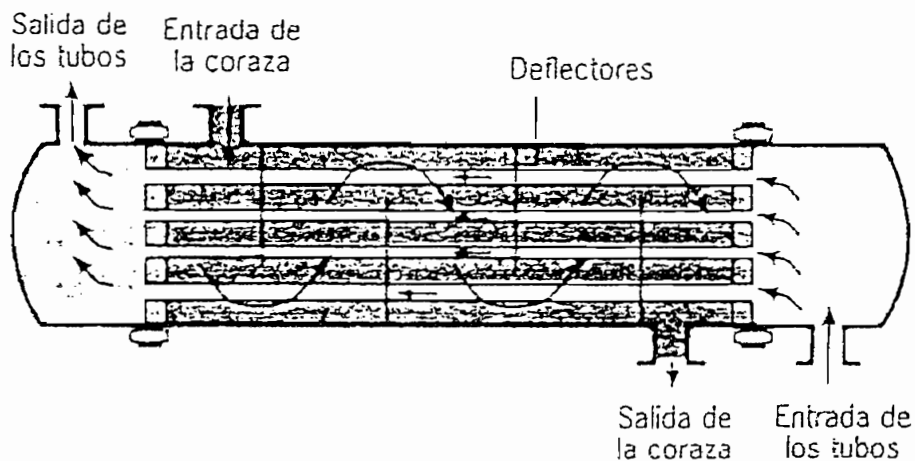


Figura 1.12 Intercambiador de Tubos y Coraza con un paso por la coraza y por los tubos

Los intercambiadores de calor líquido-líquido pertenecen en general a este grupo y también en algunos casos los intercambiadores gas-gas.

Existen muchas variedades de este tipo de intercambiador; las diferencias dependen de la distribución de flujo y de los aspectos específicos de construcción como es el número de pasos de la tubería y de la coraza. Un factor muy importante para determinar el número de pasos del flujo por el lado de los tubos es la caída de presión permisible.

En la figura 1.13 se muestran intercambiadores con deflectores con un paso por la coraza y dos pasos por los tubos y con dos pasos por la coraza y cuatro pasos por los tubos, respectivamente.

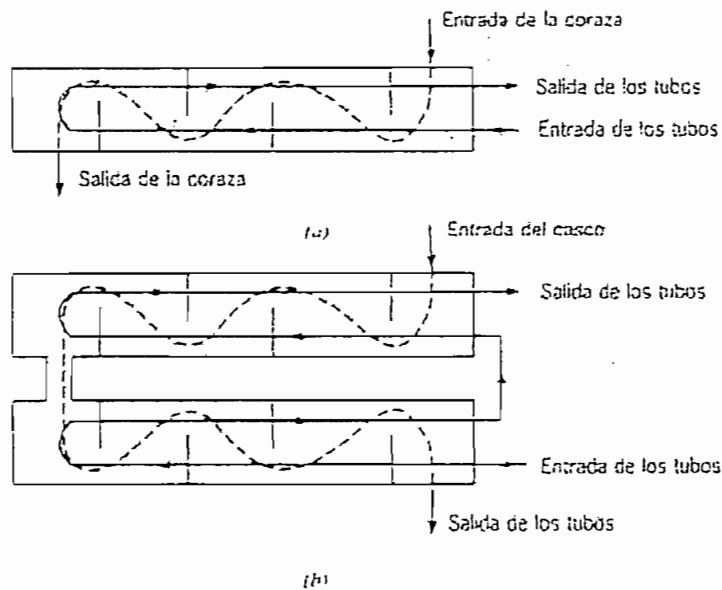


Figura 1.13 Intercambiadores de Calor de Tubos y Coraza

a) 1 paso por la coraza y 2 por los tubos b) 2 pasos por la coraza y 4 por los tubos

### 1.2.3.5 Intercambiador de Calor Compacto o de Placas

Es un tipo especial e importante de intercambiador diseñado para conseguir un área superficial de transferencia de calor por unidad de volumen muy grande ( $>700\text{m}^2/\text{m}^3$ ).

Estos dispositivos tienen complejos arreglos de tubos con aletas o placas que se usan normalmente cuando al menos uno de los fluidos es un gas, y en consecuencia se caracteriza por un coeficiente de convección pequeño.

En el arreglo de tubos con aletas, los tubos pueden ser planos o circulares y las aletas pueden ser de placa o circular.

En el arreglo de tubos con placas paralelas, pueden ser con aletas o corrugadas y se pueden usar en modos de operación de un solo paso o Multipaso.

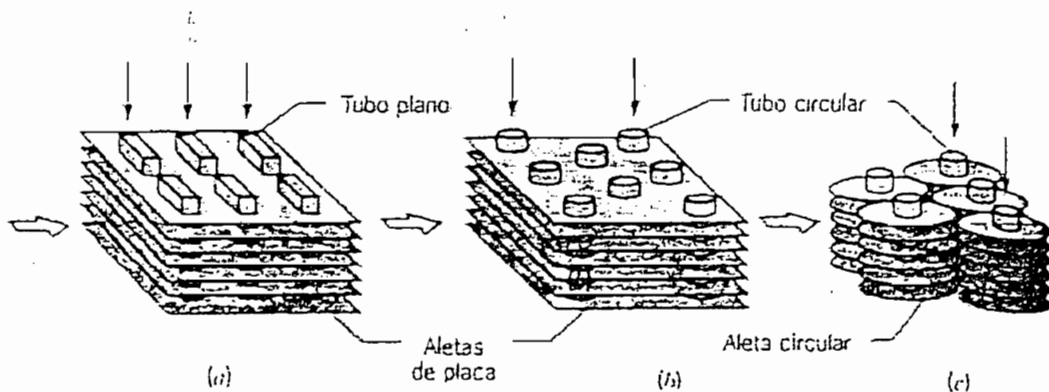


Figura 1.14 Cubiertas de Intercambiadores de Placas tipo tubo con aletas

a) Tubos planos, aletas de placa) b) Tubos circulares, aletas de placa

c) Tubos circulares, aletas circulares

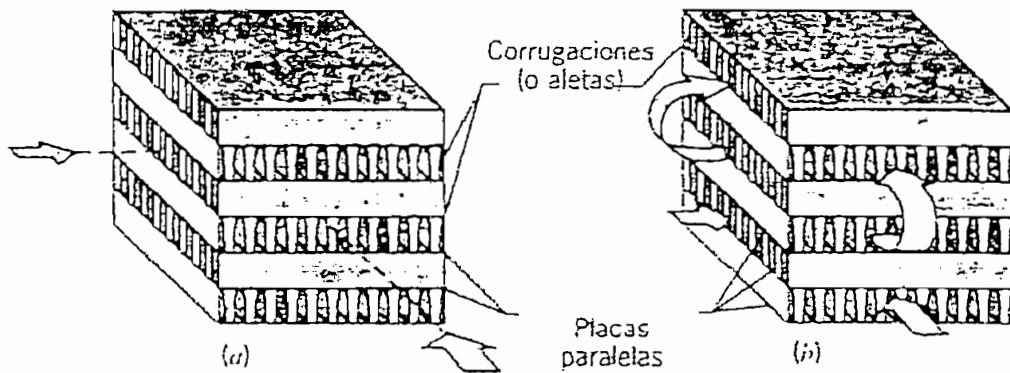


Figura 1.15 Cubiertas de Intercambiadores de Placas tipo tubos con placa  
 a) Un solo paso b) Múltipaso

Las dimensiones de la matriz del intercambiador así como el tipo, tamaño y dimensiones apropiadas de las aletas varían con la aplicación específica. Los pasos de flujo normalmente son pequeños y el flujo es por lo general laminar.

#### 1.2.3.6 Regeneradores

Los regeneradores son intercambiadores en donde un fluido caliente fluye a través del mismo espacio seguido de uno frío en forma alternada, con tan poca mezcla física como sea posible entre las dos corrientes.

El calor del fluido caliente se usa para precalentar al fluido frío, consiguiendo simultáneamente refrescar al fluido caliente. Con esto se aprovecha el calor existente en el sistema y no se lo desperdicia.

La superficie, que alternativamente recibe y luego libera la energía térmica, es muy importante en este dispositivo.

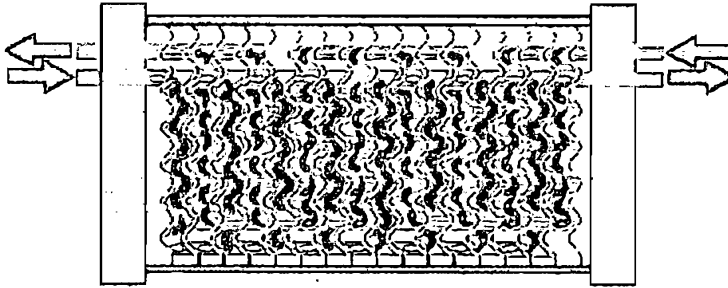


Figura 1.16 Intercambiador Regenerador

Las propiedades del material superficial, junto con las propiedades de flujo y del fluido de las corrientes fluidas, y con la geometría del sistema, son cantidades que se deben conocer para analizar o diseñar los regeneradores.

En general los regeneradores se emplean para precalentar el aire de las plantas de fuerza de vapor, de los hornos de hogar abierto, de los hornos de fundición o de los altos hornos y además en muchas otras aplicaciones que incluyen la producción de oxígeno y la separación de gases a muy bajas temperaturas.

La eficacia de la regeneración en un sistema se puede calcular con la ecuación:

$$R = \frac{(t_r - t_i) \times 100}{(t_p - t_i)} \quad \text{Ec 1.8}$$

$R$  = eficacia del regenerador (%)

$t_r$  = temperatura de leche después de la regeneración

$t_i$  = temperatura de leche cruda entrante cruda

$t_p$  = temperatura de pasteurización

#### 1.2.4 COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Los procesos de transferencia de calor que se producen simultáneamente en los intercambiadores son por Conducción y Convección.

Una parte esencial para el análisis de un intercambiador es la determinación del coeficiente global de transferencia de calor, el cual representa a los coeficientes tanto de conducción como de convección presentes en la transferencia.

Durante la operación normal de un intercambiador de calor, a menudo las superficies están sujetas a la obstrucción por impurezas, formación de moho, u otras reacciones entre el fluido y el material de la pared. La deposición de una película o incrustación sobre la superficie puede aumentar la resistencia térmica y alterar la transferencia de calor por conducción entre los fluidos.

Sin embargo, la transferencia por conducción se puede ignorar pues por lo general se usa una pared delgada de conductividad térmica grande.

Las aletas, existentes en algunos intercambiadores, generalmente se agregan a superficies expuestas a alguno o a ambos fluidos y que, al aumentar el área superficial, reducen la resistencia a la transferencia de calor por convección.

En consecuencia, con la inclusión de impurezas en la superficie y los efectos de las aletas, el coeficiente global de transferencia de calor se puede expresar como:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o} \quad \text{Ec 1.9}$$

$U$  = coeficiente global de transferencia de calor ( $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ )

$h_i$  = coeficiente de convección el fluido interior

$h_o$  = coeficiente de convección del fluido exterior

El coeficiente global de transferencia se puede determinar a partir del conocimiento de los coeficientes de convección de los fluidos externo e interno, de los factores de impureza y de los parámetros geométricos apropiados.



### 1.2.5 ANÁLISIS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR POR EL MÉTODO DTML (DIFERENCIA DE TEMPERATURA MEDIA LOGARÍTMICA)

El método de análisis del intercambiador de calor con el uso de la diferencia de temperatura media logarítmica o DTML, permite relacionar la transferencia total de calor con cantidades tales como las temperaturas de entrada y salida del fluido, el coeficiente global de transferencia de calor, y el área superficial total para transferencia de calor.

Dos de tales relaciones se pueden obtener fácilmente al aplicar balances globales de energía a los fluidos caliente y frío, según se muestra en la figura 1.17. Si  $q$  es la transferencia total de calor entre los fluidos caliente y frío y hay transferencia de calor insignificante entre el intercambiador y sus alrededores, así como cambios de energía potencial y cinética despreciables, la aplicación de un balance de energía esta dada por las ecuaciones:

$$q = m_h C_{p,h} (T_{h,i} - T_{h,o}) \quad \text{Ec 1.10}$$

$$q = m_c C_{p,c} (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad \text{Ec 1.11}$$

Donde los subíndices  $h$  y  $c$  se refieren a los fluidos caliente y frío, en tanto que  $i$  y  $o$  designan las condiciones de entrada y salida del fluido. Las temperaturas se refieren a las temperaturas medias del fluido en las posiciones que se señalan en la figura 1.17

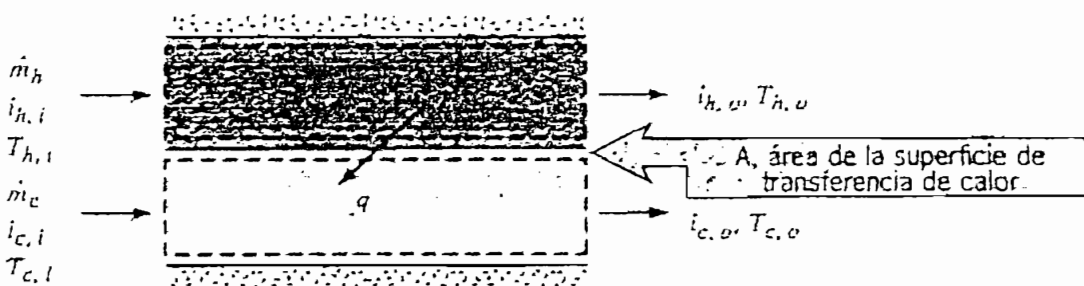


Figura 1.17 Balances globales de energía para los fluidos caliente y frío del intercambiador de calor

Las ecuaciones anteriores son independientes del arreglo del flujo y del tipo de intercambiador de calor.

Si se relaciona la transferencia total de calor  $q$  con la diferencia de temperaturas  $\Delta T$  entre los fluidos caliente y frío, se puede obtener una expresión que utiliza el coeficiente global de transferencia de calor  $U$  en lugar del coeficiente único de convección  $h$ .

$$\Delta T \equiv T_h - T_c \quad \text{Ec 1.12}$$

Sin embargo, como  $\Delta T$  varía con la posición en el intercambiador de calor, es necesario trabajar con una ecuación de flujo de la forma:

$$q = UA\Delta T_{ml} \quad \text{Ec 1.13}$$

Donde  $\Delta T_{ml}$  es una diferencia de temperaturas media logarítmica.<sup>8</sup>

### **Intercambiador de Flujo Paralelo**

Las distribuciones de temperaturas caliente y fría asociadas con el intercambiador se muestran en la figura 1.18. La diferencia de temperaturas  $\Delta T$  es grande al principio pero decae rápidamente al aumentar la longitud del intercambiador  $x$ , y se aproxima a cero de forma asintótica.

---

<sup>8</sup> Fundamentos de la Transferencia de calor. Incropera Frank

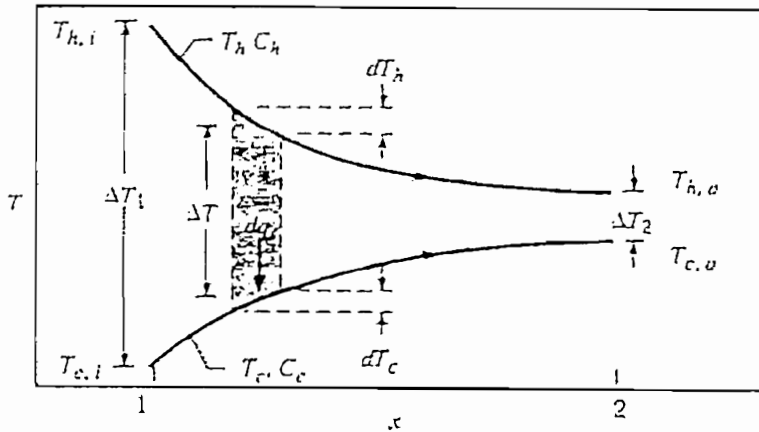


Figura 1.18 Distribuciones de temperatura para un intercambiador de flujo paralelo

Los subíndices 1 y 2 designan los extremos opuestos del intercambiador y es usada para todos los tipos de intercambiadores considerados. Para este caso:

$$T_{h,i} = T_{h,1} \quad T_{h,o} = T_{h,2} \quad T_{c,i} = T_{c,1} \quad T_{c,o} = T_{c,2}$$

La forma de  $\Delta T_m$  se puede determinar mediante la aplicación de un balance de energía para elementos diferenciales en los fluidos caliente y frío. Los balances de energía están sujetos a las siguientes suposiciones:

1. El intercambiador está aislado de sus alrededores
2. Los calores específicos del fluido son constantes
3. El coeficiente global de transferencia de calor es constante

De la figura 1.18, para el intercambiador de flujo paralelo se tiene que:

$$\begin{aligned} \Delta T_1 &= T_{h,1} - T_{c,1} \\ \Delta T_2 &= T_{h,2} - T_{c,2} \end{aligned} \quad \text{Ec 1.14}$$

al reemplazar en la ecuación Ec 1.13 y luego de integrar a lo largo del intercambiador de calor, se obtiene:

$$q = UA \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 \Delta T_2)}$$

Ec 1.15

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 \Delta T_2)}$$

Donde  $\Delta T_{ml}$  es la diferencia de temperaturas media logarítmica.

### Intercambiador de Contraflujo

Las distribuciones de temperatura de los fluidos caliente y frío asociadas con un intercambiador de calor en contraflujo se muestra en la figura 1.19. Esta configuración mantiene transferencia de calor entre las partes más calientes de los fluidos en un extremo, así como entre las partes más frías en el otro.

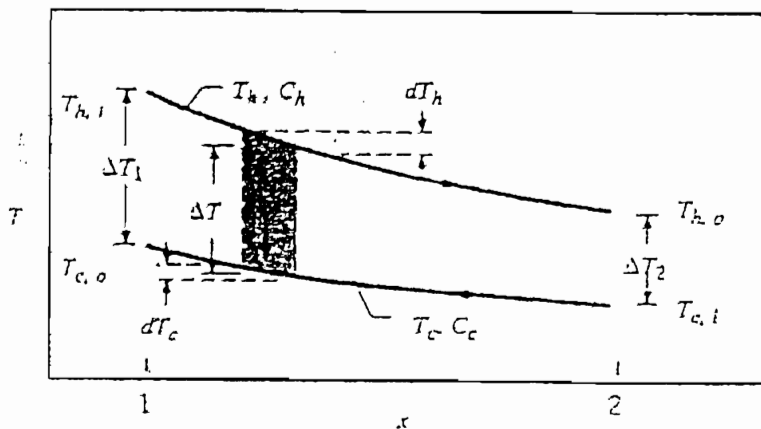


Figura 1.19 Distribuciones de temperatura para un intercambiador en contraflujo

El cambio en la diferencia de temperaturas,  $\Delta T = T_h - T_c$ , con respecto a  $x$  no es tan grande en ningún lugar como en la región de entrada para el caso del intercambiador de flujo paralelo.

Las ecuaciones Ec 1.10 y Ec 1.11 se aplican a cualquier intercambiador de calor y por tanto se pueden usar para el arreglo en contraflujo. Además, de un análisis como

el que se llevó a cabo para el intercambiador de flujo paralelo, se puede mostrar que la ecuación Ec 1.15 también se aplican.

Sin embargo, para el intercambiador en contraflujo las diferencias de temperaturas en los puntos extremos se deben definir ahora como:

$$\begin{aligned}\Delta T_1 &\equiv T_{h,1} - T_{c,1} = T_{h,i} - T_{c,o} \\ \Delta T_2 &\equiv T_{h,2} - T_{c,2} = T_{h,o} - T_{c,i}\end{aligned}\quad \text{Ec 1.16}$$

Con las mismas temperaturas de entrada y salida, la diferencia de temperaturas media logarítmica para el contraflujo excede la del flujo paralelo,  $\Delta T_{ml,CF} > \Delta T_{ml,FP}$ ; por lo que el área superficial que se requiere para efectuar una transferencia de calor establecida  $q$  es más pequeña para el contraflujo que para el arreglo en flujo paralelo, suponiendo el mismo valor de  $U$ .

### Intercambiadores de Pasos múltiples y de Flujo Cruzado

Aunque las condiciones de flujo son más complicadas en estos intercambiadores, las ecuaciones Ec 1.10, Ec 1.11 y Ec 1.15 se pueden usar si se hace la siguiente modificación a la diferencia de temperaturas media logarítmica:

$$\Delta T_{ml} = F \Delta T_{ml,CF} \quad \text{Ec 1.17}$$

Es decir, la forma apropiada de  $\Delta T_{ml}$  se obtiene al aplicar un *factor de corrección*  $F$  al valor de  $\Delta T_{ml}$  que se calcularía bajo la suposición de condiciones de contraflujo; por tal razón, las diferencias de temperaturas también están dadas por la ecuación Ec 1.16.

$$\begin{aligned}\Delta T_1 &\equiv T_{h,1} - T_{c,1} = T_{h,i} - T_{c,o} \\ \Delta T_2 &\equiv T_{h,2} - T_{c,2} = T_{h,o} - T_{c,i}\end{aligned}\quad \text{Ec 1.18}$$

Se han desarrollado expresiones algebraicas para el factor de corrección  $F$  para varias configuraciones de intercambiador de calor de tubos y coraza y de flujo cruzado, y los resultados se pueden representar de forma gráfica.

Un ejemplo es la figura 1.20 donde la notación  $(T,t)$  se usa para especificar las temperaturas del fluido; la variable  $t$  es asignadas al fluido del lado del tubo. Con esta convención no importa si el fluido caliente o frío fluye a través de la coraza o de los tubos.<sup>9</sup>

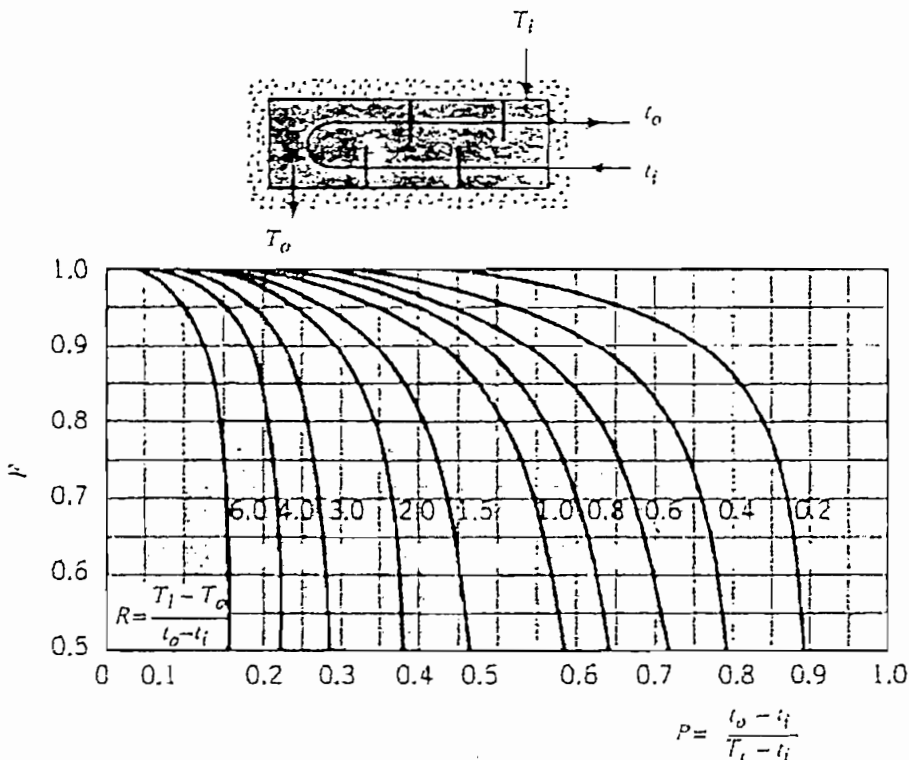


Figura 1.20 Factor de corrección para un intercambiador de Coraza y Tubos  
(1 coraza y cualquier múltiplo de 2 pasos de tubo)

$P$  y  $R$  son constantes cuyo cálculo se utiliza para obtener el valor del factor de corrección  $F$  a través de las curvas indicadas en la figura anterior.

<sup>9</sup> Fundamentos de la Transferencia de calor. Incropera Frank

Una implicación importante es que *si el cambio de temperatura de un fluido es despreciable,  $P$  o  $R$  es cero y  $F$  es 1*. Por ello el comportamiento del intercambiador es independiente de la configuración específica.

### 1.2.6 AISLANTES TÉRMICOS

Se define como Aislante Térmico a cualquier material que conduce mal el calor y que se emplea para suprimir su flujo entre zonas calientes y frías. Por ejemplo, el revestimiento que se coloca frecuentemente alrededor de las tuberías de vapor o de agua caliente reduce las pérdidas de calor, y el aislamiento de las paredes de una nevera o refrigerador reduce el flujo de calor hacia el aparato y permite que se mantenga frío.

El aislamiento térmico puede cumplir una o más de estas tres funciones que se indican a continuación:

- Reducir la conducción térmica en el material, que corresponde a la transferencia de calor mediante electrones.
- Reducir las corrientes de convección térmica que pueden establecerse en espacios llenos de aire o de líquido.
- Reducir la transferencia de calor por radiación, que corresponde al transporte de energía térmica por ondas electromagnéticas.

La conducción y la convección no tienen lugar en el vacío, donde el único método de transferir calor es la radiación; pero si se emplean superficies de alta reflectividad también se puede reducir la radiación. Por ejemplo, los termos o frascos Dewar impiden el paso de calor al tener dos paredes separadas por un vacío y recubiertas por una capa reflectante de plata o aluminio.

### 1.2.6.1 Tipos de Aislantes Térmicos

El aire es un medio que presenta mayor resistencia al flujo de calor que un buen conductor térmico como la plata (15.000 veces más) y que el vidrio (30 veces más). Por eso, los materiales aislantes típicos suelen fabricarse con materiales no metálicos y están llenos de pequeños espacios de aire elástico como aislante adicional.

Algunos de estos materiales aislantes son el carbonato de magnesio, el corcho, el fieltro, la guata, la fibra mineral o de vidrio, la arena de diatomeas y las espumas plásticas. El amianto se empleó mucho como aislante en el pasado, pero se ha comprobado que es peligroso para la salud.

En la tabla 1.4 se indica el valor de la constante de conductividad térmica ( $K$ ) que presentan algunos materiales aislantes térmicos.

MATERIAL	$K$ (cal · cm / seg · cm <sup>2</sup> · °C)
Amianto	0.0001
Corcho	0.0001
Fieltro	0.0001
Hielo	0.004
Hormigón	0.002
Ladrillo aislante	0.00035
Ladrillo refractario	0.0025
Ladrillo rojo	0.0015
Madera	0.0003 – 0.0001
Lana de Vidrio	0.002

Tabla 1.4 Constantes de Conductividad Térmicas de Materiales Aislantes

En los materiales de construcción, los espacios de aire proporcionan un aislamiento adicional; así ocurre en los ladrillos de vidrio huecos, las ventanas con doble vidrio (formadas por dos o tres paneles de vidrio con una pequeña cámara de aire entre los mismos) y las tejas de hormigón parcialmente huecas.



Las propiedades aislantes empeoran si el espacio de aire es suficientemente grande para permitir la convección térmica, o si penetra humedad en ellas, ya que las partículas de agua actúan como conductores.

La lana de vidrio obtenida a partir del hilado, posee grandes condiciones como aislante de temperaturas. La industria la provee de muy diversas formas adaptadas a los posibles usos a los que esté destinada. Rollos de 1.10 m por 20 m de varios espesores; fieltros de 1.20 m por 5 m y con espesores de 25 – 38 – 50 mm; para temperaturas de 420° hasta 450° C.

### 1.2.6.2 Retenedor de calor

El proceso de pasteurización requiere que la leche se mantenga a una determinada temperatura durante un tiempo especificado por la técnica de pasteurización. Para tal efecto se utilizan Retenedores de Calor que normalmente consiste en un serpentín de forma de escalera de caracol o zig-zag recubierto con un material aislante térmico.

La longitud del serpentín es proporcional al flujo con que circula el producto dentro de la tubería y al tiempo de retención necesario. A continuación se indican las ecuaciones empleadas para el cálculo de la longitud de un retenedor de calor.

$$V = \frac{Q \times HT}{3600 \times \eta} \quad \text{Ec 1.19}$$

$$L = \frac{V \times 4}{\pi \times D^2} \quad \text{Ec 1.20}$$

Q = caudal de leche (l/h)

HT = tiempo de retención (segundos)

L = longitud del serpentín retenedor (dm)

D = diámetro interno serpentín retenedor

V = el volumen de leche en litros o dm<sup>3</sup>

η = factor de eficacia

## **CAPÍTULO 2**

## CAPÍTULO 2

### PASTEURIZADOR PROTOTIPO DE LECHE

#### 2.1 INTRODUCCIÓN

El objetivo principal del proyecto es la construcción de un prototipo para el laboratorio de control de procesos industriales que proporcione una visión adecuada y práctica de la operación de una planta pasteurizadora industrial.

La pasteurización de la leche consiste en la aplicación de diferentes temperaturas y tiempos, con el propósito de destruir microorganismos patógenos y saprófitos presentes en el producto, pues de esta manera garantizar la calidad microbiológica del producto y evitar su degradación.

La técnica de pasteurización empleada en este prototipo es la denominada HTST (High Temperature Short Time), donde se aplica alta temperatura (72 a 78°C) y corto tiempo (durante 15 a 20 segundos).

El tratamiento de la leche se ilustra en la figura 2.1, donde la leche cruda es el producto de entrada al sistema de pasteurización y se tienen como salida leche pasteurizada.

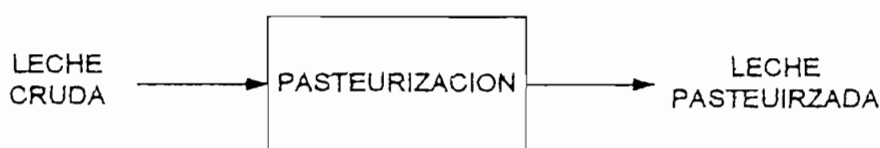


Figura 2.1 Tratamiento de la Leche

El proceso de pasteurización consta de 3 etapas principales, tal y como se indica en la figura 2.2.



Figura 2.2 Etapas del proceso de Pasteurización

## Calentamiento

La leche se calienta a temperaturas entre 72 y 78 °C para eliminar microorganismos patógenos que pueden causar molestias a los consumidores.

La leche cruda recibe un pre-calentamiento antes de que ingrese a la etapa de calentamiento. Etapa secundaria que es conocida como regeneración, la cual consta de un intercambiador de calor el cual transfiere la energía calorífica adquirida por la leche tratada hacia los ductos por donde circula la leche cruda; siempre y cuando el proceso se encuentra en funcionamiento continuo.

## Retención

En esta etapa la leche debe mantenerse a temperaturas entre 72 y 78 °C durante 15 a 20 segundos para así eliminar los microorganismos termoresistentes como la salmonella y mantener las propiedades de la leche.

Para mantener la temperatura durante ese intervalo de tiempo, la leche circula por tubería de acero inoxidable aislada térmicamente, con una determinada longitud.

## Enfriamiento

Para que la pasteurización sea efectiva, se debe bajar rápidamente la temperatura de la leche entre 10 y 12 °C, y así mantener a los microorganismos en estado inactivo de reproducción.

La leche caliente recibe un pre-enfriamiento antes de que ingrese a la etapa de enfriamiento, en la misma etapa de regeneración que se hace para el precalentamiento.

Todas las etapas del proceso de pasteurización de leche descritas anteriormente se visualizan en el siguiente diagrama funcional del prototipo a implementarse.

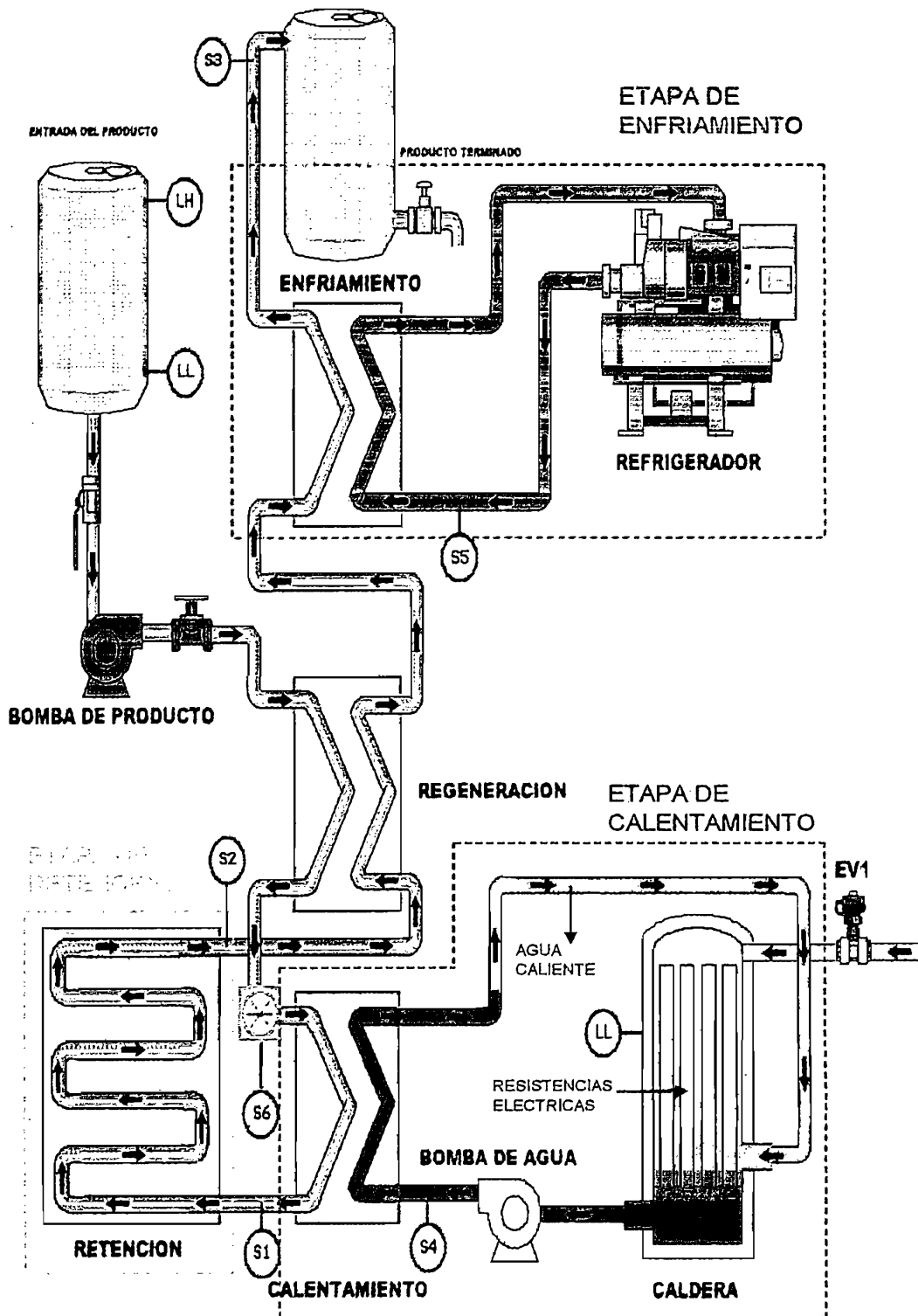


Figura 2.3 Diagrama funcional del proceso de pasteurización de leche

## 2.2 ESTRUCTURA MODULAR DEL PASTEURIZADOR PROTOTIPO DE LECHE

El pasteurizador prototipo de leche se divide en tres módulos:

- Intercambiador de Calor
- Calentador
- Enfriador

Los diagramas estructurales de cada uno de los módulos mencionados se indican en el Anexo 8. De igual forma los diagramas de las tuberías de los módulos y el diagrama P&ID'S del prototipo completo se indican en el Anexo 9.

### 2.2.1. INTERCAMBIADOR DE CALOR

Es el módulo de estructura metálica fabricado en hierro-ángulo de 4cm y láminas de tol para soportar a todos los elementos que constituye el intercambiador, además cuenta con ruedas para facilitar su movilización.

Es el módulo principal del prototipo ya que en el se encuentran la mayoría de los intercambiadores de calor así como también los tanques de recolección de la leche cruda así como la pasteurizada.

El módulo cuenta con varias válvulas bola de ½" de acero inoxidable ubicadas convenientemente y que facilitan el drenaje de la leche para limpieza y mantenimiento de la tubería. De igual forma, tiene una válvula de bola de ½" ubicada en la parte inferior para el drenaje del agua caliente enviada desde el calentador. También se encuentra la válvula de mariposa que regula el caudal con que fluye la leche por la tubería de alimentos.

Además se dispone de la bomba para leche M1 que permite circular la leche a flujo constante.

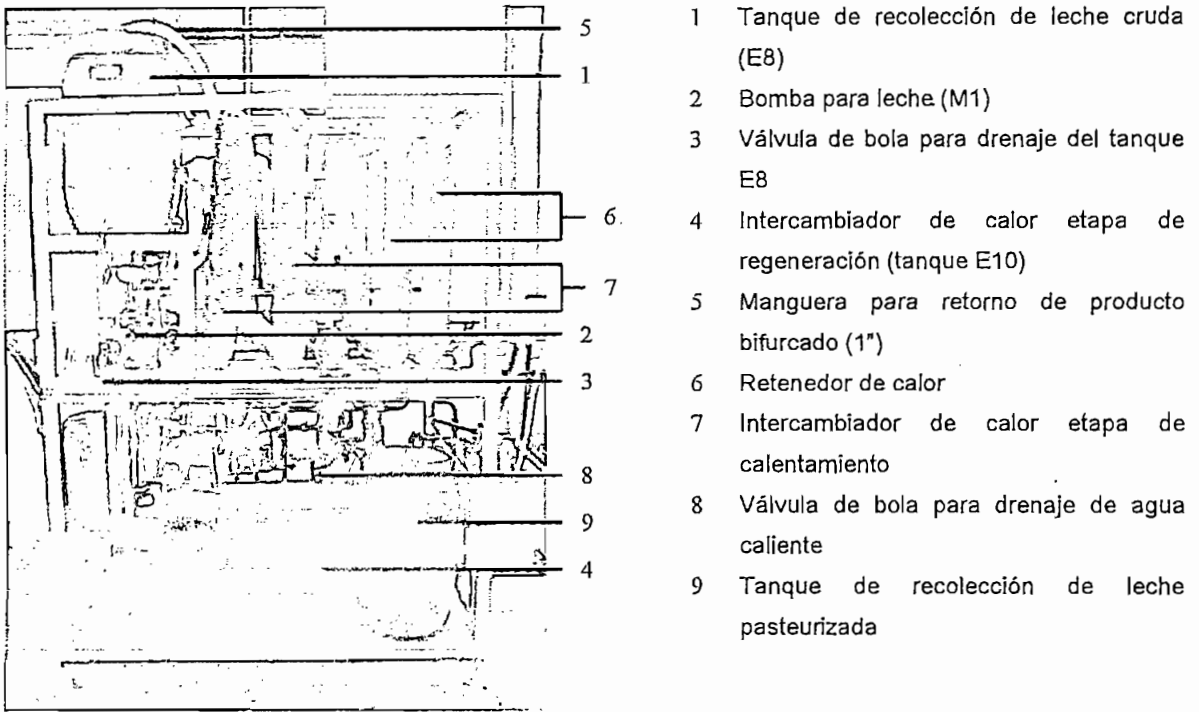
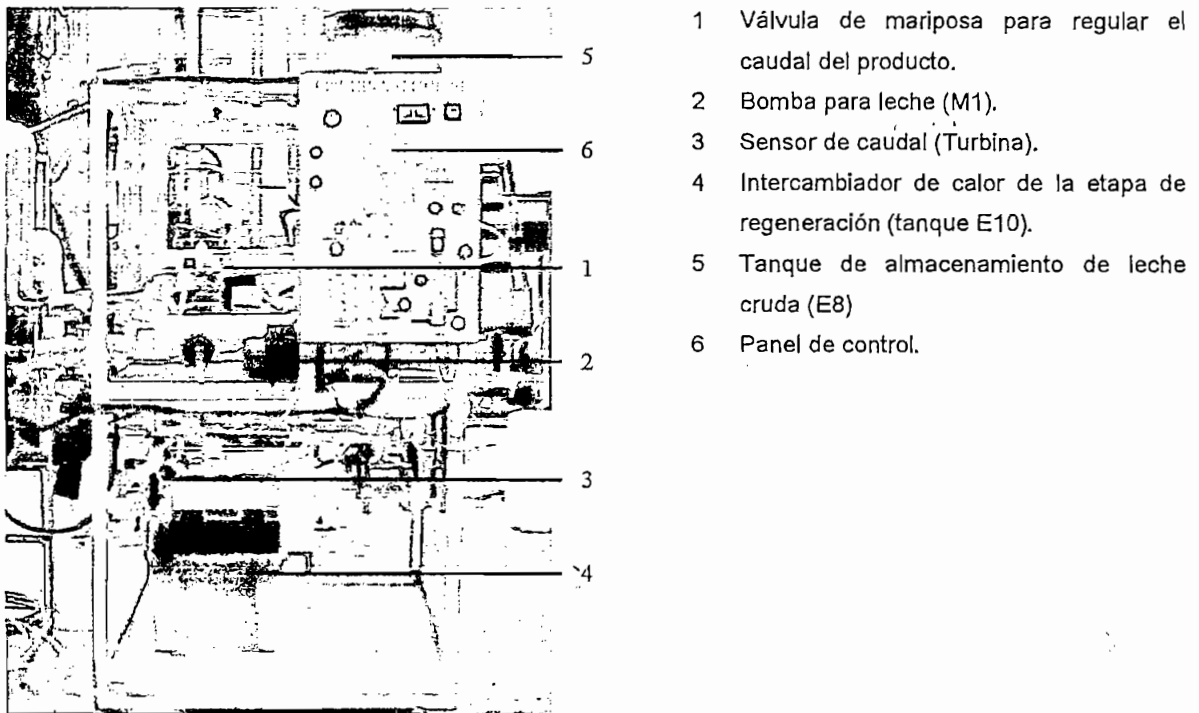


Figura 2.4a Vista Frontal del intercambiador de calor



2.4b Vista Lateral del intercambiador de calor

Figura 2.4 Intercambiador de calor

### 2.2.2. CALENTADOR

El sistema generador de calor consta de un tanque hidroneumático de hierro galvanizado que tiene un banco trifásico de resistencias sumergibles para elevar la temperatura del agua hasta 85°C, valor requerido por el proceso para la etapa de calentamiento.

El módulo está compuesto básicamente por una estructura metálica hecha de hierro-ángulo de 4cm el cual soporta al tanque de hierro galvanizado, además la bomba M2 para la recirculación de agua caliente hacia la etapa de calentamiento.

La capacidad del tanque del calentador es de 30 litros y soporta una presión máxima de 100psi (685 kPa). Está recubierto externamente por un aislante térmico de lana de vidrio para conservar el calor dentro del tanque. Para realizar el mantenimiento del mismo se cuenta con una válvula (Vc1) de bola de ½" colocada en la parte inferior del mismo.

El tanque es llenado a través de una electroválvula que se activa manualmente o controlada por el programa del PLC. Manualmente es a través de un interruptor colocado en un extremo del módulo.

Las tuberías tanto de entrada como de salida del calentador son para agua caliente y además esta forrada con material aislante térmico para evitar la pérdida de calor hacia el ambiente. El aislante térmico está formado por cañuela (espuma flex) y papel aluminio.

La temperatura del agua del tanque se puede observar con el termómetro instalado en la parte lateral del mismo, como se indica en la figura 2.5.





Figura 2.5 Sistema de calentamiento por resistencias eléctricas

1. Electroválvula (EV1).
2. Interruptor para encendido manual de la electroválvula.
3. Tubería de salida de agua caliente del tanque de la caldera.
4. Tanque de la caldera (E1).
5. Resistencias de calentamiento (R1).
6. Bomba de recirculación de agua caliente (M2).
7. Ventilador auxiliar para enfriamiento de la bomba M2.
8. Tubería de salida de agua caliente hacia el pasteurizador.
9. Tubería de entrada de agua caliente al tanque de la caldera.
10. Válvula de bola para paso de agua caliente.
11. Válvula para drenaje del tanque del calentador (Vc1)
12. Termómetro

### 2.2.3 ENFRIADOR

Es el sistema utilizado por el pasteurizador prototipo para bajar la temperatura del agua empleada en la etapa de enfriamiento.

El enfriador consta de los siguientes componentes:

- Módulo Refrigerador.
- Torre de enfriamiento.

El módulo refrigerador esta formado por una estructura metálica hecha de ángulos de hierro de 2cm, donde se encuentran el refrigerador, las bombas de recirculación y el intercambiador de calor de la etapa de enfriamiento.

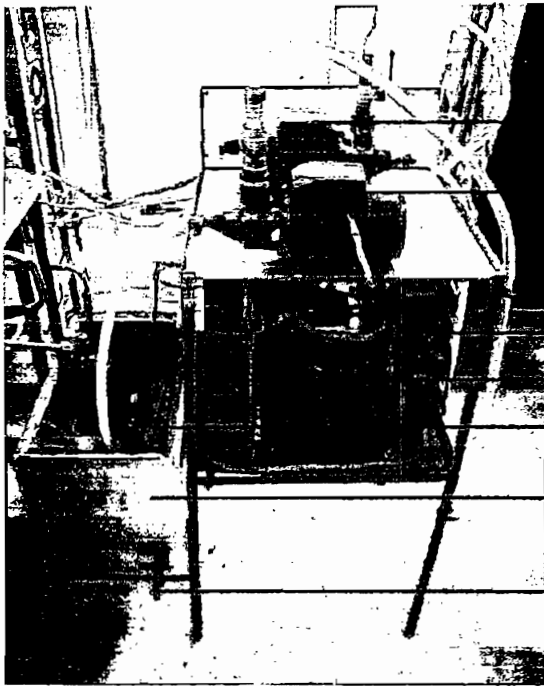
El intercambiador está formado por un tanque aislado térmicamente donde se encuentran los serpentines tanto del refrigerador como el de la tubería por donde circula la leche. El tanque cuenta con una válvula de bola de ¼" colocada en la parte inferior para drenaje.

La torre de enfriamiento está provista de una estructura hecha de hierro-ángulo (DIXON) y sus bandejas por placas de tol galvanizado con agujeros de 0.5cm. Debajo de esta se encuentra un tanque de almacenamiento donde se recoge el agua que se enfría al pasar por las bandejas de la torre.

El método que se emplea para mover el aire a través de la torre de enfriamiento es de tipo natural, por ello su nombre.

En la torre de enfriamiento por convección natural el agua se pulveriza directamente en la corriente de aire que se mueve a través de la torre de enfriamiento por convección térmica. Al caer, las gotas de agua se enfrían tanto por convección ordinaria como por evaporación.

La plataforma de relleno situada dentro de la torre de enfriamiento reduce la velocidad media de caída de las gotas y por lo tanto aumenta el tiempo de exposición de gotas a la corriente de aire en la torre.



- 1 Radiador para absorción de calor.
- 2 Intercambiador de calor de la etapa de enfriamiento (tanque E4).
- 3 Válvula de bola para drenaje de agua.
- 4 Bomba de recirculación de agua fría (M5) (tanque de almacenamiento al intercambiador).
- 5 Bomba de recirculación de agua fría (M4) (intercambiador a la torre de enfriamiento).
- 6 Radiador para enfriamiento del freón.
- 7 Refrigerador M3.

Figura 2.6a Módulo Refrigerador.



- 8 Ducha.
- 9 Estructura metálica de la torre de enfriamiento (DIXON)
- 10 Bandejas de tol galvanizado con perforaciones simétricas.
- 11 Tanque de recolección de agua (E2).

Figura 2.6b Torre de Enfriamiento por aireación natural

Figura 2.6 Enfriador.

## 2.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES DEL PASTEURIZADOR PROTOTIPO DE LECHE

### 2.3.1 TUBERÍAS, ACCESORIOS Y TANQUES DE RECOLECCIÓN

#### 2.3.1.1 Tubería y accesorios de acero inoxidable

La leche es transportada por un sistema de tuberías. Todos estos sistemas se construyen de la misma manera, pero la diferencia está en los materiales empleados y el tamaño de las tuberías. La tubería que está en contacto con la leche durante todo el recorrido es de acero inoxidable, pulida por los dos lados, interno y externo, sin costuras, pulimento 182 A, tipo 304 para alimentos.

Existen varios tipos de montaje para un sistema de tuberías, para ello se emplean accesorios los cuales también deben ser de acero inoxidable y son los siguientes:

- Tuberías rectas, en curvatura, tes, reducciones y uniones.
- Montajes especiales, como ventanas de vista, instrumentos, sensores.
- Válvulas para detener y dirigir el flujo.
- Válvulas para controlar el flujo y la presión.
- Soportes para las tuberías.

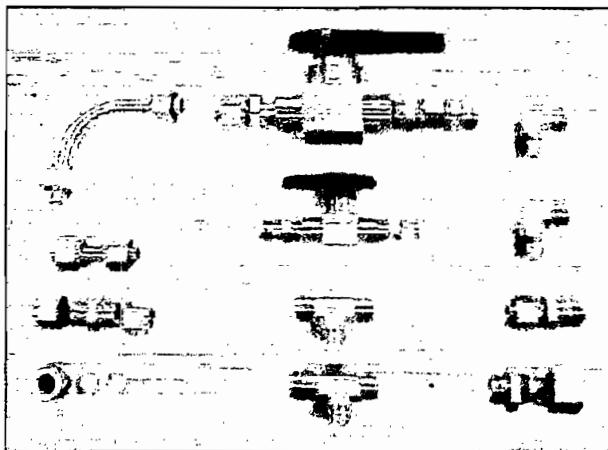


Figura 2.7 Tubería y accesorios de acero inoxidable

### 2.3.1.2 Tubería y accesorios HIDRO 3

Esta tubería conocida también como tubo tricapa, de polipropileno, color rojizo característico, es utilizada para transportar agua caliente hasta 150°C. En este sistema de tuberías así mismo, se emplean accesorios como: codos, tes, neplos, uniones, bushings, universales, etc, tal y como se muestra en la figura 2.8.

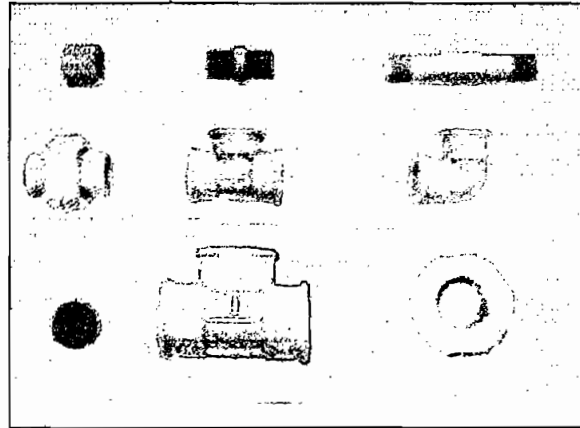


Figura 2.8 Tubería y accesorios HIDRO 3

### 2.3.1.3 Tanques de recolección

En el pasteurizador prototipo de leche se emplean dos tanques de recolección de polietileno, tal y como indica la figura 2.9. Estos tanques de polietileno deberán ser reemplazados por acero inoxidable para garantizar la calidad del producto.



Figura 2.9 Tanques de recolección

## 2.3.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA INTERCAMBIADOR DE CALOR

El método que se utiliza para el diseño de los intercambiadores es el DTML (diferencia de temperaturas media logarítmica), indicado en el Capítulo 1. Para los cálculos se considera que las propiedades de la leche son las mismas que las del agua a una determinada temperatura.

### 2.3.2.1 Etapa de Calentamiento

El objetivo de esta etapa es elevar la temperatura de la leche cruda a un valor de entre 72 a 78°C. Para tal efecto se selecciona un intercambiador de calor del tipo de Contraflujo, cuya construcción es de tubos concéntricos.

El tubo interno, por donde circula la leche cruda (fluido frío), es de acero inoxidable de ½" para alimentos cuyo diámetro interno es de 0.0105m. El tubo externo, por donde circula el agua caliente (fluido caliente), es del tipo HIDRO3 de 2" cuyo diámetro interno es de 0.0508m.

La leche cruda que contiene el tanque de almacenamiento se somete a un pre-calentamiento en la etapa secundaria de regeneración antes de ingresar a la etapa de calentamiento.

#### 2.3.2.1.1 Cálculo del Intercambiador de Calor

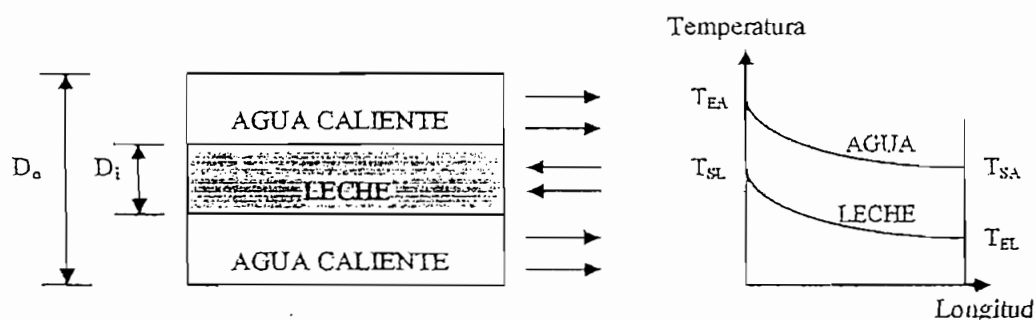


Figura 2.10 Representación para el cálculo del Intercambiador Calentador

Las consideraciones para este diseño son las siguientes:

*LECHE CRUDA:*

1. Temperatura de ingreso al intercambiador después del pre-calentamiento de 20°C ( $T_{EL}$ )
2. Temperatura de salida del intercambiador de 74°C ( $T_{SL}$ )
3. Circula por tubería de acero inoxidable de diámetro interno 0.0105m ( $D_i$ )
4. Caudal de 2 L/min ( $Q_L$ ).

*AGUA CALIENTE:*

1. Temperatura de ingreso al intercambiador desde la caldera de 85°C ( $T_{EA}$ )
2. Pérdida de temperatura por la transferencia de calor de 3°C
3. Circula por tubería HIDRO3 de diámetro interno 0.0508m ( $D_o$ )
4. Caudal de 40 L/min ( $Q_A$ ).

La temperatura promedio a la cual se encuentra la leche en el intercambiador se obtiene con la ecuación Ec 2.1:

$$T_{prom} = \frac{T_{EL} + T_{SL}}{2} = \frac{20 + 74}{2} = 47^\circ C = 320^\circ K \quad \text{Ec 2.1}$$

$T_{prom}$  = Temperatura promedio de la leche cruda

$T_{EL}$  = Temperatura de entrada de la leche al intercambiador

$T_{SL}$  = Temperatura de salida de la leche del intercambiador

En base a la tabla indicada en el Anexo 5 y el valor de la temperatura promedio de la leche, se obtienen las propiedades de este fluido a 320°K.

$$\rho = 1 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$C_p = 4180 \text{ (J/kgK)}$$

$$\mu = 577 \times 10^{-6} \text{ (Ns/m}^2\text{)}$$

$$k = 0.640 \text{ (W/mK)}$$

$$P_r = 3.47$$

$$\beta = 436.7 \times 10^{-6} \text{ (K}^{-1}\text{)}$$

$\rho$  = Densidad del fluido

$P_r$  = Número de Prandtl

$C_p$  = Calor específico a presión constante

$\beta$  = Coeficiente volumétrico de expansión térmica

$\mu$  = Viscosidad

$k$  = Coeficiente de conductividad térmica

El flujo de masa de la leche a 320°K se calcula con la ecuación Ec 2.2.

$$m_L = \frac{Q_L \times \rho}{60000} = \frac{2 \times 1}{60000} = 0.033 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad \text{Ec 2.2}$$

$m_L$  = Flujo de masa de la leche

$Q_L$  = Caudal de la leche

$\rho$  = Densidad del fluido

Se desea que por la transferencia de calor el agua pierda 3°C. Asumiendo que la temperatura promedio del agua caliente para el proceso es de 82°C (355°K) y con la tabla del Anexo 5 se tiene que las propiedades del fluido a esa temperatura son:

$$\begin{array}{lll} \rho = 1 \text{ (kg/m}^3\text{)} & C_p = 4199 \text{ (J/kgK)} & \mu = 343 \times 10^{-6} \text{ (Ns/m}^2\text{)} \\ k = 0.671 \text{ (W/mK)} & Pr = 2.14 & \beta = 652.3 \times 10^{-6} \text{ (K}^{-1}\text{)} \end{array}$$

$\rho$  = Densidad del fluido

$Pr$  = Número de Prandtl

$C_p$  = Calor específico a presión constante

$\beta$  = Coeficiente volumétrico de expansión térmica

$\mu$  = Viscosidad

$k$  = Coeficiente de conductividad térmica

El flujo de masa del agua a 355°K se calcula con la ecuación Ec 2.3.

$$m_A = \frac{Q_A \times \rho}{60000} = \frac{40 \times 1}{60000} = 0.66 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad \text{Ec 2.3}$$

$m_A$  = Flujo de masa del agua

$Q_A$  = Caudal del agua

$\rho$  = Densidad del fluido

El calor que pierde el agua lo gana la leche durante la transferencia de calor, es decir que existe balance de energía de transferencia. Igualando las ecuaciones Ec 1.10 y Ec 1.11, de los fluidos de intercambio caliente y frío para el agua y la leche respectivamente, se encuentra la temperatura de salida del agua.

$$q_L = q_A \quad \text{Ec 2.4}$$



como:

$$q_L = m_L C_{pL} \Delta T_L \quad \text{Ec 2.5}$$

$$q_A = m_A C_{pA} \Delta T_A \quad \text{Ec 2.6}$$

entonces:

$$m_L C_{pL} \Delta T_L = m_A C_{pA} \Delta T_A \quad \text{Ec 2.7}$$

$$m_L C_{pL} (T_{SL} - T_{EL}) = m_A C_{pA} \Delta T_A \quad \text{Ec 2.8}$$

$$\Delta T_A = 2.76^\circ C \quad \text{Ec 2.9}$$

como:

$$\Delta T_A = T_{EA} - T_{SA} \quad \text{Ec 2.10}$$

entonces:

$$T_{SA} = 82.23^\circ C \quad \text{Ec 2.11}$$

$q_L =$  Calor de la leche

$m_L =$  Flujo de masa de la leche

$C_{pL} =$  Calor específico de la leche

$\Delta T_L =$  Diferencia de temperatura de la leche

$T_{EL} =$  Temperatura de entrada de la leche

$T_{SL} =$  Temperatura de salida de la leche

$q_A =$  Calor del agua

$m_A =$  Flujo de masa del agua

$C_{pA} =$  Calor específico del agua

$\Delta T_A =$  Diferencia de temperatura del agua

$T_{SA} =$  Temperatura de salida del agua

$T_{EA} =$  Temperatura de entrada del agua

Es decir que la selección de  $T_{prom} = 82^\circ C$  del agua caliente si fue apropiada.

Del método de diseño DTML, la diferencia de temperaturas media logarítmica viene dada por la ecuación Ec 2.12.

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} \quad \text{Ec 2.12}$$

donde:

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{EA} - T_{SL}) - (T_{SA} - T_{EL})}{\ln((T_{EA} - T_{SL}) / (T_{SA} - T_{EL}))} = \frac{(85 - 74) - (82.23 - 20)}{\ln\left(\frac{85 - 74}{82.23 - 20}\right)} = 29.6 \quad \text{Ec 2.13}$$

$\Delta T_{ml} =$  Diferencia de temperaturas media logarítmica.

$T_{EL} =$  Temperatura de entrada de la leche

$T_{SL} =$  Temperatura de salida de la leche

$T_{SA}$  = Temperatura de salida del agua

$T_{EA}$  = Temperatura de entrada del agua

El número de Reynolds indica si el fluido es laminar o turbulento. Para la leche se calcula con la ecuación Ec 2.14.

$$R_{eL} = \frac{4m_L}{\pi D_i \mu_L} = \frac{4 \times 0.033 (\text{kg/s})}{\pi \times 0.0105 \text{m} \times (577 \times 10^{-6} \text{Ns/m}^2)} = 7208 \quad \text{Ec 2.14}$$

7208 > 3000 entonces el fluido es turbulento

$R_{eL}$  = Número de Reynolds para la leche

$m_L$  = Flujo de masa de la leche

$\mu_L$  = Viscosidad a 320°K

$D_i$  = Diámetro interno de la tubería de acero inoxidable

El factor de fricción de la leche con las paredes del tubo se encuentra con la ecuación Ec 2.15.

$$f = (0.79 \ln R_{eL} - 1.64)^{-2} = (0.79 \ln 7208 - 1.64)^{-2} = 0.03458 \quad \text{Ec 2.15}$$

$f$  = Factor de fricción

$R_{eL}$  = Número de Reynolds para la leche

El número de Nusselt se calcula considerando al fluido como turbulento con la ecuación Ec 2.16.

$$N_{UL} = \frac{(f/8)(R_{eL} - 1000)P_r}{1 + 12.7(f/8)^{1/2}(P_r^{2/3} - 1)} = \frac{0.00432 \times (6208) \times 3.47}{1 + 12.7(0.00432)^{1/2}(3.47^{2/3} - 1)} = 46.225 \quad \text{Ec 2.16}$$

$N_{UL}$  = Número de Nusselt para la leche

$R_{eL}$  = Número de Reynolds para la leche

$f$  = Factor de fricción

$P_r$  = Número de Prandtl a 320°K

Para encontrar el coeficiente de convección del fluido interno se utiliza la ecuación que involucra al coeficiente de conducción térmica y el número de Nusselt:

$$N_{UL} = \frac{h_i \times D_i}{k} \quad \text{Ec 2.17}$$

donde:

$$h_i = \frac{N_{UL} \times k}{D_i} = \frac{46,225 \times 0,640}{0,0105} = 2817,5 \frac{W}{m^2 K} \quad \text{Ec 2.18}$$

$h_i$  = Coeficiente de convección del fluido interno

$N_{UL}$  = Número de Nusselt para la leche

$k$  = Coeficiente de conductividad térmica a 320°K

$D_i$  = Diámetro interno de la tubería de acero inoxidable

En el intercambiador de tubos concéntricos, el agua pasa a través del espacio (anillo) formado por dichos tubos concéntricos, y puede ocurrir otra transferencia de calor hacia o desde las superficies interna y externa.

Por tal razón, la ecuación para calcular el número de Reynolds se altera ya que se considera es diámetro formado por este anillo al cual se denomina *Diámetro Hidráulico*  $D_h$ , y esta dado por la ecuación Ec 2.19.

$$D_h = \frac{4(\pi/4)(D_o^2 - D_i^2)}{\pi D_o + \pi D_i} = D_o - D_i \quad \text{Ec 2.19}$$

por lo que:

$$R_{eA} = \frac{4m_A}{\pi(D_o + D_i)\mu_A} = \frac{4 \times 0,66(\text{kg/s})}{\pi \times (0,0508 + 0,0105)m \times (343 \times 10^{-6} \text{Ns/m}^2)} = 40390,7 \quad \text{Ec 2.20}$$

40390,7 > 3000 es un fluido completamente turbulento.

$R_{eA}$  = Número de Reynolds para el agua

$m_A$  = Flujo de masa del agua

$\mu$  = Viscosidad a 355°K

$D_h$  = Diámetro hidráulico

$D_i$  = Diámetro interno

$D_o$  = Diámetro externo

Para calcular el número Nusselt ya no utiliza la ecuación donde se considera el factor de fricción, se aplica la siguiente:

$$N_{UA} = 0.023 R_{eA}^{0.8} \times P_r^n \quad \text{donde : } n = 0.4 \text{ calentamiento} \quad \text{Ec 2.21}$$

$$n = 0.3 \text{ enfriamiento}$$

como el agua se enfría, entonces:

$$N_{UA} = 0.023 R_{eA}^{0.8} \times P_r^{0.3} = 0.023 \times (40390.7)^{0.8} \times (2.14)^{0.3} = 139.9 \quad \text{Ec 2.22}$$

$N_{UA}$  = Número de Nusselt para el agua

$R_{eA}$  = Número de Reynolds para el agua

$P_r$  = Número de Prandtl a 355°K

El coeficiente de convección del fluido externo es:

$$h_o = \frac{N_{UA} \times k}{D_h} = \frac{139.9 \times 0.671}{0.0508 - 0.0105} = 2329.4 \frac{W}{m^2 K} \quad \text{Ec 2.23}$$

$h_o$  = Coeficiente de convección del fluido externo

$N_{UA}$  = Número de Nusselt para el agua

$k$  = Coeficiente de conductividad térmica a 355°K

$D_h$  = Diámetro hidráulico

Encontrados los coeficientes de convección tanto del fluido interno como externo, se calcula el coeficiente global de transferencia de calor con la ecuación Ec 2.24.

$$U = \frac{1}{(1/h_i) + (1/h_o)} = \frac{1}{(1/2817.5) + (1/2329.4)} = 1275.15 \frac{W}{m^2 K} \quad \text{Ec 2.24}$$

$U$  = Coeficiente global de transferencia de calor

$h_i$  = Coeficiente de convección del fluido interno

$h_o$  = Coeficiente de convección del fluido externo

De la ecuación Ec 2.4 y Ec 2.5 se tiene que:

$$q_L = m_L C_{pL} \Delta T_L = 7742.2 \quad \text{Ec 2.25}$$

$$q_L = q_A = 7742.2 \frac{J}{s} \quad \text{Ec 2.26}$$

El flujo de transferencia de calor para el método DTML esta dado por la ecuación Ec 2.27.

$$q = UA\Delta T_{ml} \quad \text{Ec 2.27}$$

Además como:

$$A = \pi D_i L_i \quad \text{Ec 2.28}$$

entonces la longitud de la tubería interna es:

$$L_i = \frac{q}{U\Delta T_{ml}\pi D_i} = \frac{7742.2}{1275.15 \times 29.6 \times \pi \times 0.0105} = 6.22m \quad \text{Ec 2.29}$$

$q_L$  = Calor de la leche

$U$  = Coeficiente global de transferencia de calor

$q_A$  = Calor del agua

$D_i$  = Diámetro interno

$A$  = Área o superficie de transferencia de calor

$\Delta T_{ml}$  = Diferencia de temperaturas media logarítmica.

$L_i$  = Longitud del tubo interno

Es decir, la longitud de la tubería interna de acero inoxidable por donde circula la leche debe ser de 6.22m, para el intercambiador de la etapa de calentamiento.

### 2.3.2.1.2 Construcción del Intercambiador de Calor

El intercambiador de calor se construye con los siguientes elementos:

- Tubería externa: Tubo Tricapa HIDRO3 para agua caliente de 2"
- Tubería interna: Tubo de acero inoxidable pulimento 182A, tipo 304 o 316, sin costuras, para alimentos de 1/2"
- Aislante térmico: Lana de vidrio con recubrimiento de papel aluminio.

En la figura 2.11 se muestran los componentes del intercambiador de calor de la etapa de calentamiento.

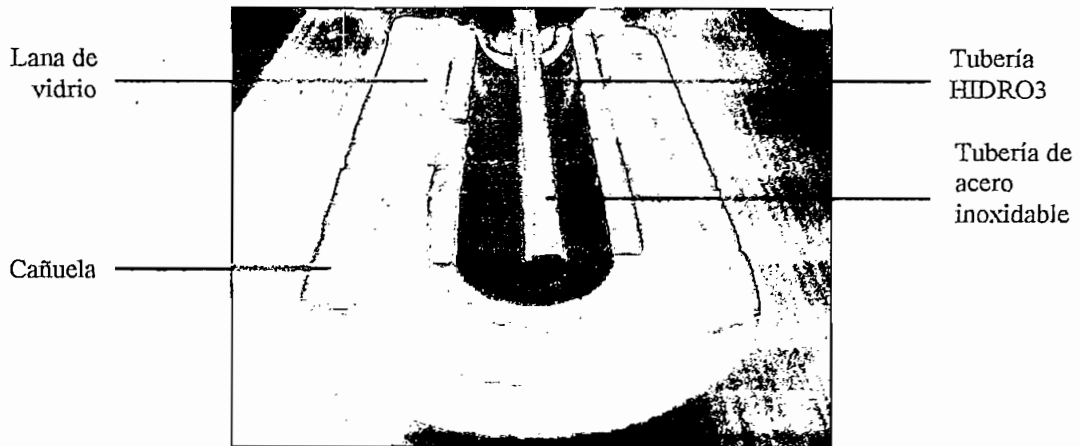


Figura 2.11 Componentes del intercambiador de la etapa de calentamiento

### 2.3.2.2 Etapa de Enfriamiento

La función de esta etapa es bajar la temperatura de la leche que sale de la etapa de retención a un valor de entre 8 a 10°C. Para esto se diseña un intercambiador de calor del tipo de Coraza y Tubos, que consiste en un arreglo de 1 coraza y 10 tubos los cuales ejecutan 2 pasos cada uno (Ver figura 2.12).

Los tubos forman un serpentin de forma rectangular de 10 pisos por donde circula la leche (fluido caliente); son de acero inoxidable de ½" para alimentos y su diámetro interno es de 0.0105m. Como fluido frío se utiliza agua a 4°C que se obtiene del enfriador.

La leche que se obtiene de la etapa de retención se somete a un pre-enfriamiento en la etapa de regeneración antes de ingresar a la etapa de enfriamiento.

El diseño de este intercambiador es similar al intercambiador de contraflujo, solamente se debe aplicar un factor de corrección  $F$  al valor de  $\Delta T_{ml}$  que se calcula bajo la suposición de condiciones de contraflujo.

### 2.3.2.2.1 Cálculo del Intercambiador de Calor

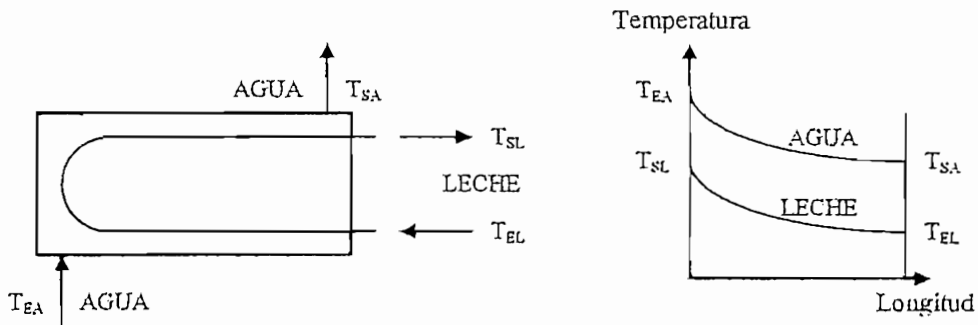


Figura 2.12 Representación para el cálculo del Intercambiador Enfriador

Las consideraciones para este cálculo son las siguientes:

#### LECHE CALIENTE:

1. Temperatura de ingreso al intercambiador después del pre-enfriamiento de 74°C ( $T_{EL}$ )
2. Temperatura de salida del intercambiador de 10°C ( $T_{SL}$ )
3. Circula por tubería de acero inoxidable de diámetro interno 0.0105m ( $D_i$ )
4. Caudal de 2 L/min ( $Q_L$ ).

#### AGUA FRIA:

1. Temperatura de ingreso al intercambiador desde el enfriador de 4°C ( $T_{EA}$ )
2. Aumento de temperatura por la transferencia de calor de 3°C
3. Caudal de 40 L/min ( $Q_A$ ).

$N = 10$  (número de tubos)

$M = 2$  (número de pasos por tubo)

La temperatura promedio a la cual se encuentra la leche en el intercambiador se obtiene con la ecuación Ec 2.30:

$$T_{prom} = \frac{T_{EL} + T_{SL}}{2} = \frac{74 + 10}{2} = 42^\circ C = 315^\circ K \quad \text{Ec 2.30}$$

$T_{prom}$  = Temperatura promedio de la leche caliente

$T_{EL}$  = Temperatura de entrada de la leche al intercambiador

$T_{SL}$  = Temperatura de salida de la leche del intercambiador

En base a la tabla indicada en el Anexo 5 y con la temperatura promedio de la leche, se obtienen las propiedades de este fluido a 315°K.

$$\begin{array}{lll} \rho = 1 \text{ (kg/m}^3\text{)} & C_p = 4179 \text{ (J/kgK)} & \mu = 631 \times 10^{-6} \text{ (Ns/m}^2\text{)} \\ k = 0.634 \text{ (W/mK)} & P_r = 4.16 & \beta = 400.4 \times 10^{-6} \text{ (K}^{-1}\text{)} \end{array}$$

$\rho$  = Densidad del fluido

$P_r$  = Número de Prandtl

$C_p$  = Calor específico a presión constante

$\beta$  = Coeficiente volumétrico de expansión  
térmica

$\mu$  = Viscosidad

$k$  = Coeficiente de conductividad térmica

El flujo de masa de la leche a 315°K se obtiene con la ecuación Ec 2.31.

$$m_L = \frac{Q_L \times \rho}{60000} = \frac{2 \times 1}{60000} = 0.033 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad \text{Ec 2.31}$$

$m_L$  = Flujo de masa de la leche

$Q_L$  = Caudal de la leche

$\rho$  = Densidad del fluido

Se desea que por la transferencia de calor el agua aumente 3°C. Asumiendo que la temperatura promedio del agua es de 7°C (280°K), de la tabla del Anexo 5 las propiedades del fluido a esa temperatura son:

$$\begin{array}{lll} \rho = 1 \text{ (kg/m}^3\text{)} & C_p = 4198 \text{ (J/kgK)} & \mu = 1422 \times 10^{-6} \text{ (Ns/m}^2\text{)} \\ k = 0.582 \text{ (W/mK)} & P_r = 10.26 & \beta = 46.04 \times 10^{-6} \text{ (K}^{-1}\text{)} \end{array}$$

$\rho$  = Densidad del fluido

$P_r$  = Número de Prandtl

$C_p$  = Calor específico a presión constante

$\beta$  = Coeficiente volumétrico de expansión  
térmica

$\mu$  = Viscosidad

$k$  = Coeficiente de conductividad térmica

El flujo de masa del agua a 280°K se calcula con la ecuación Ec 2.32.

$$m_A = \frac{Q_A \times \rho}{60000} = \frac{40 \times 1}{60000} = 0.66 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad \text{Ec 2.32}$$



$m_A$  = Flujo de masa del agua

$Q_A$  = Caudal del agua

$\rho$  = Densidad del fluido

El calor que pierde la leche lo gana el agua durante la transferencia de calor, por lo que existe balance de energía de transferencia. Usando las ecuaciones Ec 2.4 a Ec 2.8, de los fluidos de intercambio frío y caliente para el agua y la leche respectivamente, se tiene:

$$\Delta T_A = -3.15^\circ C \quad \text{Ec 2.33}$$

como:

$$\Delta T_A = T_{EA} - T_{SA} \quad \text{Ec 2.34}$$

entonces:

$$T_{SA} = 7.1^\circ C \quad \text{Ec 2.35}$$

$\Delta T_A$  = Diferencia de temperatura del agua

$T_{SA}$  = Temperatura de salida del agua

$T_{EA}$  = Temperatura de entrada del agua

Es decir que la selección de  $T_{prom} = 7^\circ C$  del agua fría si fue apropiada.

Del método de diseño DTML, la diferencia de temperaturas media logarítmica viene dada por la ecuación Ec 2.12. Para este intercambiador se tiene:

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{EL} - T_{SA}) - (T_{SL} - T_{EA})}{\ln\left(\frac{T_{EL} - T_{SA}}{T_{SL} - T_{EA}}\right)} = \frac{(74 - 7.1) - (10 - 4)}{\ln\left(\frac{74 - 7.1}{10 - 4}\right)} = 25.25 \quad \text{Ec 2.36}$$

$\Delta T_{ml}$  = Diferencia de temperaturas media logarítmica.

$T_{EL}$  = Temperatura de entrada de la leche

$T_{SL}$  = Temperatura de salida de la leche

$T_{SA}$  = Temperatura de salida del agua

$T_{EA}$  = Temperatura de entrada del agua

El número de Reynolds para la leche se calcula con la ecuación Ec 2.37.

$$R_{eL} = \frac{4m_L}{\pi D_i \mu_L} = \frac{4 \times 0.033 (\text{kg/s})}{\pi \times 0.0105 \text{m} \times (631 \times 10^{-6} \text{Ns/m}^2)} = 6345 \quad \text{Ec 2.37}$$

6345 > 3000 entonces el fluido es turbulento

$R_{eL}$  = Número de Reynolds para la leche

$m_L$  = Flujo de masa de la leche

$\mu_L$  = Viscosidad a 315°K

$D_i$  = Diámetro interno de la tubería de acero inoxidable

El factor de fricción de la leche con las paredes del tubo se encuentra:

$$f = (0.79 \ln R_e - 1.64)^{-2} = (0.79 \ln 6345 - 1.64)^{-2} = 0.03591 \quad \text{Ec 2.38}$$

$f$  = Factor de fricción

$R_{eL}$  = Número de Reynolds para la leche

Aplicando la ecuación Ec 2.16 y considerando al fluido como turbulento, el número de Nusselt para este caso es:

$$N_{UL} = \frac{(f/8)(R_{eL} - 1000)P_r}{1 + 12.7(f/8)^{1/2}(P_r^{2/3} - 1)} = \frac{0.004489 \times (5345) \times 3.77}{1 + 12.7(0.004489)^{1/2}(4.16^{2/3} - 1)} = 38.8 \quad \text{Ec 2.39}$$

$N_{UL}$  = Número de Nusselt para la leche

$R_{eL}$  = Número de Reynolds para la leche

$f$  = Factor de fricción

$P_r$  = Número de Prandtl a 315°K

De la ecuación Ec 2.17, el coeficiente de convección del fluido interno es:

$$h_i = \frac{N_{UL} \times k}{D_i} = \frac{38.8 \times 0.634}{0.0105} = 2342.8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \quad \text{Ec 2.40}$$

$h_i$  = Coeficiente de convección del fluido interno

$N_{UL}$  = Número de Nusselt para la leche

$k$  = Coeficiente de conductividad térmica a 315°K

$D_i$  = Diámetro interno de la tubería de acero inoxidable

Para encontrar el coeficiente de convección del fluido externo, y como se considera que el diseño es similar al intercambiador de contraflujo, se asume que se tiene un arreglo de tubos concéntricos igual al de la etapa de calentamiento. Aplicando la ecuación Ec 2.20 se tiene:

$$R_{eA} = \frac{4m_A}{\pi(D_o + D_i)\mu_A} = \frac{4 \times 0.667(\text{kg/s})}{\pi \times (0.0508 + 0.0105)\text{m} \times (1422 \times 10^{-6} \text{Ns/m}^2)} = 9758 \quad \text{Ec 2.41}$$

9758 > 3000 es fluido turbulento.

$R_{eA}$  = Número de Reynolds para el agua

$m_A$  = Flujo de masa del agua

$\mu$  = Viscosidad a 280°K

$D_h$  = Diámetro hidráulico

Para calcular el número Nusselt del fluido externo se aplica la ecuación Ec 2.21 y como el agua se calienta  $n = 0.4$ , entonces:

$$N_{UA} = 0.023R_e^{0.8} \times P_r^{0.4} = 0.023 \times (9758)^{0.8} \times (10.26)^{0.4} = 90.6 \quad \text{Ec 2.42}$$

$N_{UA}$  = Número de Nusselt para el agua

$R_{eA}$  = Número de Reynolds para el agua

$P_r$  = Número de Prandtl a 280°K

El coeficiente de convección del fluido externo es:

$$h_o = \frac{N_{UA} \times k}{D_h} = \frac{90.6 \times 0.582}{0.0508 - 0.0105} = 1308.41 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \quad \text{Ec 2.43}$$

$h_o$  = Coeficiente de convección del fluido externo

$N_{UA}$  = Número de Nusselt para el agua

$k$  = Coeficiente de conductividad térmica a 280°K

$D_h$  = Diámetro hidráulico

Coefficiente global de transferencia de calor se encuentra con la ecuación Ec 2.44.

$$U = \frac{1}{(1/h_i) + (1/h_o)} = \frac{1}{(1/2342.8) + (1/1308.41)} = 839.6 \frac{W}{m^2 K} \quad \text{Ec 2.44}$$

$U$  = Coeficiente global de transferencia de calor

$h_i$  = Coeficiente de convección del fluido interno

$h_o$  = Coeficiente de convección del fluido externo

El factor de corrección  $F$  se obtiene de la figura 1.20, que es dada para un intercambiador de 1 coraza y cualquier múltiplo de 2 pasos de tubo. Las constantes  $P$  y  $R$  se obtienen con las siguientes ecuaciones Ec 2.45 y Ec 2.46.

$$P = \frac{T_{SL} - T_{EL}}{T_{EA} - T_{EL}} = \frac{10 - 74}{4 - 74} = 0.91 \quad \text{Ec 2.45}$$

$$R = \frac{T_{EA} - T_{SA}}{T_{SL} - T_{EL}} = \frac{4 - 7.1}{10 - 74} = 0.04 \quad \text{Ec 2.46}$$

$P$  = Constante para la obtención de  $F$

$R$  = Constante para la obtención de  $F$

Como una de las constantes es despreciable "R", el factor de corrección  $F$  es igual a 1. Esto es debido a que el cambio de temperatura del fluido es despreciable.

El flujo de transferencia de calor para el método DTML para el intercambiador de tubos y coraza esta dado por la ecuación Ec 2.47.

$$q = UAF\Delta T_m \quad \text{Ec 2.47}$$

Como:

$$q_L = m_L C_{pL} \Delta T_L = 8826.1 \quad \text{Ec 2.48}$$

$$q_L = q_A = 8826.1 \frac{J}{s} \quad \text{Ec 2.49}$$

Además:

$$A = \pi D_i L_i \quad \text{Ec 2.50}$$

entonces la longitud de la tubería interna es:

$$L_i = \frac{q}{UF\Delta T_{ml}\pi D_i} = \frac{8826.1}{839.6 \times 1 \times 25.25 \times \pi \times 0.0105} = 12.6m \quad \text{Ec 2.51}$$

$q_L$  = Calor de la leche

$q_A$  = Calor del agua

$A$  = Área o superficie de transferencia de calor

$L_i$  = Longitud del tubo interno

$U$  = Coeficiente global de transferencia de calor

$\Delta T_{ml}$  = Diferencia de temperaturas media logarítmica.

$D_i$  = Diámetro interno

$F$  = Factor de corrección

Es decir, la longitud de la tubería interna de acero inoxidable por donde circula la leche debe ser de  $12.6m$ , para el intercambiador de la etapa de enfriamiento.

La longitud de cada tubo ( $N = 10$ ) y cada paso ( $M = 2$ ) es:

$$L_N = \frac{L_i}{N} = \frac{12.6m}{10} = 1.26m \quad \text{Longitud de cada tubo} \quad \text{Ec 2.52}$$

$$L_M = \frac{L_N}{M} = \frac{1.26m}{2} = 0.63m \quad \text{Longitud de cada paso} \quad \text{Ec 2.53}$$

#### 2.3.2.2.2 Construcción del intercambiador de calor

El intercambiador de calor de la etapa de enfriamiento se construye con los siguientes elementos:

- Serpentín: Tubo de acero inoxidable pulimento 182A, tipo 304 o 316, sin costuras, para alimentos de  $\frac{1}{2}$ "
- Coraza: Tanque metálico con protección anticorrosivo y aislado térmicamente.
- Aislante térmico: Lana de vidrio y cañuela.

En la figura 2.13 se muestran los componentes del intercambiador de calor de la etapa de enfriamiento.

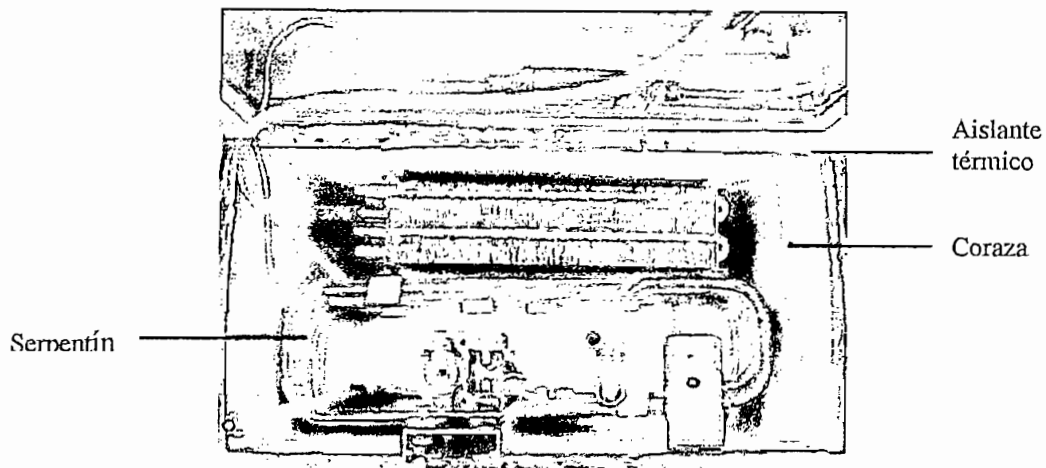


Figura 2.13 Componentes del intercambiador de la etapa de enfriamiento.

### 2.3.2.3 Etapa de Regeneración

La regeneración es una etapa secundaria del proceso cuyo objetivo es aprovechar el calor ganado por la leche durante el calentamiento. En esta etapa la leche cruda se pre-calienta y la leche tratada se pre-enfría, esto es debido a la transferencia de calor entre los fluidos.

Para el diseño se toma como base el intercambiador de calor de contraflujo de tubos concéntricos.

El tubo interno, por donde circula la leche cruda (fluido frío), es de acero inoxidable de  $\frac{1}{2}$ " para alimentos cuyo diámetro interno es de 0.0105m. El tubo externo, por donde circula el agua caliente (fluido caliente), es del tipo HIDRO3 de 2" cuyo diámetro interno es de 0.0508m.

### 2.3.2.3.1 Cálculo del regenerador

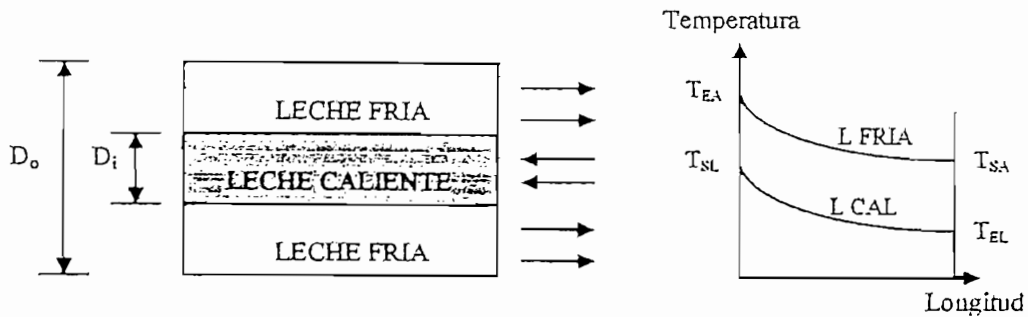


Figura 2.14 Representación para el cálculo del Regenerador

Las consideraciones para este diseño son las siguientes:

#### LECHE FRÍA:

1. Temperatura de ingreso al regenerador  $20^{\circ}\text{C}$  ( $T_{ELF}$ )
2. Temperatura de salida del intercambiador de  $25^{\circ}\text{C}$  ( $T_{SLF}$ )
3. Circula por tubería de acero inoxidable de diámetro interno  $0.0508\text{m}$  ( $D_o$ )
4. Caudal de  $2\text{ L/min}$  ( $Q_L$ ).

#### LECHE CALIENTE:

1. Temperatura de ingreso al regenerador  $74^{\circ}\text{C}$  ( $T_{ELC}$ )
2. Pérdida de temperatura por la transferencia de calor de  $2^{\circ}\text{C}$
3. Circula por tubería de acero inoxidable de diámetro interno  $0.0105\text{m}$  ( $D_o$ )
4. Caudal de  $2\text{ L/min}$  ( $Q_L$ ).

La temperatura promedio a la cual se encuentra la leche fría en el intercambiador se obtiene con la ecuación Ec 2.54:

$$T_{\text{prom}} = \frac{T_{ELF} + T_{SLF}}{2} = \frac{20 + 25}{2} = 22.5^{\circ}\text{C} = 295^{\circ}\text{K} \quad \text{Ec 2.54}$$

$T_{\text{prom}}$  = Temperatura promedio de la leche cruda

$T_{ELF}$  = Temperatura de entrada de la leche fría del regenerador

$T_{SLF}$  = Temperatura de salida de la leche fría del regenerador

Las propiedades de este fluido a 295°K, de la tabla del Anexo 5, son:

$$\begin{array}{lll} \rho = 1 \text{ (kg/m}^3\text{)} & C_p = 4181 \text{ (J/kgK)} & \mu = 959 \times 10^{-6} \text{ (Ns/m}^2\text{)} \\ k = 0.606 \text{ (W/mK)} & P_r = 6.62 & \beta = 227.5 \times 10^{-6} \text{ (K}^{-1}\text{)} \end{array}$$

$\rho$  = Densidad del fluido

$P_r$  = Número de Prandtl

$C_p$  = Calor específico a presión constante

$\beta$  = Coeficiente volumétrico de expansión térmica

$\mu$  = Viscosidad

$k$  = Coeficiente de conductividad térmica

El flujo de masa de la leche fría a 295°K se calcula con la ecuación Ec 2.55.

$$m_{LF} = \frac{Q_L \times \rho}{60000} = \frac{2 \times 1}{60000} = 0.033 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad \text{Ec 2.55}$$

$m_{LF}$  = Flujo de masa de la leche fría

$Q_L$  = Caudal de la leche

$\rho$  = Densidad del fluido

Se desea que por la transferencia de calor la leche caliente pierda 4°C. Asumiendo que la  $T_{prom}$  es 72°C (345°K), de la tabla del Anexo 5 las propiedades para el fluido son:

$$\begin{array}{lll} \rho = 1 \text{ (kg/m}^3\text{)} & C_p = 4191 \text{ (J/kgK)} & \mu = 389 \times 10^{-6} \text{ (Ns/m}^2\text{)} \\ k = 0.668 \text{ (W/mK)} & P_r = 2.45 & \beta = 595.4 \times 10^{-6} \text{ (K}^{-1}\text{)} \end{array}$$

$\rho$  = Densidad del fluido

$P_r$  = Número de Prandtl

$C_p$  = Calor específico a presión constante

$\beta$  = Coeficiente volumétrico de expansión térmica

$\mu$  = Viscosidad

$k$  = Coeficiente de conductividad térmica

El flujo de masa de la leche caliente a 345°K es:

$$m_{LC} = \frac{Q_L \times \rho}{60000} = \frac{2 \times 1}{60000} = 0.033 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad \text{Ec 2.56}$$



$m_{LC}$  = Flujo de masa de la leche caliente

$Q_L$  = Caudal de la leche

$\rho$  = Densidad del fluido

Del balance de energía de transferencia de calor, y usando las ecuaciones Ec 2.4 a Ec 2.8, de los fluidos de intercambio frío y caliente para la leche fría y caliente respectivamente, se tiene:

$$\Delta T_{LC} = 4.99^\circ C \quad \text{Ec 2.57}$$

como:

$$\Delta T_{LC} = T_{ELC} - T_{SLC} \quad \text{Ec 2.58}$$

entonces:

$$T_{SLC} = 69.01^\circ C \quad \text{Ec 2.59}$$

$\Delta T_{LC}$  = Diferencia de temperatura de la leche caliente

$T_{SLC}$  = Temperatura de salida de la leche caliente

$T_{ELC}$  = Temperatura de entrada de la leche caliente

Del método de diseño DTML, la diferencia de temperaturas media logarítmica viene dada por la ecuación Ec 2.12. Para este intercambiador se tiene:

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{ELC} - T_{SLF}) - (T_{SLC} - T_{ELF})}{\ln\left(\frac{T_{ELC} - T_{SLF}}{T_{SLC} - T_{ELF}}\right)} = \frac{(74 - 25) - (69.01 - 20)}{\ln\left(\frac{74 - 25}{69.01 - 20}\right)} = 49 \quad \text{Ec 2.60}$$

$\Delta T_{ml}$  = Diferencia de temperaturas media logarítmica.

$T_{ELC}$  = Temperatura de entrada de la leche caliente

$T_{SLC}$  = Temperatura de salida de la leche caliente

$T_{SLF}$  = Temperatura de salida de la leche fría

$T_{ELF}$  = Temperatura de entrada de la leche fría

El número de Reynolds para la leche caliente se calcula con la ecuación Ec 2.14.

$$R_{eLC} = \frac{4m_{LC}}{\pi D_i \mu_{LC}} = \frac{4 \times 0.033 \text{ (kg/s)}}{\pi \times 0.0105 \text{ m} \times (389 \times 10^{-6} \text{ Ns/m}^2)} = 10692 \quad \text{Ec 2.61}$$

10692 > 3000 entonces el fluido es turbulento

$R_{dLC}$  = Número de Reynolds para la leche caliente

$m_{LC}$  = Flujo de masa de la leche caliente

$\mu_{LC}$  = Viscosidad a 345°K

$D_i$  = Diámetro interno de la tubería de acero inoxidable

Para calcular el número Nusselt y como la leche se enfría  $n = 0.3$ , entonces:

$$N_{ULC} = 0.023 R_{dLC}^{0.8} \times P_r^{0.3} = 0.023 \times (10692)^{0.8} \times (2.45)^{0.3} = 50.32 \quad \text{Ec 2.62}$$

$N_{ULC}$  = Número de Nusselt para la leche caliente

$R_{dLC}$  = Número de Reynolds para la leche caliente

$P_r$  = Número de Prandtl a 345°K

El coeficiente de convección del fluido interno es:

$$h_i = \frac{N_{ULC} \times k}{D_i} = \frac{50.32 \times 0.668}{0.0105} = 3201.31 \frac{W}{m^2 K} \quad \text{Ec 2.63}$$

$h_i$  = Coeficiente de convección del fluido interno

$N_{ULC}$  = Número de Nusselt para la leche

$k$  = Coeficiente de conductividad térmica a 345°K

$D_i$  = Diámetro interno de la tubería de acero inoxidable

Como se considera que el diseño es del intercambiador de contraflujo, se asume que se tiene un arreglo de tubos concéntricos igual al de la etapa de calentamiento. Aplicando la ecuación Ec 2.20 se tiene que el número de Reynolds es:

$$R_{dLF} = \frac{4m_{LF}}{\pi(D_o + D_i)\mu_{LF}} = \frac{4 \times 0.033(kg/s)}{\pi \times (0.0508 + 0.0105)m \times (959 \times 10^{-6} Ns/m^2)} = 742.9 \quad \text{Ec 2.64}$$

742.9 < 3000 entonces es un fluido laminar.

$R_{dLF}$  = Número de Reynolds para la leche fría

$m_{LF}$  = Flujo de masa de la leche fría

$\mu_{LF}$  = Viscosidad a 295°K

$D_h$  = Diámetro hidráulico

Como el flujo es laminar se utiliza la tabla 2.1 para encontrar el número de Nusselt.

$D_i/D_o$	$Nu_i$	$Nu_o$
0	-----	3.66
0.05	17.46	4.06
0.10	11.56	4.11
0.25	7.37	4.23
0.50	5.74	4.43
1.00	4.86	4.86

Tabla 2.1 Número de Nusselt para flujo laminar

$$\frac{D_i}{D_o} = \frac{0.0105}{0.0508} = 0.207 \quad \text{Ec 2.65}$$

$D_i$  = Diámetro interno de la tubería de acero inoxidable

$D_o$  = Diámetro externo de la tubería HIDRO3

Interpolando:

$$\begin{array}{lll} 0.10 - 0.25 & \text{entonces} & 4.11 - 4.23 \\ 0.10 - 0.207 & \text{entonces} & 4.11 - X \end{array}$$

$$\frac{(4.11 - 4.23)(0.10 - 0.207)}{0.10 - 0.25} = 4.11 - X$$

entonces:

$$X = Nu_o = 4.2$$

El coeficiente de convección del fluido externo es:

$$h_o = \frac{N_{ULF} \times k}{D_h} = \frac{4.2 \times 0.606}{0.0508 - 0.0105} = 63.27 \frac{W}{m^2 K} \quad (\text{coef de convección})$$

$h_o$  = Coeficiente de convección del fluido externo

$N_{ULF}$  = Número de Nusselt para la leche fría

$D_h$  = Diámetro hidráulico

El coeficiente global de transferencia de calor es:

$$U = \frac{1}{(1/h_i) + (1/h_o)} = \frac{1}{(1/3201.31) + (1/63.27)} = 61.35 \frac{W}{m^2 K} \quad \text{Ec 2.66}$$

$U$  = Coeficiente global de transferencia de calor

$h_i$  = Coeficiente de convección del fluido interno

$h_o$  = Coeficiente de convección del fluido externo

El flujo de transferencia de calor para el método DTML para el intercambiador de tubos y coraza esta dado por la ecuación Ec 2.47.

$$q = UAF\Delta T_{ml} \quad \text{Ec 2.67}$$

Como:

$$q_{LF} = m_{LF} C_{pLF} \Delta T_{LF} = 717 \quad \text{Ec 2.68}$$

$$q_{LF} = q_{LC} = 717 \frac{J}{s} \quad \text{Ec 2.69}$$

Además:

$$A = \pi D_i L_i \quad \text{Ec 2.70}$$

entonces la longitud de la tubería es:

$$L_R = \frac{q}{U\Delta T_{ml}\pi D_i} = \frac{717}{123.9 \times 49 \times \pi \times 0.0105} = 2.4m \quad \text{Ec 2.71}$$

$q_{LF}$  = Calor de la leche fría

$q_{LC}$  = Calor del agua caliente

$A$  = Área o superficie de transferencia de calor

$L_i$  = Longitud del tubo interno

$U$  = Coeficiente global de transferencia de calor

$\Delta T_{ml}$  = Diferencia de temperaturas media logarítmica.

$D_i$  = Diámetro interno

La longitud de la tubería del regenerador debe ser de 2.4m.

### 2.3.2.3.2 Construcción del regenerador

Por disponibilidad de materiales y facilidad de construcción, este intercambiador no se construye como un arreglo de tubos concéntricos. Se realiza una solución alternativa de prueba para ver resultados de la transferencia de calor.

El regenerador se construye con 2 serpentines independientes cuyos fluidos (caliente y frío) están en contraflujo y son sumergidos en agua que actúa como medio de intercambio de calor.

El resultado de esta solución alternativa de construcción es satisfactorio para fines didácticos y recursos disponibles en el laboratorio.

Componentes del regenerador:

- Serpentina: Tubo de acero inoxidable pulimento 182A, tipo 304 o 316, sin costuras, para alimentos de 1/2"
- Coraza: Tanque plástico

En la figura 2.15 se muestran los componentes del regenerador.

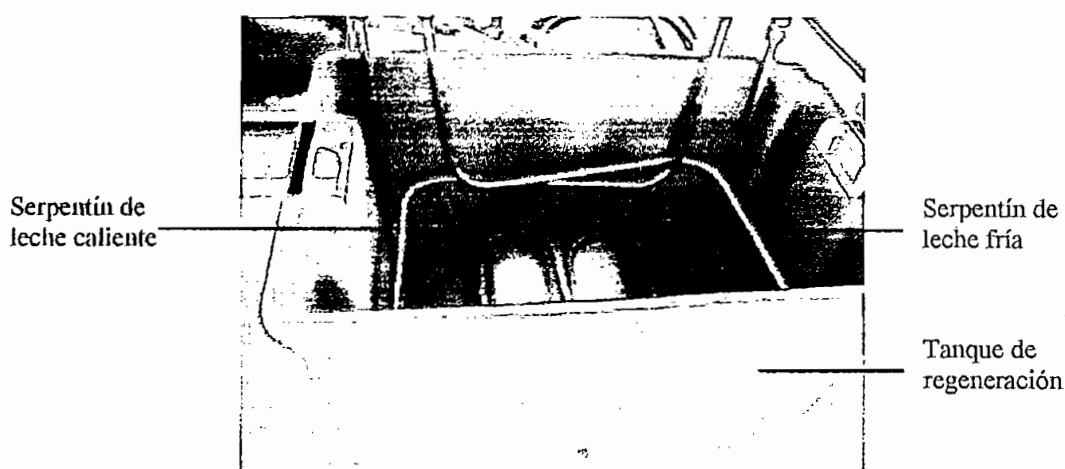


Figura 2.15 Componentes del regenerador

### 2.3.2.4 Etapa de Retención de Calor

El objetivo de esta etapa es mantener la temperatura, con que sale la leche de la etapa de calentamiento, en un valor de entre 72 a 78°C durante 15 a 20 segundos.

El retenedor de calor está formado por un tubo de acero inoxidable aislado térmicamente cuya longitud es proporcional al tiempo de retención necesario.

#### 2.3.2.4.1 Cálculo del Retenedor de Calor

Consideraciones para el diseño:

1. Caudal de la leche 2 l/min
2. Tiempo de retención 15 seg
3. Diámetro de tubería de acero inoxidable 0.105 dm
4. Eficiencia 0.95

De las ecuaciones Ec 1.19 y Ec 1.20 se tiene:

$$V = \frac{Q \times HT}{60 \times \eta} = \frac{2 \times 15}{60 \times 0.95} = 0.53$$

$$L = \frac{V \times 4}{\pi \times D^2} = \frac{0.53 \times 4}{\pi \times (0.105)^2} = 61.27 dm$$

$V$  = Volumen de la leche en litros o  $dm^3$

$Q$  = Caudal de la leche en l/min

$HT$  = Tiempo de retención en seg

$\eta$  = Eficiencia

$L$  = Longitud del tubo retenedor

$D$  = Diámetro interno del tubo retenedor

Entonces la longitud del tubo de retención es de:

$$L = 6.12m$$

#### 2.3.2.4.2 Construcción del Retenedor de Calor

El retenedor de calor se construye con los siguientes elementos:

- Serpentin: Tubo de acero inoxidable pulimento 182A, tipo 304 o 316, sin costuras, para alimentos de ½"
- Aislante térmico: Lana de vidrio y cañuela cilíndrica con recubrimiento de papel aluminio.

En la figura 2.16 se muestran los componentes del retenedor de calor.

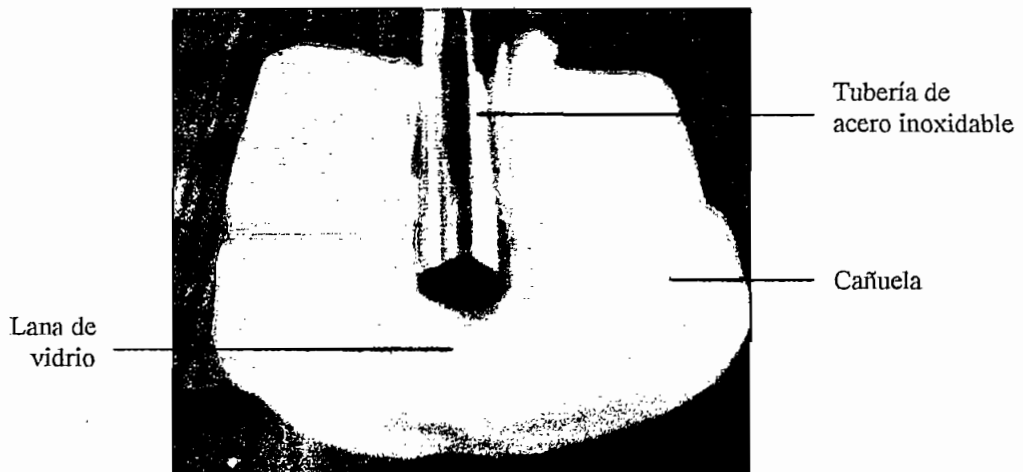


Figura 2.16 Componentes del retenedor de calor

### 2.3.3 DISPOSITIVOS DE CONTROL

A continuación se describen las características más importantes de los actuadores o dispositivos de control presentes en el pasteurizador prototipo de leche.

### 2.3.3.1 Bomba para leche M1

La bomba para leche es el corazón del prototipo ya que por medio de ella se mueve al producto por la tubería a través de todas las etapas del proceso.

Para la selección de la misma se debe considerar dos aspectos:

- Caudal necesario en el proceso
- Presión suficiente para que el producto recorra toda la tubería

La bomba centrífuga es usada ampliamente en productos de baja viscosidad, pero no puede manejar líquidos pesados.

El líquido ingresa directamente al centro de la turbina donde es empujado por el movimiento circular de las aletas, como se muestra en la figura 2.17. Como resultado de la fuerza centrífuga el líquido alcanza una mayor presión y velocidad. La velocidad es parcialmente convertida en presión dentro de la turbina antes de que el líquido salga directamente por el conducto de salida.

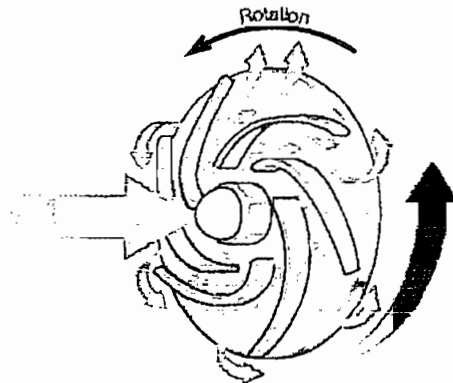


Figura 2.17 Turbina de la Bomba Centrífuga para leche

De acuerdo al parámetro de caudal de circulación en los intercambiadores de calor, es necesario que la bomba entregue un caudal de 2 l/min y mueva al producto por aproximadamente 25m.

Se selecciona una bomba centrífuga cuya turbina esta recubierta por un material apto para que circule cualquier alimento líquido sin que este se infecte o ensucie.



Los datos de placa de la Bomba para leche se indican en la tabla 2.2.

MARCA	PEDROLLO
Voltaje Nominal	110 V
Corriente Nominal	5.4 A
Frecuencia	60 Hz
Velocidad	3450 rpm
Potencia máxima	580W
Potencia	½ HP
Caudal	5 / 50 (l/min)

Tabla 2.2 Datos de Placa de la Bomba para leche

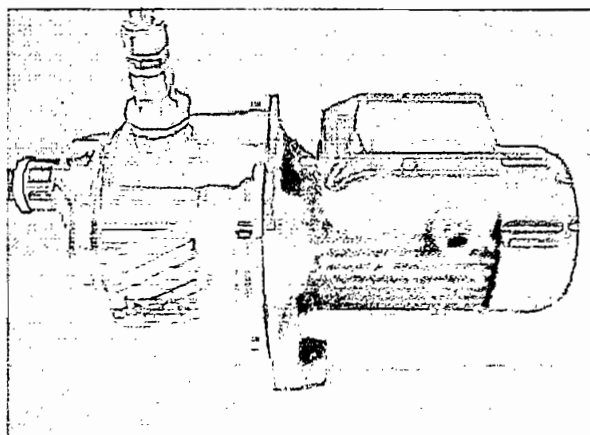


Figura 2.18 Bomba para leche M1

Esta bomba cubre sin ningún problema los requerimientos de presión, pero entrega un caudal de salida superior al necesario.

La regulación del caudal con una llave colocada a la salida de la bomba no es suficiente para alcanzar el valor necesario de 2 l/min. Por tal motivo, se pone una bifurcación a la salida de la bomba (figura 2.19), una para retorno y otra al proceso con lo que se consigue dividir al flujo de salida y disminuir el caudal.

En la salida al proceso se acopla una llave de mariposa que regula el caudal del producto al valor necesario (2 l/min). La salida al retorno va al tanque de recolección de leche cruda mediante una manguera de 1". Con esto se reduce la presión con que el producto regresa al tanque evitando turbulencia.

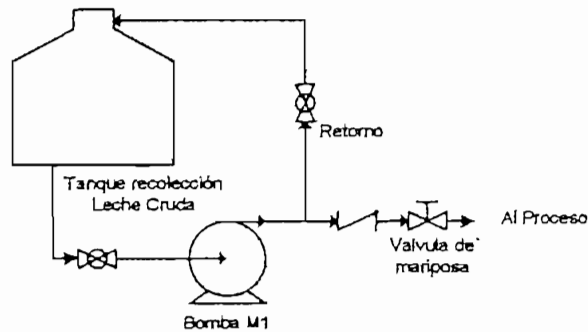


Figura 2.19 Bifurcación del caudal de salida de la Bomba de alimentos

### 2.3.3.2 Bombas de Recirculación de Agua M2, M4 y M5

La función de estas bombas es hacer recircular al agua utilizada como medio de intercambio de calor en las etapas de calentamiento y enfriamiento.

La etapa de calentamiento cuenta con la bomba M2 ubicada en el módulo del calentador y permite recircular al agua caliente contenida entre el tanque de la caldera y el intercambiador de calor. Esta provista de un ventilador adicional externo para evitar que se sobrecaliente.

Se utiliza el caudal máximo de la bomba ya que en los cálculos del intercambiador se considera que el agua tiene un caudal de 40 l/min.

En la etapa de enfriamiento se tienen las bombas M4 y M5, donde la primera mueve al agua contenida en el tanque del intercambiador hacia la torre de enfriamiento; mientras que la otra mueve al agua del tanque de la torre de enfriamiento hacia el tanque del intercambiador.

Los datos de placa de estas bombas se indican en las tablas 2.3 y 2.4.

MARCA	TEKNO
Voltaje Nominal	110 V
Corriente Nominal	2.1 A
Frecuencia	60 Hz
Velocidad	3450 rpm
Potencia máxima	500W
Potencia	½ HP
Caudal	5 / 40 (l/min)

Tabla 2.3 Datos de Placa de Bombas M2 y M4

MARCA	PAOLO
Voltaje Nominal	115 / 230 V
Corriente Nominal	2.5 A
Frecuencia	60 Hz
Velocidad	3400 rpm
Potencia máxima	550W
Potencia	½ HP
Caudal	5 / 40 (l/min)

Tabla 2.4 Datos de Placa de Bomba M5

### 2.3.3.3 Refrigerador

La función del refrigerador es tratar de disminuir la temperatura del agua utilizada como medio de intercambio de calor en la etapa de enfriamiento. Es del tipo de refrigeradores por compresión de vapor cuya sustancia refrigerante que utiliza es el freón. Además cuenta con dos radiadores tanto para el enfriamiento del freón como para la absorción de calor del elemento a enfriar. (Ver figura 2.6a)

Para enfriar al freón se utiliza un radiador por el cual se hace pasar aire forzado desde un ventilador. El otro radiador se encuentra dentro del tanque del

intercambiador de enfriamiento, el cual absorbe el calor del agua contenida en el tanque.

Voltaje Nominal	115 V
Corriente Nominal	6A
Frecuencia	60 Hz
Fases	1
Potencia	1 HP

Tabla 2.5 Datos de Placa del Refrigerador

#### 2.3.3.4 Resistencias de Calentamiento

Están ubicadas dentro del tanque del calentador y se conectan formando un banco trifásico "Y" de resistencias. Se las alimenta desde la red trifásica de 220V con neutro.

Tipo	Sumergible
Potencia	1500 W
Voltaje	110 VAC

Tabla 2.6 Especificaciones de las Resistencias de Calentamiento

#### 2.3.3.5 Electroválvula EV1

Permite llenar al tanque del calentador con agua fría obtenida desde la red de suministro público (EMAAP).

Tipo	Plástico 2IN / 1OUT
Potencia	10 W
Voltaje	110 VAC
Fluido	Agua fría
Orificio IN	½"
Orificio OUT	¼"

Tabla 2.7 Especificaciones de la Electroválvula

### 2.3.4 SENSORES

Son los encargados de medir y enviar una señal correspondiente al valor que toman las diferentes variables que intervienen en un proceso. Estas señales son recibidas por una etapa acondicionadora, la cual hace la función de normalizarlas para luego enviarlas al controlador o al microprocesador.

Para este caso, las variables presentes son:

- Temperatura.
- Caudal.
- Nivel.

#### 2.3.4.1 Sensores de Temperatura

En este proceso, la variable temperatura tiene un rango de variación máximo de entre 0 y 90 grados centígrados ( $^{\circ}\text{C}$ ). Por esta razón, los sensores seleccionados son las *Termocuplas tipo J*, ya que su operación esta convenientemente dentro de este rango.

Tipo	J (hierro – constantan)
Rango	32 $^{\circ}\text{F}$ – 1400 $^{\circ}\text{F}$ (0 $^{\circ}\text{C}$ – 760 $^{\circ}\text{C}$ )
Protección	Vaina de acero inoxidable 316

Tabla 2.8 Especificaciones de las Termocuplas tipo J

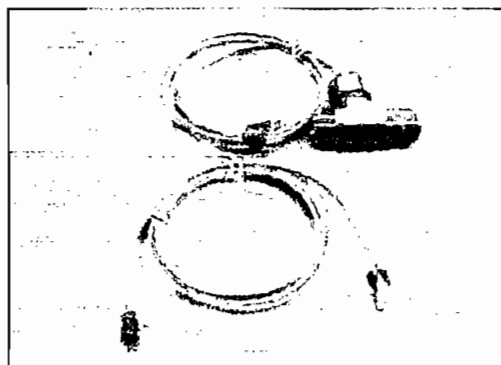


Figura 2.20 Termocuplas tipo J

Presentan una variación bastante lineal dentro de este rango de temperatura y una rápida respuesta. (Ver Anexo 3)

Los sensores están colocados en distintas partes del prototipo para de esta forma poder controlar a los actuadores y comprobar que se cumplan las condiciones de temperatura requeridas en el proceso de pasteurización. La función y ubicación de cada una es la siguiente:

**Termocupla 1 (T1).**- Sensa la temperatura con la que el producto sale de la etapa de calentamiento. Está ubicada a la salida del serpentín de calentamiento.

**Termocupla 2 (T2).**- Sensa la temperatura con la que el producto sale de la etapa de retención. Está localizada a la salida del serpentín de retención.

**Termocupla 3 (T3).**- Sensa la temperatura con la que el producto sale de la etapa de enfriamiento. Se encuentra a la salida del serpentín de enfriamiento.

**Termocupla 4 (T4).**- Sensa la temperatura con la que ingresa el agua caliente al intercambiador de calor de la etapa de calentamiento. Está ubicada en la unión de las 3 tuberías de ½" que ingresan al serpentín de calentamiento.

**Termocupla 5 (T5).**- Sensa la temperatura que tiene el agua fría contenida en el intercambiador de calor e la etapa de enfriamiento. Está localizada dentro del tanque del enfriador (E4).

#### 2.3.4.2 Sensor de Caudal

Para medir la velocidad, con la que el líquido circula a través de la tubería de acero inoxidable, se utiliza un sensor de caudal tipo *Turbina*. El sensor consiste en un rotor que gira al paso del fluido con una velocidad directamente proporcional al caudal. La velocidad de giro del rotor se mide por pulsos de voltaje generados por cada giro.

El sensor esta formado de las siguientes partes:

1. Cuerpo de acero inoxidable con tapa de acrílico transparente. Tiene dos entradas con accesorios para tubería de  $\frac{1}{2}$ " de acero inoxidable 316.
2. Rotor de material Crylón de 6 aspas.
3. Sensor de proximidad tipo inductivo (Datos Técnicos en el Anexo 3)

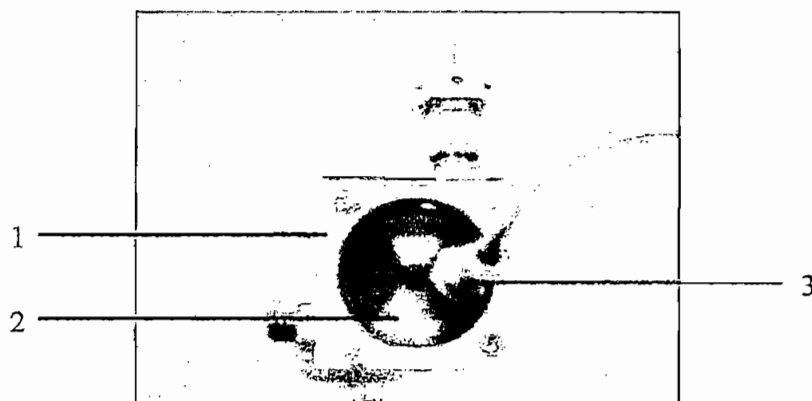


Figura 2.21 Sensor de caudal tipo Turbina Q1.

Las aspas del rotor están provistas de láminas de acero inoxidable colocadas perpendicularmente. Al girar el rotor ante el paso del líquido por el cuerpo metálico, las láminas cortan el campo magnético generado por el sensor de proximidad obteniendo a la salida pulsos de voltaje con una frecuencia proporcional a la velocidad del flujo y relación de trabajo constante.

El sensor de proximidad inductivo es un instrumento pasivo por lo que requiere una fuente de alimentación. Los pulsos de salida tienen el mismo nivel de voltaje de la alimentación, y luego mediante un circuito de acondicionamiento se pasan a una señal análoga de voltaje.

Las características principales del sensor inductivo se indican en la tabla 2.9.

Marca	SIEMENS
Serie	BERO DC INDUCTIVO 3RG3232-ONJ33
Alimentación	6 – 30 VDC (50 mA)
Contactos	1 NC y 1 NA
Sn	4 mm
Terminales	Cable café: +24VDC Cable blanco: salida NC Cable negro: salida NA Cable azul: tierra (referencia)

Tabla 2.9 Especificaciones del Sensor Inductivo

El sensor de caudal se encuentra localizado en el prototipo antes de la entrada al intercambiador de calor de la etapa de calentamiento, y se lo denomina Q1.

### 2.3.4.3 Sensores de Nivel

La medición de nivel se realiza en dos tanques del prototipo, los cuales presentan características distintas y almacenan diferentes tipos de líquidos.

TANQUE	Características	Capacidad	Líquido
CALDERA (E1)	- Sellado con entradas para tubería de ½" y ¾" - Control de nivel bajo	30 litros	Agua $t_{\min} = 17\text{ °C}$ $t_{\max} = 90\text{ °C}$
ALMACENAMIENTO DE LECHE CRUDA (E8)	- Abierto y con tapa - Control de nivel alto y bajo	30 litros	Leche $t = 10\text{ °C}$

Tabla 2.10 Tanques donde se mide el nivel del líquido contenido.

El nivel del líquido en la caldera debe ser el suficiente para no calentar demasiada agua y evitar que la bomba de recirculación M2 succione aire por cualquiera de



las tres salidas de la caldera. Por esta razón, se requiere para este caso solamente un control de nivel bajo del líquido almacenado.

En el tanque de almacenamiento de leche cruda (E8) es necesario el control de nivel tanto alto como bajo del líquido almacenado. El nivel alto controla la cantidad máxima de leche que se pasteuriza por cada ciclo de operación (14 litros por ciclo). El nivel bajo en cambio indica que la carga de leche cruda se a acabado y evita que la bomba de alimentos (M1) succione aire por la salida del tanque.

La selección de los sensores de nivel para cada tanque se realiza considerando el tipo de tanque, el líquido que almacena y el tipo de control necesario.

Para el tanque de la caldera debido a que es del tipo sellado provisto con entradas para tubería en la parte superior, almacena un líquido no corrosivo al plástico como el agua y se requiere el control en un nivel determinado; se selecciona un sensor de nivel del tipo de *Desplazamiento por Flotador*.

**Sensor de Nivel de Desplazamiento por Flotador.-** Es un instrumento de medida de nivel por desplazamiento cuyo elemento sensor es un flotador situado en el seno del líquido y conectado al exterior del tanque a un mecanismo transductor de desplazamiento.

El flotador está acoplado a un final de carrera (mecanismo transductor de desplazamiento), a través de un cable e ingresa por una de las entradas para tubería de la parte superior del tanque. Con esto se obtiene un sensor discreto ON – OFF que indica el nivel del líquido en un punto determinado dentro del tanque.

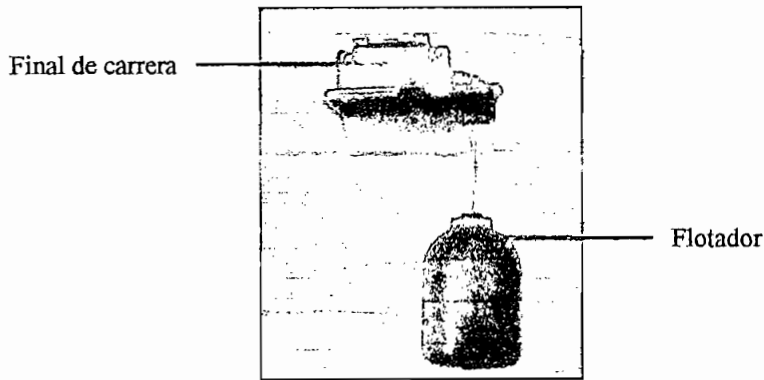


Figura 2.22 Sensor de nivel de desplazamiento por flotador L3.

El tanque de almacenamiento de leche cruda es del tipo abierto y provisto con tapa, almacena un líquido alimenticio y necesita el control en dos niveles determinados. Para este caso se selecciona sensores de nivel tipo *Resistivo* o *Conductivo*, debido a la facilidad de colocar varillas conductoras de acero inoxidable perpendiculares a la tapa del tanque.

**Sensor de Nivel Resistivo o Conductivo.-** Es un instrumento de medida de nivel que se basa en las características eléctricas del líquido. El nivel de los líquidos conductores de carga eléctrica puede ser detectado mediante uno o varios electrodos cuando estos entran en contacto con el líquido. Son sensores discretos ON – OFF ya que indican el nivel en un punto dentro del tanque.

Se comprobó experimentalmente que la leche cruda es un líquido conductor de carga eléctrica ( $R = \text{megaohmios}$ ). Además, con la utilización de varillas de acero inoxidable (electrodos), no se infecta o ensucia a la leche almacenada; y como el tanque es del tipo abierto es sencillo dar mantenimiento a las varillas.

El tanque cuenta con tres varillas colocadas perpendicularmente a la tapa, dos para determinar tanto el nivel bajo como alto y una tercera que sirve de referencia para los dos anteriores. Los electrodos son alimentados con DC ya que como son de acero inoxidable no ocurre oxidación por el fenómeno de la electrolisis.

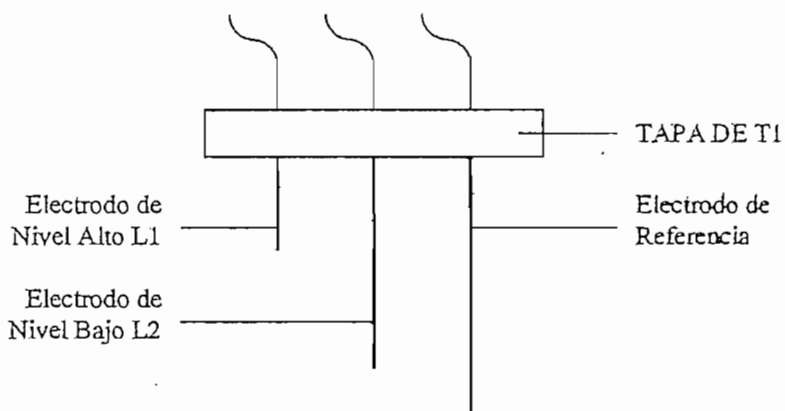


Figura 2.23 Sensores de nivel resistivo o conductivo L1 y L2.

### 2.3.5 PANEL DE CONTROL

El panel de control está ubicado en la parte lateral superior del módulo intercambiador de calor, aquí se encuentran los elementos que permiten el manejo y control del prototipo.

En la parte frontal del panel se encuentra un esquema representativo de todas las etapas del proceso y sobre el cual están ubicados los elementos de mando y visualización.

El pulsador SELECCIÓN permite escoger el valor del sensor que se desea mostrar en los displays de 7 segmentos.

El paro de emergencia es de accionamiento manual e interrumpe el funcionamiento del proceso ante un comportamiento anormal.

El pulsador MARCHA / PARO inicia y detiene la operación del proceso respectivamente en cualquier momento. La misma acción se puede realizar desde el computador por medio de los pulsadores Start y Stop creados en el HMI de monitoreo.

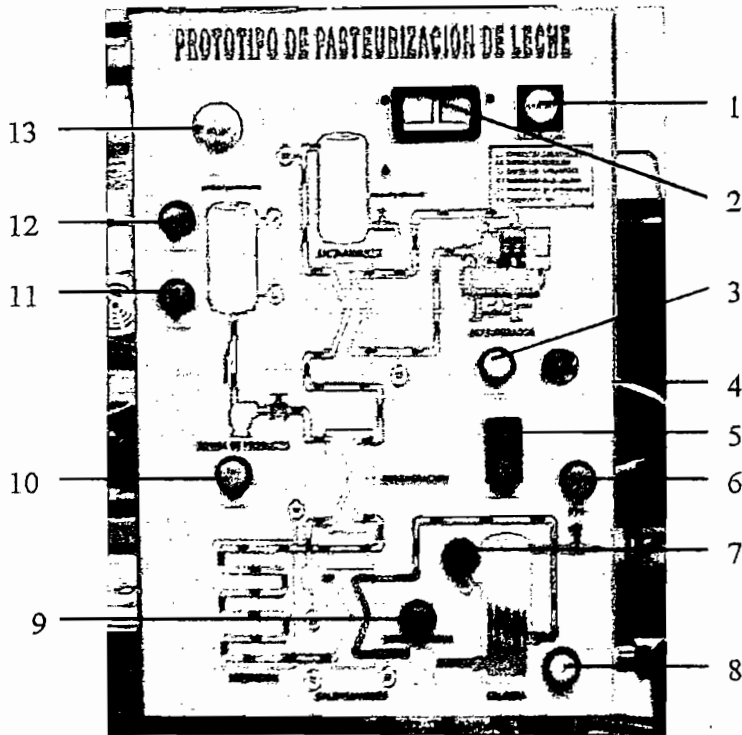


Figura 2.24 Panel de Control vista frontal.

1. SEL Pulsador para selección de sensor a visualizar en los displays.
2. Displays de 7 segmentos para visualización.
3. H3 Luz piloto del enfriador M3.
4. SWL Interruptor para limpieza de la tubería de alimentos M1
5. SB2 Pulsador de Marcha – Paro.
6. H5 Luz piloto de la electroválvula EV1.
7. H6 Luz piloto de nivel bajo del tanque de la cadera.
8. H2 Luz piloto de las resistencias de la caldera.
9. H4 Luz piloto bomba de recirculación de agua de la caldera M2
10. H1 Luz piloto de la bomba de alimentos M1.
11. H7 Luz piloto de nivel bajo del tanque de almacenamiento T1.
12. H8 Luz piloto de nivel alto del tanque de almacenamiento T1.
13. SB1 Pulsador con retención para Paro de Emergencia.

Dentro del panel de control se encuentran los elementos de baja y alta potencia que permiten el manejo adecuado de los actuadores que contiene el prototipo, como se indica en la figura 2.25.

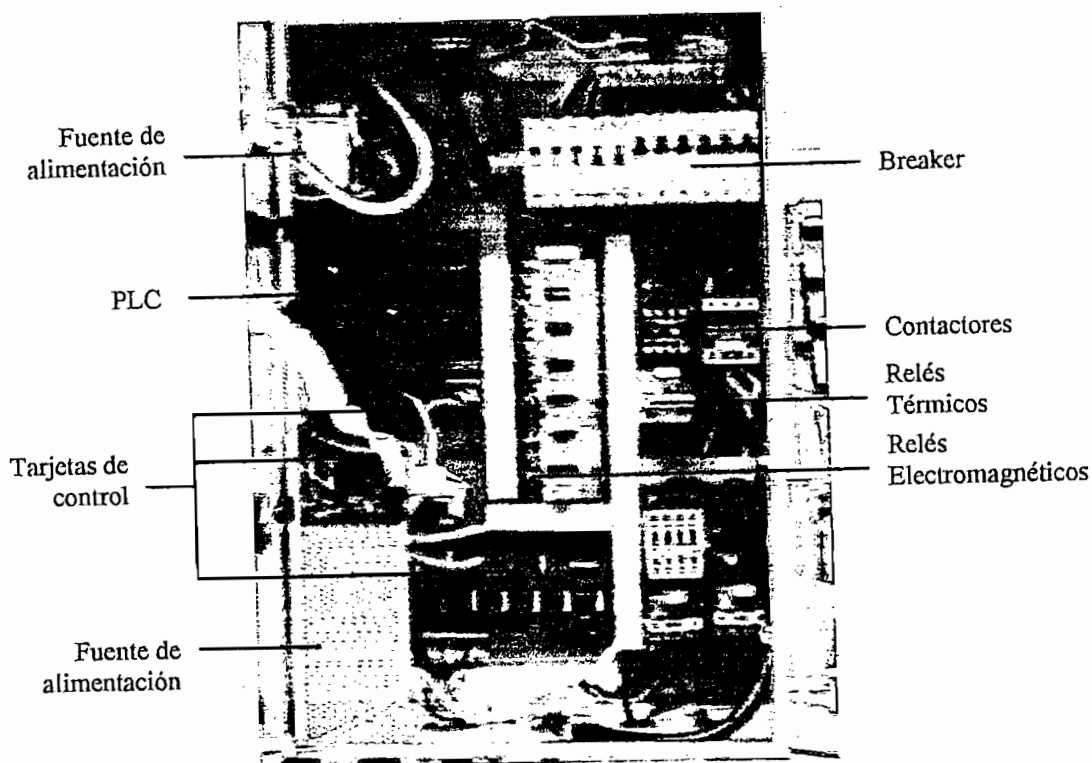


Figura 2.25 Panel de Control vista interior.

### 2.3.5.1 Controlador Lógico programable PLC

Para cubrir las necesidades del proceso y por la disponibilidad del equipo, se selecciona el PLC de la marca SIEMENS, SIMATIC S7-200 CPU 224 AC/DC/relé. (Datos Técnicos y de Conexiones en el Anexo 1)

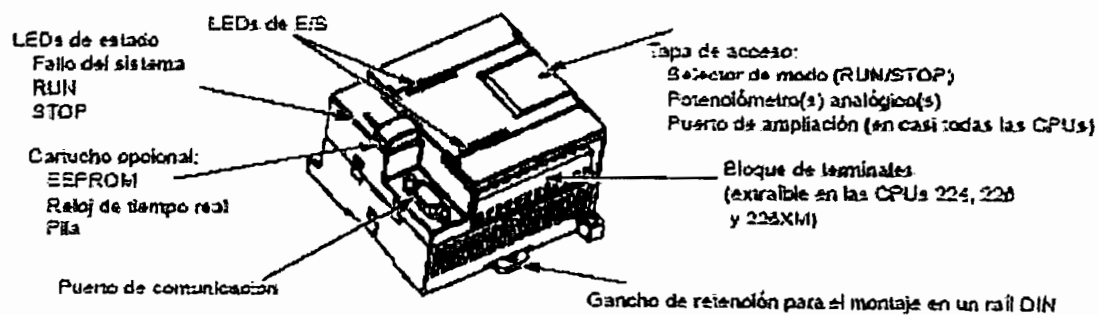


Figura 2.26 PLC SIMATIC S7-200

Posee las siguientes características principales:

- 14 entradas digitales (0 – 24 VDC)
- 10 salidas digitales tipo relé (0 – 250 VAC)
- Alimentación 120/240 VAC
- 1 puerto de comunicación RS – 232
- 8K bytes de memoria de programa de usuario.
- 4K bytes de memoria de datos.
- Capacidad para 7 Módulos de ampliación.
- Editores de programa:    KOP (diagrama de contactos)  
                                  FUP (bloques de funciones)  
                                  AWL (código de instrucciones)

### 2.3.5.2 Tarjetas de Control

Las tarjetas de control montadas en el panel de control son las siguientes:

- Tarjeta 1            Acondicionamiento de Sensores
- Tarjeta 2            Conversión A/D y Visualización
- Tarjeta 3            Displays de 7 segmentos
- Tarjeta 4            Aislamiento de entradas y salidas del PLC

Las tarjetas están provistas de zócalos, borneras y buses de conexión para facilitar el montaje de elementos e interconexión.

El diseño del hardware con que cuenta cada una de estas tarjetas se indica el numeral 3.2 del capítulo 3.

### 2.3.5.3 Fuentes de Alimentación de DC

El panel de control contiene las siguientes fuentes de alimentación de DC:

- F1 = +24 VDC    Para la alimentación de las entradas al PLC.

- F2 = +12 VDC Para la alimentación de las salidas del PLC.
- F3 = +5 VDC Para las etapas de conversión A/D, visualización y para la palabra de 3 bits que envía el PLC hacia el Microprocesador para selección del sensor.
- F4 = +15 VDC Para la etapa de acondicionamiento de sensores.
- F5 = -15 VDC Para la etapa de acondicionamiento de sensores.

Las fuentes F3 – F4 y F5 tienen la misma referencia debido a que las señales acondicionadas de los sensores análogos entran a la etapa de conversión A/D. Estas fuentes son tomadas de un transformador con tres secundarios aislados.

Las referencias de las fuentes F1 y F2 son independientes cada una de las demás, esto debido a que tanto las entradas como las salidas del PLC deben ser aisladas por protección. Las dos fuentes son tomadas de un transformador con dos secundarios aislados. Los circuitos esquemáticos de todas las fuentes se indican en el Anexo 10.

#### **2.3.5.4 Contactores Electromagnéticos**

Son los elementos capaces de entregar la energía a las cargas. Funcionan normalmente con mando a distancia en lugar de ser operados manualmente. Están diseñados para maniobras frecuentes bajo carga y sobrecarga normales. Para su selección se debe tomar en cuenta el tipo de carga a manejarse (categoría de servicio), la potencia, y el voltaje para activar la bobina. Con el objeto de atenuar el ruido eléctrico que se produce al desactivar la bobina de un contactor, es necesario colocar en paralelo una red snubber, que consiste de un resistor y un capacitor para bobinas de corriente alterna, como se indica en el Anexo1.

#### **2.3.5.5 Relés Electromagnéticos**

Estos dispositivos nos permiten activar y/o desactivar las bobinas de los contactores que manejan las distintas cargas. Los relés electromagnéticos son

conectados a la salida del PLC, su necesidad responde a proteger a los relés internos del PLC ante posibles fallas y ruido electromagnético que se genera al abrir y cerrar un contactor.

### **2.3.5.6 Dispositivos de protección**

Los dispositivos de protección son elementos para salvaguardar el funcionamiento de las cargas y el conexionado, estos siempre deben instalarse.

#### **Relé Térmico**

Los relés térmicos instalados en el panel de control tienen la función de proteger a los motores de las bombas ante eventuales sobrecargas. Este dispositivo de protección permite la apertura automática del contactor a través de su contacto NC. El contacto NA del relé térmico es la señal de aviso de falla que ingresa al PLC para ser procesada y monitoreada. Para la selección del relé térmico se ha tomado  $\pm 2.5\%$  de la corriente nominal ( $I_n$ ) del motor de la bomba.

#### **Interruptor (Breaker)**

Es un aparato de maniobra para la conexión y/o desconexión, ya sea en forma manual o automática. Su función principal es la de proteger el cableado, ante un posible cortocircuito o sobrecargas si el caso. La instalación de estos interruptores en el panel de control permite tener independencia para cada carga que controla el PLC.

#### **Paro de emergencia**

Este dispositivo de seguridad nos permite interrumpir la operación del PLC ante cualquier funcionamiento anormal, haciendo que el proceso se pare por completo. Para reiniciar el funcionamiento se reposiciona el paro de emergencia a su posición normal y se pulsa marcha en el panel de control o Start en el HMI si el nivel de acceso es permitido.



W1610101  
P11

## CAPÍTULO 3

## CAPÍTULO 3

### SOFTWARE Y HARDWARE DEL SISTEMA CONTROL

Para garantizar el correcto funcionamiento de las etapas que forman el proceso de pasteurización es necesario seguir una secuencia lógica de procedimientos de control, así como también programar al controlador que ayuda automatizar el proceso.

#### 3.1 CONTROL DEL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN

La lógica de control para efectuar la pasteurización se visualiza en la figura 3.1 la que comienza cuando el operador presione el pulsante MARCHA en el panel de control.

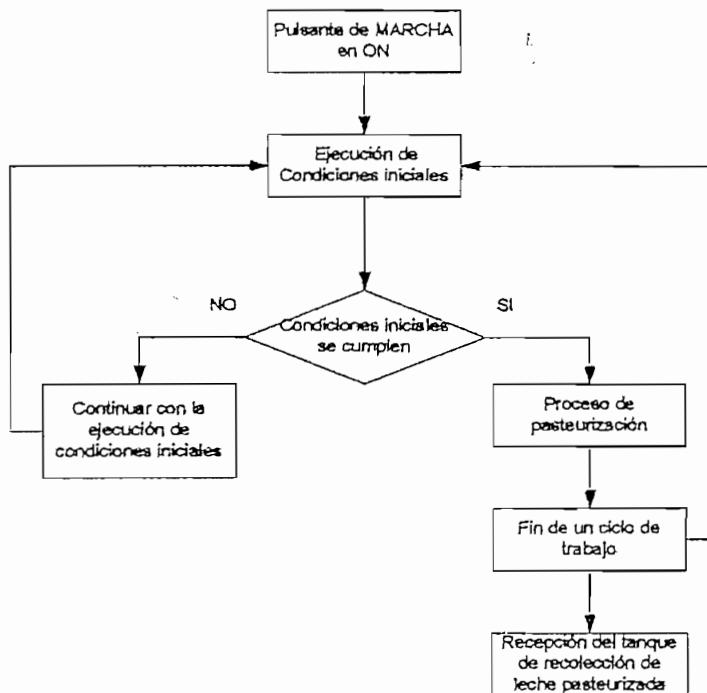


Figura 3.1 Lógica de Control del Proceso de Pasteurización

Luego, el PLC inicia la ejecución y verificación de ciertas condiciones de temperatura y nivel necesarias para poner en marcha al proceso de pasteurización. Una vez que estas se cumplen, se ejecuta el proceso hasta cumplir con el ciclo de trabajo; caso contrario el PLC continúa ejecutando y revisando tales condiciones hasta conseguir que se cumplan.

Al terminar un ciclo de trabajo el PLC regresa a ejecutar otra vez la lógica de control indicada en el párrafo anterior.

## EJECUCIÓN Y CUMPLIMIENTO DE CONDICIONES INICIALES

Para iniciar el proceso de pasteurización se deben cumplir las siguientes condiciones iniciales de funcionamiento:

- Nivel mínimo del tanque del calentador (L3)
- Temperatura del agua del calentador a 85°C (T4)
- Temperatura del agua del enfriador a 4°C (T5)
- Nivel máximo y mínimo del tanque recolección de leche cruda (L1 y L2)

En la figura 3.2 se indica la secuencia lógica para la ejecución y cumplimiento de estas condiciones y que se describen a continuación.

*Nivel mínimo del tanque del calentador.*- Por medio de la electroválvula EV1 se llena con agua el tanque del calentador hasta un nivel mínimo que es detectado por el sensor L3

*Temperatura del agua del calentador.*- Se activan las resistencias sumergibles de calentamiento hasta que el agua llegue a los 85°C de temperatura. La medición de temperatura se realiza con el sensor de temperatura T4.

*Temperatura del agua del enfriador.*- Por medio de las bombas de recirculación M4, M5 y el refrigerador M3, se enfría al agua del tanque de recolección de la torre de enfriamiento llegando a 17°C con el equipo disponible en el laboratorio de

Control de Procesos Industriales. Por tal razón el nuevo set point de temperatura para esta etapa es de 17°C. Esta temperatura se registra con el sensor T5.

*Nivel del tanque de recolección de leche cruda.*- Se llena el tanque hasta el nivel máximo establecido para cada ciclo de trabajo y que se indica en el panel de control. Los niveles máximo y mínimo del tanque son detectados por los sensores L1 y L2 respectivamente.

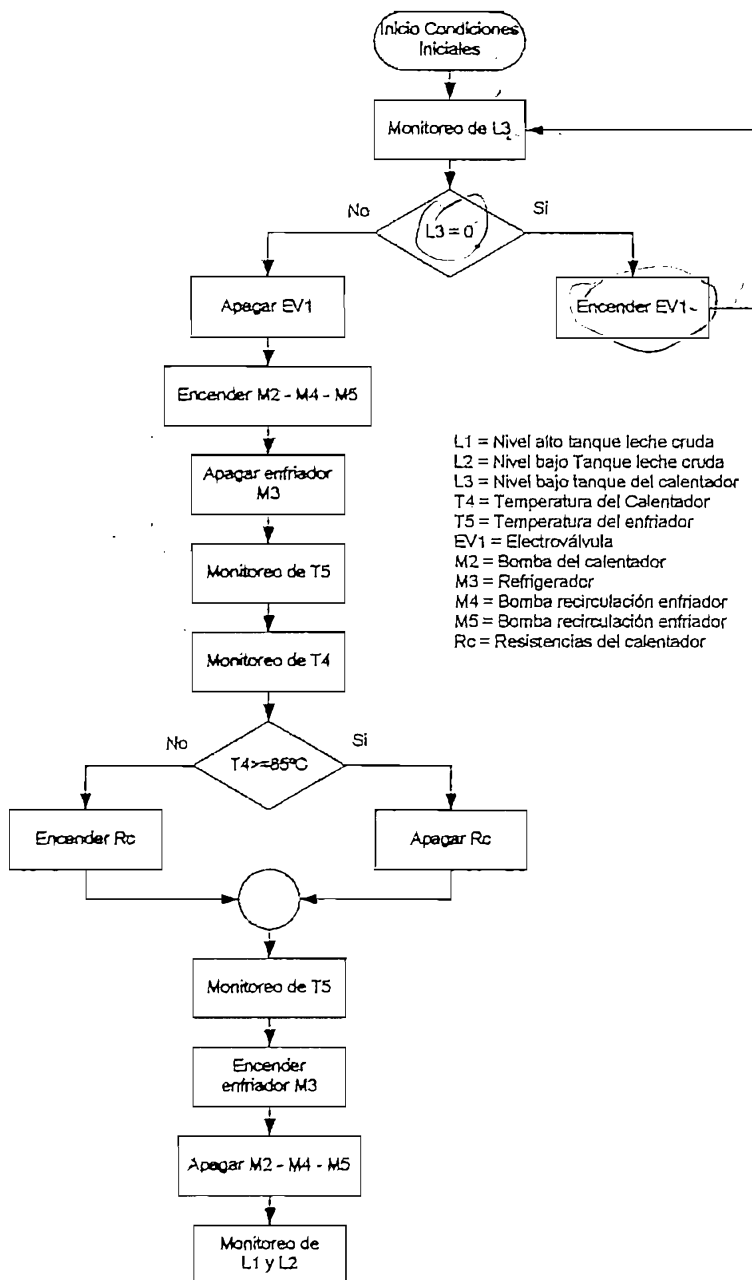


Figura 3.2 Condiciones Iniciales

## PROCESO DE PASTEURIZACIÓN

Volviendo a la figura 3.1, luego del cumplimiento de las condiciones iniciales comienza la ejecución del proceso de pasteurización, el cual se detalla en la figura 3.3.

Inicia con el encendido de la bomba M1 que permite la circulación de la leche por las etapas del proceso. El sensor Q1 mide el caudal de la leche dentro de la tubería para alimentos. Además las bombas de recirculación M2, M4 y M5 se activan y permanecen en ese estado durante todo el ciclo de trabajo.

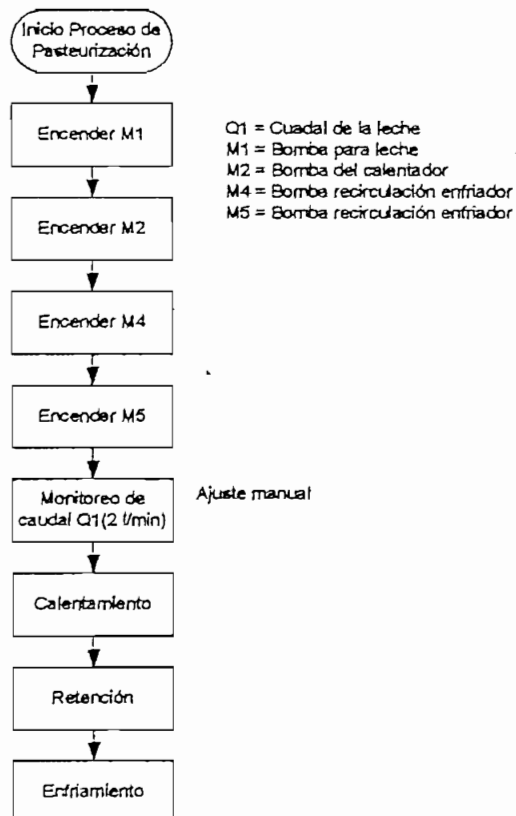


Figura 3.3 Proceso de pasteurización

## CALENTAMIENTO

El primer tratamiento que recibe la leche es en la etapa de calentamiento (figura 3.3), donde la leche se somete a temperaturas entre 72 a 78°C y que se mide con

el sensor de temperatura T1. El sensor T4 mide la temperatura del agua caliente usada como medio de intercambio de calor, permitiendo el control de las resistencias de calentamiento, como se muestra en la figura 3.4

Se debe garantizar que el tanque del calentador tenga un nivel mínimo de agua y se monitorea con el sensor L3, caso contrario se activa la electroválvula EV1 para mantener este nivel.

La bomba para leche M1 se apaga cuando se detecta nivel mínimo en el tanque de leche cruda con el sensor L2.

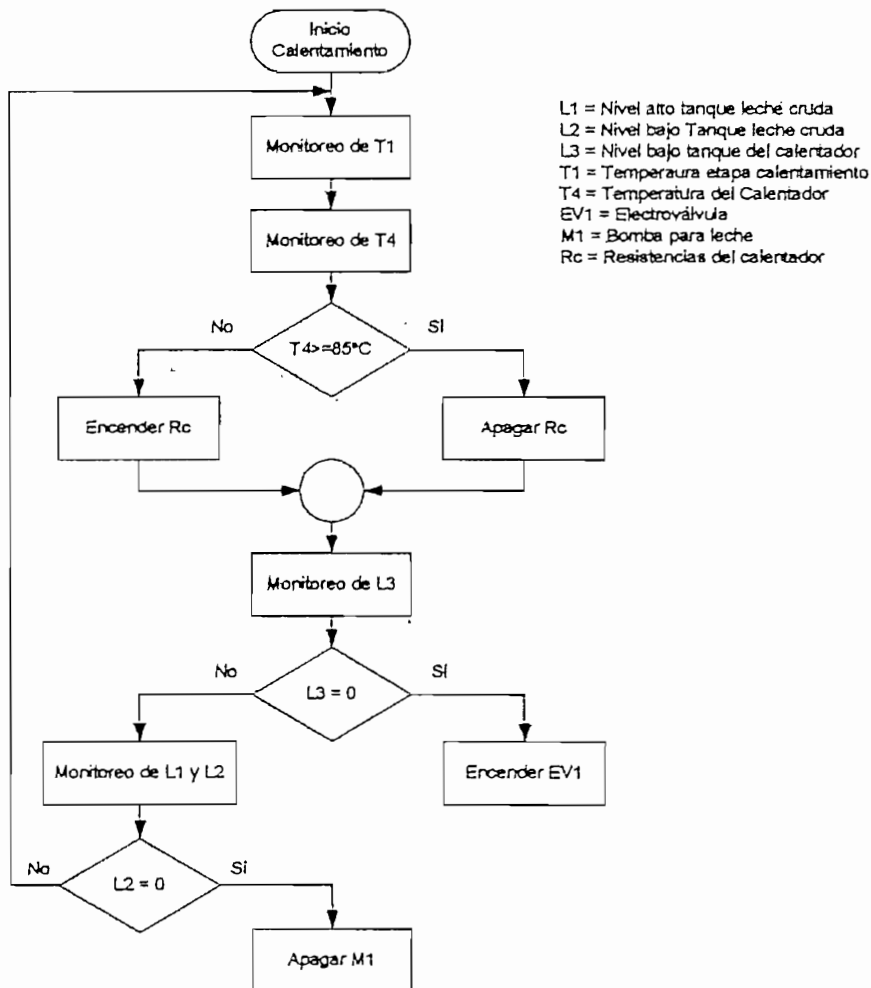


Figura 3.4 Lógica de la etapa de Calentamiento

## RETENCIÓN

La segunda etapa del tratamiento de la leche es la retención (figura 3.3), cuya función es retener la temperatura con que la leche sale de la etapa de calentamiento durante 15 segundos; esto se logra manteniendo el caudal a 2 l/min por medio de la válvula de mariposa, a lo largo del serpentín retenedor. La temperatura a la salida de esta etapa se mide con el sensor T2.

La bomba para leche M1 se apaga cuando se detecta nivel mínimo en el tanque de leche cruda con el sensor L2, como se indica en la figura 3.5.

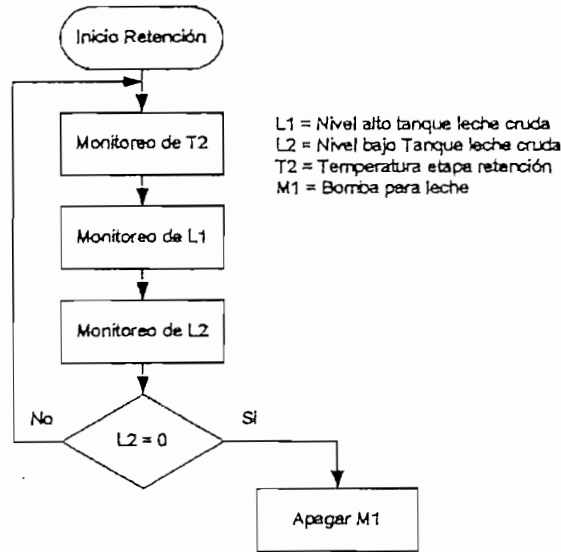


Figura 3.5 Lógica de la etapa de Retención

## ENFRIAMIENTO

La última etapa a la que es sometida la leche es el enfriamiento (figura 3.3), donde se baja rápidamente la temperatura de la leche llegando a valores de entre 21 a 25°C y se registra con el sensor T3.

El sensor T5 mide la temperatura del agua fría usada como medio de intercambio de calor, permitiendo el control del refrigerador M3. Además las bombas M4 y M5 permiten recircular el agua fría, como se visualiza en la figura 3.6.

La bomba para leche M1 se apaga cuando se detecta nivel mínimo en el tanque de leche cruda con el sensor L2.

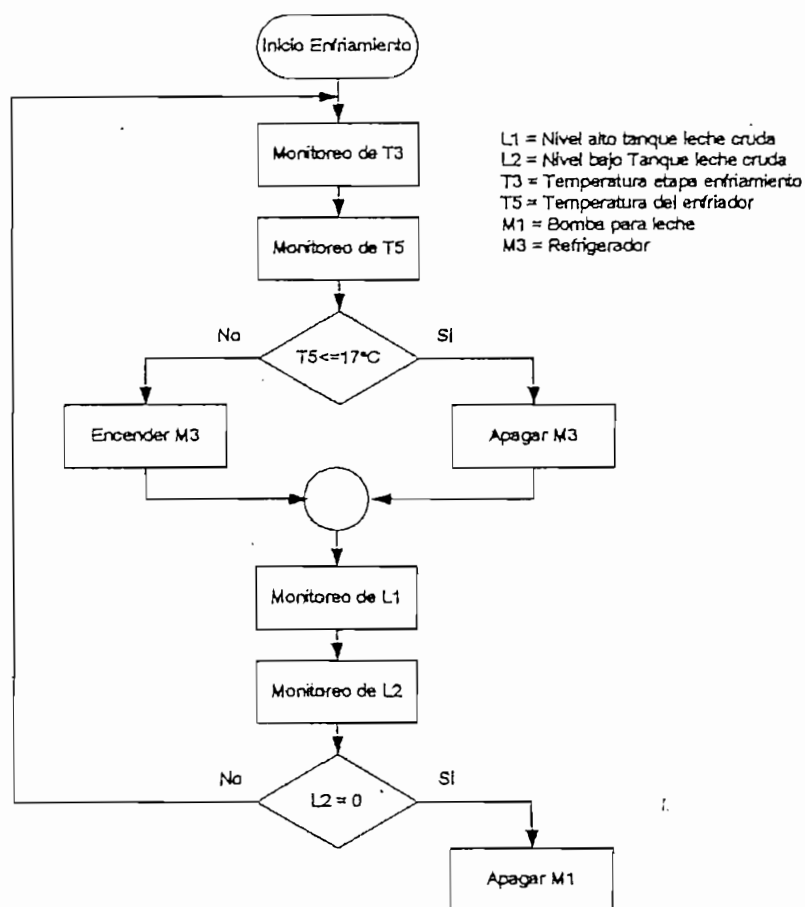


Figura 3.6 Lógica de la etapa de Enfriamiento

### 3.1.1 LÓGICAS DE PROGRAMACIÓN DEL PLC Y DEL PIC 16F877

#### 3.1.1.1 Programación del PLC SIEMENS SIMATIC S7-200 CPU 224

El PLC es la unidad central de control del pasteurizador prototipo, el cual se programa tomando en cuenta la lógica de control del proceso de pasteurización descrito en el numeral 3.1 del presente capítulo.



En la carpeta "Programa de Aplicación PLC" del "CD "TESIS PASTEURIZADOR PROTOTIPO V1" se encuentra el programa desarrollado en el editor KOP (diagrama de contactos) para el PLC.

El programa del PLC está estructurado por el programa principal y subrutinas como se indica en la figura 3.7.

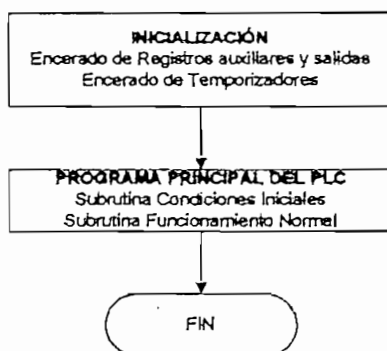


Figura 3.7 Diagrama de bloques del programa para el PLC

## INICIALIZACIÓN

Cada vez que se inicia la ejecución del programa es necesario borrar los registros auxiliares y las salidas empleadas, para evitar tener datos almacenados de eventos anteriores. También se deben encerar los registros de cuenta de los temporizadores.

## PROGRAMA PRINCIPAL DEL PLC

El programa principal del PLC, indicado en la figura 3.7, está formado por dos grandes subrutinas:

- Subrutina Condiciones Iniciales
- Subrutina Funcionamiento Normal

La secuencia lógica del diagrama de flujo del programa principal del PLC se ve en la figura 3.8.

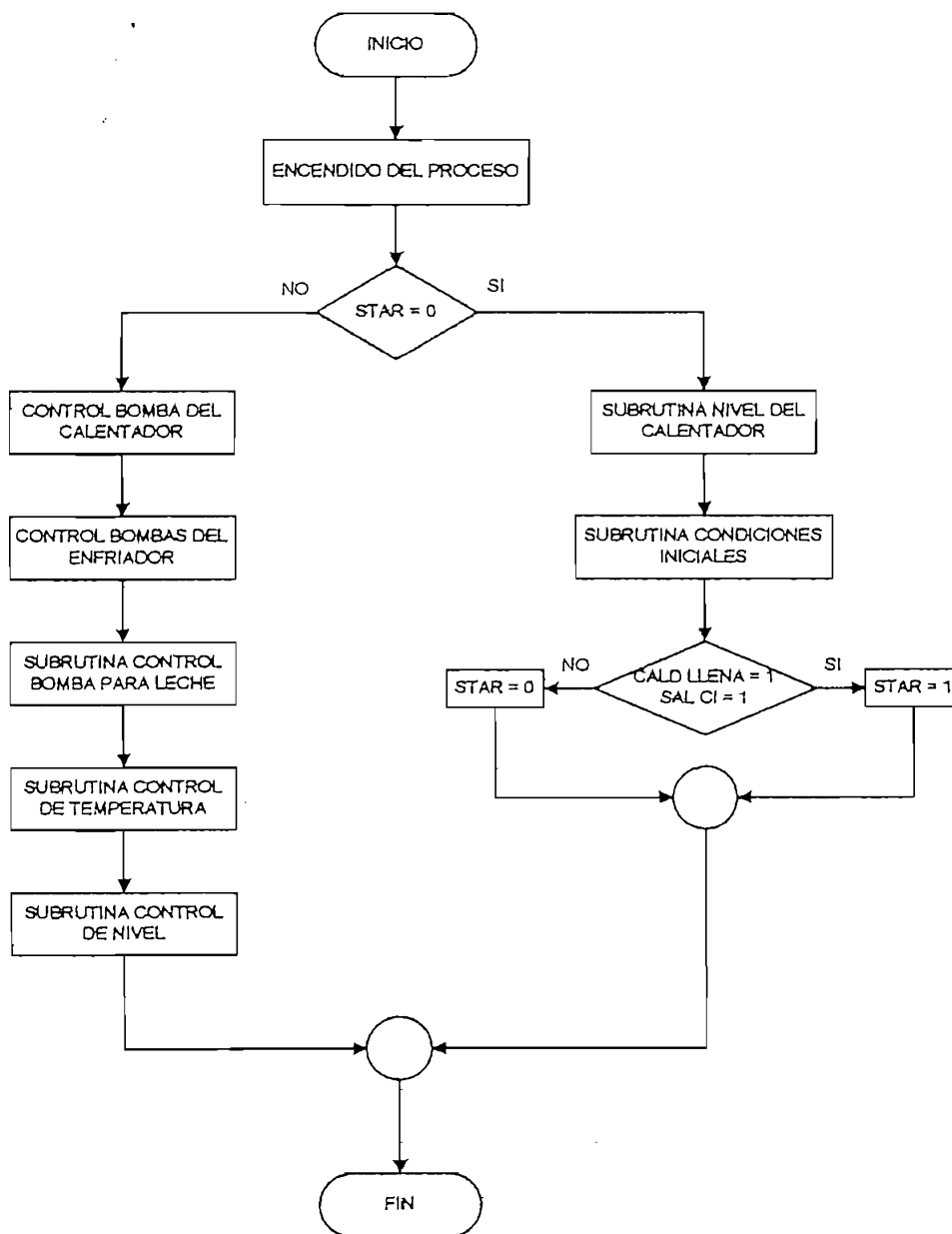


Figura 3.8 Diagrama de flujo Programa Principal del PLC

### Subrutina Condiciones Iniciales

Esta subrutina se compone de dos subrutinas secundarias de orden secuencial como se indica en la figura 3.9.

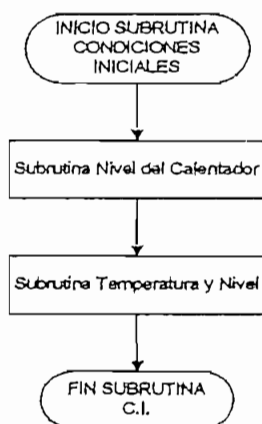
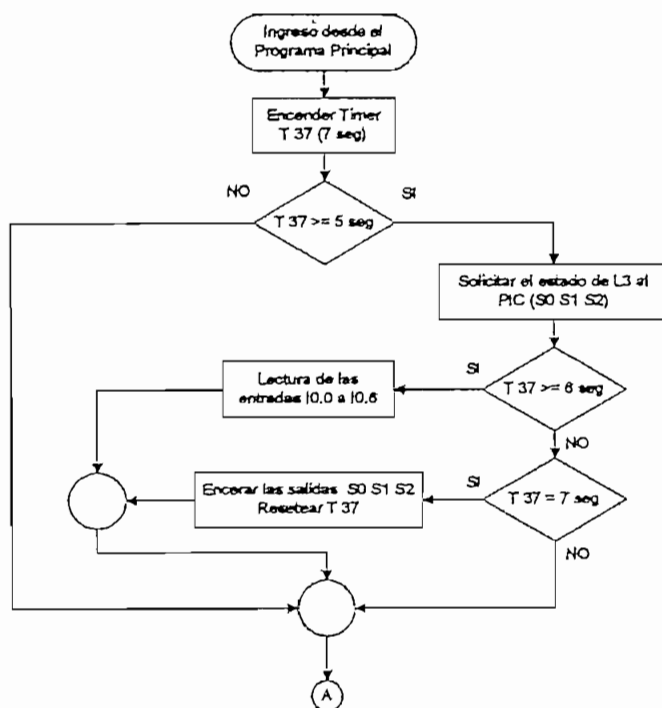


Figura 3.9 Diagrama de bloques Subrutina Condiciones Iniciales

### Subrutina Nivel del Calentador

Esta subrutina (figura 3.10), acciona la electroválvula EV1 para llenar el tanque del calentador hasta llegar al nivel mínimo dado por L3 (CALD LLENA = 1). Mientras no se llegue al nivel mínimo de agua, no se continúa con la siguiente subrutina temperatura y nivel.



continua...

viene...

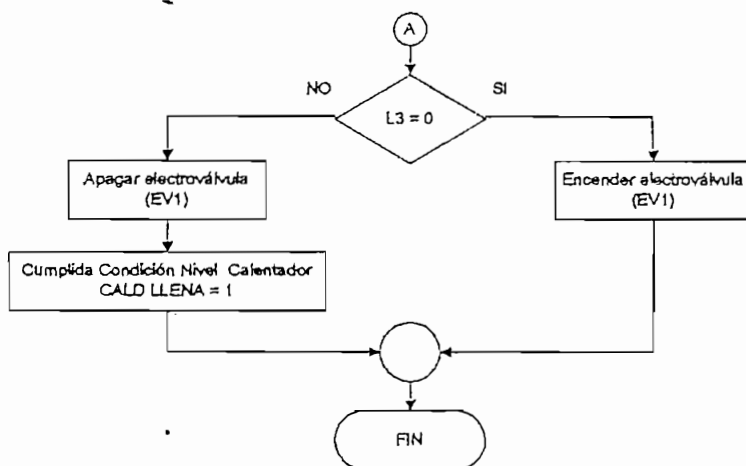


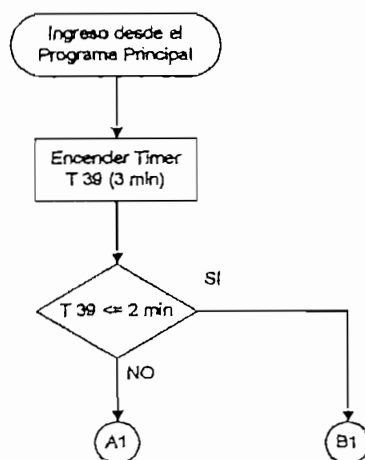
Figura 3.10 Diagrama de flujo Subrutina Nivel del Calentador

### Subrutina Temperatura y Nivel

La función de esta subrutina (figura 3.11) es calentar y enfriar el agua utilizada como medio de intercambio de calor en las etapas de calentamiento y enfriamiento respectivamente.

Mediante el estado de L1 y L2 se revisa si el tanque de recolección de leche cruda está con el nivel necesario para un ciclo de trabajo.

Una vez cumplida las condiciones iniciales (SAL CI = 1), se inicia con el funcionamiento del proceso (STAR = 1) y no se regresa a estas dos subrutinas anteriores.



continua...

viene...

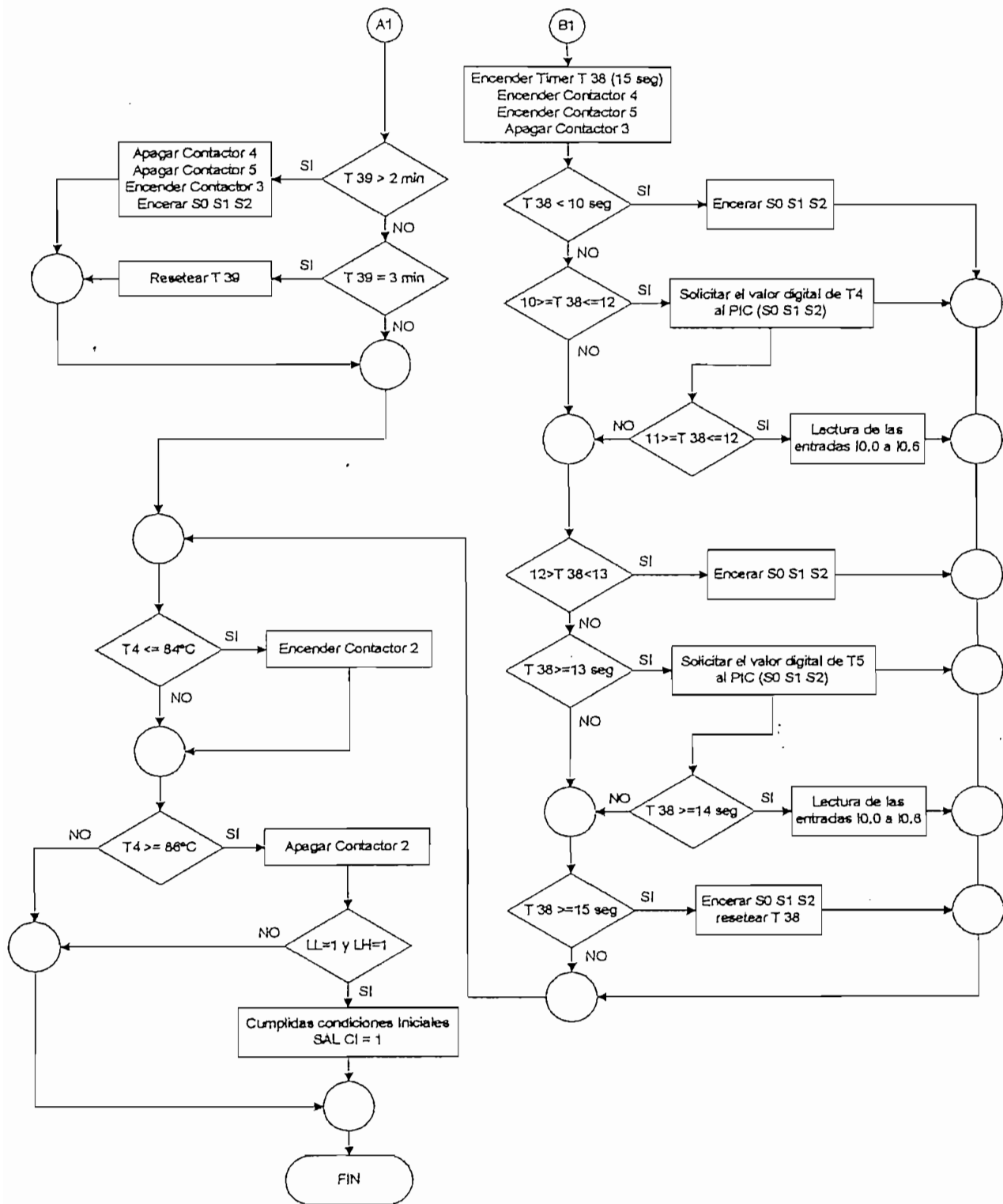


Figura 3.11 Diagrama de flujo Subrutina Temperatura y Nivel

## Subrutina Funcionamiento Normal

En esta subrutina se realiza el control tanto de la bomba del calentador como de las bombas de recirculación del enfriador. Además se ejecutan tres subrutinas secundarias como se indica en la figura 3.12.

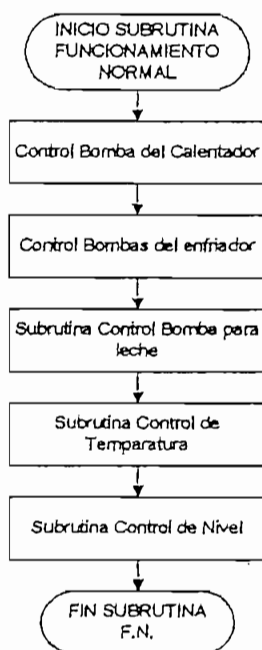


Figura 3.12 Diagrama de bloques Subrutina Funcionamiento Normal

## Subrutina Control de Bomba de Alimentos

El diagrama de flujo se indica en la figura 3.13, la bomba para leche M1 se mantiene en funcionamiento mientras exista nivel mínimo en el tanque de recolección de leche cruda (L2). También se adquiere el dato del caudal a través de Q1.

Al llegar al nivel mínimo de leche en el tanque de recolección, se apaga la bomba M1 y se regresa otra vez al cumplimiento de condiciones iniciales ( $STAR = 0$ ); caso contrario se continua con el desarrollo de las siguientes subrutinas.

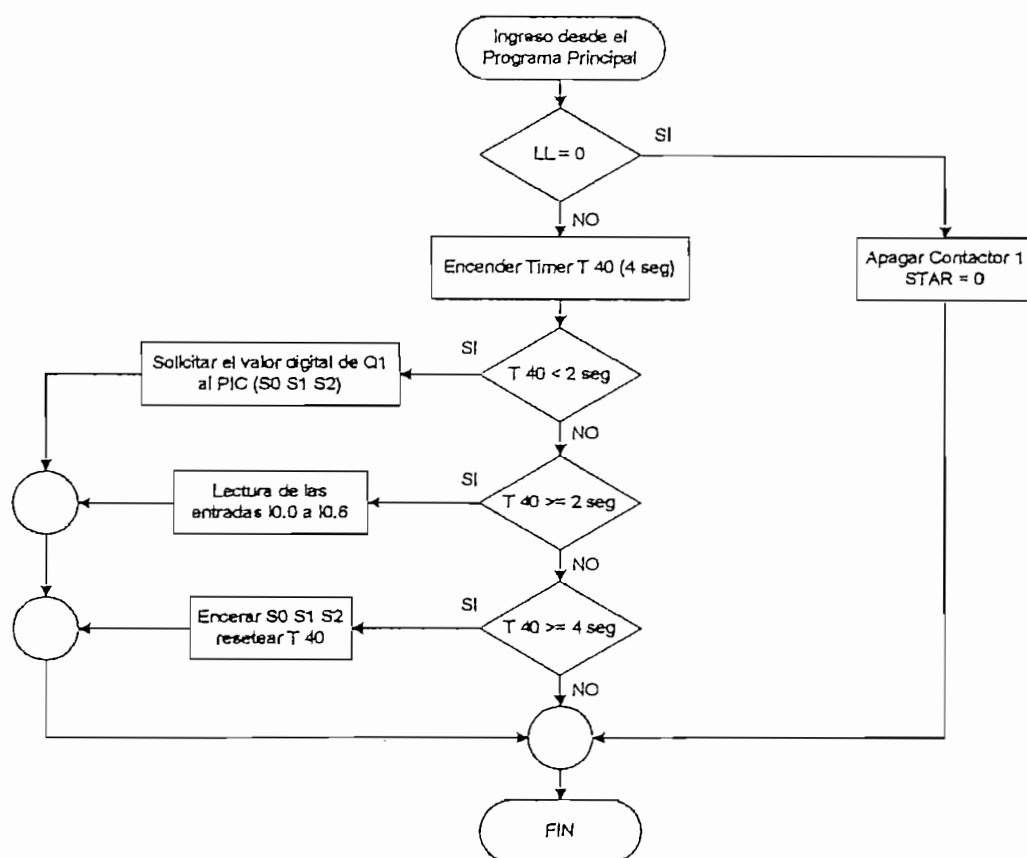
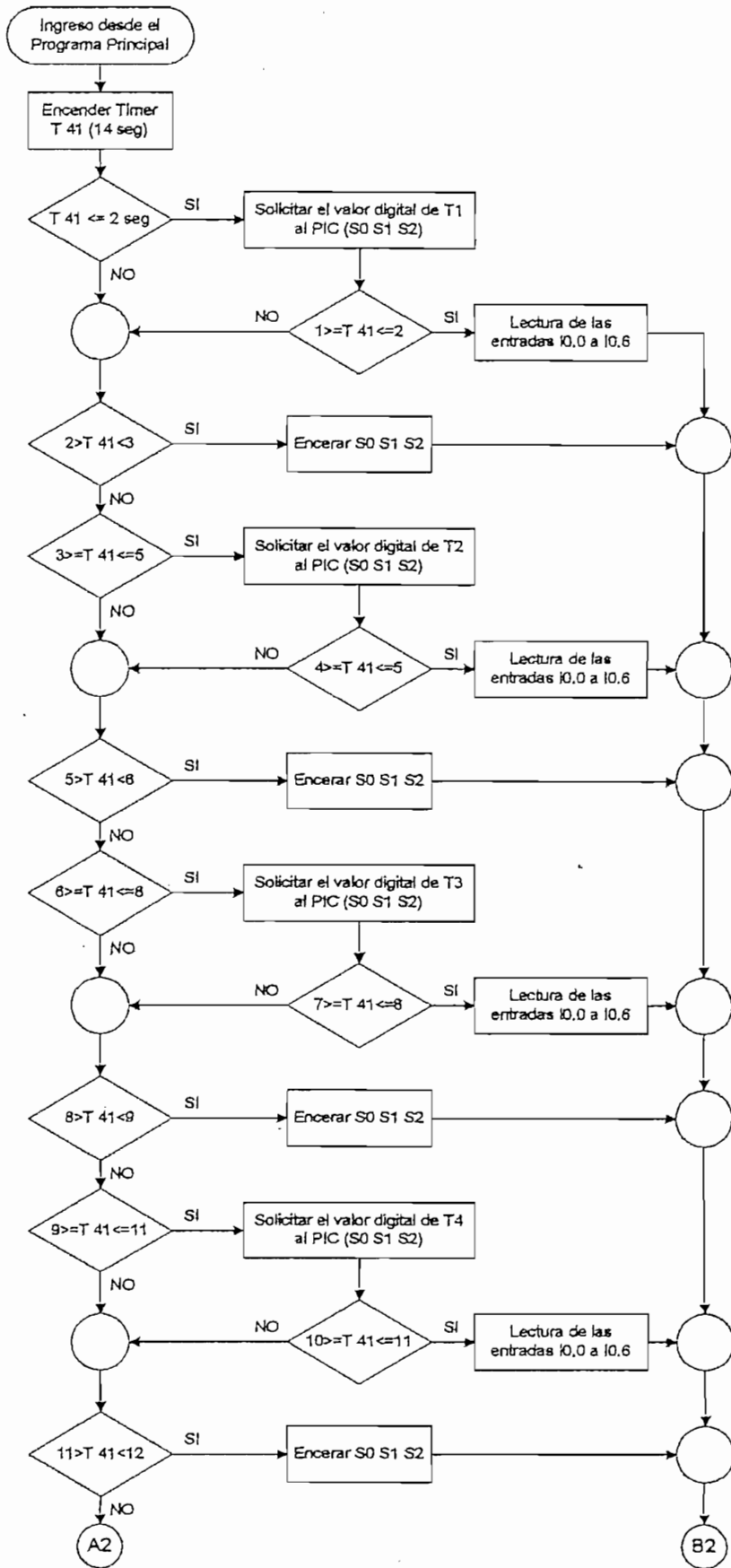


Figura 3.13 Diagrama de flujo Subrutina Control de Bomba para leche

### Subrutina Control de Temperatura

La siguiente subrutina en ejecutarse es la subrutina control de temperatura (figura 3.12). En esta se adquieren los datos de las Termocuplas T4 y T5 para controlar el funcionamiento de las resistencias de calentamiento Rc y refrigerador M3 respectivamente. El tipo de control empleado es ON/OFF; el set point fijado en el programa para las resistencias de calentamiento es de 85°C, mientras que para el refrigerador es de 17°C, tal y como se ve en la figura 3.14.

Además se monitorea la temperatura de las tres etapas del proceso de pasteurización a través de las Termocuplas T1, T2 y T3.





viene...

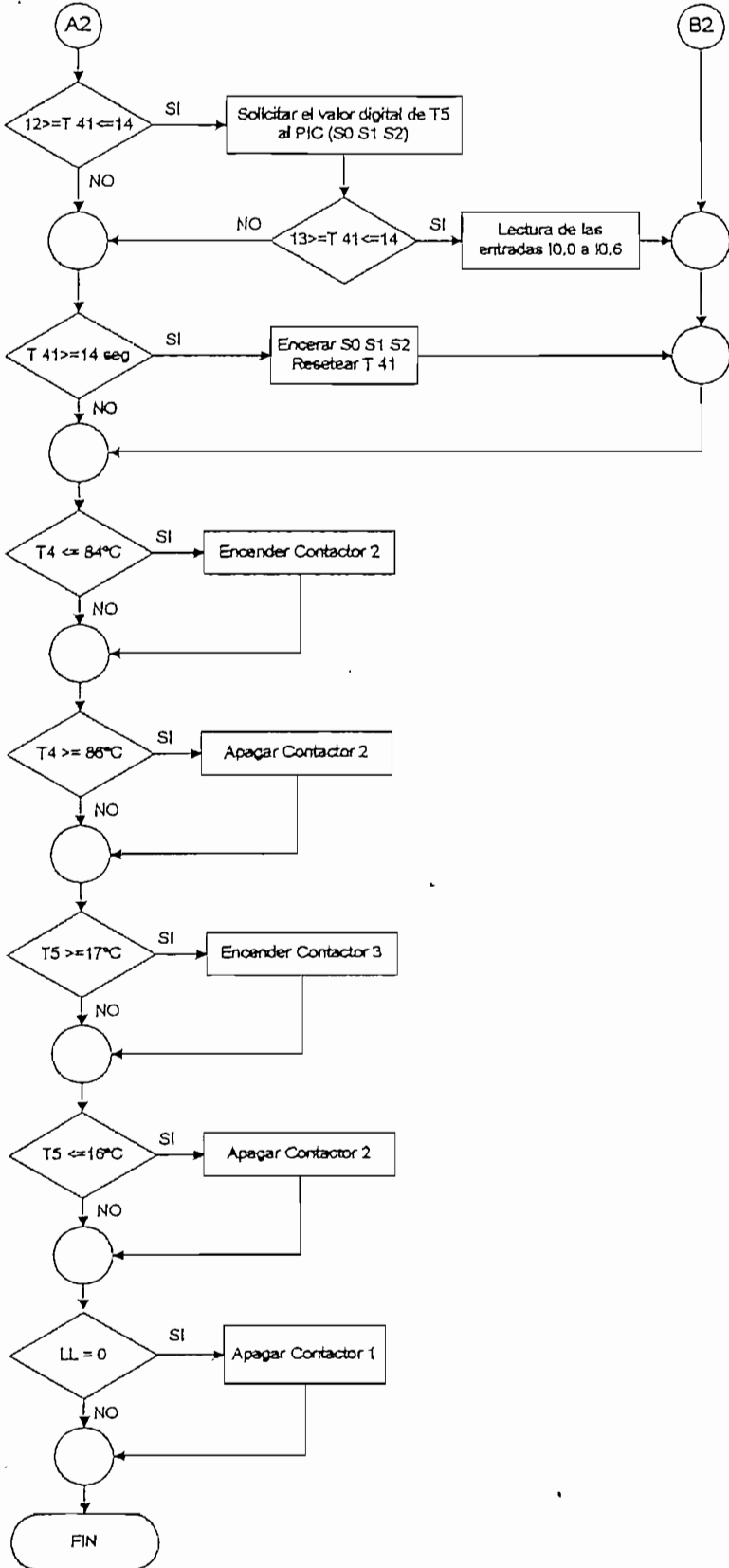


Figura 3.14 Diagrama de flujo Subrutina Control de Temperatura

## Subrutina Control de Nivel

Es la última en ejecutarse dentro de la subrutina de funcionamiento normal (figura 3.12). Revisa el nivel del agua almacenada en el tanque del calentador a través de L3 y dependiendo de su estado enciende o apaga la electroválvula EV1, hasta llegar al nivel mínimo de agua, como se visualiza en la figura 3.15.

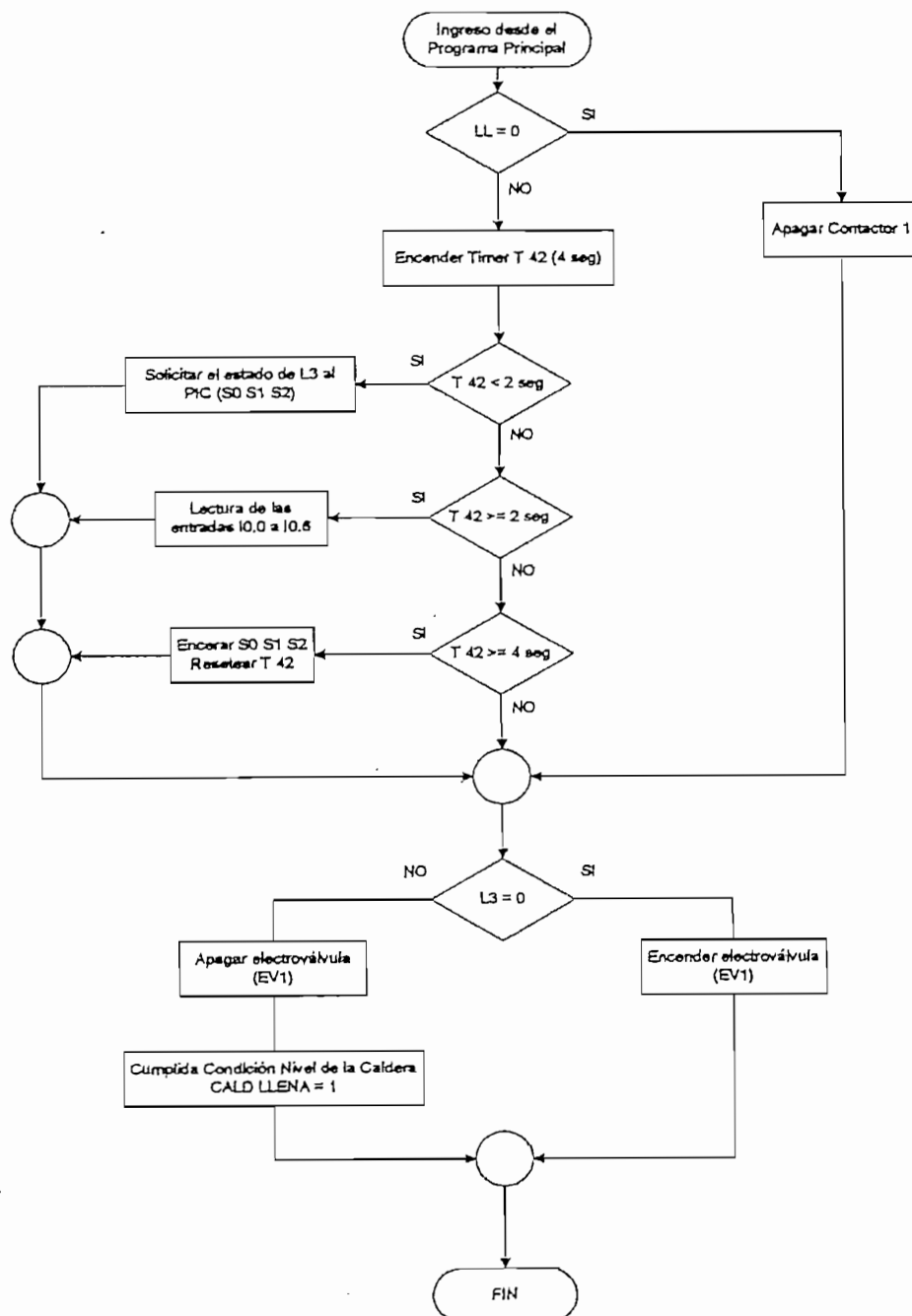


Figura 3.15 Diagrama de flujo Subrutina Control de Nivel

### 3.1.1.2 Programación del Microprocesador PIC16F877

Las funciones que debe realizar el PIC 16F877 son las siguientes:

- Conversión Análoga/Digital del valor de temperatura y caudal
- Controlar a los displays de 7 segmentos de la etapa de Visualización
- Detectar la solicitud del PLC de envío del valor digital de la conversión
- Recibir la palabra de 3 bits correspondiente a la selección desde el PLC
- Enviar la palabra de 7 bits correspondiente al valor digital al PLC

En el Anexo 6 se encuentra el programa incorporado al PIC 16F877.

El programa del microprocesador está estructurado por el programa principal, interrupciones y subrutinas, como se indica en la figura 3.16.

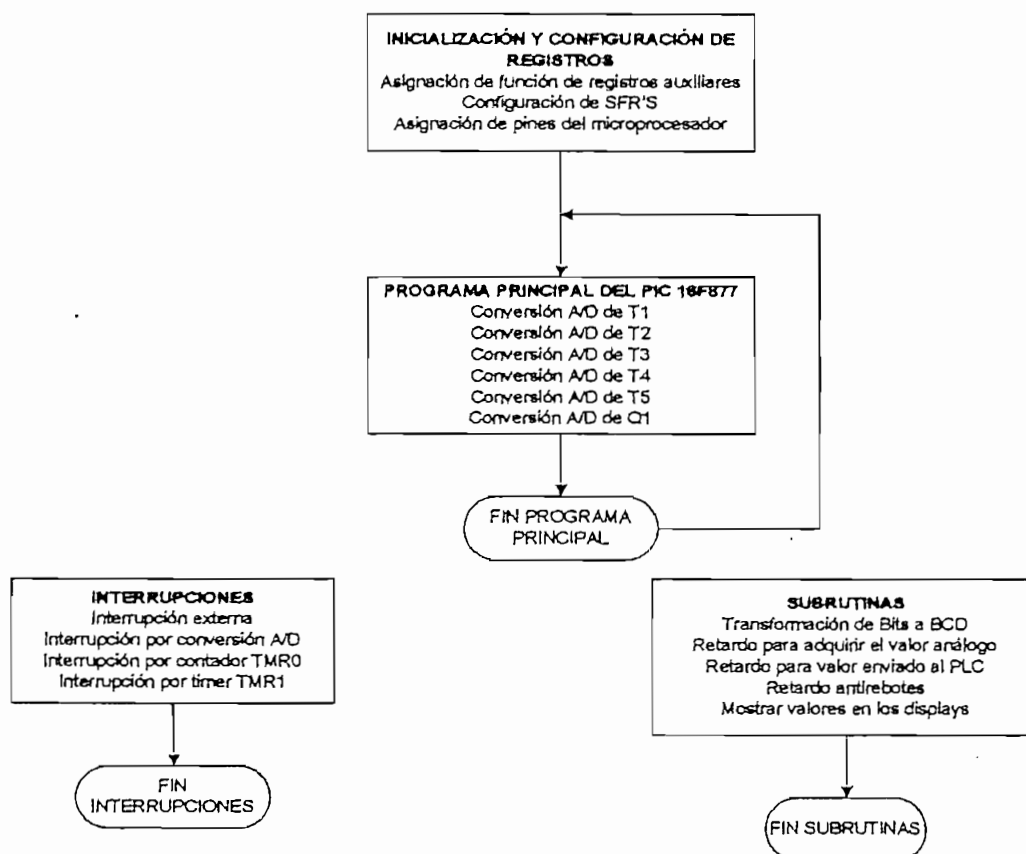


Figura 3.16 Diagrama de bloques del Programa para el PIC 16F877

## INICIALIZACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE REGISTROS

El programa inicia con la asignación de nombres y funciones a varios registros de la memoria de datos. Luego continúa con la configuración de los registros especiales SFR'S, que permiten controlar el funcionamiento de cada uno de los recursos que tiene el PIC.

### Asignación de pines del Microprocesador

#### PUERTO A:

PIN	TIPO	FUNCION	ASIGNACION
RA0	Entrada análoga	C A/D canal 0	Señal Termocupla T1
RA1	Entrada análoga	C A/D canal 1	Señal Termocupla T2
RA2	Entrada análoga	C A/D canal 2	Señal Termocupla T3
RA3	Entrada análoga	C A/D canal 3	Señal Termocupla T4
RA4	Entrada digital	Contador TMR0	Selección panel de control (Ps)
RA5	Entrada análoga	C A/D canal 4	Señal Termocupla T5

Tabla 3.1 Asignación de pines del Puerto A

#### PUERTO B:

PIN	TIPO	FUNCION	ASIGNACION
RB0	Entrada digital	Interrup externa	Selección desde PLC (Pq)
RB1	Entrada digital	Pin de lectura	Bit 0 de selección desde PLC (S0)
RB2	Entrada digital	Pin de lectura	Bit 1 de selección desde PLC (S1)
RB3	Entrada digital	Pin de lectura	Bit 2 de selección desde PLC (S2)
RB4	Salida digital	Pin de escritura	Bit 0 BCD de #SENSOR (Display 2)
RB5	Salida digital	Pin de escritura	Bit 1 BCD de #SENSOR (Display 2)
RB6	Salida digital	Pin de escritura	Bit 2 BCD de #SENSOR (Display 2)
RB7	Salida digital	Pin de escritura	Bit 3 BCD de #SENSOR (Display 2)

Tabla 3.2 Asignación de pines del Puerto B

**PUERTO C:**

PIN	TIPO	FUNCION	ASIGNACION
RC0	Salida digital	Pin de escritura	Bit 0 BCD de UNIDADES (Disp 1)
RC1	Salida digital	Pin de escritura	Bit 1 BCD de UNIDADES (Disp 1)
RC2	Salida digital	Pin de escritura	Bit 2 BCD de UNIDADES (Disp 1)
RC3	Salida digital	Pin de escritura	Bit 3 BCD de UNIDADES (Disp 1)
RC4	Salida digital	Pin de escritura	Bit 0 BCD de DECENAS (Disp 1)
RC5	Salida digital	Pin de escritura	Bit 1 BCD de DECENAS (Disp 1)
RC6	Salida digital	Pin de escritura	Bit 2 BCD de DECENAS (Disp 1)
RC7	Salida digital	Pin de escritura	Bit 3 BCD de DECENAS (Disp 1)

Tabla 3.3 Asignación de pines del Puerto C

**PUERTO D:**

PIN	TIPO	FUNCION	ASIGNACION
RD0	Salida digital	Pin de escritura	Bit 0 Palabra de 7 bits al PLC
RD1	Salida digital	Pin de escritura	Bit 1 Palabra de 7 bits al PLC
RD2	Salida digital	Pin de escritura	Bit 2 Palabra de 7 bits al PLC
RD3	Salida digital	Pin de escritura	Bit 3 Palabra de 7 bits al PLC
RD4	Salida digital	Pin de escritura	Bit 4 Palabra de 7 bits al PLC
RD5	Salida digital	Pin de escritura	Bit 5 Palabra de 7 bits al PLC
RD6	Salida digital	Pin de escritura	Bit 6 Palabra de 7 bits al PLC
RD7	Salida digital	Pin de escritura	

Tabla 3.4 Asignación de pines del Puerto D

**PUERTO E:**

PIN	TIPO	FUNCION	ASIGNACION
RE0	Entrada análoga	C A/D canal 5	Señal sensor de Caudal Q1
RE1	Entrada digital	Pin de lectura	Señal sensor nivel calentador L3
RE2			

Tabla 3.5 Asignación de pines del Puerto E

## PROGRAMA PRINCIPAL DEL PIC 16F877

En el programa principal se ejecuta la Conversión A/D en orden secuencial de cada uno de los 6 sensores análogos conectados a sus respectivos canales como se muestra en la figura 3.17. El valor digital resultante de 7 bits, luego de ser almacenado en su respectivo registro, se transforma a BCD. El valor digital del sensor de caudal se reduce a una resolución de 4 bits.

En el programa principal se ejecutan las siguientes subrutinas:

*Subrutina de transformación de Bits a BCD.*- Permite la transformación al formato BCD del valor digital de la conversión. Utiliza el algoritmo de división de 16 bits.

*Subrutina de retardo para adquirir el valor análogo.*- Ejecuta un tiempo muerto durante el cual se carga completamente el capacitor del conversor antes de iniciar la conversión. Utiliza dos registros auxiliares de 8 bits.

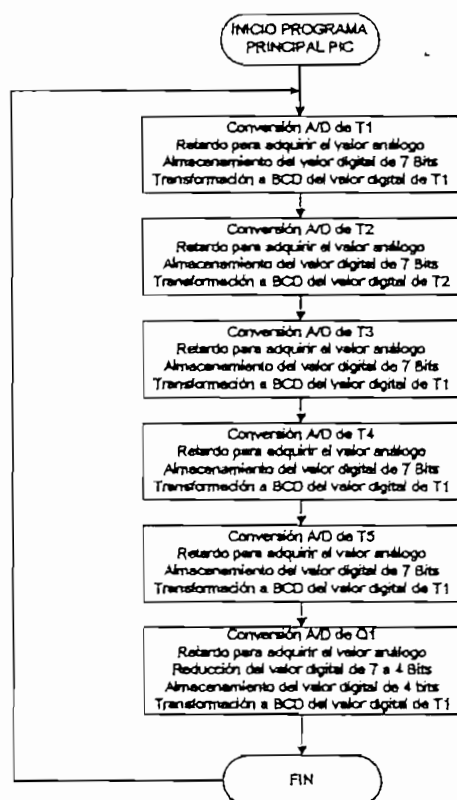


Figura 3.17 Diagrama de flujo del Programa Principal del PIC 16F877

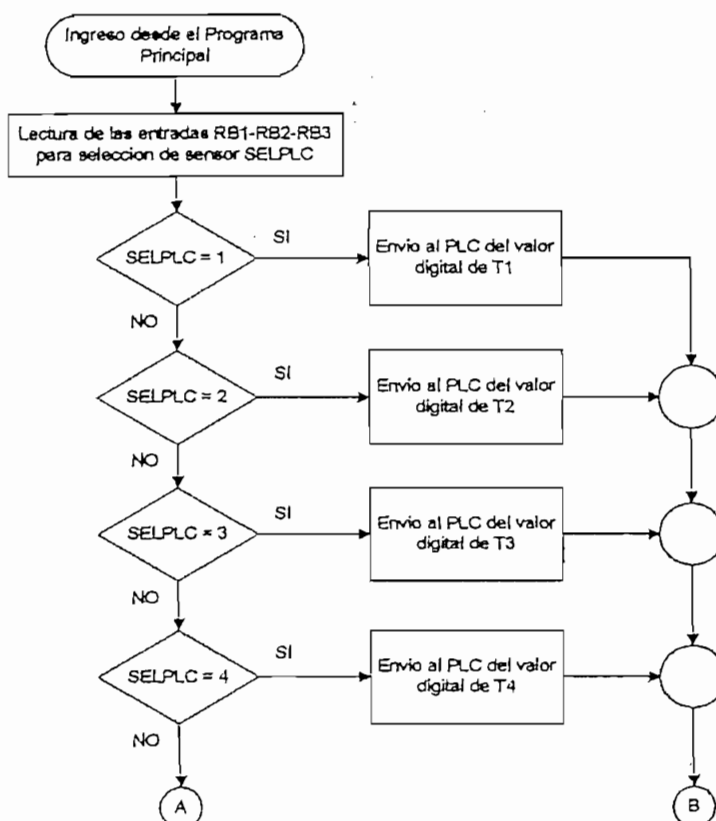
## INTERRUPCIONES

### Interrupción Externa

Es una subrutina que esta asociada al evento de interrupción externa (figura 3.18), provocada por la solicitud del PLC para el envío del valor digital en 7 bits de la conversión A/D o el estado de L3 desde el PIC.

Primeramente se lee el estado de las entradas RB1 a RB3 para luego identificar cual es el sensor seleccionado. Por último se trae el valor del sensor y se escribe en las salidas del Puerto D.

*Subrutina de retardo para valor enviado al PLC.-* Proporciona un tiempo mínimo en el cual el valor digital permanece en el puerto D del PIC hasta que las entradas del PLC lo lean.



continua...

viene...

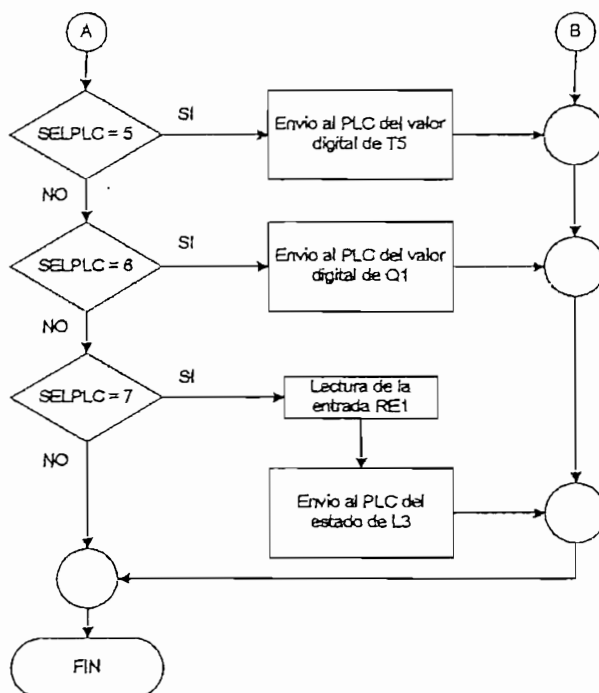


Figura 3.18 Diagrama de flujo Subrutina Interrupción Externa

### Interrupción por Conversión A/D

Es una subrutina asociada al evento de interrupción producido por la finalización de la conversión A/D y la puesta del resultado en los registros ADRESH y ADRESL.

En esta subrutina se reduce la resolución del valor digital a 7 bits y se lo deposita en un registro común para luego, en el programa principal del PIC, ser almacenado en su respectivo registro auxiliar. (figura 3.19)

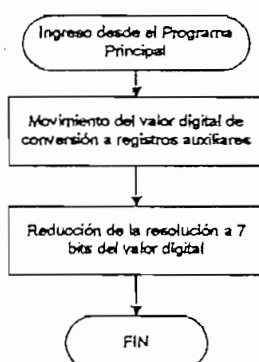


Figura 3.19 Diagrama de flujo Subrutina Conversión A/D



## Interrupción por Contador TMR0

Cuenta con una subrutina asociada al evento de interrupción producido por el desbordamiento del TMR0 de 8 bits configurado como contador, es decir cuando su cuenta pasa de 255 a 0.

El desbordamiento de la cuenta del TMR0 se consigue por el pulso obtenido de la selección de sensor desde el pulsador "SELECCIÓN" del panel de control. Por cada desbordamiento se incrementa un registro auxiliar que indica el número del sensor seleccionado. Antes de salir de la subrutina se vuelve a cargar al registro de cuenta del TMR0 con el valor de 255 para provocar el siguiente desbordamiento, como se muestra en la figura 3.20.

*Subrutina de retardo antirebotes.-* Genera un retardo para evitar que se provoquen interrupciones no deseadas por los rebotes que ocurren al activar el pulsador "SELECCIÓN".

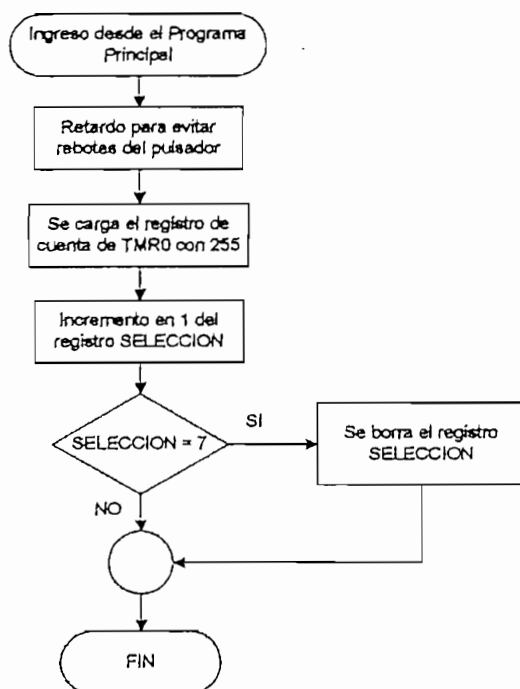


Figura 3.20 Diagrama de flujo Subrutina Contador TMR0

## Subrutina de Interrupción por Timer TMR1

Esta subrutina esta asociada el evento de interrupción producido por el desbordamiento del Timer TMR1 de 16bits, es decir cuando pasa de 65535 a 0.

Cuando ocurre la interrupción escoge y actualiza el valor del sensor seleccionado desde el panel de control, en los displays. (figura 3.21)

*Subrutina para mostrar valores en los displays.-* Toma el formato BCD del valor digital almacenado del sensor seleccionado y lo envía a los respectivos puertos.

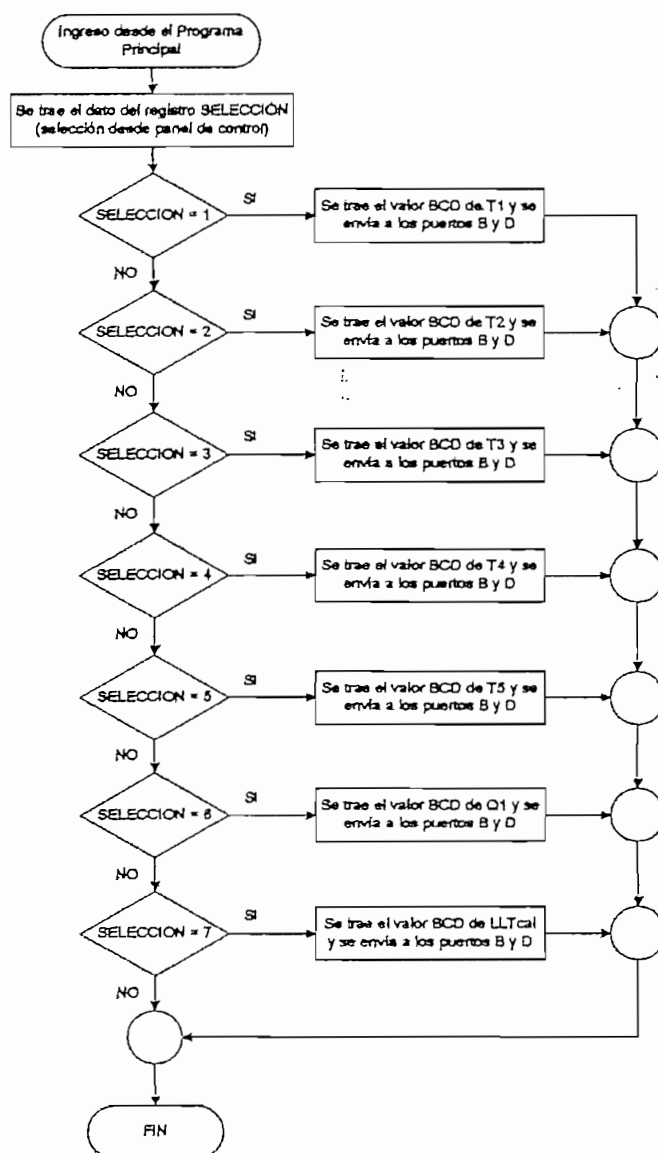


Figura 3.21 Diagrama de flujo Subrutina Timer TMR1

## 3.2 HARDWARE PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL PASTEURIZADOR PROTOTIPO

### 3.2.1 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control implementado para el pasteurizador prototipo tiene la estructura indicada en el diagrama de bloques de la figura 3.22.

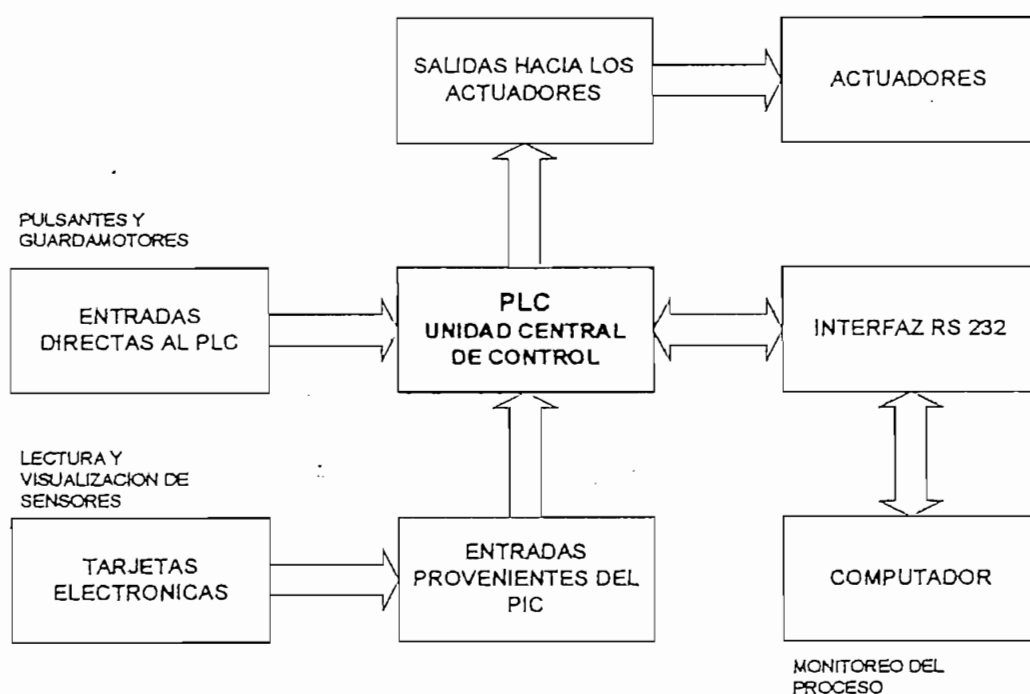


Figura 3.22 Diagrama de Bloques del Sistema de Control

El PLC es la unidad central de control del prototipo el cual procesa las señales provenientes de las tarjetas electrónicas y de las entradas directas para generar señales de control que son enviadas a los actuadores.

Las tarjetas electrónicas son las encargadas de realizar el acondicionamiento de los sensores, conversión A/D de las señales análogas y la visualización del valor de las variables en el panel de control.

El PLC utilizado en el prototipo no cuenta con entradas análogas y como en el proceso se manejan sensores cuyas señales son de este tipo, se emplea un Conversor Análogo-Digital que envía los datos resultantes de la conversión a las entradas digitales del PLC.

Por medio de displays de 7 segmentos colocados en la parte frontal del panel de control se muestran los valores de los sensores análogos del prototipo sin la necesidad de estar conectado al computador.

Para cumplir con las tareas de Conversión A/D y visualización se selecciona el microprocesador PIC 16F877 que dispone de 8 conversores A/D de 10 bits de resolución y varios puertos digitales de entrada y salida.

Los niveles de voltaje que manejan el PLC y PIC son diferentes, por ello es necesario emplear etapas de aislamiento entre sus respectivas entradas y salidas.

La comunicación entre el PLC y el computador se realiza a través de una interfaz serial RS 232 y protocolo de comunicación S7200PPI. El enlace físico utiliza un cable PC/PPI.

El monitoreo del proceso se hace mediante un HMI diseñado con el software INTOUCH en el monitor de un computador.

El diagrama funcional del circuito de control que se indica en la figura 3.23, muestra el acoplamiento de las distintas unidades que forman el sistema de control.

Los diagramas esquemáticos de todos los circuitos electrónicos implementados en cada etapa se indican en el Anexo 10 y el ruteado de las tarjetas electrónicas en el Anexo 11. De igual forma, los datos técnicos de los dispositivos electrónicos utilizados en las tarjetas se indican en el Anexo 4.

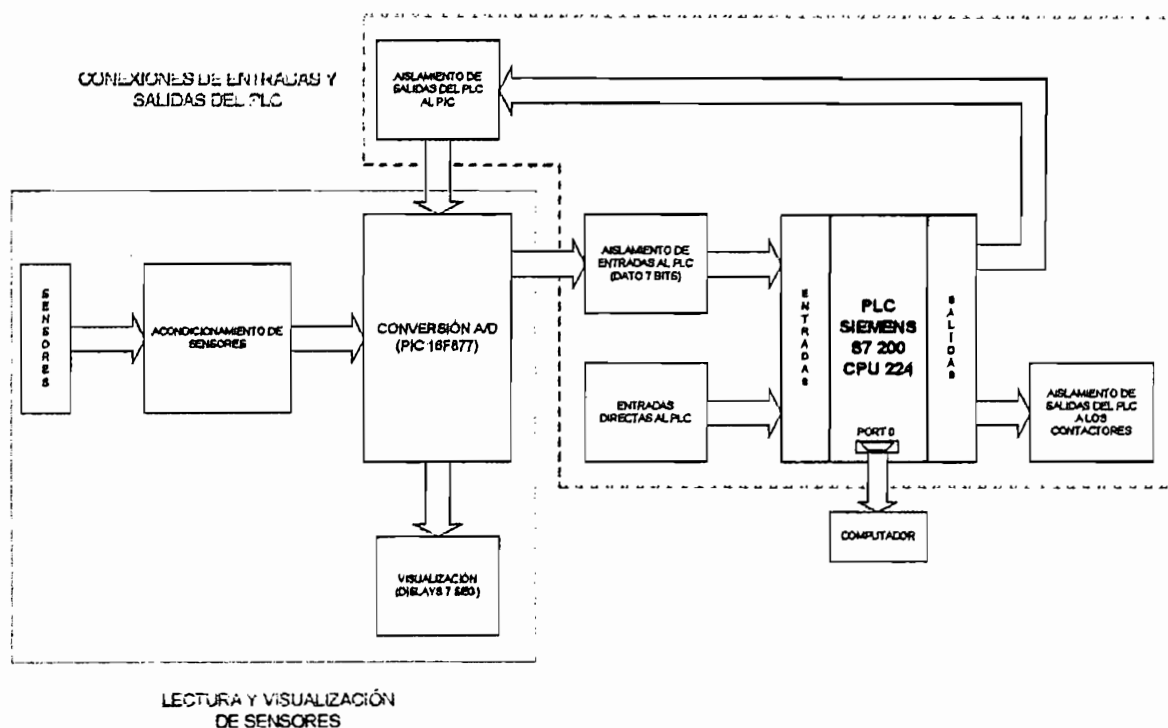


Figura 3.23 Diagrama Funcional del Circuito de Control

### 3.2.2 LECTURA Y VISUALIZACIÓN DE SENSORES

La lectura y visualización de sensores esta compuesta por las siguientes etapas:

- Etapa de Acondicionamiento de Sensores
- Etapa de Conversión A/D y Visualización

#### 3.2.2.1 Etapa de Acondicionamiento de Sensores

Los sensores de temperatura y caudal son normalizados a niveles de voltaje de 0 a 5 VDC, después son enviados a la etapa de Conversión A/D. Los sensores de nivel son discretos y se acondicionan al nivel de voltaje requerido.

En la tabla 3.6 se indica el tipo de señal de entrada y salida de los sensores en esta etapa, además el destino que tiene cada una de ellas.

SENSOR	SEÑAL DE ENTRADA	SEÑAL DE SALIDA	DESTINO
Termocupla 1 (T1)	Análoga (mV)	Análoga 0-5 VDC	Conv A/D
Termocupla 2 (T2)	Análoga (mV)	Análoga 0-5 VDC	Conv A/D
Termocupla 3 (T3)	Análoga (mV)	Análoga 0-5 VDC	Conv A/D
Termocupla 4 (T4)	Análoga (mV)	Análoga 0-5 VDC	Conv A/D
Termocupla 5 (T5)	Análoga (mV)	Análoga 0-5 VDC	Conv A/D
Caudal (Q1)	Pulsos 15 VDC	Análoga 0-5 VDC	Conv A/D
Nivel alto E8 (L1)	Discreta ON-OFF	Discreta 0–24 VDC	PLC
Nivel bajo E8 (L2)	Discreta ON-OFF	Discreta 0–24 VDC	PLC
Nivel bajo E1 (L3)	Discreta ON-OFF	Discreta 0–5 VDC	RE2 micro

Tabla 3.6 Voltajes de entrada y salida de los sensores

### 3.2.2.1.1 Termocuplas

Las Termocuplas son sensores que entregan voltajes análogos correspondientes a la variación de temperatura en el orden de los microvoltios a milivoltios. Estas señales se acondicionan a niveles de voltaje de 0 a 5 VDC para que ingresen a la etapa de conversión A/D (Microprocesador).

El circuito acondicionador para las termocuplas indicado en la figura 3.25 tiene los siguientes elementos electrónicos principales:

- Amplificador de Instrumentación AD627
- Amplificador operacional TL084
- Fuentes de alimentación F4 (+15VDC) y F5 (-15VDC)

El dispositivo AD627 es un amplificador de instrumentación utilizado en aplicaciones para acondicionamiento de Termocuplas tipo J. Maneja altos valores de ganancia que son regulados con la resistencia externa  $R_G$  (figura 3.24) y esta dada por la ecuación Ec 3.1.

$$G = 5 + (200K\Omega/R_G) .$$

Ec 3.1

$G$  = Ganancia del amplificador AD627

$R_G$  = Resistencia externa para control de ganancia

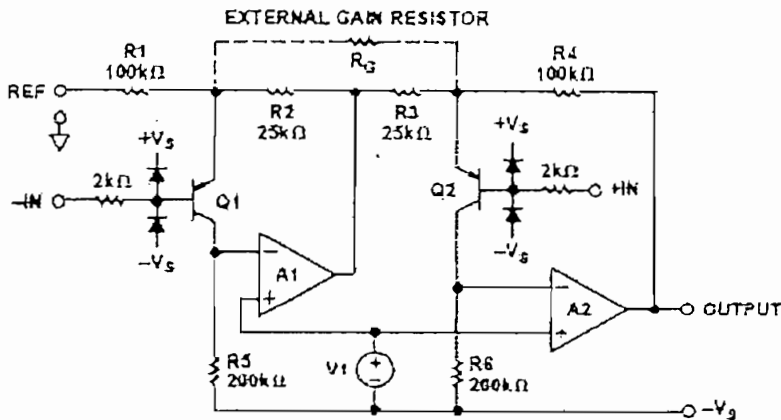


Figura 3.24 Diagrama interno del AD627

El circuito integrado TL084 es un amplificador operacional cuádruple con entradas JFET de alta velocidad que permite obtener una alta impedancia de entrada, buen ancho de banda y bajo voltaje offset de entrada.

Experimentalmente se comprobó que las Termocuplas dispuestas para el prototipo entregan variaciones de voltaje de 0.04mV por cada variación de 1°C de temperatura (Ver Anexo 3).

El rango máximo de variación de la temperatura en el proceso es de 0°C a 90°C, es decir 90 valores; por tal razón se asigna al convertor A/D la resolución de 7 bits, es decir 128 bits de conversión o combinaciones. El voltaje de resolución de cada bit procedente de la conversión para esta resolución es de 39mV/bit y como las termocuplas entregan 0.04mV por grado centígrado, es necesario que la etapa tenga una ganancia aproximada de  $G_T = 1000$  para que la variación de 1°C corresponda a 1 bit procedente de la conversión.

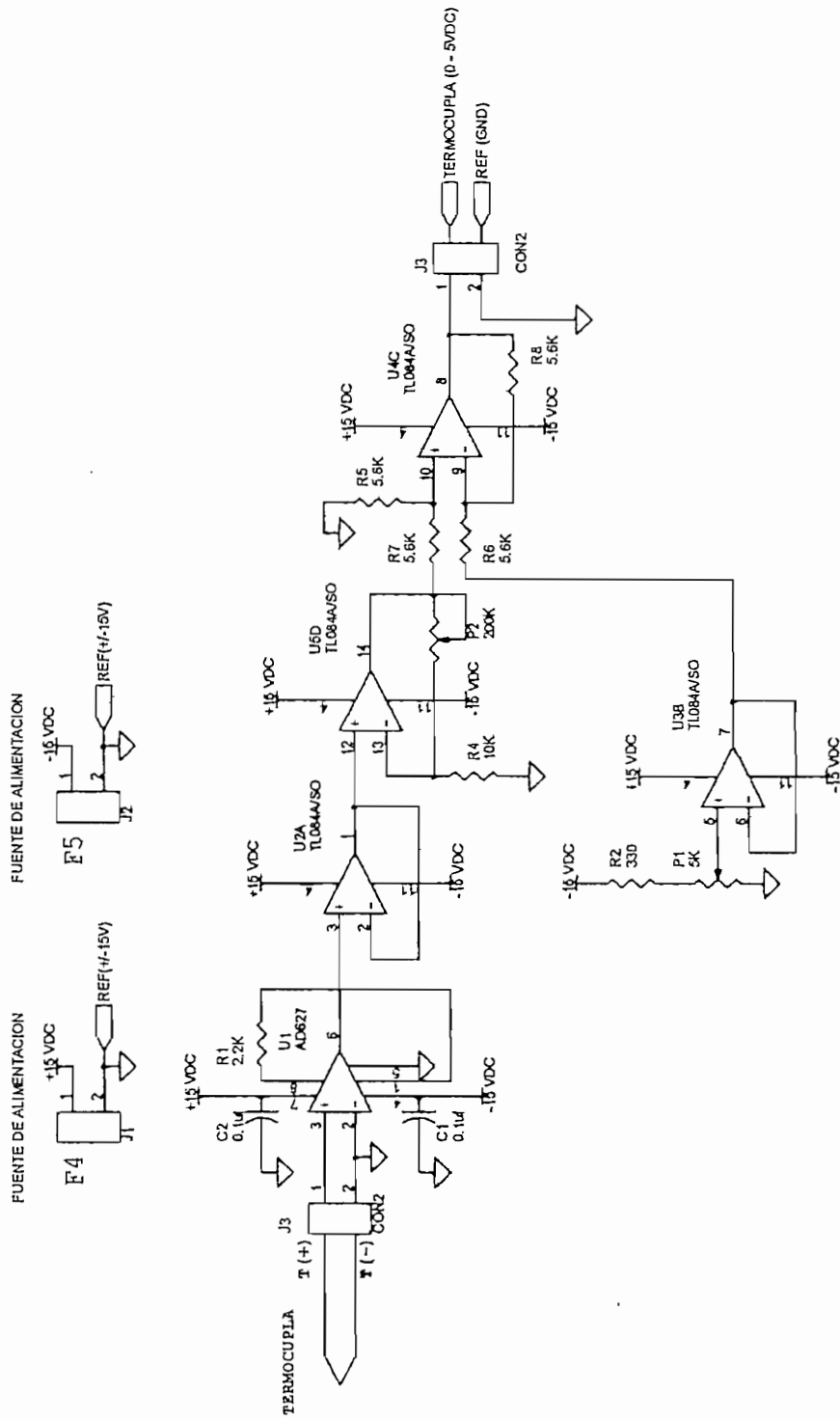


Figura 3.25 Circuito de acondicionamiento de Termocoplas tipo J



La ganancia total de la etapa se obtiene colocando un amplificador no inversor en serie con el AD627 a través de un acoplador de impedancias (seguidor de voltaje), como se indica en la figura 3.25. La ganancia dada para cada amplificador son las siguientes:

- *AD627*: Ganancia fija dada por la resistencia  $R_G = 2.2K\Omega$ . Utilizando la ecuación Ec 3.1 se tiene:

$$G1 = 5 + (200K\Omega / 2.2K\Omega) = 95.9 \quad \text{Ec 3.2}$$

- *Amplificador no inversor*: Ganancia variable regulada por el potenciómetro  $P2 = 200K\Omega$  como se indica a continuación:

$$G2 = 1 + (P2/R4) \quad \text{Ec 3.3}$$

Como:  $G_T = G1 \times G2 \quad \text{Ec 3.4}$

entonces:  $G2 = G_T / G1 = 1000 / 95.9 = 10.42 \quad \text{Ec 3.5}$

$G_T =$  Ganancia Total de la etapa

$G1 =$  Ganancia del amplificador AD627

$G2 =$  Ganancia del amplificador no inversor

A  $0^\circ\text{C}$  la Termocupla entrega un voltaje de  $-0.59\text{mV}$  por lo que es necesario sumar un voltaje positivo del mismo valor para reducirlo a 0. Para esto se utiliza un divisor de voltaje regulado por el potenciómetro  $P1 = 5K\Omega$ . Por facilidad se toma el voltaje amplificado de la termocupla, es decir  $-590\text{mV}$  ( $G_T = 1000$ ) por lo que el potenciómetro debe ser calibrado para que entregue un voltaje de  $+590\text{mV}$ .

Los dos voltajes ingresan a un amplificador restador de ganancia unitaria esta dada por la siguiente ecuación:

$$V_o = R_f \times \left( \frac{V_+}{R_+} - \frac{V_-}{R_-} \right) \quad \text{Ec 3.6}$$

Como  $G = 1$  ( $R_f = R_+ = R_-$ ) y los voltajes tanto de la termocupla como del divisor de voltaje van a las entradas positiva y negativa respectivamente, el voltaje de salida de la etapa esta dado por la ecuación Ec 3.7.

$$V_o = V_{termoc} - V_{div} \quad \text{Ec 3.7}$$

$V_o$  = Voltaje de salida

$V_{termoc}$  = Voltaje de la Termocupla

$V_{div}$  = Voltaje del divisor de voltaje

El voltaje del divisor ingresa al amplificador restador a través de un acoplador de impedancias (seguidor de voltaje).

### 3.2.2.1.2 Sensor de Caudal

El sensor de caudal del tipo turbina entrega en tren de pulsos de voltaje cuya frecuencia es proporcional al flujo circulante y relación de trabajo constante.

Este tren de pulsos que tienen el mismo nivel de voltaje con el que se alimenta al sensor, debe ingresar al conversor A/D por lo que es acondicionado para obtener una señal análoga variable entre 0 y 5VDC.

El circuito acondicionador (figura 3.26) consta de los siguientes elementos:

- Conversor Frecuencia-Voltaje LM2917
- Amplificador Operacional TL084
- Fuentes de Alimentación F4 (+15VDC) y F5 (-15VDC)

El conversor LM2917 transforma los pulsos que entrega el sensor de caudal a una señal análoga de voltaje que varía de acuerdo a la frecuencia de los mismos. Esta señal tiene un pequeño rizado que afecta a la conversión A/D por lo que es necesario colocar un capacitor de 470uf (C4) en paralelo a la salida del elemento como se indica en la figura 3.26.

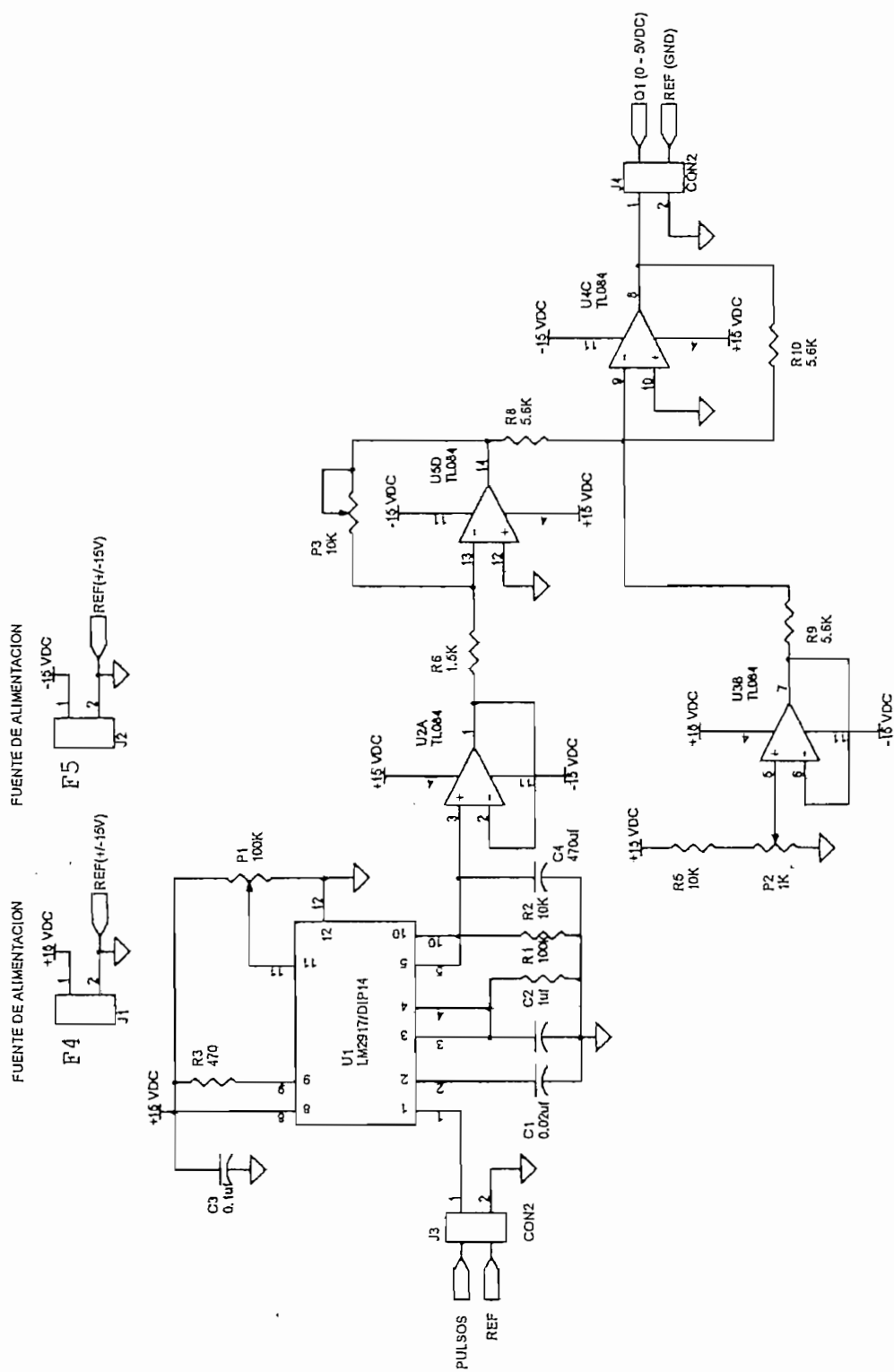


Figura 3.26 Circuito de acondicionamiento del Sensor de Caudal

El máximo caudal con que el producto circula por la tubería para alimentos del prototipo es de 15 l/min. Por tal razón y por facilidad se reduce la resolución del conversor a 4 bits (16 bits de conversión o combinaciones). Esto hace que el voltaje de resolución por bit sea de 312mV/bit.

Basándose en los datos experimentales tomados a la salida del conversor LM2917 (Ver Anexo 3), el sensor entrega aproximadamente una variación de 0.08V por variación de 1l/min y considerando el voltaje de resolución por bit de 312mV/bit, es necesario que la etapa tenga una ganancia aproximada de  $G_T = 5$ .

Tal ganancia se obtiene a través de un amplificador inversor y es regulada por el potenciómetro  $P3 = 10K\Omega$  como se indica la ecuación Ec 3.8.

$$G_T = -(P3/R6) \quad \text{Ec 3.8}$$

$G_T =$  Ganancia Total de la etapa

Cuando el caudal es de 0 l/min el LM2917 presenta un pequeño voltaje de aproximadamente 0.1V. Este se elimina sumando un voltaje inverso que se obtiene del divisor de voltaje regulado por  $P2 = 1K\Omega$ , que además tiene a la salida un seguidor de tensión para acoplamiento de impedancias.

Los voltajes tanto del sensor como del divisor ingresan a la entrada negativa de un amplificador sumador inversor de ganancia unitaria y modelado por la ecuación:

$$V_o = -R_f \times \left( \frac{V_{sensor}}{R8} + \frac{V_{div}}{R9} \right) \quad \text{Ec 3.9}$$

Como la ganancia es unitaria entonces  $R_f = R8 = R9$ , por lo que el voltaje de salida está dado por la siguiente ecuación:

$$V_o = -(V_{sensor} + V_{div}) \quad (\text{Ec 3.10})$$

$V_o =$  Voltaje de salida

$V_{termoc} =$  Voltaje del sensor de caudal

$V_{div} =$  Voltaje del divisor de voltaje

### 3.2.2.1.3 Sensores de Nivel

Las señales discretas ON - OFF que entregan los sensores de nivel son convertidas en señales discretas de voltaje de 0 – 5VDC y 0 – 24VDC, dependiendo de la etapa siguiente a la que deben ingresar.

Las señales acondicionadas de los sensores del tanque de leche cruda (L1 y L2) ingresan directamente al PLC debido al número de entradas libres que presta el mismo. Las señales de estos sensores se acondicionan a niveles discretos de voltaje de 0 – 24VDC ya que las entradas del PLC requieren estos niveles de voltaje y además deben ser aisladas.

El estado del sensor del calentador (L3) se ingresa al PLC a través de la palabra de 7 bits enviada por el microprocesador al PLC. Para esto se conecta la señal discreta acondicionada del sensor a la entrada digital RE1 (puerto E) del microprocesador. Esta señal se acondiciona a los niveles discretos de 0 – 5VDC requeridos por el microprocesador.

Estas señales también manejan dispositivos que permiten el encendido de luces piloto colocadas la parte frontal del panel de control.

El circuito acondicionador de esta etapa que se indica en la figura 3.27 tiene los siguientes elementos:

- Transistor 2N3904
- Optoaisladores 4N35
- Relés de estado sólido
- Fuentes de Alimentación F4 (+15VDC) y F1 (+24VDC)

Los transistores NPN 2N3904 actúan como interruptores, es decir que trabajan en los estados de corte y saturación. Las resistencias R1 y R2 de 1K $\Omega$  controlan la corriente que circula por este elemento.

El estado de saturación o conducción se obtiene cuando circula corriente por la base del transistor debido a:

1. L1 y L2        existe líquido entre los electrodos: sensor y referencia
2. L3             se cierra el final de carrera por acción del flotador

Para el caso de L1 y L2, se activan los optoaisladores y las bobinas de los relés obteniéndose pulsos de voltaje de 24VDC y el encendido de las luces piloto (H7 y H8) respectivamente.

Para L3, se polariza al diodo zener (5VDC) y se activa la bobina del relé con lo que se obtiene pulsos de 5VDC y el encendido de la luz piloto (H6) respectivamente.

En cada una de las bobinas de los relés de estado sólido se conecta un diodo en paralelo, para producir la descarga de las mismas cuando son desactivadas.

Un terminal del contacto N.A. de cada relé de estado sólido se conectan a 110VAC para alimentar a las luces piloto asignadas a los sensores de nivel en el panel de control. Si la luz piloto de cada sensor de nivel esta encendida indica que hay presencia del líquido, caso contrario no existe líquido y la luz esta apagada.

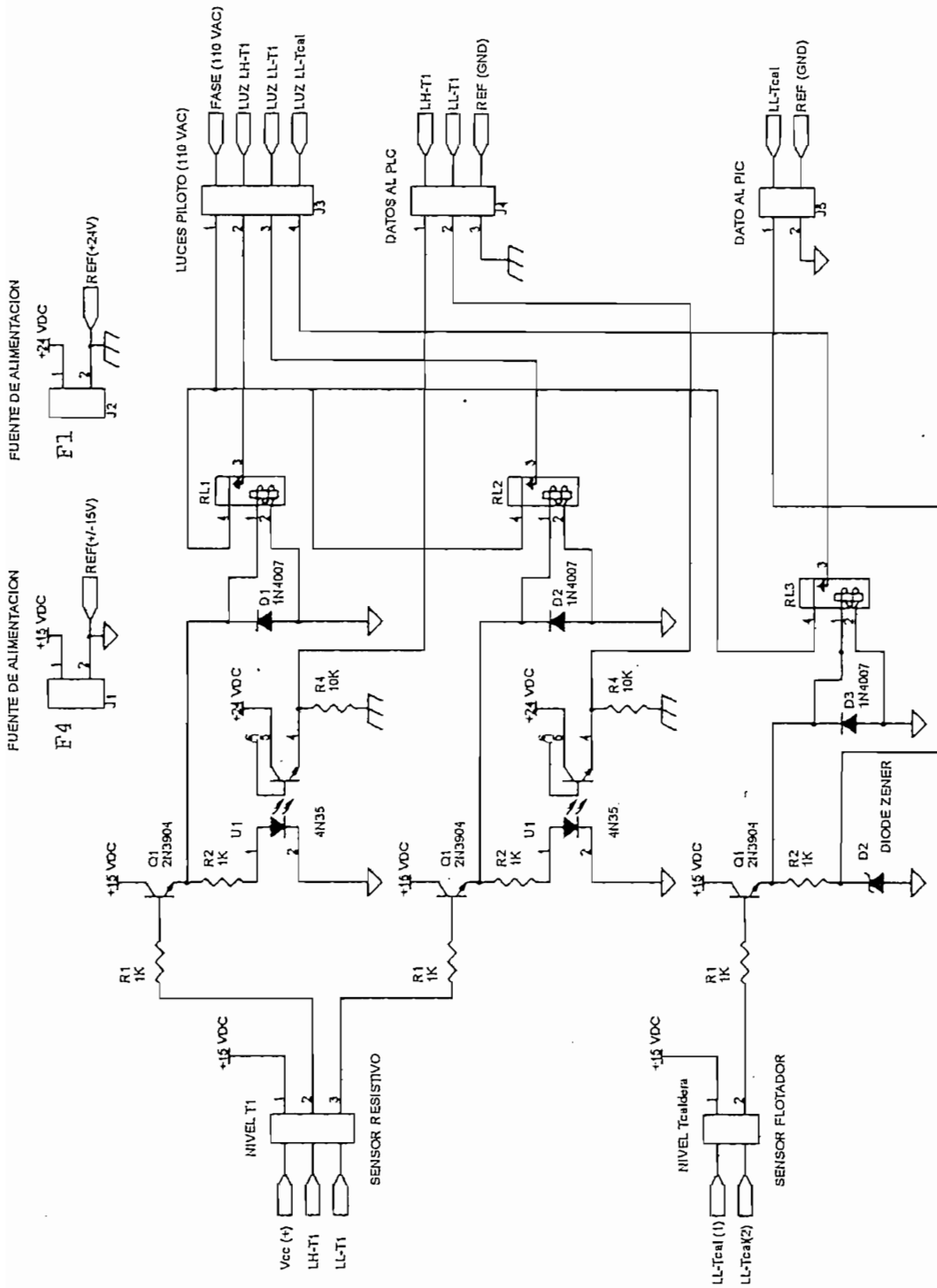


Figura 3.27 Circuito de acondicionamiento de Sensores de Nivel.

### 3.2.2.2 Etapa de Conversión A/D y Visualización

La función que realiza cada uno de los puertos del microprocesador se indica en la tabla 3.7.

PUERTO	TIPO	FUNCION
A	Entradas análogas	Conversor A/D (canales 0 a 4)
	Entrada digital	TMR0 - contador (selección de sensor a mostrar en displays desde panel de control)
B	Entradas digitales	Interrupción externa (selección sensor desde PLC)
	Salidas digitales	Visualización de #SENSOR en el display 2
C	Salidas digitales	Visualización de UNIDADES en el display 1
		Visualización de DECENAS en el display 1
D	Salidas digitales	Envío al PLC en palabra de 7 bits del resultado de la conversión de los sensores análogos
E	Entrada análoga	Conversor A/D (canal 5)
	Entrada digital	Sensor de nivel del tanque de la caldera L3

Tabla 3.7 Función de los Puertos del microprocesador PIC 16F877

#### 3.2.2.2.1 Microprocesador como Conversor A/D

Cada una de las señales análogas acondicionadas de los sensores tiene asignado un canal de conversión A/D, como se muestra en la figura 3.28, de la siguiente manera:

1. Canal 0 (RA0)      Termocupla T1
2. Canal 1 (RA1)      Termocupla T2
3. Canal 3 (RA2)      Termocupla T3
4. Canal 4 (RA3)      Termocupla T4
5. Canal 5 (RA5)      Termocupla T5
6. Canal 6 (RE0)      Sensor de caudal Q1



El rango máximo de variación de la temperatura es de 0°C a 90°C, si se asume que a cada grado le corresponda un bit (combinación binaria) procedente de la conversión entonces se necesitarían 90 bits. Como el número de bits de la conversión viene dada por:

$$\text{Bits de la conversión} = 2^n \quad \text{Ec 3.11}$$

donde  $n = \text{número de bits de resolución del conversor}$

entonces se necesita que la resolución del conversor sea de  $n = 7 \text{ bits}$  para satisfacer el rango de variación de la temperatura, ya que:

$$\text{Bits de la conversión} = 2^7 = 128 \text{ bits}$$

De igual forma, el caudal presenta un rango de variación de entre 0 y 15 l/min por lo que se requiere una resolución de  $n = 4 \text{ bits}$  para el conversor, obteniéndose:

$$\text{Bits de la conversión} = 2^4 = 16 \text{ bits}$$

La resolución que tiene cada bit procedente de la conversión tiene un valor que es función de un voltaje de referencia  $V_{REF}$ , de la siguiente manera:

$$\text{resolución} = \frac{V_{REF+} - V_{REF-}}{2^n} \quad \text{Ec 3.12}$$

$V_{REF+}$  = Voltaje de referencia positivo (RA3)

$V_{REF-}$  = Voltaje de referencia negativo (RA2)

Se puede asignar como voltaje de referencia al voltaje interno de alimentación del microprocesador  $V_{DD}$  o a un voltaje externo aplicado al pin RA3, en cuyo caso se aplica la polaridad negativa al pin RA2. Como el microprocesador se alimenta a través de la fuente F3 = +5VDC, se asume  $V_{REF+} = V_{DD} = 5\text{VDC}$  y para  $V_{REF-} = 0\text{VDC}$  (GND). Usando la Ec 3.12 para la temperatura y el caudal se tiene:

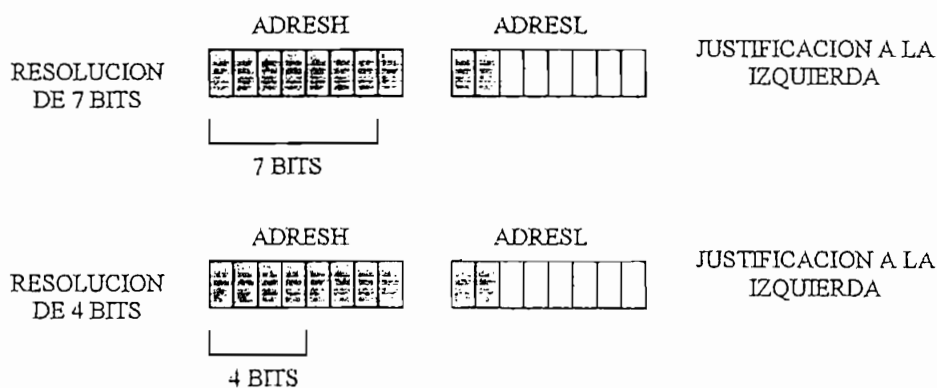
Temperatura: 
$$\text{resolución} = \frac{5VDC}{2^7} = 39.04 \text{ mV/bit}$$

Caudal: 
$$\text{resolución} = \frac{5VDC}{2^4} = 312 \text{ mV/bit}$$

Es decir, que por cada variación de 39.04mV del voltaje de la termocupla aplicado a la entrada del conversor se tiene variación de 1°C de temperatura. De igual forma, por cada variación de 312mV del voltaje del sensor de caudal se tiene variación de 1 l/min de caudal.

El valor digital resultante de la conversión se almacena en 10 de los 16 bits formados por los registros ADRESH y ADRESL cuando finaliza la conversión. Para este caso se configura el resultado de la conversión con justificación a la izquierda, es decir que se ocuparan los 8 bits del ADRESH y los 2 mas significativos del ADRESL.

Para bajar la resolución del conversor de 10 bits se toman solo los bits más significativos del valor digital almacenado en estos registros. Es decir que para la resolución de 7 bits y 3 bits se toman los bits 1 al 7 y 4 al 7 del registro ADRESH respectivamente, como se indica a continuación:



El valor digital de la conversión de los sensores análogos se envía como una palabra de 7 bits, a través del puerto D, a las entradas digitales I0.0 a I0.6 del PLC, como se indica en la figura 3.28.

El PLC selecciona y solicita el valor digital de cada uno de los sensores a través de una palabra de 3 bits, que se envía desde las salidas digitales Q0.4 a Q0.6 a las entradas RB1 a RB3 del microprocesador respectivamente. La activación de cualquiera de las tres salidas genera un pulso, por medio de compuertas lógicas OR, que ingresa al pin de interrupción externa RB0 y produce el envío de la palabra de 7 bits al PLC.

#### 3.2.2.2.2 Visualización

La visualización en el panel de control de los valores de los sensores análogos se realiza con los siguientes elementos:

- Displays dobles de 7 segmentos de cátodo común
- Convertidores BCD a 7 segmentos 74LS47 para displays de cátodo común
- Fuente de Alimentación F3 (+5VDC)

Los rangos de los valores a mostrar necesitan solo de dos dígitos correspondientes a las UNIDADES y DECENAS, para lo cual se utiliza un display doble (Display 1), como se indica en la figura 3.28. Para diferenciar al sensor cuyo valor se esta indicando se utiliza otro display doble (Display 2), donde se asigna el primer número para mostrar la letra "S" que significa SENSOR, mientras que en el segundo se muestran los números del 1 al 6 que sirven para distinguir a los sensores de la siguiente manera:

- S1 Termocupla T1 (Temperatura en la Etapa de Calentamiento)
- S2 Termocupla T2 (Temperatura en la Etapa de Retención)
- S3 Termocupla T3 (Temperatura en la Etapa de Enfriamiento)
- S4 Termocupla T4 (Temperatura del agua proveniente de la Caldera)
- S5 Termocupla T5 (Temperatura del agua enfriada por el Refrigerador)
- S6 Sensor de caudal Q1 (Caudal con que circula la leche)

Los valores de temperatura que se indican están en grados centígrados (°C), mientras que el valor del caudal está en litros por minuto (l/min).

Los valores binarios de la conversión se transforman a BCD para que, por medio del convertidor BCD a 7 segmentos 74LS47, puedan ser mostrados en los displays.

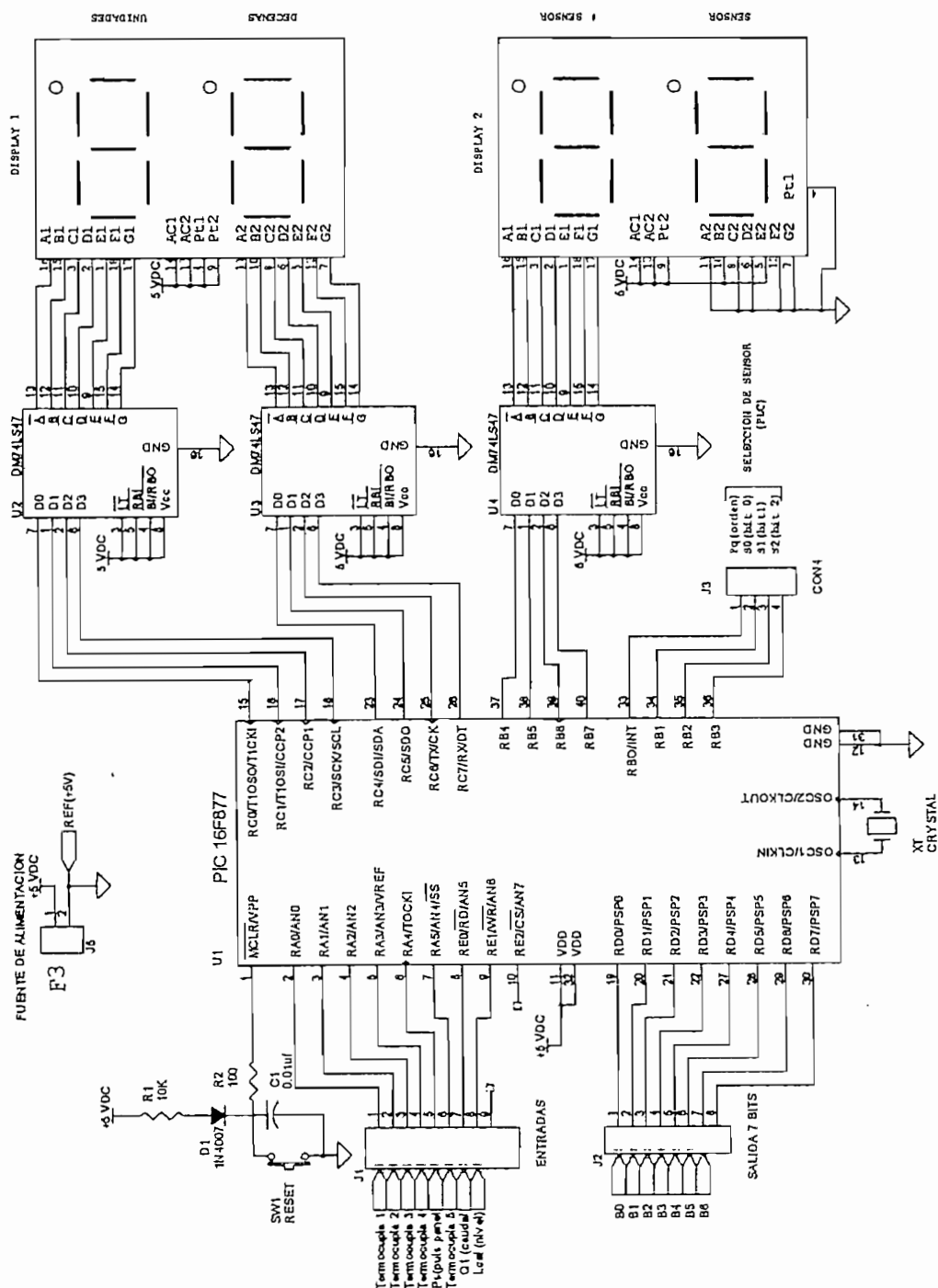


Figura 3.28 Circuito de la Etapa de Conversión A/D y Visualización.

### 3.2.3 CONEXIONES DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL PLC

Las entradas y salidas que posee el PLC Siemens S7-200 CPU224 AC/DC/relé son las siguientes:

- 10 entradas digitales que manejan niveles de voltaje discreto de 0 – 24VDC
- 14 salidas digitales tipo Relé para tensiones nominales de 24VDC o 250VAC

Por seguridad es recomendable aislar tanto las entradas como las salidas del PLC de las etapas del circuito de control.

El elemento de control asignado a cada una de las entradas y salidas del PLC son los siguientes:

ENT	SIMBOLO	ELEMENTO DE CONTROL
I0.0	BIT 0	Optoaislador B0 del BIT 0 de la palabra de 7 bits
I0.1	BIT 1	Optoaislador B1 del BIT 1 de la palabra de 7 bits
I0.2	BIT 2	Optoaislador B2 del BIT 2 de la palabra de 7 bits
I0.3	BIT 3	Optoaislador B3 del BIT 3 de la palabra de 7 bits
I0.4	BIT 4	Optoaislador B4 del BIT 4 de la palabra de 7 bits
I0.5	BIT 5	Optoaislador B5 del BIT 5 de la palabra de 7 bits
I0.6	BIT 6	Optoaislador B5 del BIT 6 de la palabra de 7 bits
I0.7	MARCHA	Pulsador N.A. para encendido del proceso
I1.0	PARO	Pulsador N.C. para paro del proceso (Pulsador N.C.)
I1.1	GM1	Contacto N.A. del guardamotor de la Bomba de Alimentos M1
I1.2	GM2	Contacto N.A. del guardamotor de la Bomba de la Caldera M2
I1.3	GM3	Contacto N.A. del guardamotor del Refrigerador M3
I1.4	LL	Optoaislador LLT1 del Sensor de nivel L2
I1.5	LH	Optoaislador LHT1 del Sensor de nivel L1

Tabla 3.8 Elementos de Control de las Entradas del PLC

SAL	SIMBOLO	ELEMENTO DE CONTROL
Q0.0	Contactador 1	Relé auxiliar para el contactador 1 (Bomba de alimentos)
Q0.1	Contactador 2	Relé auxiliar para el contactador 2 (Resistencias caldera)
Q0.2	Contactador 3	Relé auxiliar para el contactador 3 (Refrigerador)
Q0.3	Contactador 4	Relé auxiliar para el contactador 4 (Bomba de la caldera)
Q0.4	S0	Optoaislador OPT1 del BIT 0 de la palabra de 3 bits
Q0.5	S1	Optoaislador OPT2 del BIT 1 de la palabra de 3bits
Q0.6	S2	Optoaislador OPT3 del BIT 2 de la palabra de 3 bits
Q0.7	EV1	Relé auxiliar para la Electroválvula de la caldera
Q1.0		Relé auxiliar
Q1.1	Contactador 5	Relé auxiliar para el contactador 5 (Bombas del enfriador)

Tabla 3.9 Elementos de Control de las Salidas del PLC

### 3.2.3.1 Entradas del PLC

#### Entradas Aisladas (I0.0 a I0.6)

A estas entradas ingresa la palabra de 7 bits (un bit a cada entrada) que contiene el valor digital de la conversión A/D y que proviene del microprocesador. Estas señales discretas tienen niveles de voltaje de 0 y +5VDC por lo que es necesario de una etapa aisladora para poderlas acoplar al nivel de voltaje requerido por las entradas del PLC.

El circuito provisto para esta etapa esta formado por optoaisladores 4N35 donde los pulsos de +5VDC, provenientes del conversor A/D, activan al elemento obteniendo como resultado a su salida pulsos digitales de +24VDC y que son alimentados de la fuente F1 (+24VDC), como se indica en la figura 3.29.

#### Entradas Directas (I0.7 a I1.5)

A estas entradas se conectan elementos de maniobra como los contactos de los guardamotors, sensores de nivel y los pulsadores que permiten el control del

encendido del proceso. Por medio de estos se ingresan directamente señales discretas al PLC que se alimentan de la fuente F1 (+24VDC), como se indica en la figura 3.29

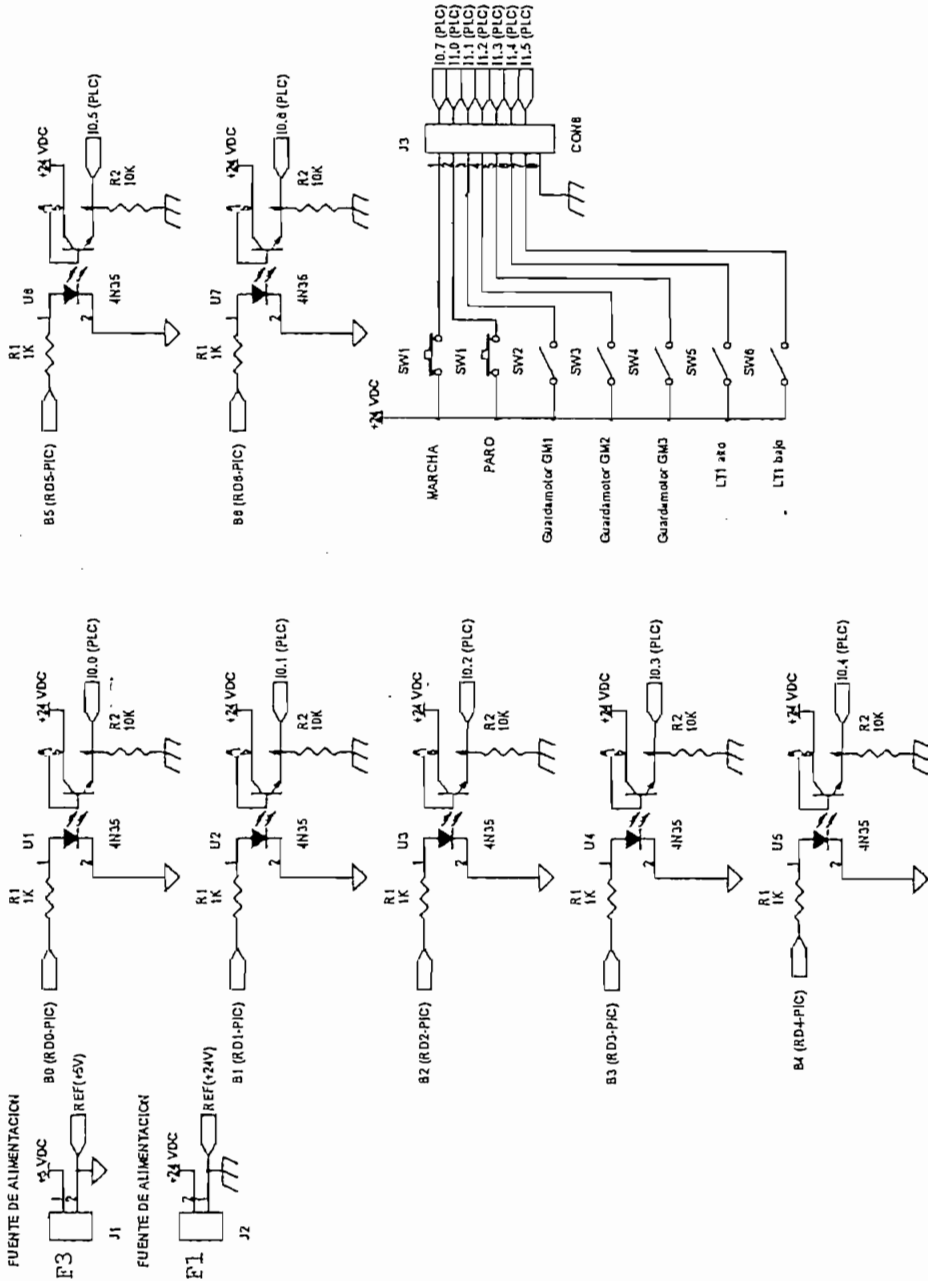


Figura 3.29 Circuito de las Entradas del PLC

### 3.2.3.2 Salidas del PLC

Las salidas del PLC se agrupan en tres bloques los cuales pueden tener diferente tipo y nivel de alimentación; es decir, AC ó DC y de 0 a 250VAC ó de 0 a 24VDC. (Ver Anexo 1)

En este caso dos de los tres bloques manejan carga de AC a través de relés auxiliares cuyas bobinas son de DC; mientras que el tercer bloque envía los pulsos de selección del valor digital de la conversión. Por tal razón se selecciona la fuente F2 = +12 VDC para la alimentación de los relés de las salidas del PLC.

#### **Salidas Aisladas al Microprocesador (Q0.4 a Q0.6)**

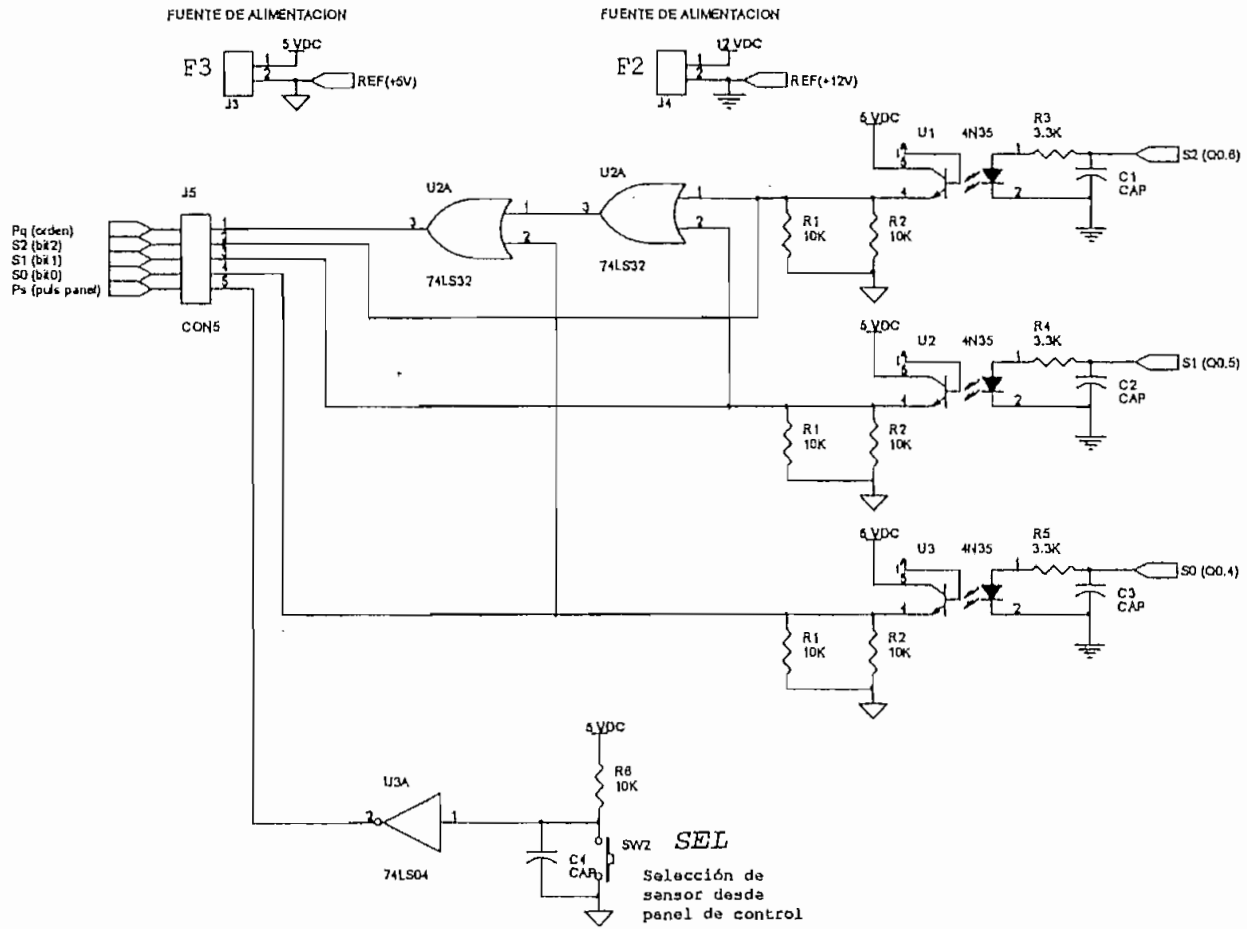
El valor digital de la conversión A/D de los sensores análogos que se envían al PLC se selecciona por medio de una palabra de 3 bits obtenida de las salidas Q0.4 a Q0.6.

Debido a que los niveles de voltaje son diferentes entonces se utiliza un circuito formado por optoaisladores 4N35, el cual transforma los pulsos de +12VDC que salen del PLC a pulsos de +5VDC, alimentándose de la fuente F3 (+5VDC).

Las salidas de los optoaisladores son conectadas a sus respectivas entradas en el microprocesador y a 2 compuertas lógicas OR (74LS32) conectadas como se indica en la figura 3.8. La función de las compuertas es la de generar un pulso cuando se activan cualquiera de las tres salidas Q0.4 a Q0.6, esta señal ingresa al pin de interrupción externa RB0.



Figura 3.30 Circuito de Aislamiento de Salidas del PLC al Microprocesador



## Salidas Aisladas a los Contactores

Por seguridad y para alargar la vida útil de los relés de las salidas del PLC es recomendable que no manejen directamente a los contactores ni cargas de baja potencia. Por tal razón se utilizan relés auxiliares de 12VDC.

Los bloques formados por las salidas Q0.0 a Q0.3 y Q0.7 a Q1.1, tienen asignado un relé auxiliar para cada una como se indica en la figura 3.31. La conexión de cada relé se indica en el Diagrama de Conexiones de Entradas y Salidas del PLC (Ver figura 3.31).

### 3.2.3.3 Conexiones del PLC

En el diagrama de conexiones de las entradas y salidas del PLC de la figura 3.31 se muestran los elementos de control asignados a cada uno de ellas.

Los pulsadores SB2 (MARCHA) y SB3 (PARO) son los elementos de maniobra que permiten la puesta en marcha y paro del proceso de pasteurización respectivamente. Ingresan a las entradas I0.7 y I1.0.

El paro de emergencia SB1 es un pulsador con retención tipo hongo que desconecta la alimentación del PLC cuando es presionado. Adicionalmente el circuito de protección del PLC cuenta con el Breaker F11-1 de 0.5 A

A las entradas I1.1, I1.2 y I1.3 se conectan los contactos normalmente abiertos (N.A.) de los relés térmicos de las bombas M1, M2 y del refrigerador M3 respectivamente.

Las fuentes de alimentación de las entradas y salidas del PLC se toman de un mismo transformador cuyo secundario tiene dos bobinados aislados.

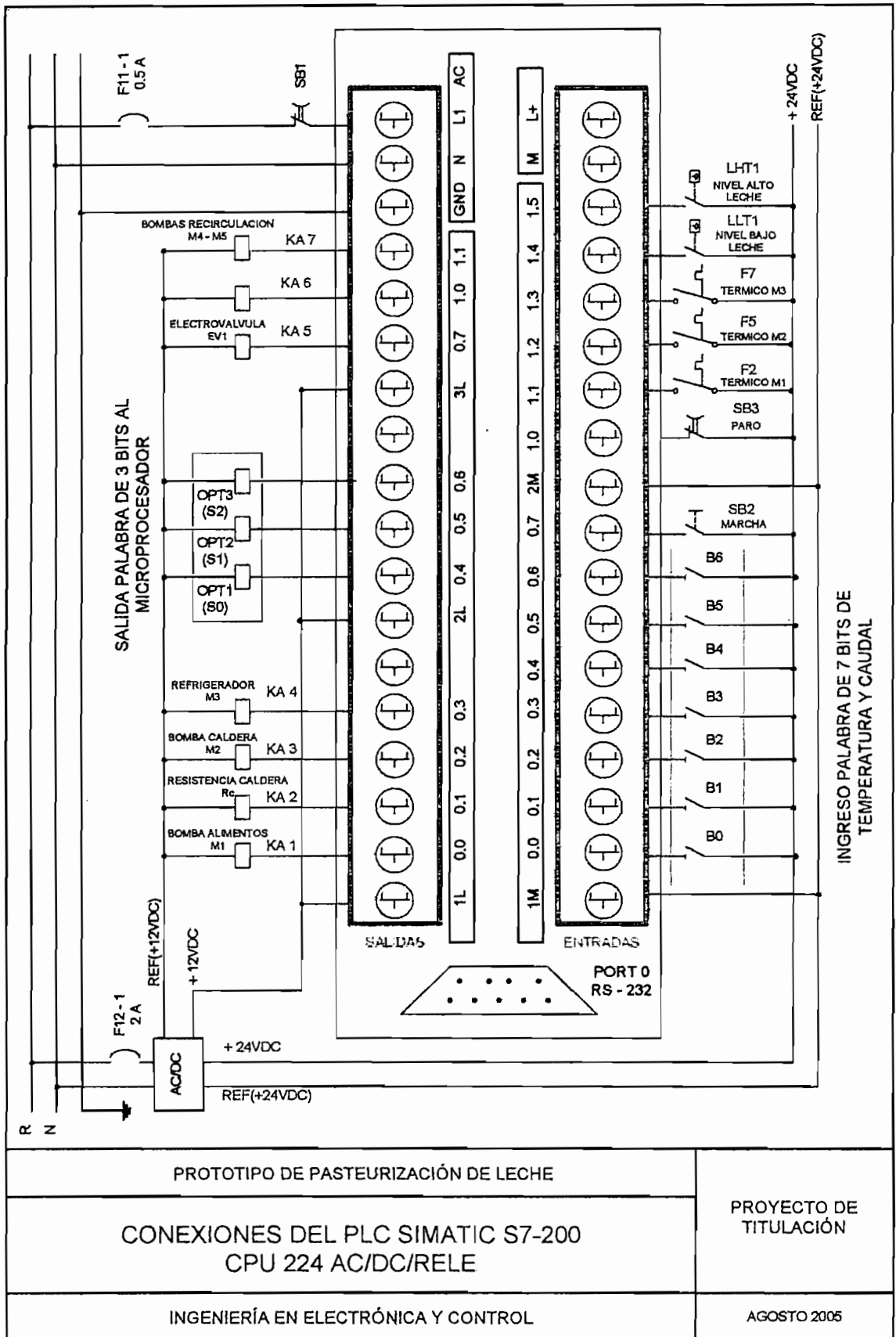


Figura 3.31 Diagrama de Conexiones de Entradas y Salidas del PLC

### 3.2.4 DIAGRAMAS ELÉCTRICOS DE CONTROL Y FUERZA

Para la conexión de los actuadores se ha considerado seis circuitos derivados independientes. Cada circuito derivado tiene como dispositivo de maniobra y protección del cableado un breaker, y en el caso de motores tiene como protección relés térmicos.

Cabe indicar que para el cálculo se ha considerado una temperatura ambiente de trabajo 25 °C, y se van ha emplear conductores de cobre tipo TW suaves.

#### Cálculo de conductores y dispositivos de protección

A continuación se presenta un ejemplo de cálculo del calibre de los conductores y dispositivos de protección en el circuito derivado 1.

Circuito derivado 1, motor 1, 0.5 HP, monofásico 110V, arranque a voltaje pleno, corriente nominal ( $I_n$ ) 5.4 A.

#### a) Calibre del conductor:

$$I = 1.25 \times I_n = 1.25 \times 5.4 \text{ A}$$

$$I = 6.75 \text{ A}$$

Conductor # 14 AWG (30 A)

$I_n$  = Corriente nominal del motor

#### b) Protección del circuito ( Breaker)

Letra clave: L (Anexo 4)

$$I = 2.5 \times I_n = 2.5 \times 5.4 \text{ A}$$

$$I = 13.5 \text{ A}$$

Breaker de 15 A

$I_n$  = Corriente nominal del motor

### c) Protección del motor (Relé Térmico)

$$I = 1.25 \times I_n = 1.25 \times 5.4 \text{ A}$$

$$I = 6.75 \text{ A}$$

Relé Térmico de 5.5 – 8 A calibrado en 6.25 A.

Nota: Para el conductor de neutro se escoge conductor # 12 AWG

En la tabla 3.10 se presenta un resumen del calibre del conductor y protecciones para cada circuito derivado.

CARGA	POTENCIA	$I_n$ ( A )	CALIBRE CONDUCTOR	BREAKER (A)	RELE RANGO	TERMICO (AJUSTE)
EV1	55 W	0.5	1 X 14 AWG	2	-----	-----
M1	0.5 HP	5.4	1 X 12 AWG	10	5.5 - 8A	( 6.25 A )
M2	0.5 HP	2.1	1 X 12 AWG	10	4 - 6A	( 4.25 A )
M3	1 HP	6	1 X 12 AWG	10	5.5 - 8A	( 6.75 A )
M4	0.5 HP	2.1	1 X 12 AWG	10	4 - 6A	( 4.25 A )
M5	0.5 HP	2.5	1 X 12 AWG	10	4 - 6A	( 4.25 A )
R1	4.5 KW	13	1 X 10 AWG	25	-----	-----
H1	10 W	0.1	1 X 16 AWG	10	-----	-----
H2	10 W	0.1	1 X 16 AWG	10	-----	-----
H3	10 W	0.1	1 X 16 AWG	10	-----	-----
H4	10 W	0.1	1 X 16 AWG	10	-----	-----
H5	10 W	0.1	1 X 16 AWG	10	-----	-----

Tabla 3.10 Tabla resumen de conductores y dispositivos de protección.

#### 3.2.4.1 Diagrama Unifilar del Circuito de Fuerza

En la figura 3.32 se indica las conexiones realizadas para alimentar a cada uno de los actuadores del prototipo con sus respectivas protecciones.

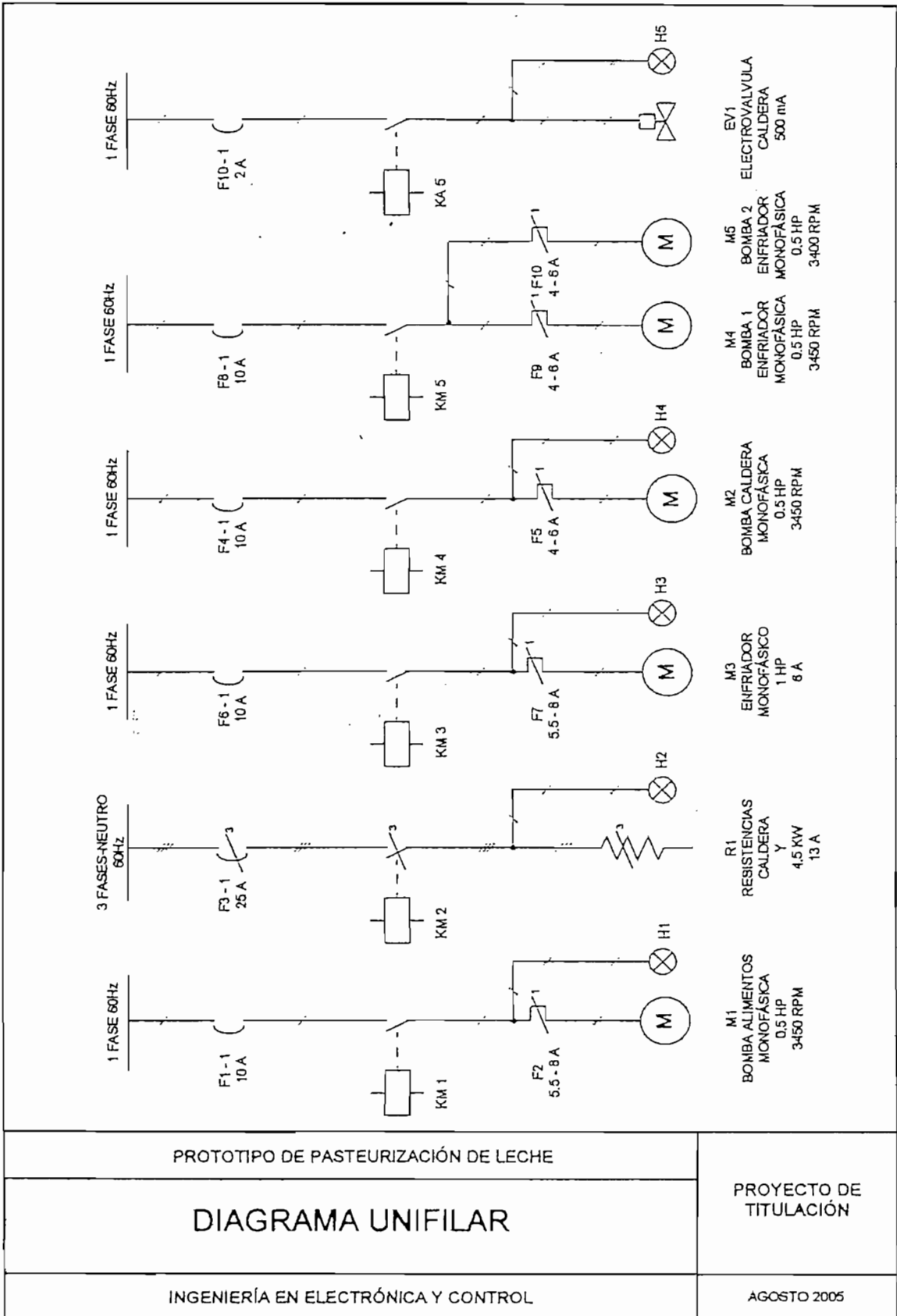


Figura 3.32 Diagrama Unifilar del Circuito de Fuerza

### 3.2.4.2 Diagrama de Conexiones del Circuito de Control y Fuerza

La figura 3.33 muestra el diagrama de conexiones de los elementos que conforman los circuitos de fuerza y control que contiene el panel de control.

Los códigos utilizados para la nomenclatura del diagrama de conexiones del tablero de control se describen en la tabla 3.13.

CODIGO	DESCRIPCION
B0	BIT 0 (LSB) DEL DATO EN 7 BITS ENVIADO DEL PIC AL PLC
B1	BIT 1 DEL DATO EN 7 BITS ENVIADO DEL PIC AL PLC
B2	BIT 2 DEL DATO EN 7 BITS ENVIADO DEL PIC AL PLC
B3	BIT 3 DEL DATO EN 7 BITS ENVIADO DEL PIC AL PLC
B4	BIT 4 DEL DATO EN 7 BITS ENVIADO DEL PIC AL PLC
B5	BIT 5 DEL DATO EN 7 BITS ENVIADO DEL PIC AL PLC
B6	BIT 6 (MSB) DEL DATO EN 7 BITS ENVIADO DEL PIC AL PLC
DT1	DATO DE TEMPERATURA TERMOCUPLA 1 NORMALIZADO DE 0 A 5V
DT2	DATO DE TEMPERATURA TERMOCUPLA 2 NORMALIZADO DE 0 A 5V
DT3	DATO DE TEMPERATURA TERMOCUPLA 3 NORMALIZADO DE 0 A 5V
DT4	DATO DE TEMPERATURA TERMOCUPLA 4 NORMALIZADO DE 0 A 5V
DT5	DATO DE TEMPERATURA TERMOCUPLA 5 NORMALIZADO DE 0 A 5V
DQ1	DATO DE CAUDAL EN l/min NORMALIZADO DE 0 A 5V
EV1	ELECTROVÁLVULA PARA LLENADO DEL CALENTADOR
F1	BREAKER DE LA BOMBA DE ALIMENTOS (M1)
F2	RELE TERMICO DE LA BOMBA DE ALIMENTOS (M1)
F3-1	BREAKER DE LAS RESISTENCIAS DE LA CALDERA
F4-1	BREAKER DE LA BOMBA DE LA CALDERA (M2)
F5	RELE TERMICO DE LA BOMBA DE LA CALDERA (M2)
F6-1	BREAKER DEL ENFRIADOR (M3)
F7	RELE TERMICO DEL REFRIGERADOR (M3)
F8-1	BREAKER DE LAS BOMBAS DE RECIRCULACION (M4 Y M5)
F9	RELE TERMICO DE LAS BOMBAS DE RECIRCULACION (M4 Y M5)
F10-1	BREAKER DE LA ELECTROVALVULA (EV1)
F11-1	BREAKER DE ALIMENTACION AL PLC
F12-1	BREAKER DE ALIMENTACION PARA FUENTES DE +12 Y +24VDC
F13-1	BREAKER DE LAS BOBINAS DE LOS CONTACTORES PRINCIPALES
F14-1	BREAKER DE LA FUENTE DE +5VDC Y $\pm$ 15VDC
H1	LUZ PILOTO DE LA BOMBA DE ALIMENTOS (M1)
H2	LUZ PILOTO DE LAS RESISTENCIAS DE LA CALDERA
H3	LUZ PILOTO DEL ENFRIADOR (M3)
H4	LUZ PILOTO DE LA BOMBA DE LA CALDERA (M2)
H5	LUZ PILOTO DE LA ELECTROVALVULA (EV1)
H6	LUZ PILOTO DE NIVEL BAJO DEL TANQUE DE LA CALDERA
H7	LUZ PILOTO DE NIVEL BAJO DEL TANQUE DE LECHE CRUDA
H8	LUZ PILOTO DE NIVEL ALTO DEL TANQUE DE LECHE CRUDA

continúa...

viene...

CODIGO	DESCRIPCION
KA1	RELE AUXILIAR PARA ACTIVAR AL CONTACTOR KM1
KA2	RELE AUXILIAR PARA ACTIVAR AL CONTACTOR KM2
KA3	RELE AUXILIAR PARA ACTIVAR AL CONTACTOR KM3
KA4	RELE AUXILIAR PARA ACTIVAR AL CONTACTOR KM4
KA5	RELE AUXILIAR PARA ACTIVAR LA ELECTROVALVULA (EV1)
KA6	RELE AUXILIAR LIBRE
KA7	RELE AUXILIAR PARA ACTIVAR AL CONTACTOR KM5
KM1	CONTACTOR DE LA BOMBA DE ALIMENTOS (M1)
KM2	CONTACTOR DE LAS RESISTENCIAS DE LA CALDERA
KM3	CONTACTOR DE LA BOMBA DE LA CALDERA (M2)
KM4	CONTACTOR DEL REFRIGERADOR (M3)
KM5	CONTACTOR DE LAS BOMBAS DE RECIRCULACION (M4 Y M5)
LLT1	CONTACTO NA DE BAJO NIVEL DEL TANQUE DE LECHE CRUDA
LHT1	CONTACTO NA DE ALTO NIVEL DEL TANQUE DE LECHE CRUDA
LLTcal	CONTACTO NC DE BAJO NIVEL DEL TANQUE DE LA CALDERA
L1	SENSOR NIVEL ALTO DEL TANQUE DE LECHE CRUDA
L2	SENSOR NIVEL BAJO DEL TANQUE DE LECHE CRUDA
L3	SENSOR NIVEL BAJO DE AGUA DEL TANQUE DE LA CALDERA
M1	MOTOR DE LA BOMBA DE ALIMENTOS
M2	MOTOR DE LA BOMBA DE LA CALDERA
M3	MOTOR DEL ENFRIADOR
M4	MOTOR BOMBA 1 DE RECIRCULACION
M5	MOTOR BOMBA 2 DE RECIRCULACION
OPT1	OPTOACOPLADOR PARA SELECCIÓN DE SENSOR DEL PLC AL PIC S0
OPT2	OPTOACOPLADOR PARA SELECCIÓN DE SENSOR DEL PLC AL PIC S1
OPT3	OPTOACOPLADOR PARA SELECCIÓN DE SENSOR DEL PLC AL PIC S2
PQ	SEÑAL AL PIC PARA INTERRUPCION EXTERNA
Q1	SENSOR DE CAUDAL
SB1	PULSADOR CON RETENCION PARO DE EMERGENCIA
SB2	PULSADOR DE MARCHA DEL PROCESO
SB3	PULSADOR DE PARO DEL PROCESO
S0	BIT 0 (LSB) DE SELECCIÓN DEL SENSOR DEL PLC AL PIC
S1	BIT 1 DE SELECCIÓN DEL SENSOR DEL PLC AL PIC
S2	BIT 2 (MSB) DE SELECCIÓN DEL SENSOR DEL PLC AL PIC
SEL	SELECCIÓN DE SENSOR DESDE PANEL DE CONTROL.
T1	TERMOCUPLA TIPO K No1
T2	TERMOCUPLA TIPO K No2
T3	TERMOCUPLA TIPO K No3
T4	TERMOCUPLA TIPO K No4
T5	TERMOCUPLA TIPO K No5

Tabla 3.11 Resumen de la nomenclatura utilizada en el diagrama de conexiones eléctricas del panel de control



## **CAPÍTULO 4**

## CAPÍTULO 4

### IMPLEMENTACIÓN DE LA HMI PARA EL MONITOREO DE LAS VARIABLES DE CONTROL

La tendencia actual en los procesos industriales requiere que estos sean monitoreados y controlados desde un computador. Para ello es necesario comunicar el PLC con el computador por medio de una interfaz gráfica. El software empleado para el desarrollo del interfaz hombre – máquina (HMI) es el Intouch.

#### 4.1 INTOUCH

El Intouch es un paquete computacional que brinda confiabilidad y las ventajas de trabajar en un ambiente industrial para lo cuál fue creado, además que permite la creación de una interfaz gráfica de una manera fácil y rápida.

Una característica importante que debe tenerse en cuenta es que el PLC que se vaya a utilizar, se pueda comunicar con el Intouch, a través de un I/O Server, el cual es un programa que se encarga de comunicarse con el PLC y este también es el enlace con el Intouch.

##### 4.1.1 COMPONENTES PRINCIPALES

Intouch está compuesto por tres programas principales:

#### **4.1.1.1 Intouch Application Manager**

Se utiliza para organizar aplicaciones creadas bajo Window Maker y para configurar Window Viewer como un servidor NT.

#### **4.1.1.2 Window Maker**

Es el llamado ambiente de desarrollo donde objetos orientados y gráficos son utilizados para crear ventanas animadas generalmente con ambientes industriales.

#### **4.1.1.3 Window Viewer**

Es el programa usado para mostrar las ventanas animadas creadas en Window Maker en tiempo real. Además posee un programa de diagnóstico Wonderware Logger.

### **4.1.2 REQUERIMIENTOS MINIMOS DE SISTEMA**

Para ejecutar adecuadamente el programa Intouch son recomendadas las siguientes especificaciones de sistema:

- Procesador tipo Pentium 100 o superior.
- 100 MB mínimo libres en el disco duro.
- Monitor SVGA
- Artículo de punteo (mouse, touch screen, etc)
- Sistema operativo: Microsoft Windows 95 (o superior) o Windows NT 4.0 SP4 (o superior).

## 4.2 LÓGICA DE MONITOREO

Para el monitoreo del proceso de pasteurización se realiza una interfaz gráfica en el computador mediante el programa Intouch, en el cual se han creado diferentes pantallas que dan una adecuada visión acerca del funcionamiento, estado e información de las variables que intervienen en dicho proceso.

La figura 4.1 indica la secuencia de operación de la interfaz hombre-máquina (HMI) del proceso de pasteurización.

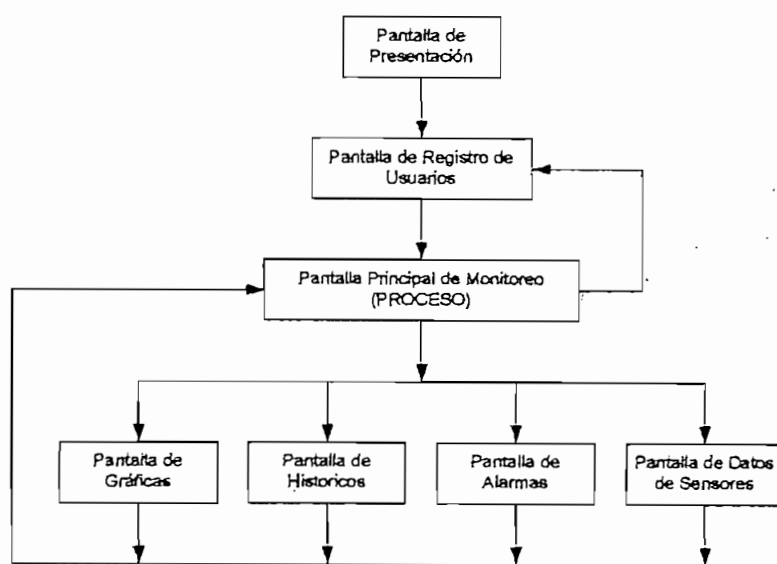


Figura 4.1 Diagrama de funcionamiento de la HMI

Se cuenta con dos pantallas de advertencia que se activan solo cuando se cumple una determinada condición, la pantalla "PROTECCIONES" se muestra cuando existe una falla en los motores; mientras que la pantalla "FIN DE PROCESO" aparece cuando se termina un ciclo de trabajo.

### 4.3 DESCRIPCIÓN DE LAS VENTANAS DE LA HMI

A continuación se muestra la descripción de cada una de las ventanas del interfaz hombre - máquina (HMI) para monitorear el proceso de pasteurización desde el computador.

El Script desarrollado para la programación de la interfaz (HMI) se encuentra en el Anexo 7.

#### 4.3.1 PRESENTACIÓN

La primera pantalla en mostrarse se llama "PRESENTACIÓN" (figura 4.2), esta pantalla indica la información acerca del proyecto de titulación.

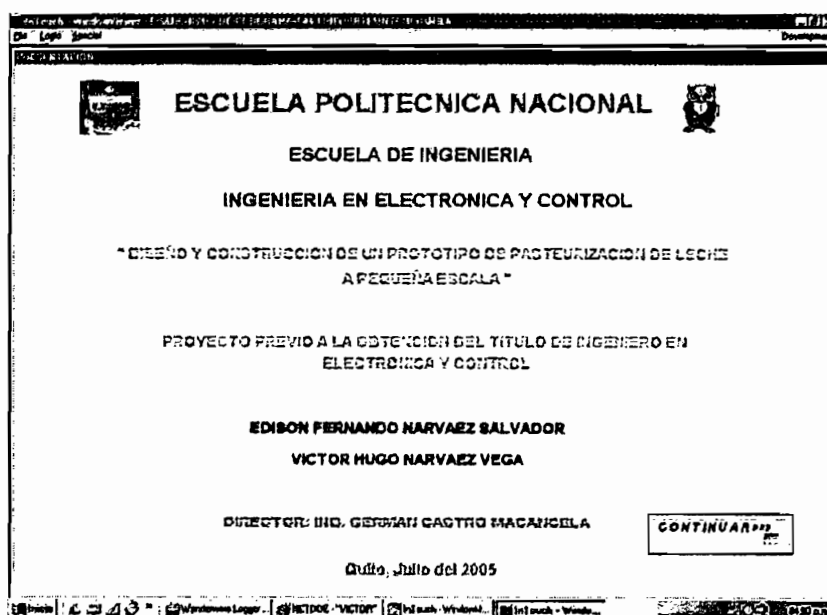


Figura 4.2 Pantalla "PRESENTACION"

En esta pantalla está ubicado el botón "CONTINUAR" el cual permite mostrar una segunda ventana el momento en que es presionado.

### 4.3.2 REGISTRO DE USUARIOS

La figura 4.3 muestra el acceso a las demás ventanas dependiendo del usuario, clave y nivel de acceso que posea.

Al inicio se deberá llenar los campos según las necesidades requeridas. Además esta ventana muestra la hora y fecha actuales al momento de ingresar un usuario.

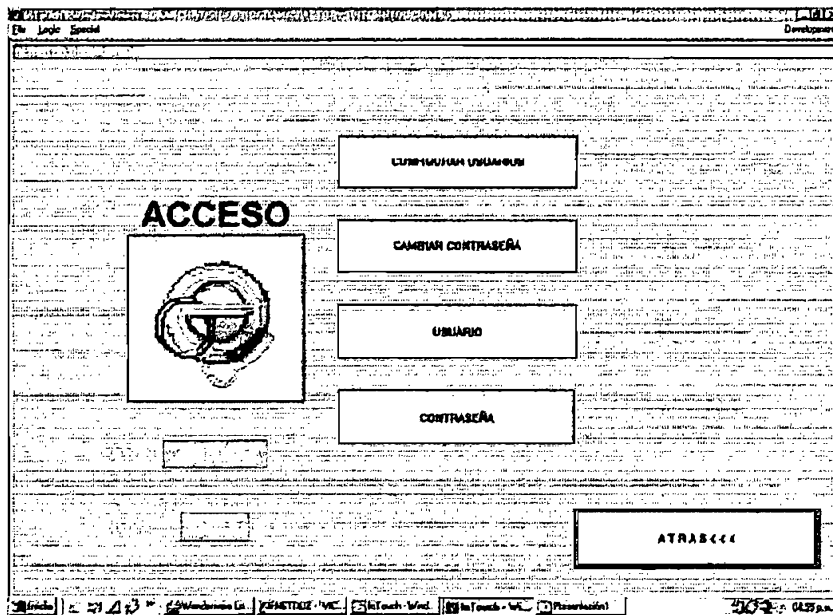


Figura 4.3 Ventana "REGISTRO DE USUARIOS"

Al momento de presionar el botón "CONFIGURAR USUARIOS", aparece la figura 4.4, donde se van a llenar los siguientes campos:

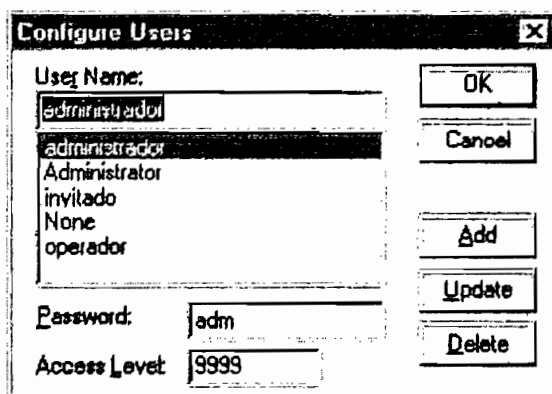


Figura 4.4 Botón "CONFIGURAR USUARIOS"

- User Name:** En este campo se llena el nombre de un usuario.
- Password:** Aquí se coloca una contraseña por cada usuario.
- Access Level:** El nivel de acceso depende de las atribuciones que tiene cada usuario para ingresar al sistema. Así el nivel de acceso máximo es 9999 y puede ingresar a todas y cada una de las ventanas.

En la siguiente tabla (Tabla 4.1) se representa un ejemplo de los usuarios creados inicialmente:

User Name	Password	Access Level	Descripción
Administrador	adm	9999	Puede acceder a todos los recursos del sistema y modificarlos.
Operador	opera	8000	Puede acceder a ciertos componentes del proceso.
Invitado	invi	5000	Únicamente puede visualizar el proceso

Tabla 4.1 Nombres, contraseña y nivel de acceso de los usuarios

A continuación se tiene el botón "CAMBIAR CONTRASEÑA" como se indica en la figura 4.5 y de ser necesario se la utiliza para hacer los cambios respectivos.

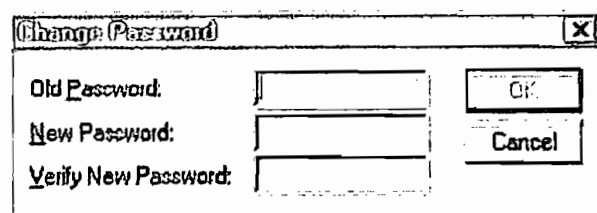


Figura 4.5 Botón "CAMBIAR CONTRASEÑA"

Finalmente se llena la información pedida en los botones "USUARIO" y "CONTRASEÑA" para acceder a la ventana "PROCESO".

### 4.3.3 PROCESO

La ventana representada en la figura 4.6 es la más importante, puesto que se visualiza en forma global todo el proceso de pasteurización de leche.

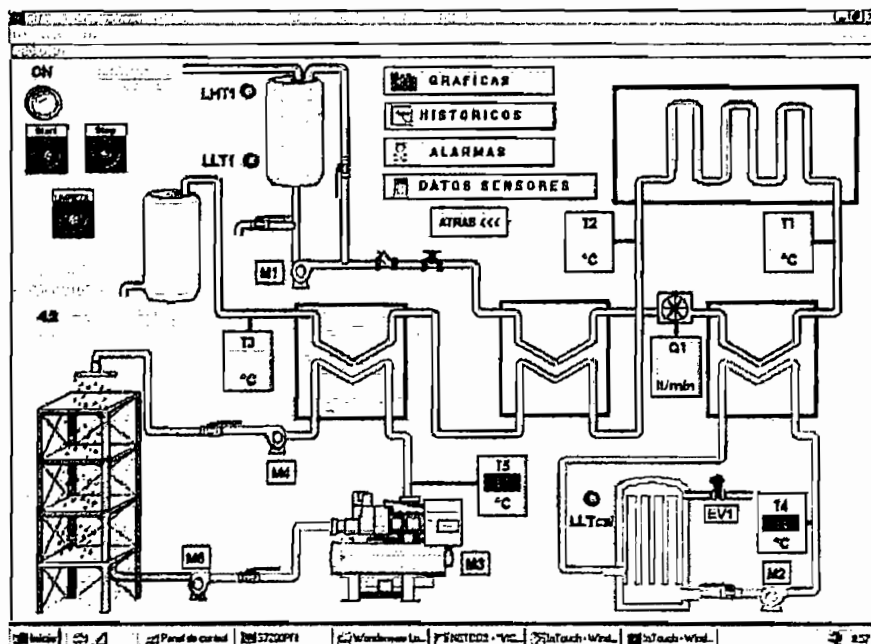


Figura 4.6 Proceso de Pasteurización de leche



Aquí se muestran las distintas etapas del proceso con sus respectivos valores de temperatura y caudal. Además indica los niveles del líquido en el tanque del calentador, el vaciado y llenado de los tanques de leche; si esta funcionando alguna etapa del proceso, esta parpadea indicando que los actuadores están funcionando.

Los botones que se encuentran en esta ventana (gráficas, históricos, alarmas, datos sensores) estarán habilitados para el usuario y nivel de acceso asignados.

Los botones "Start" y "Stop" podrán activar y apagar el proceso desde el computador única y exclusivamente por el Administrador y el Operador.

#### 4.3.3.1 Gráficas

Las gráficas que se muestran en esta pantalla (figura 4.7) corresponden a la variación de la temperatura en el tiempo.

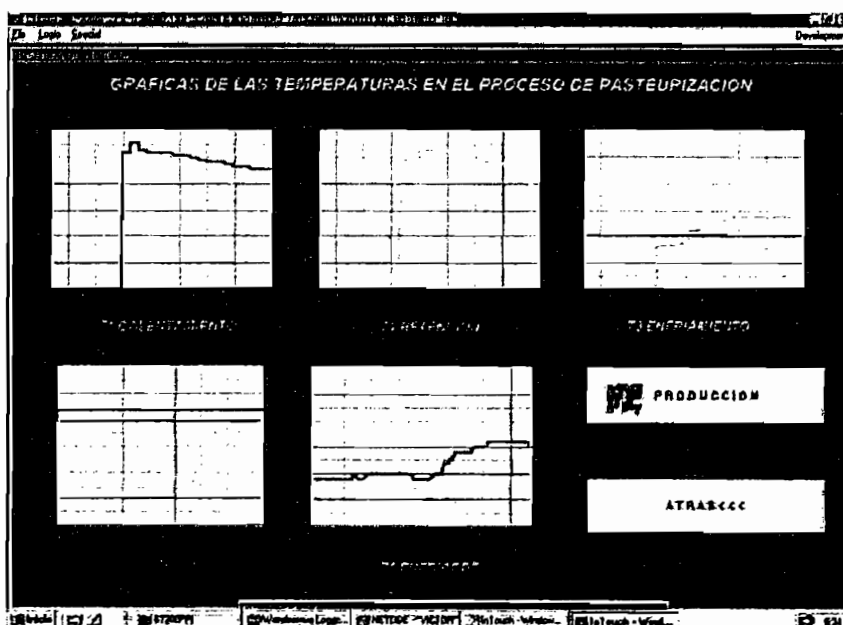


Figura 4.7 Ventana "GRAFICAS DE PROCESO"

Las temperaturas que se registran corresponden a las diferentes etapas del proceso, tal y como se indica en la figura 4.7.

#### 4.3.3.2 Históricos

El histórico refleja acontecimientos pasados, la ventana (figura 4.8) muestra el funcionamiento del proceso en una fecha y hora indicadas.

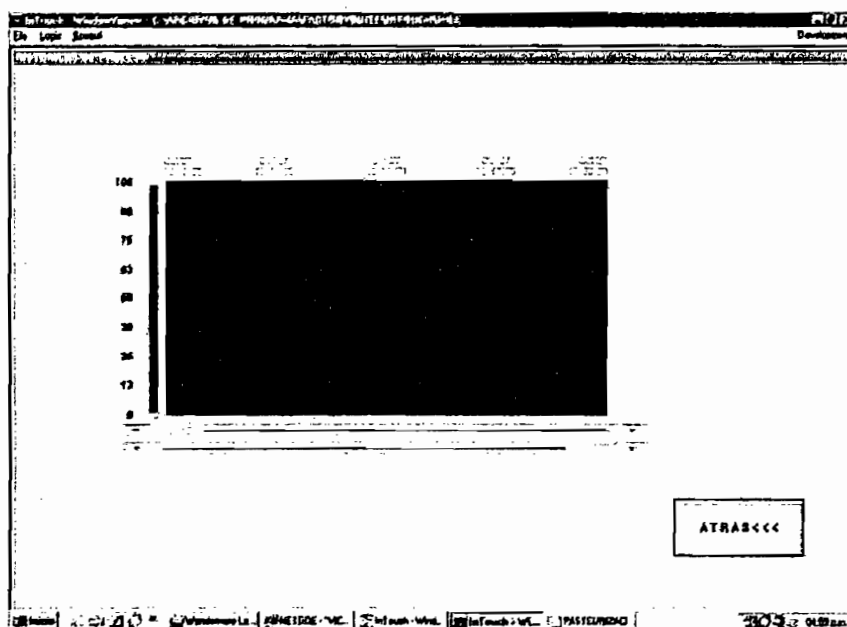


Figura 4.8 Ventana "HISTORICOS DE PROCESO"

Al dar doble clic sobre el fondo del histórico se puede setear la fecha y hora deseadas para conocer que sucedió en el proceso. Las líneas de distintos colores corresponden a las temperaturas registradas en ese lapso de tiempo.

#### 4.3.3.3 Alarmas

Las alarmas son condiciones de proceso, para indicar ausencia o tener precaución con cierta o ciertas variables. Los mensajes del evento alarmas son en forma de texto como se despliega en la figura 4.9.



#### 4.3.4 PROTECCIONES

La pantalla "PROTECCIONES" (figura 4.11) indica que se ha producido alguna falla en los motores. Esta señal viene de los relés térmicos de cada motor al PLC y luego envía el dato al computador para ser mostrada. Si una de las protecciones se activa el proceso se detiene inmediatamente.

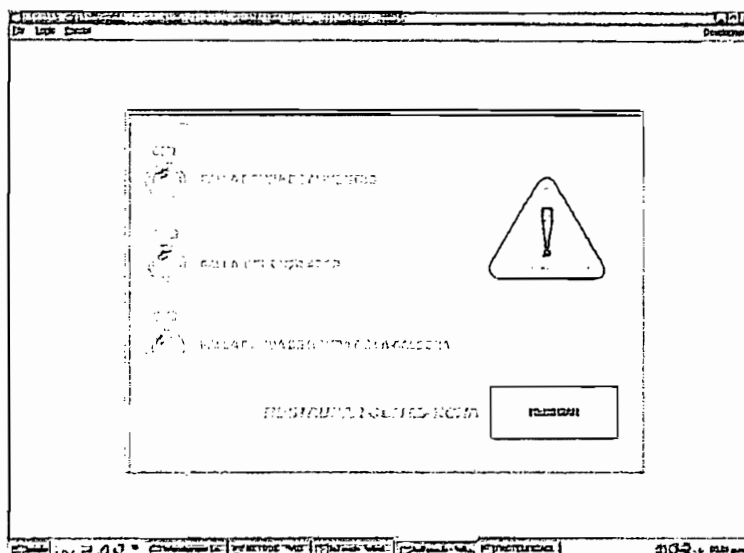


Figura 4.11 Ventana "PROTECCIONES"

#### 4.3.5 FIN DE PROCESO

Esta pantalla se despliega cuando un ciclo de trabajo ha concluido, es decir que se ha procesado la leche almacenada en el tanque de recolección de leche cruda (figura 4.12). El indicador que provoca esta acción es la señal enviada al PLC por el sensor de nivel mínimo del tanque de recolección de leche cruda



Figura 4.12 Ventana "FIN DE PROCESO"

#### 4.4 COMUNICACIÓN PLC – INTOUCH

La comunicación entre el PLC y el Intouch, utiliza un programa que permite recibir o enviar datos y se conoce como I/O Server, para los PLCs Siemens de la familia S7-200 se utiliza el I/O Server S7200 PPI (point to point interface).

El S7200 PPI es un software que trabaja bajo Windows y utiliza el protocolo DDE (Dynamic Data Exchange) para la comunicación interna con el Intouch.

El PLC se comunica con el I/O Server mediante el puerto serial RS - 232 del computador y mediante un servidor de protocolo S7200 PPI DDE Server. El enlace físico es con un cable multimaestro RS -232/PPI, este nos sirve tanto para programar como para hacer la interfaz (HMI) con el PLC y el computador.

Primeramente lo que debemos hacer es instalar este software en el computador, para luego configurarlo para su correcto funcionamiento.

Los requisitos de instalación de este paquete son:

1. Microsoft Windows 95, Windows 98 o Windows NT 4.0
2. 1.5 MB de espacio en el disco duro.
3. Disponer de un puerto serial RS 232.

#### 4.4.1 CONFIGURACIÓN DEL I/O SERVER

Una vez instalado el software se procede a su configuración como se describe a continuación:

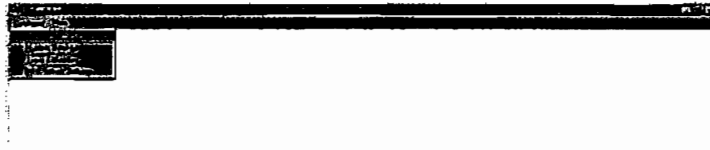


Figura 4.13 Ventana del programa S7200PPI

##### 4.4.1.1 Configuración del Puerto de Comunicaciones

La figura 4.14 muestra la ventana de configuración del puerto de comunicaciones, para ello se da click en Configure, se selecciona Com Ports Settings.

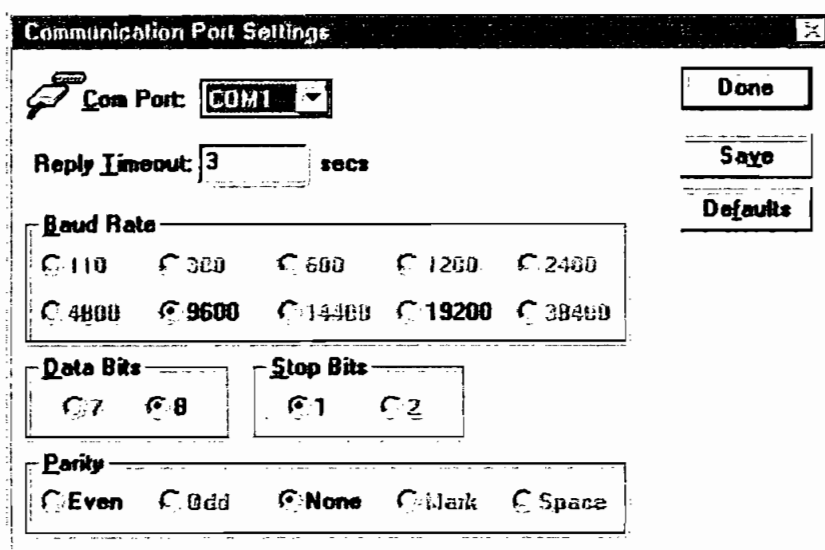


Figura 4.14 Ventana de configuración del puerto de comunicaciones

En esta ventana se selecciona el puerto serial a utilizarse (COM1), tiempo de respuesta Reply Timeout, velocidad, bits de datos, bits de parada y paridad, a continuación se guarda (Save) y se acepta con un clic en Done.

#### 4.4.1.2 Configuración del Topic

Para la configuración del Topic se accede a la siguiente ventana como se muestra en la figura 4.15

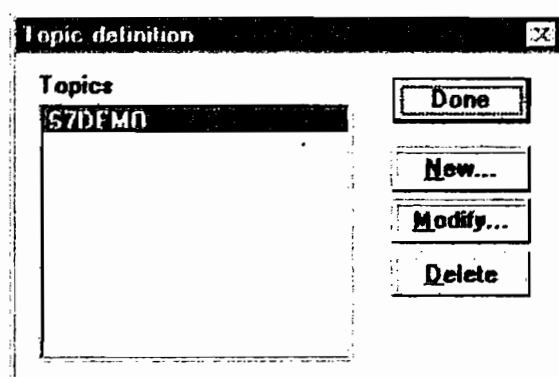


Figura 4.15 Ventana de configuración del Topic

Se despliegan cinco campos de diálogo, los cuales se describen en la siguiente tabla 4.2.

Campos del topic	Descripción
Topics	Selección de tópicos.
Done	Salir del diálogo de definición del tópico.
New	Despliega ventana de definición del tópico PPI.
Modify	Despliega ventana de definición del tópico PPI seleccionado para modificarlo
Delete	Borra el tópico seleccionado.

Tabla 4.2 Campos del Topic Definition

Para crear un t3pico damos clic en **New**, a continuaci3n se despliega la pantalla indicada en la figura 4.16

Figura 4.16 Ventana de creaci3n de un nuevo t3pico

<b>Topic Name</b>	Nombre asignado al Topic
<b>PLC Address</b>	Direcci3n del PLC
<b>Com Port</b>	Puerto de comunicaci3n del PLC
<b>Max Message Size</b>	M3ximo tama1o del paquete de bytes
<b>Update Interval</b>	Tiempo de actualizaci3n

#### 4.4.1.3 Configuraci3n del Servidor de Datos

Finalmente se debe configurar el DDE Server Settings tal y como se indica en la figura 4.17

Figura 4.17 Ventana de configuraci3n del servidor de datos.



El contador de tiempo de protocolo (Protocol Timer Tick) esta por defecto en 50 mS este tiempo puede ser menor o mayor haciendo que la comunicación sea muy rápida o muy lenta en el intercambio de datos. El casillero NetDDE es para activar la red de Wonderware automáticamente en este caso no se selecciona. En el casillero inferior se escribe la ruta donde esta instalado el I/O Server.

#### 4.4.2 CONFIGURACION DE ITEMS EN INTOUCH

Para poder leer o escribir datos en el PLC desde Intouch, es necesario que el dato sea definido como un tagname tipo I/O (discreto, entero, real, etc.).

Además se debe crear un *Access Name* el cual esta asociado a cada uno de los I/O tagnames del Intouch. *Access Name* es aquel que contiene la información del nombre de la aplicación (*Application Name*), y el nombre del tópico (*Topic Name*).

El *Application Name* corresponde al nombre de la aplicación con la que se va a comunicar el Intouch, en este caso el nombre es S7200PPI.

El *Topic Name* es el nombre genérico de la aplicación, para este caso S7DEMO.

Como se puede ver en la figura 4.18 es igual al *Access Name* del cuadro de diálogo y también debe ser igual al definido en el *Topic Definition* de configuración en el I/O Server.

Luego se selecciona el protocolo a utilizarse en este caso DDE (Dynamic Data Exchange), y se acepta.

Figura 4.18 Ventana de configuración del Access Name

Para indicar la dirección de memoria del dato que va a ser leído o escrito en el PLC se coloca en el casillero *Item* de la siguiente ventana que aparece en la figura 4.19

Figura 4.19 Ventana del I/O Tagname T5 utilizado para ver el dato temperatura en el Intouch

El *tagname* definido como T5 es tipo I/O Entero de sólo lectura, el *Access Name* S7DEMO como se indicó anteriormente y el *Item* VW20 que es la dirección donde se encuentra almacenado el dato en el PLC. Cabe indicar que el formato de la dirección corresponde a un formato establecido en el direccionamiento de datos a las distintas áreas de memoria del PLC.

## **CAPÍTULO 5**

## CAPÍTULO 5

### PUESTA EN MARCHA Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PASTEURIZADOR PROTOTIPO

El funcionamiento correcto del pasteurizador prototipo requiere de una secuencia de operaciones para la puesta en marcha de cada uno de sus componentes.

Por tal motivo se presenta una descripción detallada de los pasos a seguir, tal y como se muestra en la figura 5.1.

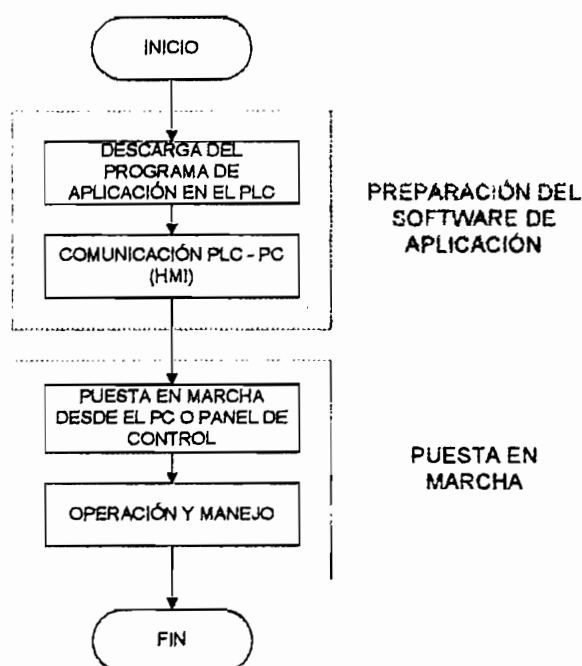


Figura 5.1 Pasos a seguir para la puesta en marcha del pasteurizador prototipo

#### 5.1 PREPARACIÓN DEL SOFTWARE DE APLICACIÓN

Previamente a la puesta en marcha del pasteurizador prototipo se debe descargar el programa de aplicación en la CPU del PLC y habilitar la comunicación PC – PLC para monitorear el proceso desde la HMI.

### 5.1.1 DESCARGA DEL PROGRAMA DE APLICACIÓN EN EL PLC SIEMENS S7-200 CPU224

Antes de descargar el programa de aplicación correspondiente al pasteurizador prototipo se debe instalar el programa STEP 7-MicroWin 32 que se encuentra en la carpeta "STEP 7" del CD "TESIS PASTEURIZADOR PROTOTIPO V1". Luego se siguen los pasos que se indican en la figura 5.2.

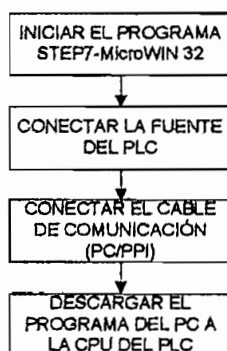


Figura 5.2 Pasos a seguir para la descarga del programa de aplicación en el PLC

Para iniciar el programa STEP7-MicroWIN 32 se da doble clic en el icono del escritorio y se despliega la ventana que se muestra en la figura 5.3.

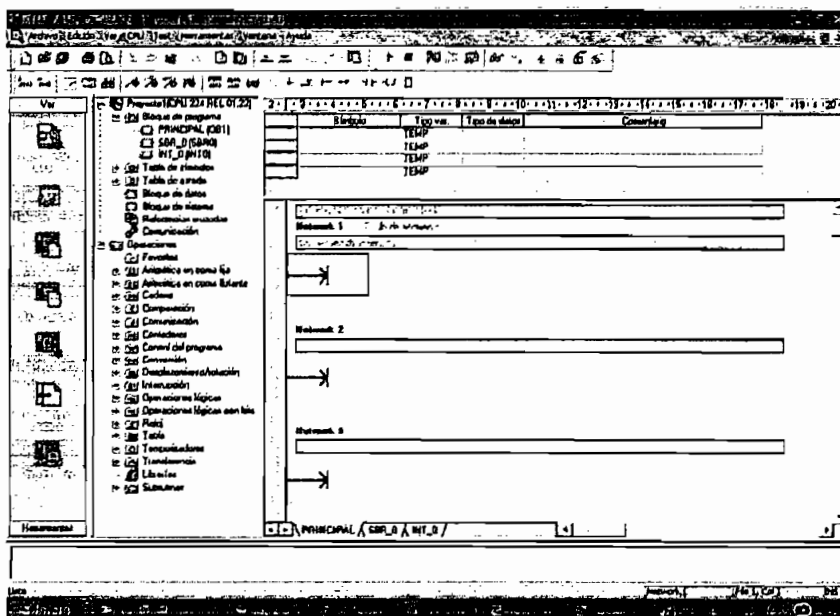


Figura 5.3 Ventana principal del programa STEP7 MicroWIN 32

A través del breaker F11-1, instalado dentro del panel de control, se alimenta al PLC con 110V de corriente alterna y se indica en la parte frontal por medio de un led amarillo si esta energizado.

Se debe conectar el cable de comunicación (PC/PPI) desde el puerto serial del computador a la terminal de comunicación (PORT 0) del PLC, como se indica en la figura 5.4.



Figura 5.4 Comunicación por medio del cable PC/PPI

Para descargar el programa desde el computador (PC) a la CPU del PLC se realiza lo siguiente:

- Abrir el archivo "PASTEURIZADOR", ubicado en la carpeta "Programa de Aplicación PLC" del CD "TESIS PASTEURIZADOR PROTOTIPO V1", desde el STEP7-MicroWIN 32.
- Verificar que el selector de modo RUN/STOP se encuentre en la posición TERM en la tapa frontal del PLC.
- Verificar los parámetros: Velocidad de transferencia (9.6Kbps), Modo (11 bits) y establecer la comunicación con el S7200 dando doble clic en "actualizar" en la ventana mostrada en la figura 5.5. Esta ventana se despliega al dar doble clic en el icono "comunicación" de la pantalla principal.

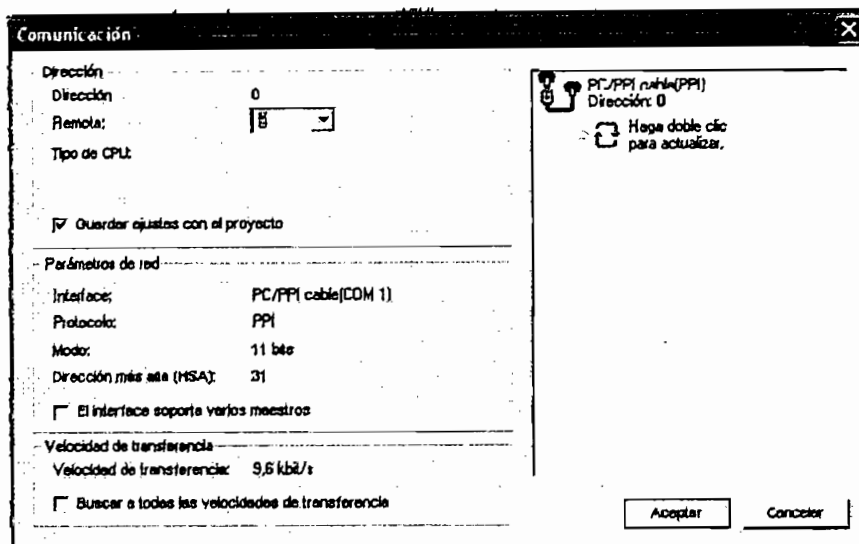


Figura 5.5 Ventana para establecer la comunicación con el PLC S7200

- En la barra de herramientas, se hace clic en el botón “cargar” y se despliega la ventana indicada en la figura 5.6.

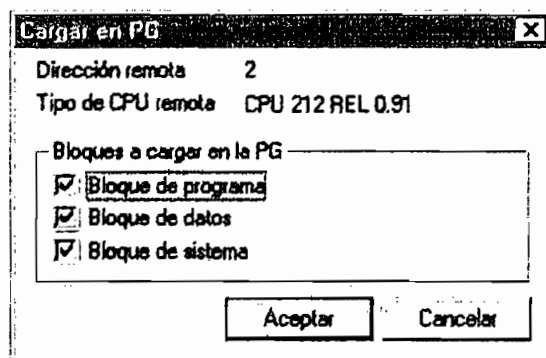


Figura 5.6 Carga del programa en CPU del PLC

- Se hace clic en el botón “Aceptar” para cargar los elementos del programa en el CPU del PLC.

### 5.1.2 COMUNICACIÓN PLC – PC (HMI)

Continuando con los pasos para la puesta en marcha del prototipo según la figura 5.1, la comunicación entre el PLC y el PC (HMI) debe seguir la siguiente secuencia:

- Prender el computador PC y el PLC.
- Instalar el programa S7200PPI ubicado en la carpeta "I/O Server" del CD "TESIS PASTEURIZADOR PROTOTIPO V1".
- Iniciar el programa S7200PPI desde la barra de "inicio/programas" como se ve en la figura 5.7.

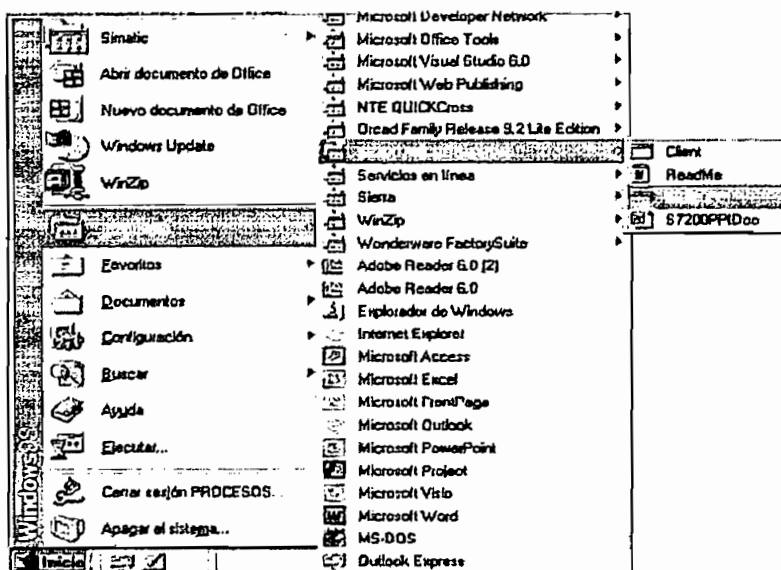


Figura 5.7 Ruta para abrir I/O Server S7200PPI

- Instalar el programa INTOUCH ubicado en la carpeta "INTOUCH" del CD "TESIS PASTEURIZADOR PROTOTIPO V1".
- Iniciar el programa Intouch (Application Manager) y seleccionar la aplicación "Pasteurización de leche", ver figura 5.8.

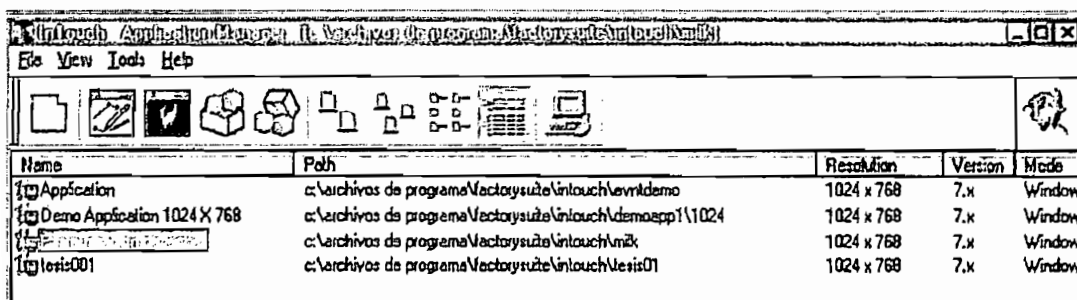


Figura 5.8 Ventana para abrir la aplicación desarrollada en INTOUCH

- Seleccionar el casillero "PRESENTACIÓN" y dar clic en OK en la figura 5.9.



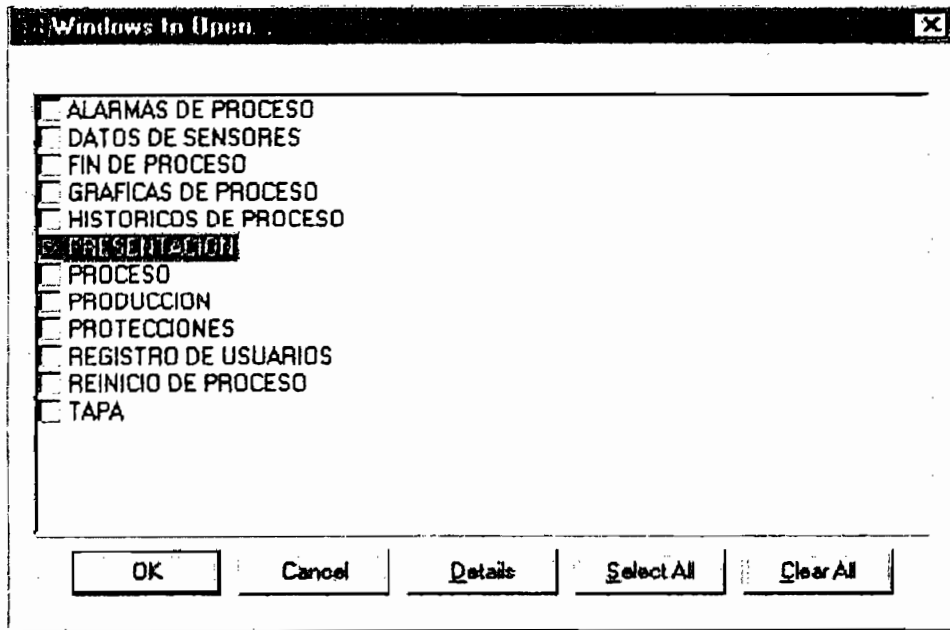


Figura 5.9 Ventanas desarrolladas en Intouch Window Maker

- En la opción Runtime ubicada en la parte superior derecha del Intouch Window Viewer de la figura 5.10, dar un clic para empezar a correr la aplicación.

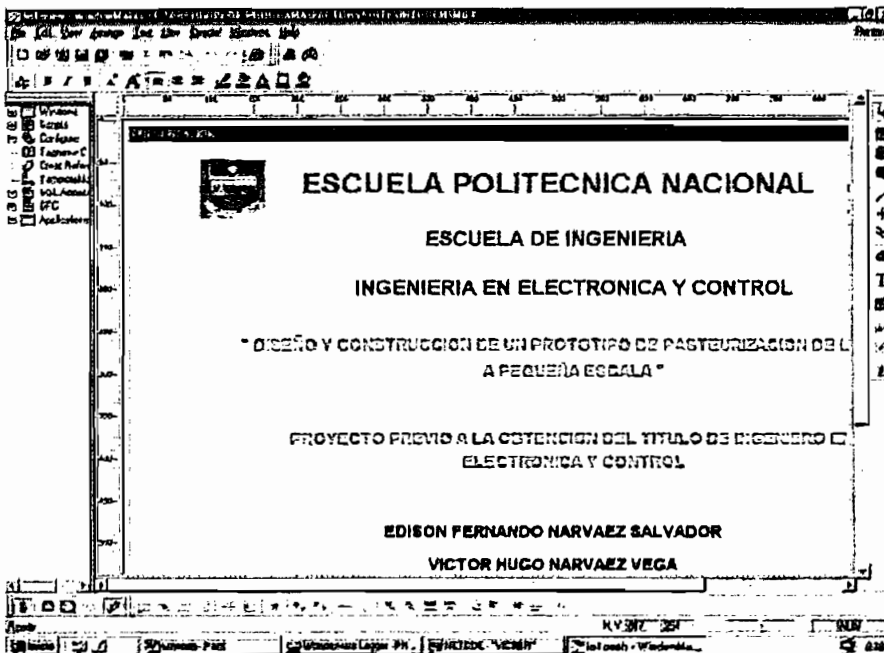


Figura 5.10 Ventana "PRESENTACIÓN" en Window Maker

## 5.2 PUESTA EN MARCHA DEL PROTOTIPO

### 5.2.1 PUESTA EN MARCHA DEL PROTOTIPO DESDE EL PC O PANEL DE CONTROL

Para poner en marcha al pasteurizador prototipo primero se conecta el switch general trifásico desde la red local de 220VAC 60Hz con neutro hacia la bornera principal de distribución. A continuación se encienden cada uno de los breakers ubicados en la parte superior interna del panel de control.

Luego se llena con agua fría hasta el nivel máximo indicado en cada uno de los siguientes tanques:

- Tanque del intercambiador de calor de la etapa de regeneración E10
- Tanque del intercambiador de calor de la etapa de enfriamiento E4
- Tanque de recolección de agua de la torre de enfriamiento E2

Poner al PLC en modo RUN por medio del selector de modo RUN/STOP ubicado en la tapa frontal del mismo. Si se colocó correctamente el led indicador se enciende.

### 5.2.2 OPERACIÓN Y MANEJO

El último paso a seguir para la puesta en marcha del pasteurizador prototipo, como se indicó en la figura 5.1, es operación y manejo que se detalla a continuación.

El sistema se puede operar desde el panel de control o desde el HMI implementado en el computador.

## PANEL DE CONTROL

Desde el panel de control el operador puede arrancar, detener o parar al proceso mediante los pulsadores de MARCHA/PARO instalados en la parte frontal.

Aquí también se visualiza el estado de sensores y actuadores mediante luces piloto, el valor de las variables temperatura y caudal de las etapas del proceso se indican en los displays de 7 segmentos y se seleccionan mediante el pulsador SELECCIÓN.

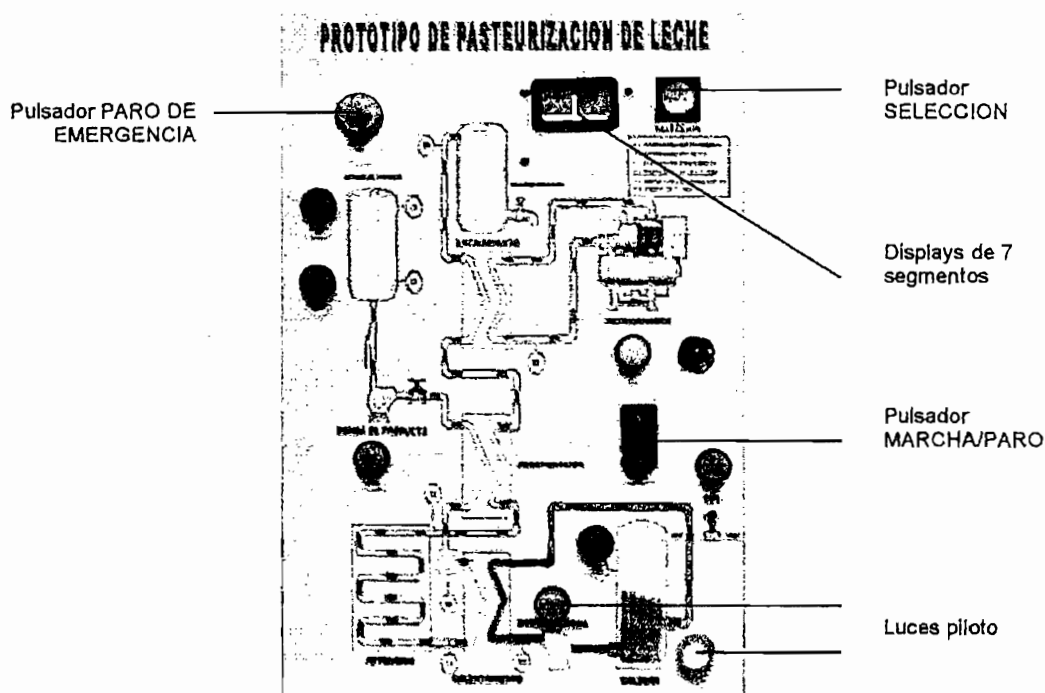


Figura 5.11 Componentes para el manejo del prototipo desde el Panel de Control

## COMPUTADOR (HMI)

Para operar el sistema desde el computador previamente el PLC debe estar conectado físicamente con el PC mediante un cable de comunicación PC/PPI como se indicó anteriormente. Además se debe ejecutar primero el programa que enlaza los datos del PLC al computador conocido como I/O SERVER (S7200PPI).

En la pantalla principal de monitoreo denominada "PROCESO", ver figura 5.14, se visualiza el funcionamiento del proceso de pasteurización de leche. Cabe indicar si el nivel de acceso es el máximo permitido, se puede arrancar y detener el proceso desde el computador caso contrario solo se lo puede monitorear.

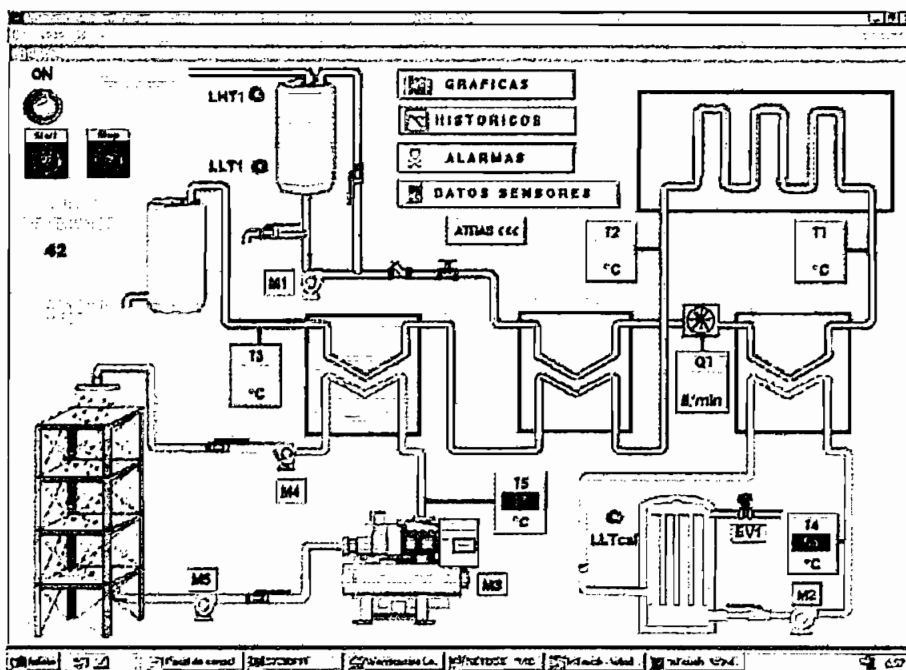


Figura 5.14 Pantalla Principal de Monitoreo del Proceso

### 5.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Para comprobar el correcto funcionamiento de la técnica de pasteurización HTST (Alta Temperatura Corto Tiempo), se realizaron las siguientes pruebas en cada una de las etapas del proceso de pasteurización de leche.

En la figura 5.15 se indican los límites de especificaciones establecidos por la técnica de pasteurización HTST para cada una de las etapas del proceso.

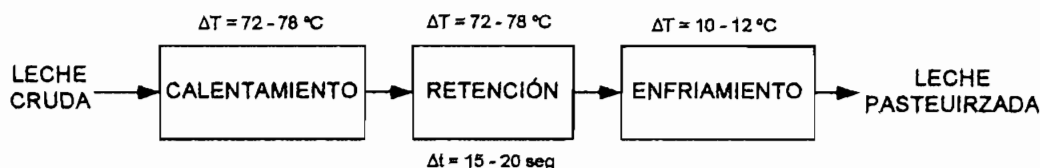


Figura 5.15 Límites de especificaciones de las Etapas del Proceso de Pasteurización HTST

Antes de iniciar el proceso de pasteurización se deben llegar a condiciones óptimas de temperatura, para ello se registraron valores de temperatura cada 5 minutos.

Los valores de temperatura y caudal en las etapas del proceso de pasteurización en funcionamiento normal se tomaron cada 1 minuto.

### 5.3.1 CONDICIONES INICIALES DE TEMPERATURA

Los datos recogidos en la medición de temperatura en el calentador a través de la termocupla T4 para tres pruebas se indican en la tabla 5.1 al igual que los datos calculados de promedio, varianza y desviación estándar.

El agua utilizada en el calentador parte desde una temperatura de 22°C aproximadamente para cada prueba.

#### TERMOCUPLA T4

TIEMPO (min)	PRUEBA 1 (°C)	PRUEBA 2 (°C)	PRUEBA 3 (°C)	PROMEDIO (°C)	VARIANZA	DESV STD (°C)
0	24	20	22	22	4,00	2,00
5	25	29	26	27	4,33	2,08
10	29	34	30	31	7,00	2,65
15	32	36	34	34	4,00	2,00
20	37	40	38	38	2,33	1,53
25	40	44	41	42	4,33	2,08
30	44	46	44	45	1,33	1,15
35	48	50	47	48	2,33	1,53
40	52	54	51	52	2,33	1,53
45	56	57	55	56	1,00	1,00
50	59	59	58	59	0,33	0,58
55	64	63	62	63	1,00	1,00
60	68	66	66	67	1,33	1,15
65	70	68	69	69	1,00	1,00
70	74	73	73	73	0,33	0,58
75	78	76	76	77	1,33	1,15
80	80	79	80	80	0,33	0,58
85	82	81	82	82	2,33	1,53
90	84	84	84	83	1,33	1,15
95	85	86	86	86	0,33	0,58

Tabla 5.1 Pruebas y resultados de la Temperatura del Calentador T4

De los resultados obtenidos en las tres pruebas realizadas se determina que el tiempo necesario para que el calentador llegue a la temperatura de 85°C es de aproximadamente 95 minutos.

A continuación se grafica la Temperatura en función del Tiempo de los datos tabulados en la tabla 5.1 para cada prueba realizada.

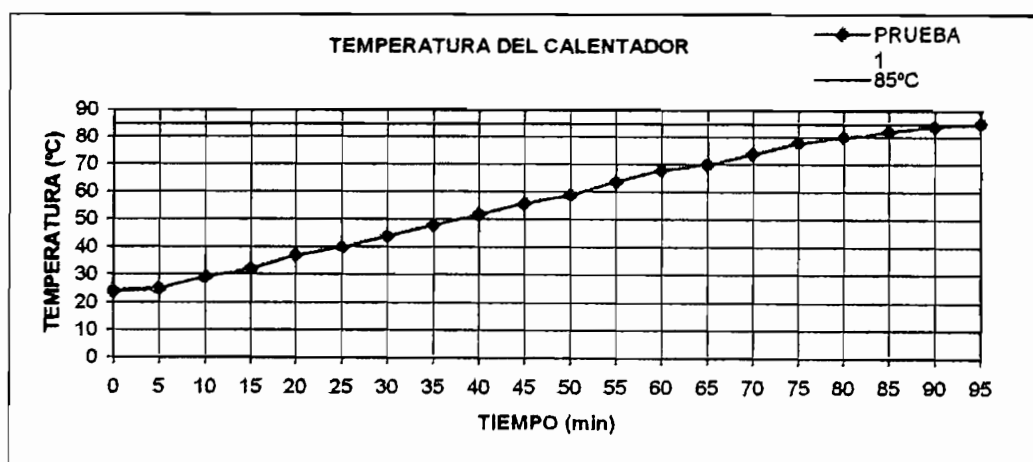


Figura 5.16 Grafica Temperatura del Calentador vs Tiempo Prueba 1

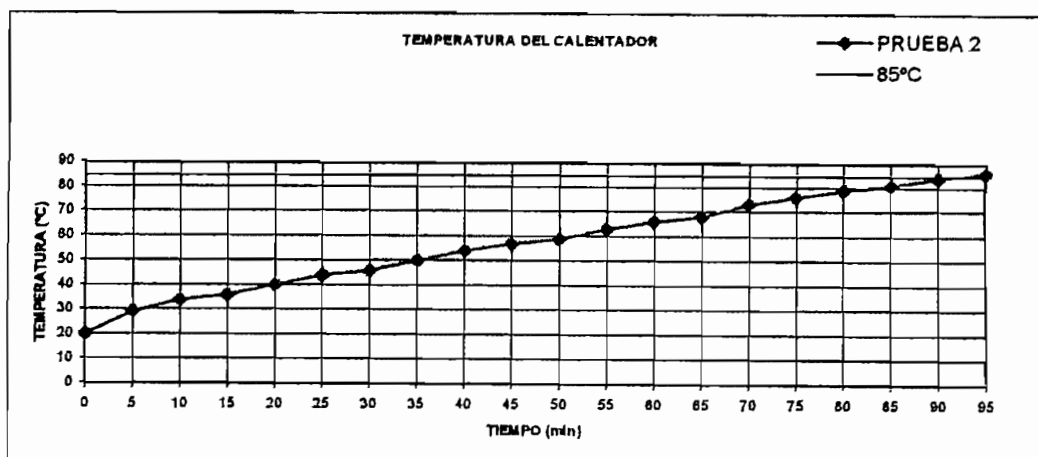


Figura 5.17 Grafica Temperatura del Calentador vs Tiempo Prueba 2

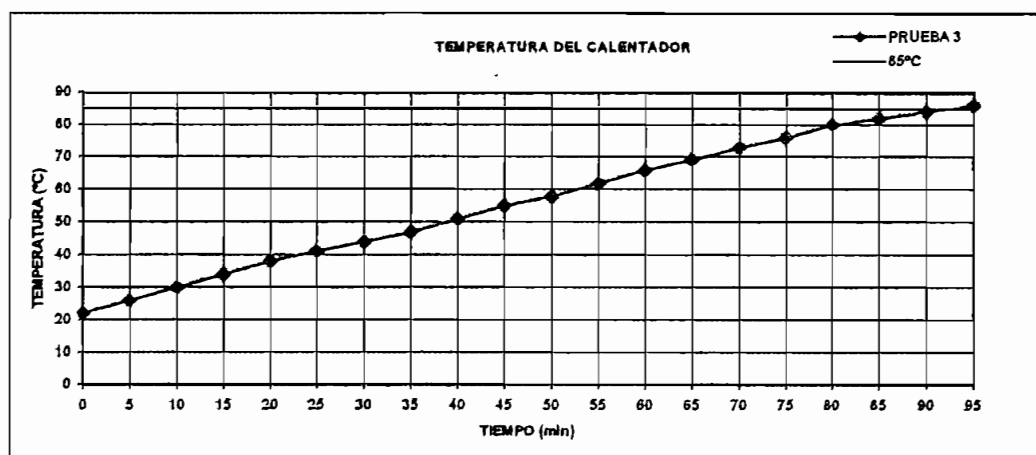


Figura 5.18 Gráfica Temperatura del Calentador vs Tiempo Prueba 3

De las gráficas se aprecia que la variación de la temperatura con respecto al tiempo presenta un crecimiento lineal y que para los tres casos se llega en 95 minutos aproximadamente a los 85 °C necesarios para empezar el proceso de pasteurización.

Los datos obtenidos en la medición de temperatura en el enfriador por medio de la termocupla T5 para tres pruebas se indican en la tabla 5.2 y los datos calculados de promedio, varianza y desviación estándar.

El agua empleada para el enfriador se bombea desde el tanque de recolección de la torre de enfriamiento E2 hacia el tanque del intercambiador de calor de la etapa de enfriamiento E4.

#### TERMOCUPLA T5

TIEMPO (min)	PRUEBA 1 (°C)	PRUEBA 2 (°C)	PRUEBA 3 (°C)	PROMEDIO (°C)	VARIANZA	DESV STD (°C)
0	18	16	16	17	1,33	1,15
5	18	17	16	17	1,00	1,00
10	18	17	16	17	1,00	1,00
15	18	17	17	17	0,33	0,58
20	18	17	17	17	0,33	0,58
25	18	17	17	17	0,33	0,58
30	18	17	17	17	0,33	0,58
35	18	17	17	17	0,33	0,58
40	18	17	16	17	1,00	1,00

continua...

viene...

TIEMPO (min)	PRUEBA 1 (°C)	PRUEBA 2 (°C)	PRUEBA 3 (°C)	PROMEDIO (°C)	VARIANZA	DESV STD (°C)
45	18	17	17	17	0,33	0,58
50	18	17	17	17	0,33	0,58
55	18	17	17	17	0,33	0,58
60	18	17	17	17	0,33	0,58
65	18	18	17	18	0,33	0,58
70	18	17	17	17	0,33	0,58
75	18	17	17	17	0,33	0,58
80	18	18	17	18	0,33	0,58
85	18	18	17	18	0,33	0,58
90	18	18	17	18	0,33	0,58
95	18	18	17	18	0,33	0,58

Tabla 5.2 Pruebas y resultados de la Temperatura del Enfriador T5

Los resultados entregados por las tres pruebas realizadas indican que el refrigerador enfría y mantiene al agua a una temperatura promedio de 17°C, durante el tiempo de 95 minutos (tiempo que necesita el calentador para llegar a condiciones iniciales de temperatura).

Las graficas que se indican a continuación muestran la Temperatura en función del Tiempo de los datos tabulados en la tabla 5.2 para cada prueba realizada.

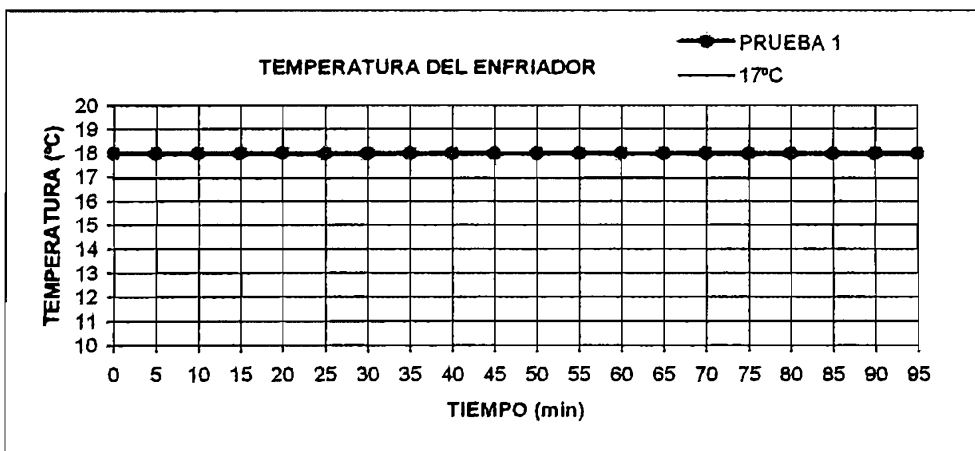


Figura 5.19 Grafica Temperatura del Enfriador vs Tiempo Prueba 1



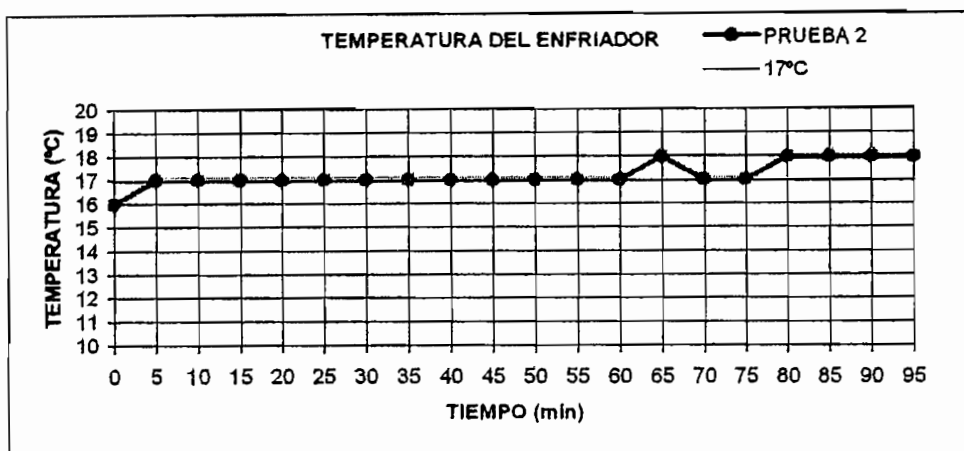


Figura 5.20 Grafica Temperatura del Enfriador vs Tiempo Prueba 2

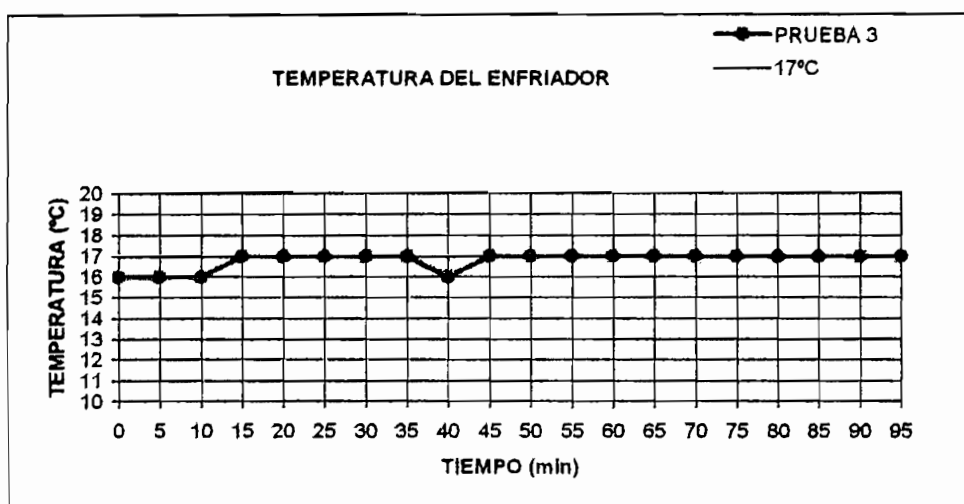


Figura 5.21 Grafica Temperatura del Enfriador vs Tiempo Prueba 3

Las gráficas correspondientes a la temperatura del enfriador en función del tiempo nos dan a conocer que el sistema trata de mantener una temperatura constante de 17 °C, en todo el volumen de agua contenida en el tanque de recolección de la torre de enfriamiento E4.

### 5.3.2 TEMPERATURA EN LA ETAPA DE CALENTAMIENTO

Para verificar el funcionamiento de esta etapa se registran los datos de temperatura de las termocuplas T1 y T4 ubicadas en el intercambiador de calentamiento y el calentador respectivamente (Tablas 5.3 y 5.4). De igual forma

se consideran tres pruebas y se calcula el promedio, varianza y desviación estándar.

#### TERMOCUPLA T1

TIEMPO (min)	PRUEBA 1 (°C)	PRUEBA 2 (°C)	PRUEBA 3 (°C)	PROMEDIO (°C)	VARIANZA	DESV STD (°C)
95	80	79	78	79	1,00	1,00
96	78	77	76	77	1,00	1,00
97	77	75	75	76	1,33	1,15
98	76	75	74	75	1,00	1,00
99	75	74	73	74	1,00	1,00
100	74	73	72	73	1,00	1,00
101	73	72	72	72	0,33	0,58
102	72	71	71	71	0,33	0,58
<b>PROMEDIO</b>	<b>75,6</b>	<b>74,5</b>	<b>73,9</b>	<b>75</b>	<b>0,88</b>	<b>0,91</b>
<b>ERROR(%)</b>	<b>0,8</b>	<b>0,7</b>	<b>1,5</b>	<b>0,0</b>		

Tabla 5.3 Pruebas y resultados de la Temperatura T1 de la Etapa de Calentamiento

#### TERMOCUPLA T4

TIEMPO (min)	PRUEBA 1 (°C)	PRUEBA 2 (°C)	PRUEBA 3 (°C)	PROMEDIO (°C)	VARIANZA	DESV STD (°C)
95	89	88	87	88	1,00	1,00
96	88	87	86	87	1,00	1,00
97	86	85	84	85	1,00	1,00
98	82	81	80	81	1,00	1,00
90	81	80	78	80	2,33	1,53
100	79	78	76	78	2,33	1,53
101	77	76	75	76	1,00	1,00
102	76	75	74	75	1,00	1,00

Tabla 5.4 Pruebas y resultados de la Temperatura T4 de la Etapa de Calentamiento

De acuerdo a la desviación estándar calculada en la tabla anterior y tomando el promedio como error tenemos:

$$\text{Temperatura de Calentamiento} = 75 \pm 0.91 \text{ } ^\circ\text{C}$$

De donde los 0.91°C representan el 1.21% de error. Para la etapa de calentamiento el error máximo obtenido es del 1.5% que equivale a una banda de tolerancia desde LIC = 73.88°C (Límite Inferior de Control) hasta LSC = 76.13°C (Límite Superior de Control)

Seguidamente se procede a graficar estos valores de temperatura en función del tiempo.

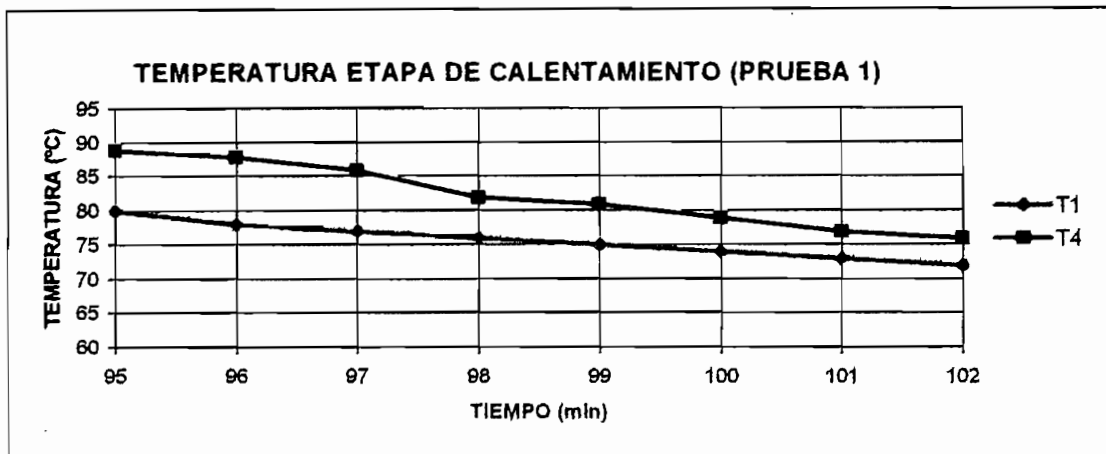


Figura 5.22 Grafica Temperatura de la Etapa de Calentamiento Prueba 1

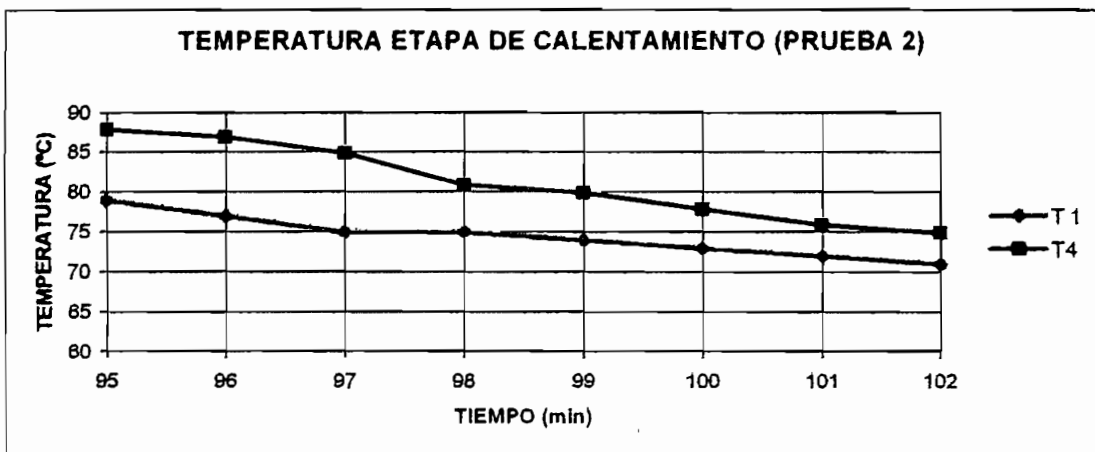


Figura 5.23 Grafica Temperatura de la Etapa de Calentamiento Prueba 2

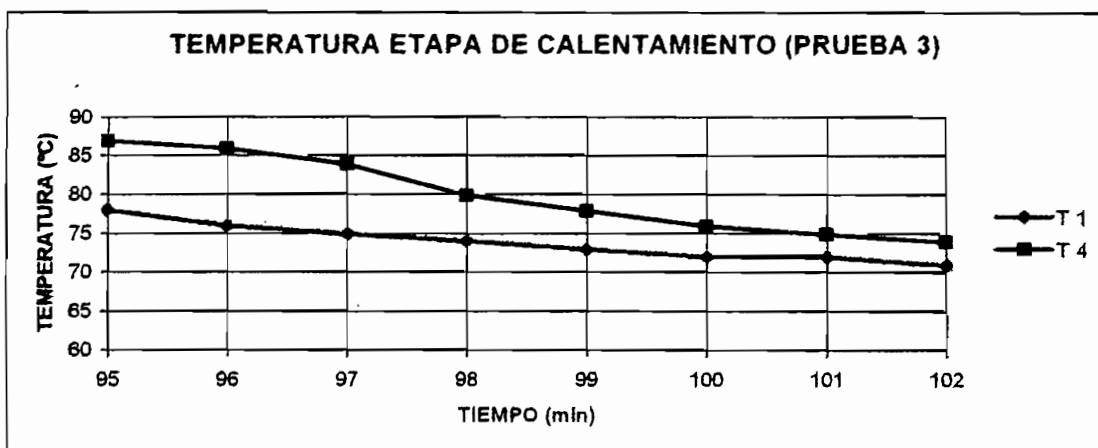


Figura 5.24 Grafica Temperatura de la Etapa de Calentamiento Prueba 3

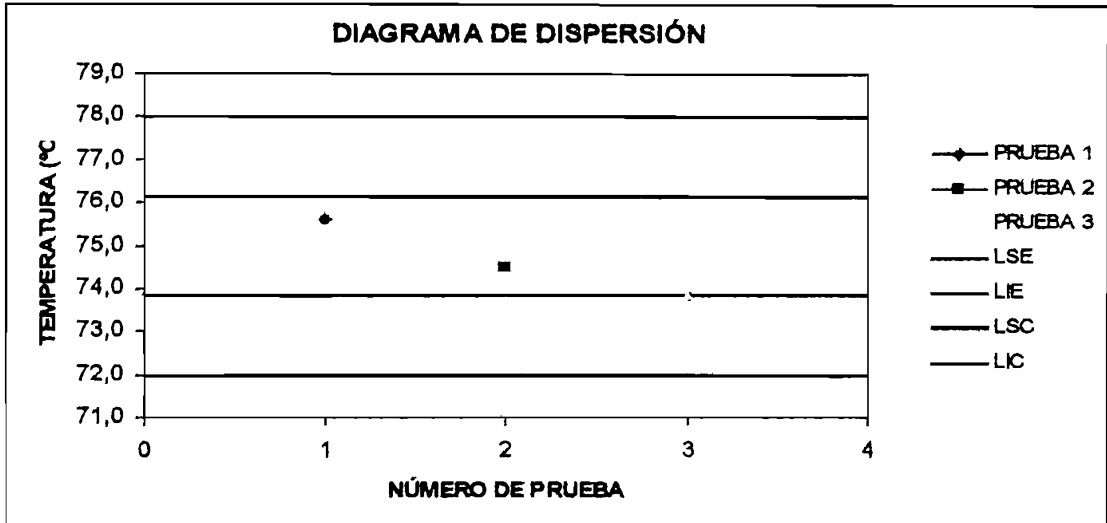


Figura 5.25 Diagrama de Dispersión Etapa de Calentamiento

De las graficas Temperatura vs Tiempo se determina que el tiempo de operación  $T_{op}$  para un ciclo de trabajo es de 7 minutos. La figura 5.25 muestra el diagrama de dispersión de cada prueba realizada, como se puede observar las mediciones están dentro de la banda de tolerancia (LSC y LIC). Así mismo se comprueba que la banda de tolerancia esta dentro de la banda de especificaciones dada por LSE = 78 °C (Límite Superior de Especificación) y LIE = 72 °C (Límite Inferior de Especificación) de la técnica de pasteurización HTST.

Debido a la transferencia de calor durante este intervalo de tiempo, la temperatura del agua del calentador pierde 10 °C aproximadamente.

### 5.3.3 TEMPERATURA EN LA ETAPA DE RETENCION

En esta etapa se utilizan las termocuplas T1 y T2, ubicadas a la salida del intercambiador de calentamiento y del retenedor de calor respectivamente, para comprobar que se mantiene la temperatura con que la leche sale del serpentín de calentamiento, dentro del rango establecido por la técnica de pasteurización HTST (Alta Temperatura Corto Tiempo).

Los datos tomados se indican en las tablas 5.5 y 5.6 para las termocuplas T1 y T2 respectivamente, así mismo se calcula el valor promedio, varianza y la desviación estándar.

### TERMOCUPLA T1

TIEMPO (min)	PRUEBA 1 (°C)	PRUEBA 2 (°C)	PRUEBA 3 (°C)	PROMEDIO (°C)	VARIANZA	DESV STD (°C)
95	80	79	78	79	1,00	1,00
96	78	77	76	77	1,00	1,00
97	77	75	75	76	1,33	1,15
98	76	75	74	75	1,00	1,00
99	75	74	73	74	1,00	1,00
100	74	73	72	73	1,00	1,00
101	73	72	72	72	0,33	0,58
102	72	71	71	71	0,33	0,58
<b>PROMEDIO</b>	<b>75,6</b>	<b>74,5</b>	<b>73,9</b>	<b>75</b>	<b>0,88</b>	<b>0,91</b>
<b>ERROR(%)</b>	<b>0,8</b>	<b>0,7</b>	<b>1,5</b>	<b>0,0</b>		

Tabla 5.5 Pruebas y resultados de la Temperatura T1 de la Etapa de Retención

### TERMOCUPLA T2

TIEMPO (min)	PRUEBA 1 (°C)	PRUEBA 2 (°C)	PRUEBA 3 (°C)	PROMEDIO (°C)	VARIANZA	DESV STD (°C)
95	78	77	76	77	1,00	1,00
96	76	75	74	75	1,00	1,00
97	75	74	74	74	0,33	0,58
98	74	73	73	73	0,33	0,58
99	74	73	72	73	1,00	1,00
100	73	72	72	72	0,33	0,58
101	72	71	71	71	0,33	0,58
102	72	71	71	71	0,33	0,58
<b>PROMEDIO</b>	<b>74,3</b>	<b>73,25</b>	<b>72,9</b>	<b>73,5</b>	<b>0,58</b>	<b>0,74</b>
<b>ERROR%</b>	<b>1,0</b>	<b>2,3</b>	<b>2,8</b>	<b>2,1</b>		

Tabla 5.6 Pruebas y resultados de la Temperatura T2 de la Etapa de Retención

De acuerdo a la desviación estándar calculada en la tabla anterior y tomando el promedio como error tenemos:

$$\text{Temperatura de Retención} = 75 \pm 0.74 \text{ } ^\circ\text{C}$$

De donde los  $0.74^{\circ}\text{C}$  representan el 0.99% de error. Para la etapa de retención el error máximo obtenido es del 2.8% que equivale a una banda de tolerancia desde LIC =  $72.9^{\circ}\text{C}$  (Límite Inferior de Control) hasta LSC =  $77.1^{\circ}\text{C}$  (Límite Superior de Control)

A continuación se grafican los datos tabulados en las tablas anteriores.

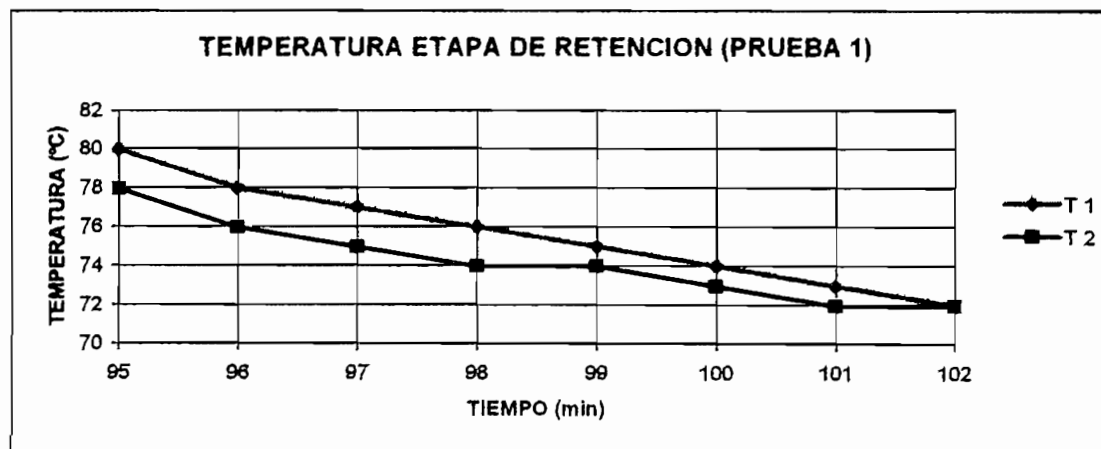


Figura 5.26 Grafica Temperatura de la Etapa de Retención Prueba 1

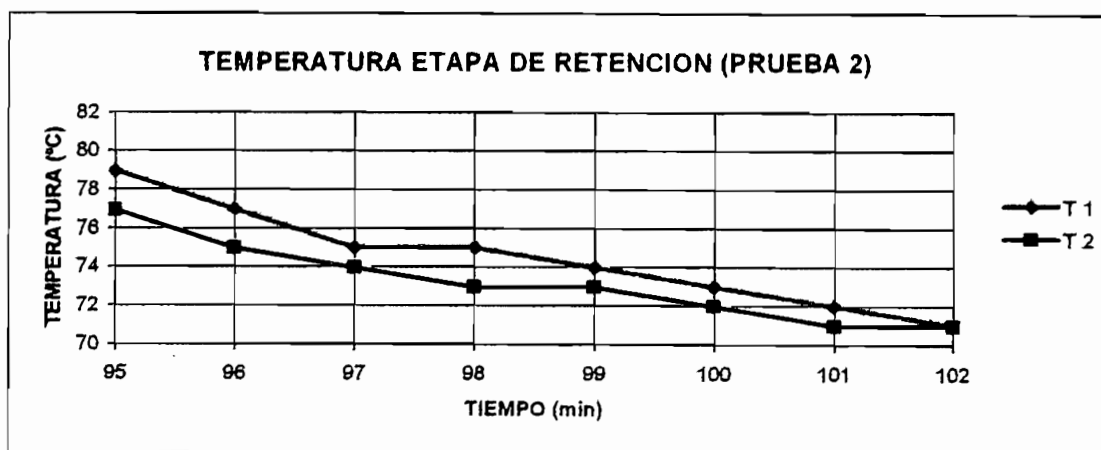


Figura 5.27 Grafica Temperatura de la Etapa de Retención Prueba 2

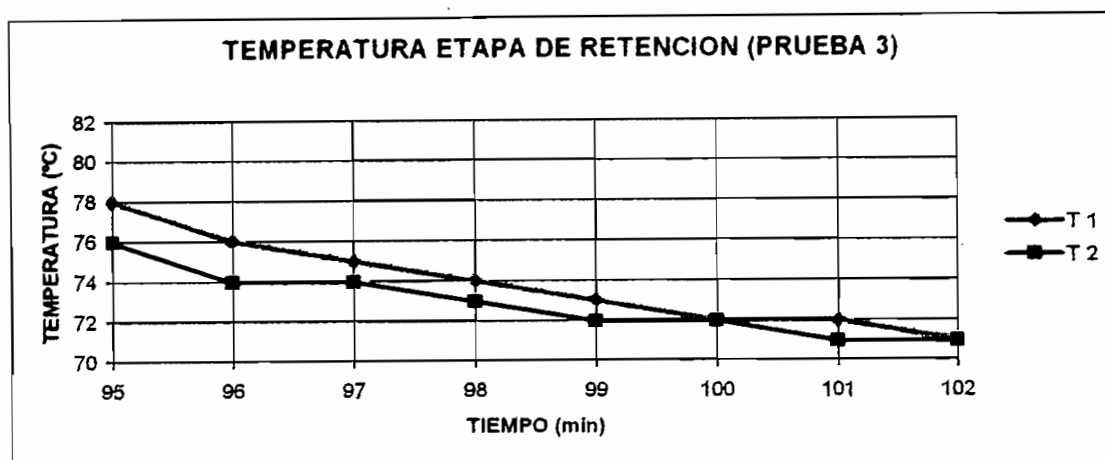


Figura 5.28 Grafica Temperatura de la Etapa de Retención Prueba 3

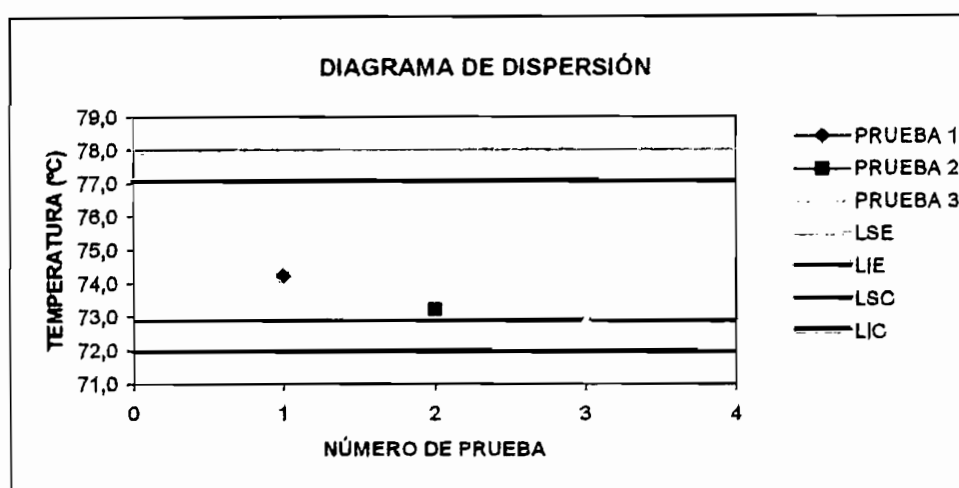


Figura 5.29 Diagrama de Dispersión Etapa de Retención

La figura 5.29 muestra el diagrama de dispersión de cada prueba realizada, como se puede observar las mediciones están dentro de la banda de tolerancia (LSC y LIC). Así mismo se comprueba que la banda de tolerancia está dentro de la banda de especificaciones dada por LSE = 78 °C (Límite Superior de Especificación) y LIE = 72 °C (Límite Inferior de Especificación) de la técnica de pasteurización HTST.

Para estimar el tiempo de retención  $t_{ret}$  se van a considerar los siguientes parámetros:

$V$  = Volumen a lo largo del serpentín retenedor

$Q$  = Caudal con que circula la leche (2 l/min)

$D$  = Diámetro interno de la tubería (0.0105m)

$L$  = Longitud del serpentín Retenedor de calor (6.12m)

$$t_{ret} = \frac{V}{Q} = \frac{D^2 \times \pi \times L}{4Q} = \frac{(0.0105)^2 \times \pi \times 6.12}{4(2 \times 10^{-3})} \quad \text{Ec 5.1}$$

$$t_{ret} = 0.26 \text{ min} = 15.9 \text{ seg}$$

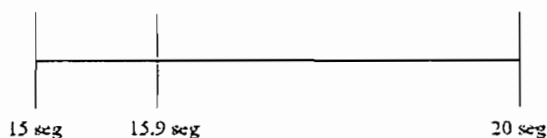


Figura 5.30 Rango de tiempo de retención para la técnica de pasteurización HTST

De la figura anterior se determina que el tiempo de retención estimado es de 15.9 segundos y se encuentra dentro del rango requerido por la técnica de pasteurización HTST (Alta Temperatura Corto Tiempo).

### 5.3.4 TEMPERATURA EN LA ETAPA DE ENFRIAMIENTO

Para la etapa de enfriamiento se dispone de las termocupas T3 ubicada a la salida del serpentín de enfriamiento y de la termocupa T5 ubicada en el tanque E4. Los valores de temperatura se registran en las tablas 5.7 y 5.8 respectivamente, además se calcula el valor promedio, la varianza y la desviación estándar.

#### TERMOCUPLA T3

TIEMPO (min)	PRUEBA 1 (°C)	PRUEBA 2 (°C)	PRUEBA 3 (°C)	PROMEDIO (°C)	VARIANZA	DESV STD (°C)
95	18	17	17	17	0,33	0,58
96	19	17	17	18	1,33	1,15
97	19	18	18	18	0,33	0,58
98	19	20	18	19	1,00	1,00
99	22	20	19	20	2,33	1,53
100	24	22	22	23	1,33	1,15
101	24	24	22	23	1,33	1,15
102	24	24	22	23	1,33	1,15

Tabla 5.7 Pruebas y resultados de la Temperatura T3 de la Etapa de Enfriamiento



### TERMOCUPLA T5

TIEMPO (min)	PRUEBA 1 (°C)	PRUEBA 2 (°C)	PRUEBA 3 (°C)	PROMEDIO (°C)	VARIANZA	DESV STD (°C)
95	18	18	17	18	0,33	0,58
96	22	20	20	21	1,33	1,15
97	24	20	20	21	5,33	2,31
98	24	22	21	22	2,33	1,53
99	26	22	23	24	4,33	2,08
100	26	23	24	24	2,33	1,53
101	26	25	24	25	1,00	1,00
102	26	26	25	26	0,33	0,58

Tabla 5.8 Pruebas y resultados de la Temperatura T5 de la Etapa de Enfriamiento

El comportamiento en la etapa de enfriamiento se indica a continuación.

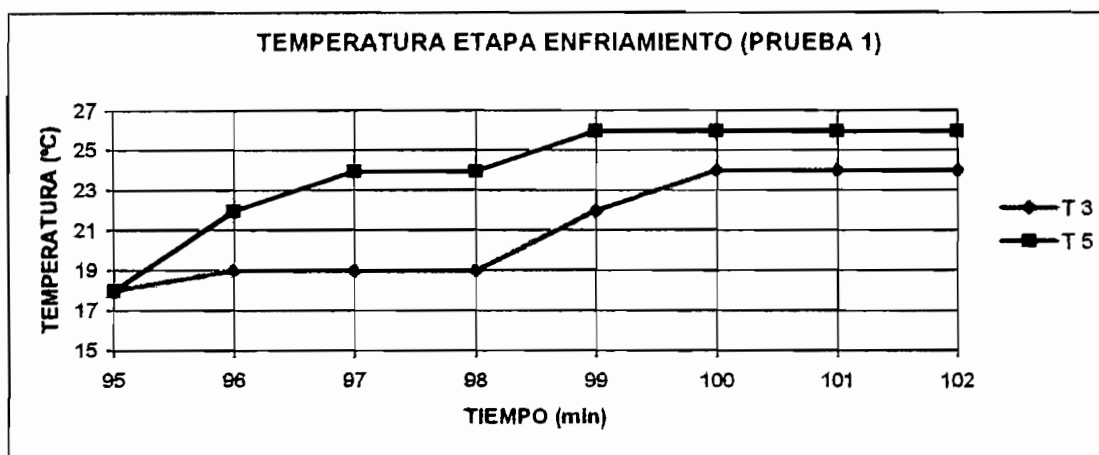


Figura 5.31 Grafica Temperatura de la Etapa de Enfriamiento Prueba 1

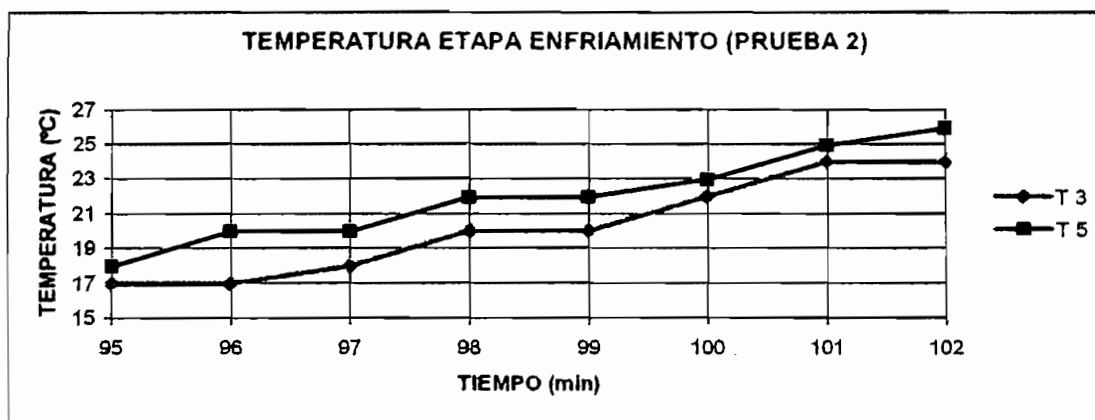


Figura 5.32 Grafica Temperatura de la Etapa de Enfriamiento Prueba 2

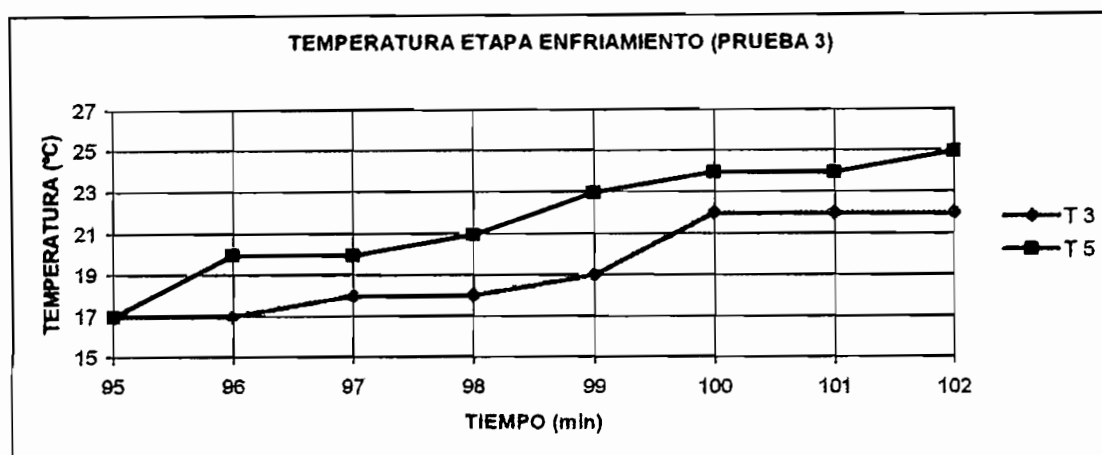


Figura 5.33 Grafica Temperatura de la Etapa de Enfriamiento Prueba 3

Al observar el comportamiento en las gráficas anteriores de la etapa de enfriamiento notamos que la temperatura de la leche (T3) parte de 17 °C y llega a un máximo de 24 °C aproximadamente durante el tiempo de operación establecido para un ciclo de trabajo (7 minutos). Este rango de temperatura obtenido no corresponde al rango requerido por la técnica de pasteurización HTST (Alta Temperatura Corto Tiempo) para la etapa de enfriamiento que va de 10 a 12 °C.

Esto es debido a que el volumen de la masa de agua utilizada como medio de intercambio de calor en la etapa de enfriamiento no llega al valor de 4°C, temperatura establecida como dato para el cálculo del intercambiador de calor de dicha etapa.

Con el equipo disponible en el laboratorio no es posible alcanzar el rango de temperatura. Por tal razón es necesario tener un equipo de mayor capacidad de enfriamiento.

### 5.3.5 CAUDAL DEL PRODUCTO

Para verificar si existe variación del caudal con el que la leche circula por todo el sistema se mide el voltaje obtenido a la salida de la etapa de acondicionamiento

del sensor Q1, luego se encuentra el caudal correspondiente a estos valores con la ayuda de la gráfica del sensor indicada en el Anexo 3.

Para la prueba realizada, los datos obtenidos se tomaron cada 1 minuto durante el tiempo de operación  $T_{op}$  del proceso y se indican en la tabla 5.9.

Cabe señalar que al arrancar el proceso de pasteurización el caudal inicial es 0 l/min y llega rápidamente al valor necesario de 2 l/min (antes de 1 minuto).

### SENSOR DE CAUDAL Q1

TIEMPO (min)	Voltaje Acondicionado (V)	CAUDAL (l/min)
95	0	0,0
96	0,83	2,1
97	0,8	2,0
98	0,77	1,9
99	0,82	2,0
100	0,79	2,0
101	0,76	1,9
102	0,8	2,0
<b>PROMEDIO</b>	0,80	1,97
<b>DESV STD</b>	0,025	0,072
<b>ERROR %</b>	1,276	1,615

Tabla 5.9 Pruebas y resultados del caudal de producto Q1

De acuerdo a la desviación estándar calculada en la tabla anterior y tomando el promedio, como error tenemos:

$$\text{Caudal} = 2 \pm 0.072 \text{ (l/min)}$$

De donde los 0.072 l/min representan el 3.6 % de error.

La grafica del caudal en función del tiempo se muestra en la figura 5.33.

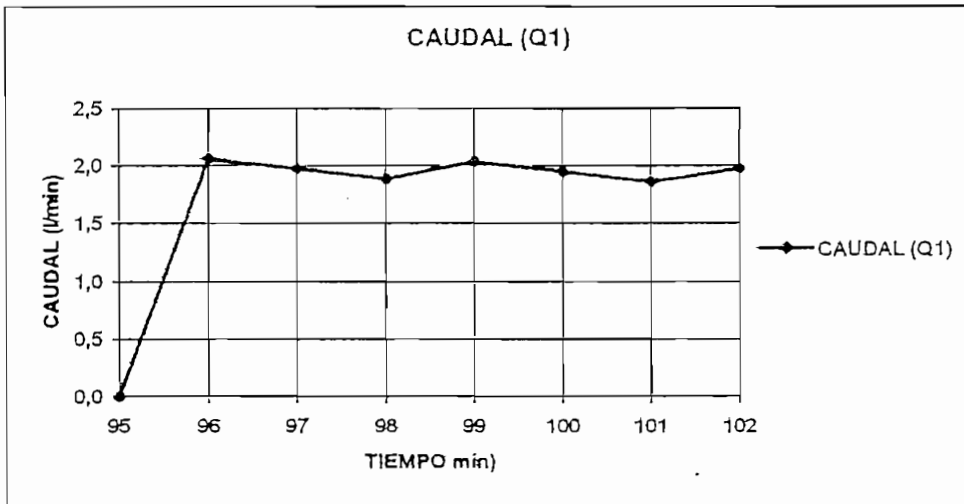


Figura 5.34 Grafica del caudal del producto

Como se puede ver la variación del caudal es muy pequeña en todo el tiempo que dura el ciclo de trabajo (7 minutos).

### 5.3.6 TIEMPO DE RECUPERACIÓN DE TEMPERATURA

El tiempo de recuperación de temperatura  $T_m$ , es el tiempo necesario para que el sistema alcance nuevamente los valores de temperatura requeridos para iniciar otro ciclo de trabajo.

La siguiente tabla recoge los datos obtenidos para encontrar el tiempo de recuperación de temperatura.

#### TERMOCUPLA T4

TIEMPO (min)	PRUEBA 1 (°C)	PRUEBA 2 (°C)	PRUEBA 3 (°C)	PROMEDIO (°C)	VARIANZA	DESV STD (°C)
102	76	75	74	75	1,00	1,00
107	78	77	77	77	0,33	0,58
112	80	79	79	79	0,33	0,58
117	82	81	82	82	0,33	0,58
122	84	84	84	84	0,00	0,00
127	85	86	86	86	0,33	0,58

Tabla 5.10 Pruebas y resultados del Tiempo de Recuperación de Temperatura

El tiempo de recuperación se determina a partir de las siguientes gráficas.

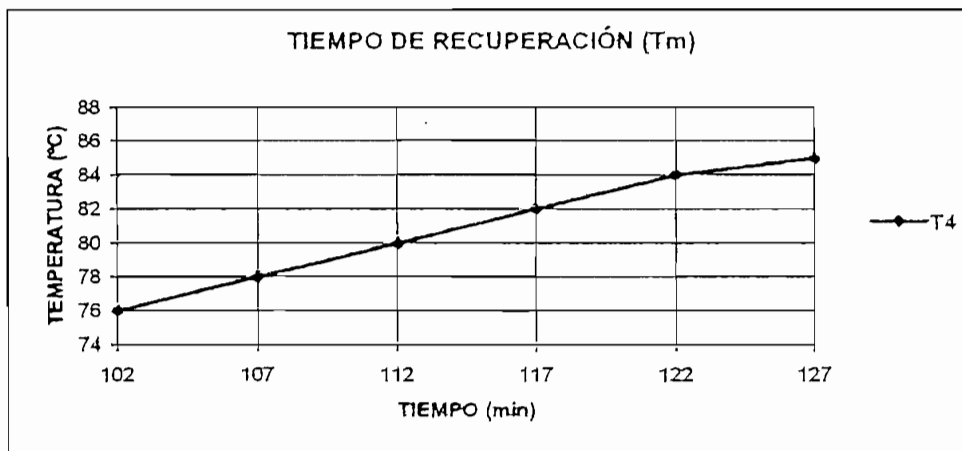


Figura 5.35 Grafica Temperatura del Calentador vs Tiempo de Recuperación Prueba 1

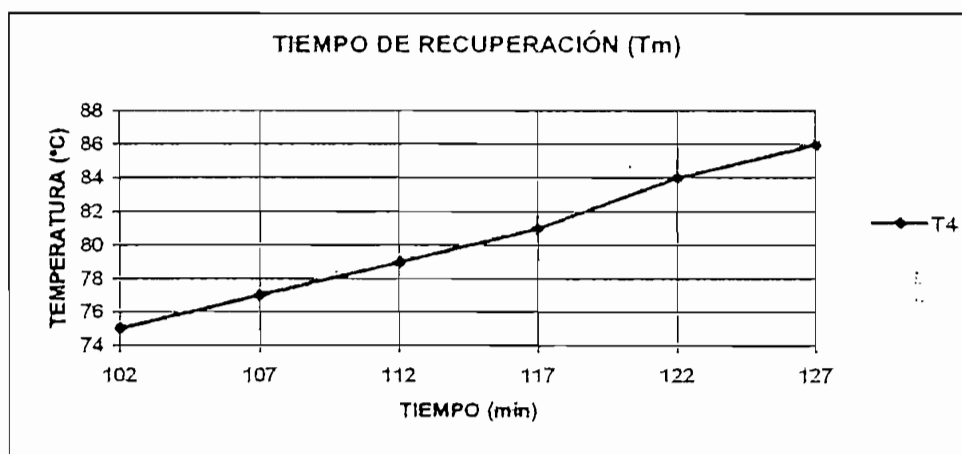


Figura 5.36 Grafica Temperatura del Calentador vs Tiempo de Recuperación Prueba 2

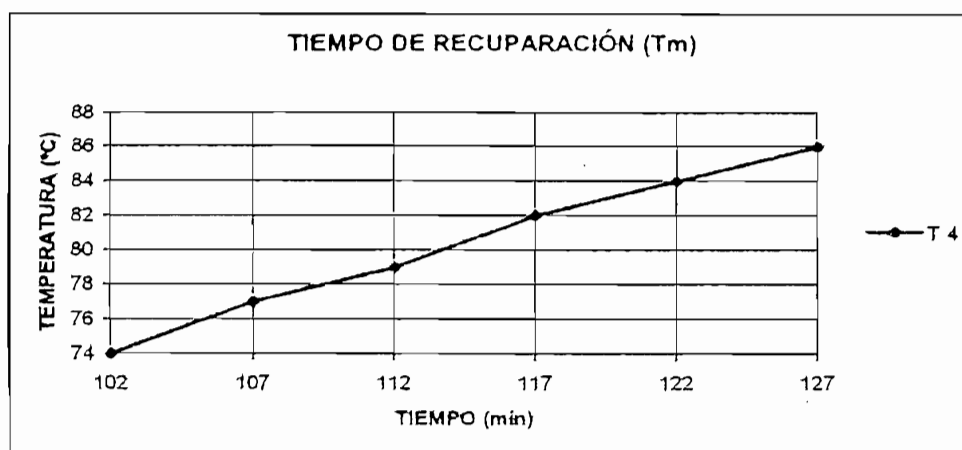


Figura 5.37 Grafica Temperatura del Calentador vs Tiempo de Recuperación Prueba 3

El tiempo de recuperación de temperatura  $T_m$  es de aproximadamente 25 minutos como se puede observar en las figuras anteriores.

### 5.3.7 ESTIMADO DE PRODUCCIÓN

La Producción es un parámetro que define la eficiencia o rentabilidad de un proceso. Para este caso se calcula con la siguiente fórmula:

$$producción = \frac{\#litros}{T_{PT}} \times 60 \times HT \quad \text{Ec 5.2}$$

$\# litros$  = Son los litros producidos en un ciclo de trabajo

$HT$  = Horas de trabajo

$T_{PT}$  = Tiempo de proceso total, es la suma del tiempo de operación  $T_{op}$  y el tiempo de recuperación de temperatura  $T_m$ , expresado en minutos.

$$T_{PT} = T_{op} + T_m \quad \text{Ec 5.3}$$

En este pasteurizador prototipo el tiempo de proceso total:  $T_{PT}$  es igual a:

$$T_{PT} = 7 \text{ min} + 25 \text{ min} \quad \text{Ec 5.4}$$

$$T_{PT} = 32 \text{ min} \quad \text{Ec 5.5}$$

Aplicando la ecuación Ec 5.2 para una hora de trabajo la producción es:

$$producción = \frac{14 \text{ litros}}{32 \text{ min}} \times 60 \times 1h \quad \text{Ec 5.6}$$

$$producción = 26,25 \text{ litros} \quad \text{Ec 5.7}$$

El siguiente gráfico muestra un estimado de producción para una hora, un día (8 horas), una semana (5 días) y un mes (4 semanas) de trabajo.

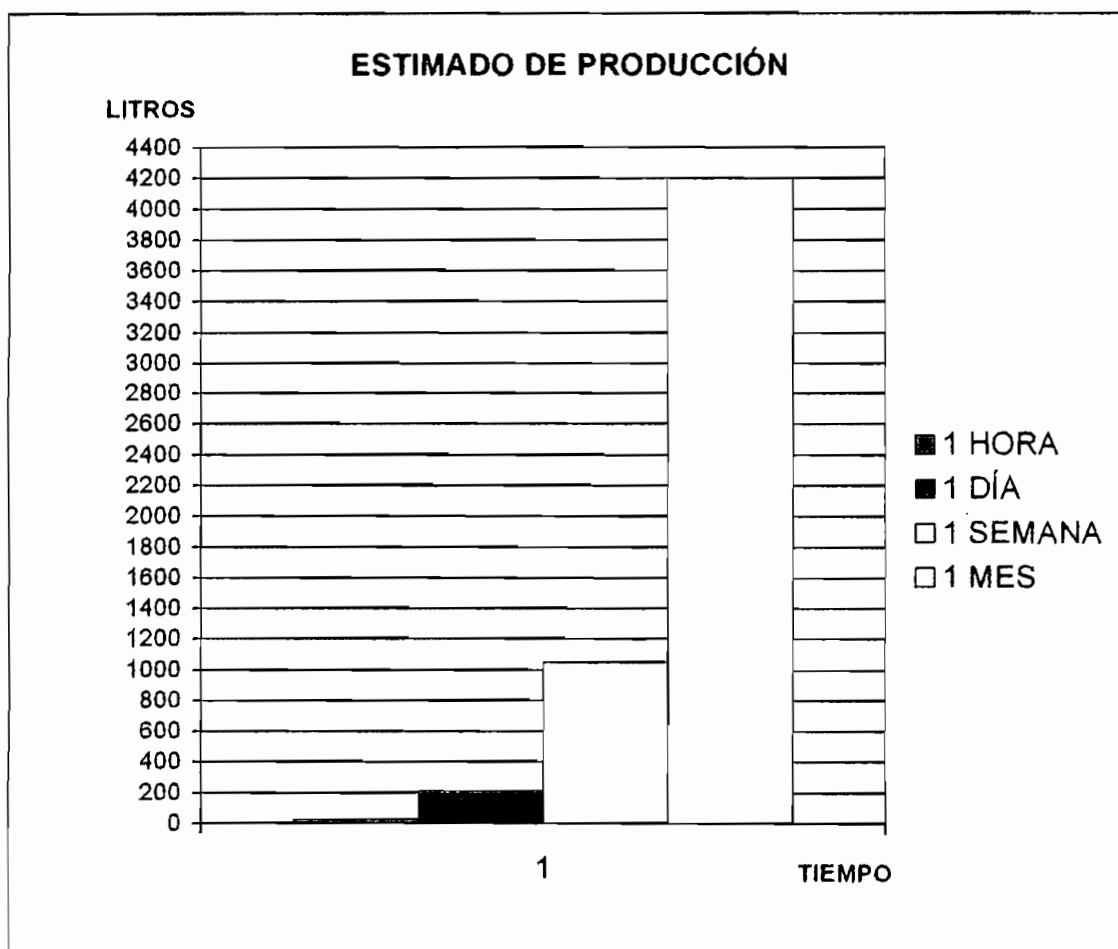


Figura 5.38 Grafica de barras para el Estimado de Producción

TIEMPO	LITROS
1 HORA	26.25
1 DÍA	210
1 SEMANA	1050
1 MES	4200

Tabla 5.11 Datos de producción

Para el estimado de producción indicado anteriormente no se considera el tiempo que toma el pasteurizador prototipo en llegar a las condiciones iniciales de temperatura ya que estas se ejecutan una sola vez al arrancar el proceso.

### 5.3.8 ESTIMADO DE COSTOS DE PRODUCCIÓN

En el estimado de costos de producción  $E_{cp}$  para la pasteurización de la leche con este prototipo en una hora de trabajo se consideran los siguientes aspectos importantes:

# LITROS	Número de litros producidos
x	Costo por litro producido
y	Costo de la energía eléctrica
$C_{op}$	Costo del operador
$C_{AG}$	Costo agregado

Tabla 5.12 Parámetros para el Estimado de Costos de Producción

El costo agregado  $C_{AG}$  es el costo considerado para recuperar la inversión realizada en la construcción del pasteurizador prototipo y el mantenimiento de las partes del mismo.

Con los parámetros citados anteriormente se emplea la siguiente ecuación:

$$E_{cp} = \#litros \times x + y + C_{op} + C_{AG} \quad \text{Ec 5.8}$$

donde:

$$C_f = y + C_{op} + C_{AG} \quad \text{Ec 5.9}$$

$C_f$  = Costos fijos.

Entonces:

$$E_{cp} = \#litros \times x + C_f \quad \text{Ec 5.10}$$

Con lo expuesto se puede concluir que el costo de producción depende mayormente de la cantidad de líquido que se pasteuriza y en menor proporción de los otros costos.



## **CAPÍTULO 6**

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 CONCLUSIONES

- Se ha diseñado y construido el prototipo de pasteurización de leche que proporciona una visión adecuada y práctica de las distintas etapas que constituyen el proceso de pasteurización con la técnica HTST (Alta Temperatura Corto Tiempo). Además brinda al estudiante la posibilidad de trabajar en el área de Control de Procesos Industriales de una manera didáctica.
- Los conocimientos empleados para el desarrollo del control y monitoreo del proceso de pasteurización de leche corresponden a las áreas académicas de Control de Procesos Industriales, Control Industrial, Instrumentación, Control con Microprocesadores e Interfases de Comunicación Industrial.
- El prototipo de pasteurización de leche está formado por tres módulos que pueden separarse para facilitar su movilización y mantenimiento, además pueden acoplarse con otros módulos complementarios en otro sistema.
- En la etapa de calentamiento la temperatura de la leche fluctúa dentro del rango pedido por la técnica de pasteurización de 72°C a 78°C. El comportamiento del sistema durante el tiempo de operación en esta etapa es estable como indican las pruebas realizadas.
- En la etapa de retención se comprueba que la temperatura de la leche se mantiene dentro del rango de 72°C a 78°C durante el tiempo de 15.9 segundos, demostrando que la construcción del retenedor de calor es efectiva.

- El rango de temperatura alcanzado en la etapa de enfriamiento es de 17°C a 24°C con el equipo disponible en el laboratorio de Control de Procesos Industriales, este rango no alcanza el requerimiento de la técnica HTST (Alta Temperatura Corto Tiempo) de 10°C a 12°C. El límite alcanzado con el módulo enfriador de manera automática hace que la leche baje su temperatura rápidamente, consecuentemente al no llegar a ese rango de temperatura el tiempo de consumo de la leche va a disminuir, pero sus propiedades nutricionales así como el tratamiento de la pasteurización no se pierden.
- El tiempo que se demora el prototipo en llegar a condiciones iniciales de temperatura es de 95 minutos. Así mismo, el tiempo de proceso total que comprende los tiempos de operación y de recuperación de temperatura suman 32 minutos, donde el primero es de 7 minutos y el segundo de 25 minutos.
- Para manejar el programa STEP 7 MicroWIN 32 correspondiente a la familia de los PLCs SIEMENS S7-200 fue necesario investigar y estudiar el manual del sistema dado por el fabricante. Posteriormente se utilizaron las operaciones y herramientas que posee el software para la realización de este proyecto.
- La maniobra para los dispositivos de control o actuadores del prototipo es del tipo ON/OFF y se implementa en el Controlador Lógico Programable PLC. Los resultados obtenidos satisfacen plenamente el funcionamiento del prototipo.
- El conjunto formado por los circuitos de acondicionamiento de señales analógicas y el microprocesador PIC 16F877 como conversor A/D, son una solución alternativa y económica cuando no se dispone de entradas analógicas en el PLC.

- El monitoreo de las variables del proceso se realiza mediante una interfaz gráfica (HMI) en el computador con el programa Intouch. Este paquete es muy versátil y de fácil manejo, además permite crear ambientes industriales animados, registrar eventos, alarmas, históricos, etc.

## 6.2 RECOMENDACIONES

- Después de utilizar el prototipo se recomienda vaciar los tanques de recolección de agua y leche, así como también desfogar el producto residual contenido en la tubería de acero inoxidable a través de las válvulas de drenaje colocadas en las distintas partes del prototipo.
- Para la limpieza de los tanques de recolección, tubería y bomba para leche M1, utilizar y recircular agua con detergente tantas veces hasta que se limpien completamente.
- En el futuro emplear tanques de acero inoxidable para la recolección de leche cruda y pasteurizada, en lugar de los tanques de polietileno actuales.
- Se recomienda mejorar el sistema de refrigeración en la etapa de enfriamiento. Esto puede ser instalando un sistema de mayor capacidad de enfriamiento o colocando otro sistema en serie al que se encuentra instalado actualmente.
- Para disminuir el tiempo que se demora en llegar a condiciones iniciales de temperatura, se propone reemplazar las resistencias de calentamiento instaladas en el calentador por unas de mayor potencia.
- Se propone como continuación del proyecto realizar el control del caudal por medio de una servoválvula instalada en la tubería de acero

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- INCROPERA, Frank; DE WITTE, David; "Fundamentos de la Transferencia de calor". Editorial Printice Hall, 4ª edición, Mexico, 1999.
- SAVANT, C.; REDEN, Martin; CARPENTER, Gordon; "Diseño electrónico circuitos y sistemas". Editorial Addison Wesley, 2ª edición, USA, 1991.
- BYLUND, Gösta; "Dairy Processing Handbook". Editorial Tetra Pak Processing Systems AB. Sweden 1995.
- AMIOT, Jean; "Ciencia y tecnología de la leche. Principios y aplicaciones", Editorial Acribia, España, 1991.
- SIEMENS SIMATIC; "Sistema de automatización S7-200. Manual de Sistema". 2ª edición. Alemania 2000.
- ANGULO, José; ANGULO, Ignacio; "Microcontroladores PIC: Diseño Práctico de Aplicaciones", Editorial McGraw Hill, 2ª edición, España, 1999
- WONDERWARE CORPORATION, "Intouch: Guía del Usuario", Revisión B, Irvine CA, USA, 1997

### Direcciones Electrónicas:

- <http://www.codexalimentarius.com/glosario.htm>
- <http://www.geocities.com/grupointustrialaisa/pasteuri.html>
- <http://members.tripod.com.ve/tecnologia/microteo.htm>
- <http://www.microchip.com>
- <http://www.swagelok.com>

## **ANEXOS**

## **ANEXO 1**

**DATOS TÉCNICOS DEL PLC SIEMENS SIMATIC S7-200 CPU224**

## Datos técnicos de las CPUs

Tabla A-2 Números de referencia de las CPUs

Nº de referencia	Modelo de CPU	Alimentación (nominal)	Entradas de la CPU	Salidas de la CPU	Bloque de terminales extraíble
6ES7 211-0AA22-0XB0	CPU 221	24 V c.c.	6 x 24 V c.c.	4 x 24 V c.c.	No
6ES7 211-0BA22-0XB0	CPU 221	120 a 240 V c.a.	6 x 24 V c.c.	4 salidas de relé	No
6ES7 212-1AB22-0XB0	CPU 222	24 V c.c.	8 x 24 V c.c.	6 x 24 V c.c.	No
6ES7 212-1BB22-0XB0	CPU 222	120 a 240 V c.a.	8 x 24 V c.c.	6 salidas de relé	No
6ES7 214-1AD22-0XB0	CPU 224	24 V c.c.	14 x 24 V c.c.	10 x 24 V c.c.	Si
6ES7 214-1BD22-0XB0	CPU 224	120 a 240 V c.a.	14 x 24 V c.c.	10 salidas de relé	Si
6ES7 216-2AD22-0XB0	CPU 226	24 V c.c.	24 x 24 V c.c.	16 x 24 V c.c.	Si
6ES7 216-2BD22-0XB0	CPU 226	120 a 240 V c.a.	24 x 24 V c.c.	16 salidas de relé	Si
6ES7 216-2AF22-0XB0	CPU 226XM	24 V c.c.	24 x 24 V c.c.	16 x 24 V c.c.	Si
6ES7 216-2BF22-0XB0	CPU 226XM	120 a 240 V c.a.	24 x 24 V c.c.	16 salidas de relé	Si

Tabla A-3 Datos técnicos generales de las CPUs

Nº de referencia	Nombre y descripción de la CPU	Dimensiones en mm (l x a x p)	Peso	Disipación	Tensión c.c. disponible	
					+5 Vcc	+24 Vcc
6ES7 211-0AA22-0XB0	CPU 221 DC/DC/DC 6 entradas/4 salidas	90 x 80 x 62	270 g	3 W	0 mA	180 mA
6ES7 211-0BA22-0XB0	CPU 221 AC/DC/relé 6 entradas/4 salidas de relé	90 x 80 x 62	310 g	6 W	0 mA	180 mA
6ES7 212-1AB22-0XB0	CPU 222 DC/DC/DC 8 entradas/6 salidas	90 x 80 x 62	270 g	5 W	340 mA	180 mA
6ES7 212-1BB22-0XB0	CPU 222 AC/DC/relé 8 entradas/6 salidas de relé	90 x 80 x 62	310 g	7 W	340 mA	180 mA
6ES7 214-1AD22-0XB0	CPU 224 DC/DC/DC 14 entradas/10 salidas	120,5 x 80 x 62	360 g	7 W	660 mA	280 mA
6ES7 214-1BD22-0XB0	CPU 224 AC/DC/relé 14 entradas/10 salidas de relé	120,5 x 80 x 62	410 g	10 W	660 mA	280 mA
6ES7 216-2AD22-0XB0	CPU 226 DC/DC/DC 24 entradas/16 salidas	196 x 80 x 62	550 g	11 W	1000 mA	400 mA
6ES7 216-2BD22-0XB0	CPU 226 AC/DC/relé 24 entradas/16 salidas de relé	196 x 80 x 62	660 g	17 W	1000 mA	400 mA
6ES7 216-2AF22-0XB0	CPU 226XM DC/DC/DC 24 entradas/16 salidas	196 x 80 x 62	550 g	11 W	1000 mA	400 mA
6ES7 216-2BF22-0XB0	CPU 226XM AC/DC/relé 24 entradas/16 salidas de relé	196 x 80 x 62	660 g	17 W	1000 mA	400 mA

Tabla A-4 Datos técnicos de las CPUs

	CPU 221	CPU 222	CPU 224	CPU 226	CPU 226XM
<b>Memoria</b>					
Tamaño del programa de usuario (EEPROM)	4096 bytes		8192 bytes	8192 bytes	16384 bytes
Datos de usuario (EEPROM)	2048 bytes (remanentes)		5120 bytes (remanentes)	5120 bytes (remanentes)	10240 bytes (remanentes)
Respaldo (condensador de alto rendimiento) (pila opcional)	Típ. 50 h (mín. 8 h a 40° C) Típ. 200 días		Típ. 100 h (mín. 70 h a 40° C) Típ. 200 días		Típ. 190 h (mín. 120 h a 40° C) Típ. 200 días
<b>Entradas y salidas (E/S)</b>					
E/S digitales incorporadas	6 E/4 S	8 E/6 S	14 E/10 S	24 E/16 S	
Tamaño de la imagen de E/S digitales	256 (128 E/128 S)				
Tamaño de la imagen de E/S analógicas	Ninguno	32 (16 E/16 S)	64 (32 E/32 S)		
Nº máx. de módulos de ampliación	Ninguno	2 módulos <sup>1</sup>	7 módulos <sup>1</sup>		
Nº máx. de módulos inteligentes	Ninguno	2 módulos <sup>1</sup>	7 módulos <sup>1</sup>		
Entradas de captura de impulsos	6	8	14		
Contadores rápidos Fase simple 2 fases	4 contadores en total 4 a 30 kHz 2 a 20 kHz		6 contadores en total 6 a 30 kHz 4 a 20 kHz		
Salidas de impulsos	2 a 20 kHz (sólo en salidas c.c.)				
<b>Datos generales</b>					
Temporizadores	256 temporizadores en total; 4 temporizadores de 1 ms, 16 temporizadores de 10 ms y 236 temporizadores de 100 ms				
Contadores	256 (respaldo por condensador de alto rendimiento o pila)				



	CPU 221	CPU 222	CPU 224	CPU 226	CPU 226XM
Marcas internas almacenadas al desconectar la CPU	256 (respaldo por condensador de alto rendimiento o pila) 112 (almacenamiento en EEPROM)				
Interrupciones temporizadas	2 con resolución de 1 ms				
Interrupciones de flanco	4 flancos positivos y/o 4 flancos negativos				
Potenciómetros analógicos	1 con resolución de 8 bits		2 con resolución de 8 bits		
Velocidad de ejecución booleana	0,37 µs por operación				
Reloj de tiempo real	Cartucho opcional		Incorporado		
Cartuchos opcionales	Memoria, pila y reloj de tiempo real		Memoria y pila		
<b>Comunicación integrada:</b>					
Puertos	1 puerto RS-485 <sup>1</sup>		2 puertos RS-485		
Velocidades de transferencia PPI, DP/T	9,6, 19,2 y 187,5 kbit/s				
Velocidades de transferencia Freeport	1,2 kbit/s a 115,2 kbit/s				
Longitud máx. del cable por segmento	Con repetidor aislado: 1000 m hasta 187,5 kbit/s, 1200 m hasta 38,4 kbit/s Sin repetidor aislado: 50 m				
Nº máximo de estaciones	32 por segmento, 126 por red				
Nº máximo de maestros	32				
Punto a punto (modo maestro PPI)	SI (NETR/NETW)				
Enlaces MPI	4 en total, 2 reservados (1 para una PG y 1 para un OP)				

1 Es preciso calcular la corriente necesaria para determinar cuánta energía puede suministrar la CPU S7-200 a la configuración deseada. Si se excede la corriente necesaria para la CPU, es posible que no se pueda conectar el número máximo de módulos. Consulte el Anexo A para obtener información acerca de los requisitos de alimentación de la CPU y de los módulos de ampliación, así como el Anexo B para calcular la corriente necesaria.

Tabla A-5 Datos de alimentación de las CPUs

	DC		AC	
<b>Potencia de entrada</b>				
Tensión de entrada	20,4 a 28,8 V c.c.		85 V a 264 V c.a., 47 a 63 Hz	
Intensidad de entrada	CPU sólo a 24 V c.c.	Carga máx. a 24 V c.c.	sólo CPU	Carga máx.
CPU 221	80 mA	450 mA	30/15 mA a 120/240 V c.a.	120/60 mA a 120/240 V c.a.
CPU 222	85 mA	500 mA	40/20 mA a 120/240 V c.a.	140/70 mA a 120/240 V c.a.
CPU 224	110 mA	700 mA	60/30 mA a 120/240 V c.a.	200/100 mA a 120/240 V c.a.
CPU 226/CPU 226XM	150 mA	1050 mA	80/40 mA a 120/240 V c.a.	320/160 mA a 120/240 V c.a.
Corriente de inyección	10 A a 28,8 V c.c.		20 A a 264 V c.a.	
Aislamiento (campo a circuito lógico)	Sin aislamiento		1500 V c.a.	
Tiempo de retardo (desde la pérdida de corriente)	10 ms a 24 V c.c.		20/80 ms a 120/240 V c.a.	
Fusible (no reemplazable)	3 A, 250 V, de acción lenta		2 A, 250 V, de acción lenta	
<b>Alimentación de sensores 24 V c.c.</b>				
Tensión de sensores	L+ menos 5 V		20,4 a 28,8 V c.c.	
Intensidad límite	1,5 A pico, límite térmico no destructivo (v. tabla A-3, carga nominal)			
Rizado/corriente parásita	Derivado de potencia de entrada		Menos de 1 V pico a pico	
Aislamiento (sensor a circuito lógico)	Sin aislamiento			

Tabla A-6 Datos de entrada de las CPUs

Datos generales	Entrada 24 V c.c.
Tipo de datos	Sumidero de corriente/fuente (tipo 1 IEC con sumidero de corriente)
Tensión nominal	Típ. 24 V c.c. a 4 mA
Tensión continua máx. admisible	30 V c.c.
Sobretensión	35 V c.c., 0,5 s
Señal 1 lógica (mín.)	15 V c.c. a 2,5 mA
Señal 0 lógica (máx.)	5 V c.c. a 1 mA
Retardo de entrada	Seleccionable (0,2 a 12,8 ms) CPU 226, CPU 226XM: las entradas I1,6 a I2,7 tienen un retardo fijo (4,5 ms)
Conexión de sensor de proximidad de 2 hilos (Bero)	
Corriente de fuga admisible (máx.)	1 mA

Tabla A-6 Datos de entrada de las CPUs, continuado

Datos generales		Entrada 24 V c.c.	
Aislamiento (campo a circuito lógico)	SI		
Separación galvánica	500 V c.a., 1 minuto		
Grupos de aislamiento	Consulte el diagrama de cableado		
Entrada rápida nominal (máx.)	Fase simple	Dos fases	
Lógica 1 = 15 a 30 V c.c.	20 kHz	10 kHz	
Lógica 1 = 15 a 25 V c.c.	30 kHz	20 kHz	
Entradas ON simultáneamente	Todas a 55° C		
Longitud del cable (máx.)			
Apantallado	500 m para las entradas normales, 50 m para las entrada rápidas		
No apantallado	300 m para las entradas normales		

Tabla A-7 Datos de salida de las CPUs

Datos generales		Salidas 24 V c.c.	Salidas de relé
Tipo de datos	Estado sólido-MOSFET <sup>1</sup>		Contacto de baja potencia
Tensión nominal	24 V c.c.		24 V c.c. ó 250 V c.a.
Margen de tensión	20,4 a 28,8 V c.c.		5 a 30 V c.c. ó 5 a 250 V c.a.
Sobreintensidad momentánea (máx.)	8 A, 100 ms		7 A al estar cerrados los contactos
Señal 1 lógica (mín.)	20 V c.c. a intensidad máx.		-
Señal 0 lógica (máx.)	0,1 V c.c. con 10 K $\Omega$ de carga		-
Intensidad nominal por salida (máx.)	0,75 A		2,0 A
Intensidad nominal por neutro (máx.)	6 A		10 A
Corriente de fuga (máx.)	10 $\mu$ A		-
Carga de lámparas (máx.)	5 W		30 W c.c. / 200 W c.a.
Tensión de bloqueo inductiva	L+ menos 48 V c.c., disipación de 1 W		-
Resistencia en estado ON (contactos)	Típ. 0,3 $\Omega$		0,2 $\Omega$ (máx. si son nuevas)
Separación galvánica			
Separación galvánica (campo a circuito lógico)	500 V c.a., 1 minuto		-
Circuito lógico a contacto	-		1500 V c.a., 1 minuto
Resistencia (circuito lógico a contacto)	-		100 M $\Omega$
Grupos de aislamiento	Consulte el diagrama de cableado		Consulte el diagrama de cableado
Retardo OFF a ON/ON a OFF (máx.)	2/10 $\mu$ s (O0,0 y O0,1) 15/100 $\mu$ s (todas las demás)		-
Conmutación (máx.)	-		10 ms
Frecuencia de impulsos (máx.) de O0,0 y O0,1	20 kHz		1 Hz
Vida útil mecánica	-		10.000.000 (sin carga)
Vida útil de los contactos	-		100.000 (carga nominal)
Salidas ON simultáneamente	Todas a 55° C		Todas a 55° C
Conexión de dos salidas en paralelo	Sí		No
Longitud del cable (máx.)			
Apantallado	500 m		500 m
No apantallado	150 m		150 m

<sup>1</sup> Cuando un contacto mecánico aplica tensión a una CPU S7-200, o bien a un módulo de amplificación digital, envía una señal "1" a las salidas digitales durante aproximadamente 50 microsegundos. Considere esto especialmente si desea utilizar aparatos que reaccionen a impulsos de breve duración.

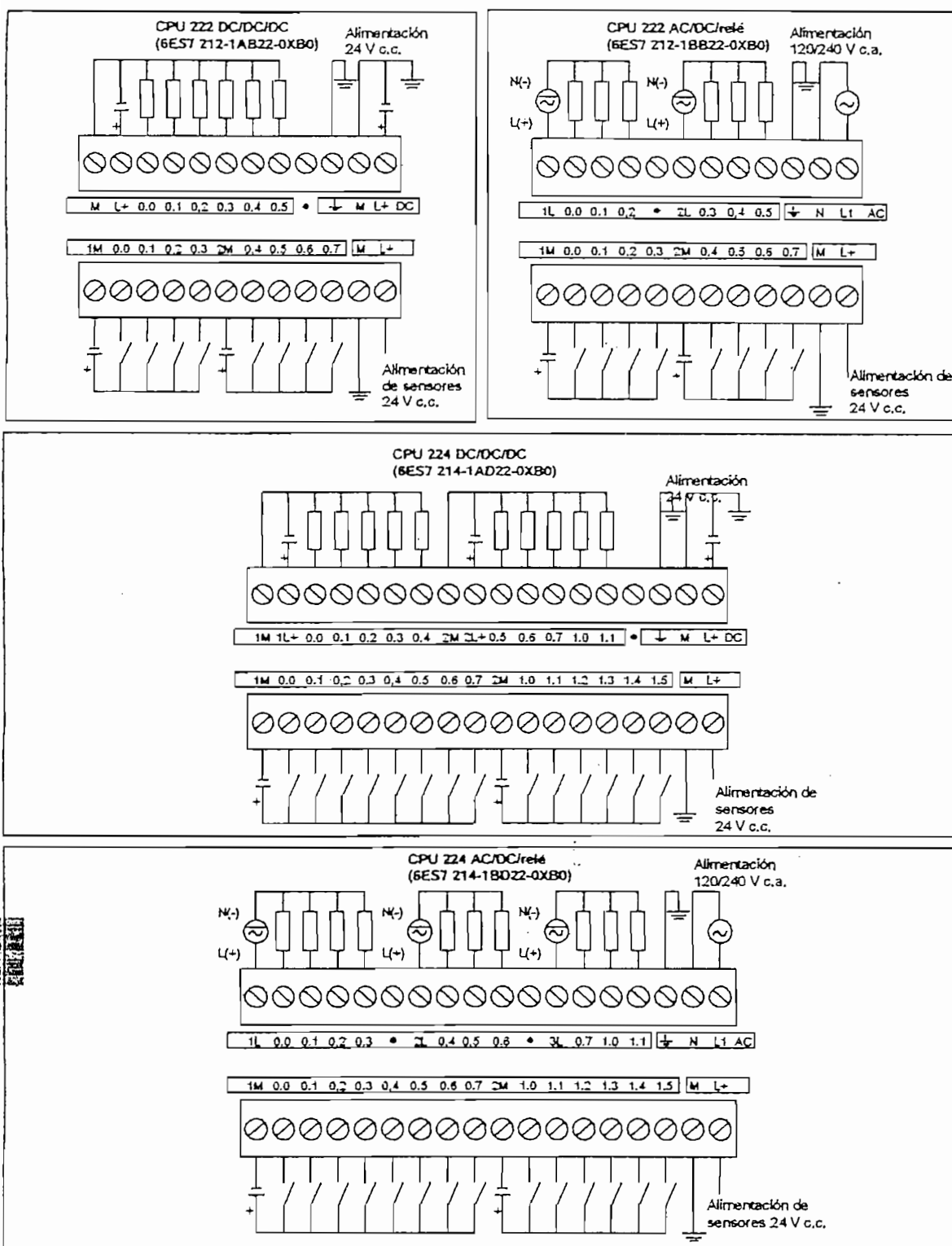


Figura A-4 Diagramas de cableado de las CPUs 222 y 224

## Reglas relativas a los circuitos de supresión

Las cargas inductivas deberán equiparse con circuitos de supresión destinados a limitar el incremento de tensión producido al desactivarse las salidas. Los circuitos de supresión protegen las salidas contra fallos prematuros debidos a elevadas corrientes de conmutación inductivas. Además, estos circuitos limitan las interferencias generadas al conmutar cargas inductivas.

### Consejo

La eficacia de un determinado circuito de supresión depende de la aplicación. Por tanto, deberá verificarse para cada caso particular. Vigile siempre que los componentes utilizados en el circuito de supresión se adecuen para la aplicación en cuestión.

### Salidas c.c. y relés que controlan cargas c.c.

Las salidas c.c. tienen una protección interna adecuada para la mayoría de las aplicaciones. Puesto que los relés se pueden utilizar para cargas tanto c.c. como c.a., no proporcionan una protección interna.

La figura 3-3 muestra un circuito de supresión de ejemplo para una carga de corriente continua. En la mayoría de las aplicaciones es suficiente prever adicionalmente un diodo (A) en la carga inductiva. No obstante, si la aplicación requiera tiempos de desconexión más rápidos, se recomienda utilizar un diodo Zener (B). Vigile que el diodo Zener tenga suficiente capacidad para la cantidad de corriente en el circuito de salida.

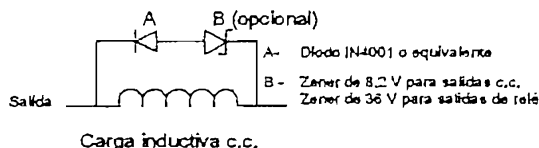


Figura 3-3 Circuito de supresión para una carga de corriente continua

### Salidas de corriente alterna y relés que controlan cargas de corriente alterna

Las salidas de corriente alterna tienen una protección interna adecuada para la mayoría de las aplicaciones. Puesto que los relés se pueden utilizar para cargas de corriente tanto continua como alterna, no proporcionan una protección interna.

La figura 3-4 muestra un circuito de supresión de ejemplo para una carga de corriente alterna. Si utiliza un relé o una salida de corriente alterna para conmutar cargas de 115 V/230 V c.a., disponga redes de resistores/capacitores a lo largo de la carga de corriente alterna como se ilustra en la figura. También puede utilizar un varistor de óxido metálico (MOV) para limitar la tensión de pico. Vigile que la tensión de trabajo del varistor MOV sea como mínimo un 20% superior a la tensión nominal de fase.

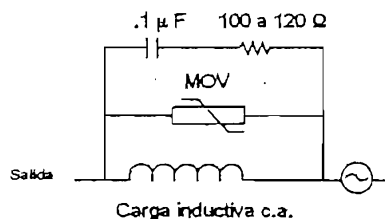


Figura 3-4 Circuito de supresión para una carga de corriente alterna

### Nota

Si utiliza módulos de ampliación para conmutar cargas inductivas de 230 V c.a., el circuito externo de supresión de interferencias se deberá disponer a lo largo de la carga de corriente alterna como muestra la figura 3-4.

**ANEXO 2**  
**DATOS TÉCNICOS DEL PIC 16F877**



MICROCHIP

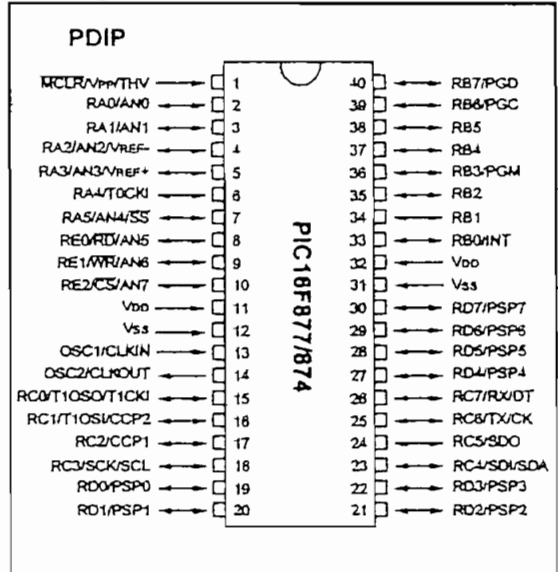
# PIC16F87X

## 28/40-pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

### Microcontroller Core Features:

- High-performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input  
DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,  
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)  
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM data memory
- ★ Pinout compatible to the PIC16C73/74/76/77
- Interrupt capability (up to 14 internal/external interrupt sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect, and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Programmable code-protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low-power, high-speed CMOS FLASH/EEPROM technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ via two pins
- ★ Only single 5V source needed for programming
- ★ In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial and Industrial temperature ranges
- Low-power consumption:
  - < 2 mA typical @ 5V, 4 MHz
  - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
  - < 1 µA typical standby current

### Pin Diagram



### Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler, can be incremented during sleep via external crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
- Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns, Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns, PWM max. resolution is 10-bit
- ★ 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- ★ Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master Mode) and I<sup>2</sup>C™ (Master/Slave)
- ★ Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for Brown-out Reset (BOR)

# PIC16F87X

TABLE 1-2 PIC16F874 AND PIC16F877 PINOUT DESCRIPTION

Pin Name	DIP Pin#	PLCC Pin#	QFP Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKIN	13	14	30	I	ST/CMOS <sup>(4)</sup>	Oscillator crystal input/external clock source input.
OSC2/CLKOUT	14	15	31	O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in crystal oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKOUT which has 1/4 the frequency of OSC1, and denotes the instruction cycle rate.
MCLR/VPP/THV	1	2	18	I/P	ST	Master clear (reset) input or programming voltage input or high voltage test mode control. This pin is an active low reset to the device.
RA0/AN0	2	3	19	I/O	TTL	<p>PORTA is a bi-directional I/O port.</p> <p>RA0 can also be analog input0</p> <p>RA1 can also be analog input1</p> <p>RA2 can also be analog input2 or negative analog reference voltage</p> <p>RA3 can also be analog input3 or positive analog reference voltage</p> <p>RA4 can also be the clock input to the Timer0 timer/counter. Output is open drain type.</p> <p>RA5 can also be analog input4 or the slave select for the synchronous serial port.</p>
RA1/AN1	3	4	20	I/O	TTL	
RA2/AN2/VREF-	4	5	21	I/O	TTL	
RA3/AN3/VREF+	5	6	22	I/O	TTL	
RA4/T0CKI	6	7	23	I/O	ST	
RA5/SS/AN4	7	8	24	I/O	TTL	
RB0/INT	33	36	8	I/O	TTL/ST <sup>(1)</sup>	<p>PORTB is a bi-directional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs.</p> <p>RB0 can also be the external interrupt pin.</p> <p>RB3 can also be the low voltage programming input</p> <p>Interrupt on change pin.</p> <p>Interrupt on change pin.</p> <p>Interrupt on change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming clock.</p> <p>Interrupt on change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming data.</p>
RB1	34	37	9	I/O	TTL	
RB2	35	38	10	I/O	TTL	
RB3/PGM	36	39	11	I/O	TTL	
RB4	37	41	14	I/O	TTL	
RB5	38	42	15	I/O	TTL	
RB6/PGC	39	43	16	I/O	TTL/ST <sup>(2)</sup>	
RB7/PGD	40	44	17	I/O	TTL/ST <sup>(2)</sup>	

Legend: I = input    O = output    I/O = input/output    P = power  
 — = Not used    TTL = TTL input    ST = Schmitt Trigger input

- Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger Input when configured as an external interrupt.  
 2: This buffer is a Schmitt Trigger Input when used in serial programming mode.  
 3: This buffer is a Schmitt Trigger Input when configured as general purpose I/O and a TTL input when used in the Parallel Slave Port mode (for interfacing to a microprocessor bus).  
 4: This buffer is a Schmitt Trigger Input when configured in RC oscillator mode and a CMOS Input otherwise.

TABLE 1-2 PIC16F874 AND PIC16F877 PINOUT DESCRIPTION (Cont.'d)

Pin Name	DIP Pin#	PLCC Pin#	QFP Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RC0/T1OSO/T1CKI	15	16	32	I/O	ST	<p>PORTC is a bi-directional I/O port.</p> <p>RC0 can also be the Timer1 oscillator output or a Timer1 clock input.</p> <p>RC1 can also be the Timer1 oscillator input or Capture2 Input/Compare2 output/PWM2 output.</p> <p>RC2 can also be the Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output.</p> <p>RC3 can also be the synchronous serial clock input/output for both SPI and I<sup>2</sup>C modes.</p> <p>RC4 can also be the SPI Data In (SPI mode) or data I/O (I<sup>2</sup>C mode).</p> <p>RC5 can also be the SPI Data Out (SPI mode).</p> <p>RC6 can also be the USART Asynchronous Transmit or Synchronous Clock.</p> <p>RC7 can also be the USART Asynchronous Receive or Synchronous Data.</p>
RC1/T1OSI/CCP2	18	18	35	I/O	ST	
RC2/CCP1	17	19	36	I/O	ST	
RC3/SCK/SCL	18	20	37	I/O	ST	
RC4/SDI/SDA	23	25	42	I/O	ST	
RC5/SDO	24	26	43	I/O	ST	
RC6/TX/CK	25	27	44	I/O	ST	
RC7/RX/DT	26	29	1	I/O	ST	
RD0/PSP0	19	21	38	I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	<p>PORTD is a bi-directional I/O port or parallel slave port when interfacing to a microprocessor bus.</p>
RD1/PSP1	20	22	39	I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	
RD2/PSP2	21	23	40	I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	
RD3/PSP3	22	24	41	I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	
RD4/PSP4	27	30	2	I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	
RD5/PSP5	28	31	3	I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	
RD6/PSP6	29	32	4	I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	
RD7/PSP7	30	33	5	I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	
RE0/RD/AN5	8	9	25	I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	<p>PORTE is a bi-directional I/O port.</p> <p>RE0 can also be read control for the parallel slave port, or analog input5.</p> <p>RE1 can also be write control for the parallel slave port, or analog input6.</p> <p>RE2 can also be select control for the parallel slave port, or analog input7.</p>
RE1/WR/AN6	9	10	26	I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	
RE2/CS/AN7	10	11	27	I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	
VSS	12,31	13,34	6,29	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	11,32	12,35	7,28	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.
NC	—	1,17,28,40	12,13,33,34		—	These pins are not internally connected. These pins should be left unconnected.

Legend: I = Input    O = output    I/O = input/output    P = power  
 — = Not used    TTL = TTL Input    ST = Schmitt Trigger input

- Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger Input when configured as an external interrupt.  
 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in serial programming mode.  
 3: This buffer is a Schmitt Trigger Input when configured as general purpose I/O and a TTL Input when used in the Parallel Slave Port mode (for interfacing to a microprocessor bus).  
 4: This buffer is a Schmitt Trigger Input when configured in RC oscillator mode and a CMOS Input otherwise.



## 11.0 ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER (A/D) MODULE

The analog-to-digital (A/D) converter module has five inputs for the 28-pin devices, and eight for the other devices.

The analog input charges a sample and hold capacitor. The output of the sample and hold capacitor is the input into the converter. The converter then generates a digital result of this analog level via successive approximation. This A/D conversion, of the analog input signal, results in a corresponding 10-bit digital number.

The A/D converter has a unique feature of being able to operate while the device is in SLEEP mode. To operate in sleep, the A/D clock must be derived from the A/D's internal RC oscillator.

The A/D module has four registers. These registers are:

- A/D Result High Register (ADRESH)
- A/D Result Low Register (ADRESL)
- A/D Control Register0 (ADCON0)
- A/D Control Register1 (ADCON1)

The ADCON0 register, shown in Figure 11-1, controls the operation of the A/D module. The ADCON1 register, shown in Figure 11-2, configures the functions of the port pins. The port pins can be configured as analog inputs (RA3 can also be the voltage reference) or as digital I/O.

FIGURE 11-1: ADCON0 REGISTER (ADDRESS: 1Fh)

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0
ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	UNIMPLEMENTED	ADON
bit7							bit0

R = Readable bit  
W = Writable bit  
U = Unimplemented bit, read as '0'  
- n = Value at POR reset

bit 7-6: **ADCS1:ADCS0:** A/D Conversion Clock Select bits  
00 =  $F_{osc}/2$   
01 =  $F_{osc}/8$   
10 =  $F_{osc}/32$   
11 = FRC (clock derived from an RC oscillation)

bit 5-3: **CHS2:CHS0:** Analog Channel Select bits  
000 = channel 0, (RA0/AN0)  
001 = channel 1, (RA1/AN1)  
010 = channel 2, (RA2/AN2)  
011 = channel 3, (RA3/AN3)  
100 = channel 4, (RA5/AN4)  
101 = channel 5, (RE0/AN5)<sup>(1)</sup>  
110 = channel 6, (RE1/AN6)<sup>(1)</sup>  
111 = channel 7, (RE2/AN7)<sup>(1)</sup>

bit 2: **GO/DONE:** A/D Conversion Status bit  
If ADON = 1  
1 = A/D conversion in progress (setting this bit starts the A/D conversion)  
0 = A/D conversion not in progress (This bit is automatically cleared by hardware when the A/D conversion is complete)

bit 1: **Unimplemented:** Read as '0'

bit 0: **ADON:** A/D On bit  
1 = A/D converter module is operating  
0 = A/D converter module is shutoff and consumes no operating current

**Note 1:** These channels are not available on the 28-pin devices.

# PIC16F87X

FIGURE 11-2: ADCON1 REGISTER (ADDRESS 9Fh)

U-0	U-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0			
ADFM	—	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0				
bit7								bit0			
<p>R = Readable bit            W = Writable bit            U = Unimplemented bit, read as '0'            - n = Value at POR reset</p>											
<p>bit 7:    <b>ADFM:</b> A/D Result format select                      1 = Right Justified. 6 most significant bits of ADRESH are read as '0'.                      0 = Left Justified. 6 least significant bits of ADRESL are read as '0'.</p>											
<p>bit 6-4:   <b>Unimplemented:</b> Read as '0'</p>											
<p>bit 3-0:   <b>PCFG3:PCFG0:</b> A/D Port Configuration Control bits</p>											
PCFG3: PCFG0	AN7 <sup>(1)</sup> RE2	AN6 <sup>(1)</sup> RE1	AN5 <sup>(1)</sup> RE0	AN4 RA5	AN3 RA3	AN2 RA2	AN1 RA1	AN0 RA0	VREF+	VREF-	CHAN / REFS
0000	A	A	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	8/0
0001	A	A	A	A	VREF+	A	A	A	RA3	VSS	7/1
0010	D	D	D	A	A	A	A	A	VDD	VSS	5/0
0011	D	D	D	A	VREF+	A	A	A	RA3	VSS	4/1
0100	D	D	D	D	A	D	A	A	VDD	VSS	3/0
0101	D	D	D	D	VREF+	D	A	A	RA3	VSS	2/1
011x	D	D	D	D	D	D	D	D	VDD	VSS	0/0
1000	A	A	A	A	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	6/2
1001	D	D	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	6/0
1010	D	D	A	A	VREF+	A	A	A	RA3	VSS	5/1
1011	D	D	A	A	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	4/2
1100	D	D	D	A	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	3/2
1101	D	D	D	D	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	2/2
1110	D	D	D	D	D	D	D	A	VDD	VSS	1/0
1111	D	D	D	D	VREF+	VREF-	D	A	RA3	RA2	1/2

A = Analog input  
 D = Digital I/O

**Note 1:** These channels are not available on the 28-pin devices.

# PIC16F87X

TABLE 13-2 PIC16CXXX INSTRUCTION SET

Mnemonic, Operands	Description	Cycles	14-Bit Opcode		Status Affected	Notes
			MSb	LSb		
<b>BYTE-ORIENTED FILE REGISTER OPERATIONS</b>						
ADDWF	f, d Add W and f	1	00	0111 dfff ffff	C,DC,Z	1,2
ANDWF	f, d AND W with f	1	00	0101 dfff ffff	Z	1,2
CLRF	f Clear f	1	00	0001 ffff ffff	Z	2
CLRW	- Clear W	1	00	0001 0xxx xxxx	Z	
COMF	f, d Complement f	1	00	1001 dfff ffff	Z	1,2
DECF	f, d Decrement f	1	00	0011 dfff ffff	Z	1,2
DECFSZ	f, d Decrement f, Skip if 0	1(2)	00	1011 dfff ffff		1,2,3
INCF	f, d Increment f	1	00	1010 dfff ffff	Z	1,2
INCFSZ	f, d Increment f, Skip if 0	1(2)	00	1111 dfff ffff		1,2,3
IORWF	f, d Inclusive OR W with f	1	00	0100 dfff ffff	Z	1,2
MOVF	f, d Move f	1	00	1000 dfff ffff	Z	1,2
MOVWF	f Move W to f	1	00	0000 ffff ffff		
NOP	- No Operation	1	00	0000 0xxx 0000		
RLF	f, d Rotate Left f through Carry	1	00	1101 dfff ffff	C	1,2
RRF	f, d Rotate Right f through Carry	1	00	1100 dfff ffff	C	1,2
SUBWF	f, d Subtract W from f	1	00	0010 dfff ffff	C,DC,Z	1,2
SWAPF	f, d Swap nibbles in f	1	00	1110 dfff ffff		1,2
XORWF	f, d Exclusive OR W with f	1	00	0110 dfff ffff	Z	1,2
<b>BIT-ORIENTED FILE REGISTER OPERATIONS</b>						
BCF	f, b Bit Clear f	1	01	000b bfff ffff		1,2
BSF	f, b Bit Set f	1	01	010b bfff ffff		1,2
BTFSZ	f, b Bit Test f, Skip if Clear	1(2)	01	100b bfff ffff		3
BTFSZ	f, b Bit Test f, Skip if Set	1(2)	01	110b bfff ffff		3
<b>LITERAL AND CONTROL OPERATIONS</b>						
ADDLW	k Add literal and W	1	11	111x kkkk kkkk	C,DC,Z	
ANDLW	k AND literal with W	1	11	1001 kkkk kkkk	Z	
CALL	k Call subroutine	2	10	0kkk kkkk kkkk		
CLRWDT	- Clear Watchdog Timer	1	00	0000 0110 0100	$\overline{TO}, \overline{PD}$	
GOTO	k Go to address	2	10	1kkk kkkk kkkk		
IORLW	k Inclusive OR literal with W	1	11	1000 kkkk kkkk	Z	
MOVLW	k Move literal to W	1	11	00xx kkkk kkkk		
RETFIE	- Return from interrupt	2	00	0000 0000 1001		
RETLW	k Return with literal in W	2	11	01xx kkkk kkkk		
RETURN	- Return from Subroutine	2	00	0000 0000 1000		
SLEEP	- Go into standby mode	1	00	0000 0110 0011	$\overline{TO}, \overline{PD}$	
SUBLW	k Subtract W from literal	1	11	110x kkkk kkkk	C,DC,Z	
XORLW	k Exclusive OR literal with W	1	11	1010 kkkk kkkk	Z	

Note 1: When an I/O register is modified as a function of itself (e.g., MOVF PORTB, 1), the value used will be that value present on the pins themselves. For example, if the data latch is '1' for a pin configured as input and is driven low by an external device, the data will be written back with a '0'.

- If this instruction is executed on the TMR0 register (and, where applicable, d = 1), the prescaler will be cleared if assigned to the Timer0 Module.
- If Program Counter (PC) is modified or a conditional test is true, the instruction requires two cycles. The second cycle is executed as a NOP.

## 15.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

### Absolute Maximum Ratings †

Ambient temperature under bias .....	-55 to +125°C
Storage temperature .....	-65°C to +150°C
Voltage on any pin with respect to V <sub>SS</sub> (except V <sub>DD</sub> , MCLR, and RA4) .....	-0.3V to (V <sub>DD</sub> + 0.3V)
Voltage on V <sub>DD</sub> with respect to V <sub>SS</sub> .....	-0.3 to +7.5V
Voltage on MCLR with respect to V <sub>SS</sub> (Note 2) .....	0 to +14V
Voltage on RA4 with respect to V <sub>SS</sub> .....	0 to +8.5V
Total power dissipation (Note 1) .....	1.0W
Maximum current out of V <sub>SS</sub> pin .....	300 mA
Maximum current into V <sub>DD</sub> pin .....	250 mA
Input clamp current, I <sub>IK</sub> (V <sub>I</sub> < 0 or V <sub>I</sub> > V <sub>DD</sub> ) .....	± 20 mA
Output clamp current, I <sub>OK</sub> (V <sub>O</sub> < 0 or V <sub>O</sub> > V <sub>DD</sub> ) .....	± 20 mA
Maximum output current sunk by any I/O pin .....	25 mA
Maximum output current sourced by any I/O pin .....	25 mA
Maximum current sunk by PORTA, PORTB, and PORTE (combined) (Note 3) .....	200 mA
Maximum current sourced by PORTA, PORTB, and PORTE (combined) (Note 3) .....	200 mA
Maximum current sunk by PORTC and PORTD (combined) (Note 3) .....	200 mA
Maximum current sourced by PORTC and PORTD (combined) (Note 3) .....	200 mA

Note 1: Power dissipation is calculated as follows:  $P_{dis} = V_{DD} \times (I_{DD} - \sum I_{OH}) + \sum ((V_{DD} - V_{OH}) \times I_{OH}) + \sum (V_{OL} \times I_{OL})$

Note 2: Voltage spikes below V<sub>SS</sub> at the MCLR pin, inducing currents greater than 80 mA, may cause latch-up. Thus, a series resistor of 50-100Ω should be used when applying a "low" level to the MCLR pin rather than pulling this pin directly to V<sub>SS</sub>.

Note 3: PORTD and PORTE are not implemented on the 28-pin devices.

† NOTICE: Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operation listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

**ANEXO 3**  
**DATOS TÉCNICOS DE SENSORES**

**ANEXO 3.1**  
**SENSOR DE CAUDAL**



Site A

Home | Products & Solutions | News Center | e-commerce | Support

Personalize

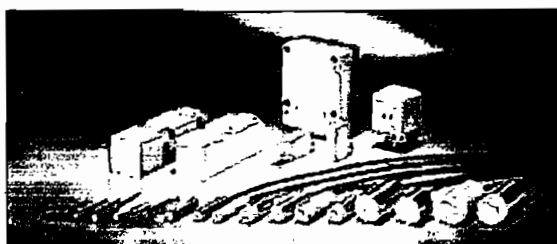
[Adva

↓ Products

- Sonar-BERO
- Opto-BERO
- Inductive BERO
  - Inductive BERO C40 Shorty
- Capacitive BERO
- Application Stories

## Inductive BERO 3RG4: rugged, precise and reliable

Inductive proximity switches are used to detect metal objects contactlessly, e.g. in industrial and printing presses, conveyor systems, robots, lifts, elevators, automatic welders, etc. A long service life, extremely precise switching and speed are the outstanding characteristics of inductive BERO. They can also be used under hostile ambient conditions, for example in the presence of splashwater, cleaning emulsions, oil and lubricants.



Our product spectrum offers a large choice of inductive BERO for many different requirements.

### BERO for normal requirements

• cylindrical type 3...34 mm, DC;  
 • cylindrical type with M5 .. M30 thread, DC/AC;  
 • type 5 x 5 mm .. 80 x 100 mm, DC/AC;  
 • rating distances: 0.6 mm to 75 mm

### BERO optimized for solid-state inputs (PLC)

• rated operational voltage 15 to 34 V  
 • rated current and voltage drop to suit PLC inputs  
 • rated current is supplied from the PLC input

### BERO for extra duty

• rated operational voltage UC 20 up to 320 V and DC 10 up to 65 V  
 • adaptation to different rated operational voltages  
 • insensitive to voltage deviations

### BERO for extreme environmental conditions

• degree of protection IP 68/69K  
 • rugged-plastic or metal enclosure  
 • suitable for use in environments containing oil or lubricants, or where there is permanent splashwater

### BERO with greater rated operating distance

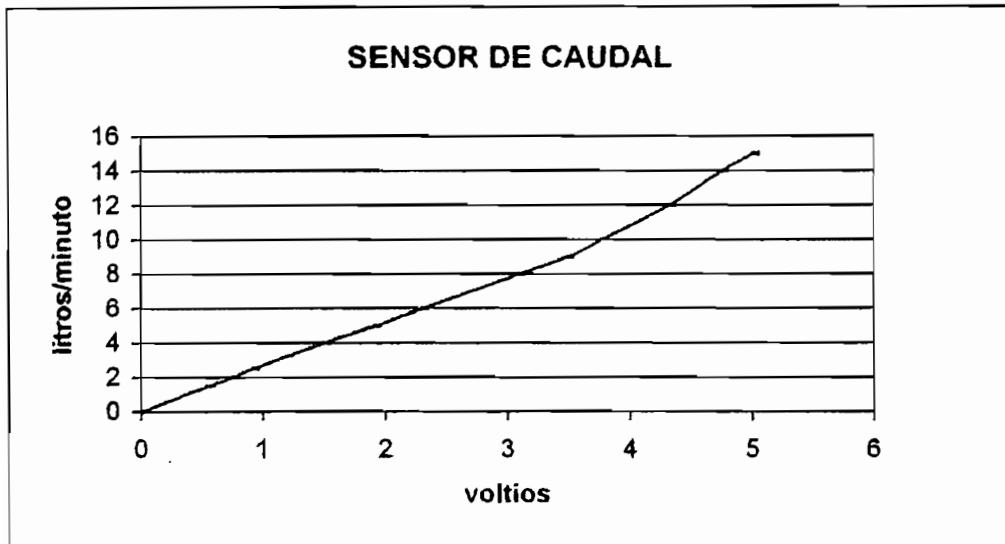


More



**DATOS EXPERIMENTALES Y ACONDICIONADOS  
DEL SENSOR DE CAUDAL**

<b>Voltaje LM2917 (V)</b>	<b>Voltaje acondic ( V )</b>	<b>Caudal (lt / min)</b>
0,12	0	0
0,22	0,55	1,5
0,26	0,75	2
0,31	0,92	2,5
0,42	1,49	4
0,51	1,91	5
0,59	2,3	6
0,75	3,1	8
0,81	3,48	9
0,87	3,77	10
0,98	4,32	12
1,05	4,75	14
1,21	5	15



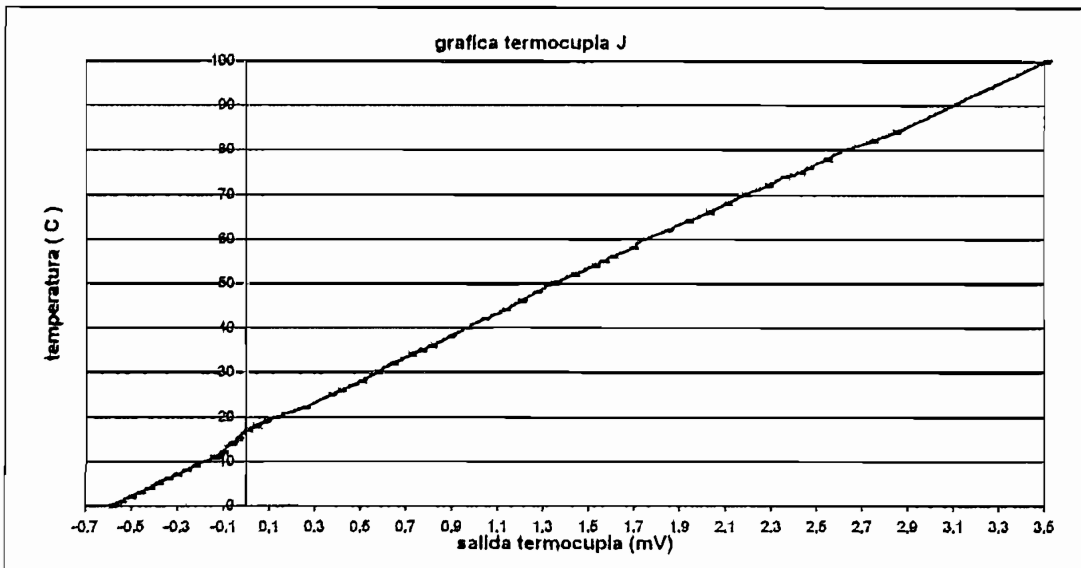


**ANEXO 3.2**  
**TERMOCUPLA TIPO J**

**DATOS EXPERIMENTALES Y ACONDICIONADOS  
DE LAS TERMOCUPLAS TIPO J**

Temperatura °C	salida termocupla mV	G1 = 100 mV	G2 = 10 mV	Voltaje acondic mV
0	-0,59	-59	-590	0
1	-0,55	-55	-550	40
2	-0,51	-51	-510	80
3	-0,47	-47	-470	120
4	-0,43	-43	-430	160
5	-0,39	-39	-390	200
6	-0,35	-35	-350	240
7	-0,31	-31	-310	280
8	-0,27	-27	-270	320
9	-0,23	-23	-230	360
10	-0,19	-19	-190	400
11	-0,15	-15	-150	440
12	-0,11	-11	-110	480
14	-0,07	-7	-70	520
15	-0,04	-4	-40	550
17	0	0	0	590
18	0,04	4	40	630
19	0,08	8	80	670
20	0,12	12	120	710
22	0,25	25	250	840
25	0,37	37	370	960
26	0,41	41	410	1000
28	0,5	50	500	1090
30	0,57	57	570	1160
32	0,64	64	640	1230
34	0,72	72	720	1310
35	0,76	76	760	1350
36	0,81	81	810	1400
38	0,89	89	890	1480
40	0,96	96	960	1550
42	1,04	104	1040	1630
44	1,13	113	1130	1720
46	1,2	120	1200	1790
48	1,27	127	1270	1860
50	1,34	134	1340	1930
52	1,43	143	1430	2020
54	1,52	152	1520	2110
55	1,56	156	1560	2150
56	1,6	160	1600	2190
58	1,69	169	1690	2280
60	1,74	174	1740	2330
62	1,84	184	1840	2430
64	1,93	193	1930	2520
66	2,02	202	2020	2610
68	2,1	210	2100	2690
70	2,18	218	2180	2770
72	2,28	228	2280	2870
74	2,35	235	2350	2940
75	2,42	242	2420	3010

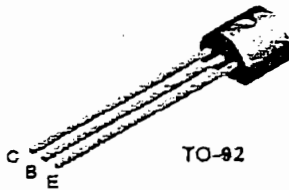
76	2,46	246	2460	3050
78	2,54	254	2540	3130
80	2,62	262	2620	3210
82	2,74	274	2740	3330
84	2,84	284	2840	3430
100	3,5	350	3500	4090



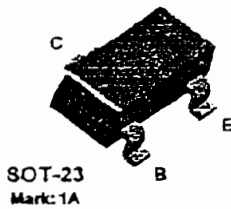
**ANEXO 4**  
**DATOS TÉCNICOS DE ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y**  
**ELECTRÓNICOS**

**ANEXO 4.1**  
**TRANSISTOR 2N3904**

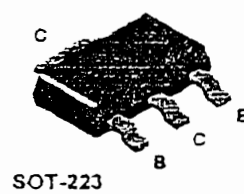
**2N3904**



**MMBT3904**



**PZT3904**



**NPN General Purpose Amplifier**

This device is designed as a general purpose amplifier and switch. The useful dynamic range extends to 100 mA as a switch and to 100 MHz as an amplifier.

**Absolute Maximum Ratings\***  $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
$V_{CE0}$	Collector-Emitter Voltage	40	V
$V_{CB0}$	Collector-Base Voltage	60	V
$V_{EB0}$	Emitter-Base Voltage	6.0	V
$I_C$	Collector Current - Continuous	200	mA
$T_J, T_{stg}$	Operating and Storage Junction Temperature Range	-55 to +150	$^\circ\text{C}$

\*These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

**NOTES:**

- 1) These ratings are based on a maximum junction temperature of 150 degrees C.
- 2) These are steady state limits. The factory should be consulted on applications involving pulsed or low duty cycle operations.

**Thermal Characteristics**  $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted

Symbol	Characteristic	Max			Units
		2N3904	*MMBT3904	**PZT3904	
$P_D$	Total Device Dissipation	625	350	1,000	mW
	Derate above 25 $^\circ\text{C}$	5.0	2.8	8.0	mW/ $^\circ\text{C}$
$R_{\theta JC}$	Thermal Resistance, Junction to Case	83.3			$^\circ\text{C/W}$
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	200	357	125	$^\circ\text{C/W}$

\* Device mounted on FR-4 PCB 1.6" X 1.6" X 0.06."

\*\* Device mounted on FR-4 PCB 36 mm X 18 mm X 1.5 mm; mounting pad for the collector lead min. 6 cm<sup>2</sup>.

## NPN General Purpose Amplifier

(continued)

2N3904 / MMBT3904 / PZT3904

### Electrical Characteristics

$T_j = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min	Max	Units
<b>OFF CHARACTERISTICS</b>					
$V_{(BR)CEO}$	Collector-Emitter Breakdown Voltage	$I_C = 1.0\text{ mA}, I_B = 0$	40		V
$V_{(BR)CBO}$	Collector-Base Breakdown Voltage	$I_C = 10\text{ }\mu\text{A}, I_E = 0$	60		V
$V_{(BR)EBO}$	Emitter-Base Breakdown Voltage	$I_E = 10\text{ }\mu\text{A}, I_C = 0$	6.0		V
$I_{BL}$	Base Cutoff Current	$V_{CE} = 30\text{ V}, V_{EB} = 3\text{ V}$		50	nA
$I_{CEX}$	Collector Cutoff Current	$V_{CE} = 30\text{ V}, V_{EB} = 3\text{ V}$		50	nA

### ON CHARACTERISTICS\*

$h_{FE}$	DC Current Gain	$I_C = 0.1\text{ mA}, V_{CE} = 1.0\text{ V}$ $I_C = 1.0\text{ mA}, V_{CE} = 1.0\text{ V}$ $I_C = 10\text{ mA}, V_{CE} = 1.0\text{ V}$ $I_C = 50\text{ mA}, V_{CE} = 1.0\text{ V}$ $I_C = 100\text{ mA}, V_{CE} = 1.0\text{ V}$	40 70 100 60 30	300	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10\text{ mA}, I_B = 1.0\text{ mA}$ $I_C = 50\text{ mA}, I_B = 5.0\text{ mA}$		0.2 0.3	V V
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10\text{ mA}, I_B = 1.0\text{ mA}$ $I_C = 50\text{ mA}, I_B = 5.0\text{ mA}$	0.65	0.85 0.95	V V

### SMALL SIGNAL CHARACTERISTICS

$f_T$	Current Gain - Bandwidth Product	$I_C = 10\text{ mA}, V_{CE} = 20\text{ V},$ $f = 100\text{ MHz}$	300		MHz
$C_{obo}$	Output Capacitance	$V_{CB} = 5.0\text{ V}, I_E = 0,$ $f = 1.0\text{ MHz}$		4.0	pF
$C_{ibo}$	Input Capacitance	$V_{EB} = 0.5\text{ V}, I_C = 0,$ $f = 1.0\text{ MHz}$		8.0	pF
NF	Noise Figure	$I_C = 100\text{ }\mu\text{A}, V_{CE} = 5.0\text{ V},$ $R_S = 1.0\text{ k}\Omega, f = 10\text{ Hz to }15.7\text{ kHz}$		5.0	dB

### SWITCHING CHARACTERISTICS

$t_d$	Delay Time	$V_{CC} = 3.0\text{ V}, V_{BE} = 0.5\text{ V},$		35	ns
$t_r$	Rise Time	$I_C = 10\text{ mA}, I_{B1} = 1.0\text{ mA}$		35	ns
$t_s$	Storage Time	$V_{CC} = 3.0\text{ V}, I_C = 10\text{ mA}$		200	ns
$t_f$	Fall Time	$I_{B1} = I_{B2} = 1.0\text{ mA}$		50	ns

\* Pulse Test: Pulse Width  $\leq 300\text{ }\mu\text{s}$ , Duty Cycle  $\leq 2.0\%$

### Spice Model

NPN (Is=6.734f Xb=3 Eg=1.11 Vaf=74.03 Bf=416.4 Ne=1.259 Ise=6.734 Hcf=66.78m Xtb=1.5 Br=.7371 Nc=2 Isc=0 Hkr=0 Rc=1 Cjc=3.838p Mjc=.3085 Vjc=.75 Fc=.5 Cje=4.493p Mje=.2593 Vje=.75 Tr=239.5n Tf=301.2p Itr=.4 Vtr=4 Xtr=2 Rb=10)

**ANEXO 4.2**  
**OPTOAISLADOR 4N35**





# 6-Pin DIP Optoisolators Transistor Output

The 4N35, 4N36 and 4N37 devices consist of a gallium arsenide infrared emitting diode optically coupled to a monolithic silicon phototransistor detector.

- Current Transfer Ratio — 100% Minimum @ Specified Conditions
- Guaranteed Switching Speeds
- Meets or Exceeds all JEDEC Registered Specifications
- *To order devices that are tested and marked per VDE 0884 requirements, the suffix "V" must be included at end of part number. VDE 0884 is a test option.*

### Applications

- General Purpose Switching Circuits
- Interfacing and coupling systems of different potentials and impedances
- Regulation Feedback Circuits
- Monitor & Detection Circuits
- Solid State Relays

### MAXIMUM RATINGS (T<sub>A</sub> = 25°C unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
<b>INPUT LED</b>			
Reverse Voltage	V <sub>R</sub>	6	Volts
Forward Current — Continuous	I <sub>F</sub>	60	mA
LED Power Dissipation @ T <sub>A</sub> = 25°C with Negligible Power in Output Detector Derate above 25°C	P <sub>D</sub>	120	mW
		1.41	mW/°C
<b>OUTPUT TRANSISTOR</b>			
Collector–Emitter Voltage	V <sub>CEO</sub>	30	Volts
Emitter–Base Voltage	V <sub>EB0</sub>	7	Volts
Collector–Base Voltage	V <sub>CB0</sub>	70	Volts
Collector Current — Continuous	I <sub>C</sub>	150	mA
Detector Power Dissipation @ T <sub>A</sub> = 25°C with Negligible Power in Input LED Derate above 25°C	P <sub>D</sub>	150	mW
		1.76	mW/°C

### TOTAL DEVICE

Isolation Source Voltage <sup>(1)</sup> (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 sec Duration)	V <sub>ISO</sub>	7500	Vac(pk)
Total Device Power Dissipation @ T <sub>A</sub> = 25°C Derate above 25°C	P <sub>D</sub>	250	mW
		2.94	mW/°C
Ambient Operating Temperature Range <sup>(2)</sup>	T <sub>A</sub>	–55 to +100	°C
Storage Temperature Range <sup>(2)</sup>	T <sub>stg</sub>	–55 to +150	°C
Soldering Temperature (10 sec, 1/16" from case)	T <sub>L</sub>	260	°C

1. Isolation surge voltage is an internal device dielectric breakdown rating.  
For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.
2. Refer to Quality and Reliability Section in Opto Data Book for information on test conditions.  
Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.

GlobalOptoisolator is a trademark of Motorola, Inc.

**4N35\***  
**4N36**  
**4N37**

[CTR = 100% Min]

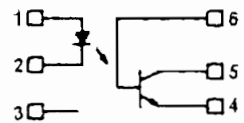
\*Motorola Preferred Device

### STYLE 1 PLASTIC



STANDARD THRU HOLE  
CASE 730A–04

### SCHEMATIC



- PIN 1. LED ANODE
- LED CATHODE
- N.C.
- EMITTER
- COLLECTOR
- BASE



# 4N35 4N36 4N37

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)<sup>(1)</sup>

Characteristic	Symbol	Min	Typ <sup>(1)</sup>	Max	Unit	
<b>INPUT LED</b>						
Forward Voltage ( $I_F = 10\text{ mA}$ )	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = -55^\circ\text{C}$ $T_A = 100^\circ\text{C}$	$V_F$	0.8 0.9 0.7	1.15 1.3 1.05	1.5 1.7 1.4	V
Reverse Leakage Current ( $V_R = 6\text{ V}$ )		$I_R$	—	—	10	$\mu\text{A}$
Capacitance ( $V = 0\text{ V}$ , $f = 1\text{ MHz}$ )		$C_J$	—	18	—	pF
<b>OUTPUT TRANSISTOR</b>						
Collector-Emitter Dark Current ( $V_{CE} = 10\text{ V}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ ) ( $V_{CE} = 30\text{ V}$ , $T_A = 100^\circ\text{C}$ )		$I_{CEO}$	— —	1 —	50 500	nA $\mu\text{A}$
Collector-Base Dark Current ( $V_{CB} = 10\text{ V}$ )	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = 100^\circ\text{C}$	$I_{CBO}$	—	0.2 100	20 —	nA
Collector-Emitter Breakdown Voltage ( $I_C = 1\text{ mA}$ )		$V_{(BR)CEO}$	30	45	—	V
Collector-Base Breakdown Voltage ( $I_C = 100\text{ }\mu\text{A}$ )		$V_{(BR)CBO}$	70	100	—	V
Emitter-Base Breakdown Voltage ( $I_E = 100\text{ }\mu\text{A}$ )		$V_{(BR)EBO}$	7	7.8	—	V
DC Current Gain ( $I_C = 2\text{ mA}$ , $V_{CE} = 5\text{ V}$ )		$h_{FE}$	—	400	—	—
Collector-Emitter Capacitance ( $f = 1\text{ MHz}$ , $V_{CE} = 0$ )		$C_{CE}$	—	7	—	pF
Collector-Base Capacitance ( $f = 1\text{ MHz}$ , $V_{CB} = 0$ )		$C_{CB}$	—	19	—	pF
Emitter-Base Capacitance ( $f = 1\text{ MHz}$ , $V_{EB} = 0$ )		$C_{EB}$	—	9	—	pF
<b>COUPLED</b>						
Output Collector Current ( $I_F = 10\text{ mA}$ , $V_{CE} = 10\text{ V}$ )	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = -55^\circ\text{C}$ $T_A = 100^\circ\text{C}$	$I_C$ (CTR) <sup>(2)</sup>	10 (100) 4 (40) 4 (40)	30 (300) — —	— — —	mA (%)
Collector-Emitter Saturation Voltage ( $I_C = 0.5\text{ mA}$ , $I_F = 10\text{ mA}$ )		$V_{CE(sat)}$	—	0.14	0.3	V
Turn-On Time	$(I_C = 2\text{ mA}$ , $V_{CC} = 10\text{ V}$ , $R_L = 100\text{ }\Omega$ ) <sup>(3)</sup>	$t_{on}$	—	7.5	10	$\mu\text{s}$
Turn-Off Time		$t_{off}$	—	5.7	10	
Rise Time		$t_r$	—	3.2	—	
Fall Time		$t_f$	—	4.7	—	
Isolation Voltage ( $f = 60\text{ Hz}$ , $t = 1\text{ sec}$ )		$V_{ISO}$	7500	—	—	Vac(pk)
Isolation Current <sup>(4)</sup> ( $V_{I-O} = 3550\text{ Vpk}$ ) ( $V_{I-O} = 2500\text{ Vpk}$ ) ( $V_{I-O} = 1500\text{ Vpk}$ )	4N35 4N36 4N37	$I_{ISO}$	— — —	— — 8	100 100 100	$\mu\text{A}$
Isolation Resistance ( $V = 500\text{ V}$ ) <sup>(4)</sup>		$R_{ISO}$	$10^{11}$	—	—	$\Omega$
Isolation Capacitance ( $V = 0\text{ V}$ , $f = 1\text{ MHz}$ ) <sup>(4)</sup>		$C_{ISO}$	—	0.2	2	pF

1. Always design to the specified minimum/maximum electrical limits (where applicable).
2. Current Transfer Ratio (CTR) =  $I_C/I_F \times 100\%$ .
3. For test circuit setup and waveforms, refer to Figure 11.
4. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.

## **ANEXO 4.3**

**CONVERTIDOR BCD A 7 SEGMENTOS 74LS47**

## DM54LS47/DM74LS47 BCD to 7-Segment Decoder/Driver with Open-Collector Outputs

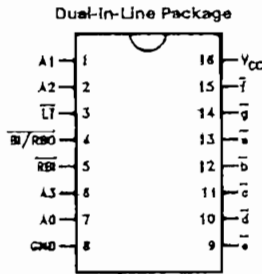
### General Description

The \*LS47 accepts four lines of BCD (8421) input data, generates their complements internally and decodes the data with seven AND/OR gates having open-collector outputs to drive indicator segments directly. Each segment output is guaranteed to sink 24 mA in the ON (LOW) state and withstand 15V in the OFF (HIGH) state with a maximum leakage current of 250  $\mu$ A. Auxiliary inputs provided blanking, lamp test and cascadable zero-suppression functions.

### Features

- Open-collector outputs
- Drive Indicator segments directly
- Cascadable zero-suppression capability
- Lamp test input

### Connection Diagram



TL/F/9817-1

Order Number DM54LS47J, DM54LS47W,  
DM74LS47M or DM74LS47N  
See NS Package Number J16A, M16A, N16E or W16A

Pin Names	Description
A0-A3	BCD Inputs
RBI	Ripple Blanking Input (Active LOW)
LT	Lamp Test Input (Active LOW)
BI/RBO	Blanking Input (Active LOW) or Ripple Blanking Output (Active LOW)
a-g	*Segment Outputs (Active LOW)

\*OC—Open Collector

## Absolute Maximum Ratings (Note)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	7V
Input Voltage	7V
Operating Free Air Temperature Range	
DM54LS	-55°C to +125°C
DM74LS	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

Note: The "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. The device should not be operated at these limits. The parametric values defined in the "Electrical Characteristics" table are not guaranteed at the absolute maximum ratings. The "Recommended Operating Conditions" table will define the conditions for actual device operation.

## Recommended Operating Conditions

Symbol	Parameter	DM54LS47			DM74LS47			Units
		Min	Nom	Max	Min	Nom	Max	
V <sub>CC</sub>	Supply Voltage	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
V <sub>IH</sub>	High Level Input Voltage	2			2			V
V <sub>IL</sub>	Low Level Input Voltage			0.7			0.8	V
I <sub>OH</sub>	High Level Output Current $\bar{a} - \bar{g}$ @ 15V = V <sub>OH</sub> *			-50			-250	μA
I <sub>OH</sub>	High Level Output Current $\overline{BI}/\overline{RBO}$						-50	μA
I <sub>OL</sub>	Low Level Output Current			12			24	mA
T <sub>A</sub>	Free Air Operating Temperature	-55		125	0		70	°C

\*OFF state at  $\bar{a} - \bar{g}$ .

## Electrical Characteristics

Over recommended operating free air temperature range (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ (Note 1)	Max	Units
V <sub>I</sub>	Input Clamp Voltage	V <sub>CC</sub> - Min, I <sub>I</sub> = -18 mA			-1.5	V
V <sub>OH</sub>	High Level Output Voltage	V <sub>CC</sub> - Min, I <sub>OH</sub> = Max, V <sub>IL</sub> = Max, $\overline{BI}/\overline{RBO}$	DM54 2.4			V
			DM74 2.7	3.4		
I <sub>OFF</sub>	Output High Current Segment Outputs	V <sub>CC</sub> = 5.5V, V <sub>O</sub> = 15V $\bar{a} - \bar{g}$			250	μA
V <sub>OL</sub>	Low Level Output Voltage	V <sub>CC</sub> - Min, I <sub>OL</sub> = Max, V <sub>IH</sub> = Min, $\bar{a} - \bar{g}$	DM54		0.4	V
		I <sub>OL</sub> = 3.2 mA, $\overline{BI}/\overline{RBO}$	DM74	0.35	0.5	
		I <sub>OL</sub> = 12 mA, $\bar{a} - \bar{g}$	DM74	0.25	0.4	
		I <sub>OL</sub> = 1.6 mA, $\overline{BI}/\overline{RBO}$	DM74		0.4	
I <sub>I</sub>	Input Current @ Max Input Voltage	V <sub>CC</sub> - Max, V <sub>I</sub> = 7V	DM74		100	μA
		V <sub>CC</sub> - Max, V <sub>I</sub> = 10V	DM54			
I <sub>IH</sub>	High Level Input Current	V <sub>CC</sub> - Max, V <sub>I</sub> = 2.7V			20	μA
I <sub>IL</sub>	Low Level Input Current	V <sub>CC</sub> - Max, V <sub>I</sub> = 0.4V			-0.4	mA
I <sub>OS</sub>	Short Circuit Output Current	V <sub>CC</sub> - Max (Note 2), I <sub>OS</sub> at $\overline{BI}/\overline{RBO}$	DM54 DM74	-0.3 -0.3	-2.0 -2.0	mA
I <sub>CC</sub>	Supply Current	V <sub>CC</sub> - Max			13	mA

Note 1: All typicals are at V<sub>CC</sub> = 5V, T<sub>A</sub> = 25°C.

Note 2: Not more than one output should be shorted at a time, and the duration should not exceed one second.

## **ANEXO 4.4**

### **AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN AD627**

### FEATURES

- Micropower, 85  $\mu$ A Max Supply Current
- Wide Power Supply Range (+2.2 V to  $\pm$ 18 V)
- Easy to Use
  - Gain Set with One External Resistor
  - Gain Range 5 (No Resistor) to 1,000
- Higher Performance than Discrete Designs
- Rail-to-Rail Output Swing
- High Accuracy DC Performance
  - 0.10% Gain Accuracy (G = 5) (AD627A)
  - 10 ppm Gain Drift (G = 5)
  - 125  $\mu$ V Max Input Offset Voltage (AD627B)
  - 200  $\mu$ V Max Input Offset Voltage (AD627A)
  - 1  $\mu$ V/ $^{\circ}$ C Max Input Offset Voltage Drift (AD627B)
  - 3  $\mu$ V/ $^{\circ}$ C Max Input Offset Voltage Drift (AD627A)
  - 10 nA Max Input Bias Current
- Noise: 38 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$  RTI Noise @ 1 kHz (G = 100)
- Excellent AC Specifications
  - 77 dB Min CMRR (G = 5) (AD627A)
  - 83 dB Min CMRR (G = 5) (AD627B)
  - 80 kHz Bandwidth (G = 5)
  - 135  $\mu$ s Settling Time to 0.01% (G = 5, 5 V Step)

### APPLICATIONS

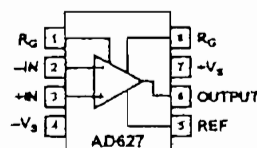
- 4 mA-to-20 mA Loop Powered Applications
- Low Power Medical Instrumentation—ECG, EEG
- Transducer Interfacing
- Thermocouple Amplifiers
- Industrial Process Controls
- Low Power Data Acquisition
- Portable Battery Powered Instruments

### PRODUCT DESCRIPTION

The AD627 is an integrated, micropower, instrumentation amplifier that delivers rail-to-rail output swing on single and dual (+2.2 V to  $\pm$ 18 V) supplies. The AD627 provides the user with excellent ac and dc specifications while operating at only 85  $\mu$ A max.

The AD627 offers superior user flexibility by allowing the user to set the gain of the device with a single external resistor, and by conforming to the 8-lead industry standard pinout configuration. With no external resistor, the AD627 is configured for a gain of 5. With an external resistor, it can be programmed for gains of up to 1000.

### FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM 8-Lead Plastic DIP (N) and SOIC (R)



Wide supply voltage range (+2.2 V to  $\pm$ 18 V), and micropower current consumption make the AD627 a perfect fit for a wide range of applications. Single supply operation, low power consumption and rail-to-rail output swing make the AD627 ideal for battery powered applications. Its rail-to-rail output stage maximizes dynamic range when operating from low supply voltages. Dual supply operation ( $\pm$ 15 V) and low power consumption make the AD627 ideal for industrial applications, including 4 mA-to-20 mA loop-powered systems.

The AD627 does not compromise performance, unlike other micropower instrumentation amplifiers. Low voltage offset, offset drift, gain error, and gain drift keep dc errors to a minimum in the users system. The AD627 also holds errors over frequency to a minimum by providing excellent CMRR over frequency. Line noise, as well as line harmonics, will be rejected, since the CMRR remains high up to 200 Hz.

The AD627 provides superior performance, uses less circuit board area and does it for a lower cost than micropower discrete designs.

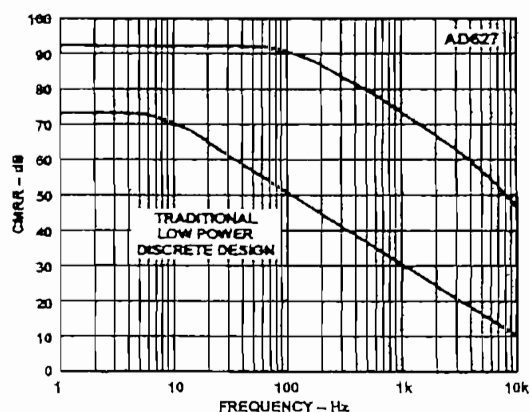


Figure 1. CMRR vs. Frequency,  $\pm 5 V_S$ , Gain = 5

### REV. A

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

# DUAL SUPPLY

(typical @ +25°C Dual Supply,  $V_S = \pm 5$  V and  $\pm 15$  V and  $R_L = 20$  k $\Omega$ , unless otherwise noted)

Model Specification	Conditions	AD627A			AD627B			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
<b>GAIN</b>	$G = 5 + (200 \text{ k}\Omega/R_G)$							
Gain Range		5		1000	5		1000	V/V
Gain Error <sup>1</sup>	$V_{OUT} = (-V_S) + 0.1$ to $(+V_S) - 0.15$							
G = 5			0.03	0.10		0.01	0.06	%
G = 10			0.15	0.35		0.10	0.25	%
G = 100			0.15	0.35		0.10	0.25	%
G = 1000			0.50	0.70		0.25	0.35	%
Nonlinearity								
G = 5	$V_S = \pm 5$ V $\pm 15$ V		10/25	100		10/25	100	ppm
G = 100	$V_S = \pm 5$ V $\pm 15$ V		10/15	100		10/15	100	ppm
Gain vs. Temperature <sup>1</sup>								
G = 5			10	20		10	20	ppm/°C
G > 5			-75			-75		ppm/°C
<b>VOLTAGE OFFSET</b>	Total RTI Error = $V_{OSI} + V_{OSO}$							
Input Offset, $V_{OSI}$ <sup>2</sup>			25	200		25	125	$\mu$ V
Over Temperature	$V_{CM} = V_{REF} = 0$ V			395			190	$\mu$ V
Average TC			0.1	3		0.1	1	$\mu$ V/°C
Output Offset, $V_{OSO}$				1000			500	$\mu$ V
Over Temperature				1700			1100	$\mu$ V
Average TC			2.5	10		2.5	10	$\mu$ V/°C
Offset Referred to the Input vs. Supply (PSRR)								
G = 5		86	100		86	100		dB
G = 10		100	120		100	120		dB
G = 100		110	125		110	125		dB
G = 1000		110	125		110	125		dB
<b>INPUT CURRENT</b>								
Input Bias Current			2	10		2	10	nA
Over Temperature				15			15	nA
Average TC			20			20		pA/°C
Input Offset Current			0.3	1		0.3	1	nA
Over Temperature				5			5	nA
Average TC			5			5		pA/°C
<b>INPUT</b>								
Input Impedance								
Differential			20  2			20  2		G $\Omega$ /pF
Common-Mode			20  2			20  2		G $\Omega$ /pF
Input Voltage Range <sup>3</sup>	$V_S = \pm 1.1$ V to $\pm 18$ V		$(-V_S) - 0.1$	$(+V_S) - 1$		$(-V_S) - 0.1$	$(+V_S) - 1$	V
Common-Mode Rejection <sup>3</sup>								
Ratio DC to 60 Hz with 1 k $\Omega$ Source Imbalance								
G = 5-1000	$V_S = \pm 5$ V, $V_{CM} = -4$ V to $+3.0$ V	77	90		83	96		dB
G = 5-1000	$V_S = \pm 15$ V, $V_{CM} = -12$ V to $+10.9$ V	77	90		83	96		dB
<b>OUTPUT</b>								
Output Swing	$R_L = 20$ k $\Omega$		$(-V_S) + 25$	$(+V_S) - 70$		$(-V_S) + 25$	$(+V_S) - 70$	mV
	$R_L = 100$ k $\Omega$		$(-V_S) + 7$	$(+V_S) - 25$		$(-V_S) + 7$	$(+V_S) - 25$	mV
Short-Circuit Current	Short Circuit to Ground		$\pm 25$			$\pm 25$		mA
<b>DYNAMIC RESPONSE</b>								
Small Signal -3 dB Bandwidth								
G = 5			80			80		kHz
G = 100			3			3		kHz
G = 1000			0.4			0.4		kHz
Slew Rate			+0.05/-0.06			+0.05/-0.06		V/ $\mu$ s
Settling Time to 0.01%	$V_S = \pm 5$ V, +5 V Output Step							$\mu$ s
G = 5			135			135		$\mu$ s
G = 100			350			350		$\mu$ s
Settling Time to 0.01%	$V_S = \pm 15$ V, +15 V Output Step							$\mu$ s
G = 5			330			330		$\mu$ s
G = 100			560			560		$\mu$ s
Overload Recovery	50% Input Overload		3			3		$\mu$ s

## NOTES

<sup>1</sup>Does not include effects of external resistor  $R_G$ .<sup>2</sup>See Table III for total RTI errors.<sup>3</sup>See Applications section for input range, gain range and common-mode range.

Specifications subject to change without notice.



**THEORY OF OPERATION**

The AD627 is a true "instrumentation amplifier" built using two feedback loops. Its general properties are similar to those of a classic "two op amp" instrumentation amplifier configuration, and can be regarded as such, but internally the details are somewhat different. The AD627 uses a modified "current feedback" scheme which, coupled with interstage feedforward frequency compensation, results in a much better CMRR (Common-Mode Rejection Ratio) at frequencies above dc (notably the line frequency of 50 Hz-60 Hz) than might otherwise be expected of a low power instrumentation amplifier.

Referring to the diagram, (Figure 32), A1 completes a feedback loop which, in conjunction with V1 and R5, forces a constant collector current in Q1. Assume that the gain-setting resistor ( $R_G$ ) is not present for the moment. Resistors R2 and R1 complete the loop and force the output of A1 to be equal to the voltage on the inverting terminal with a gain of (almost exactly) 5. A nearly identical feedback loop completed by A2 forces a constant current in Q2 which is substantially identical to that in Q1, and also provides the output voltage. When both loops are balanced, the gain from the noninverting terminal to  $V_{OUT}$  is equal to 5, whereas the gain from the output of A1 to  $V_{OUT}$  is equal to 1. The inverting terminal gain of A1, (1.25) times the gain of A2, (-4) makes the gain from the inverting and noninverting terminals equal.

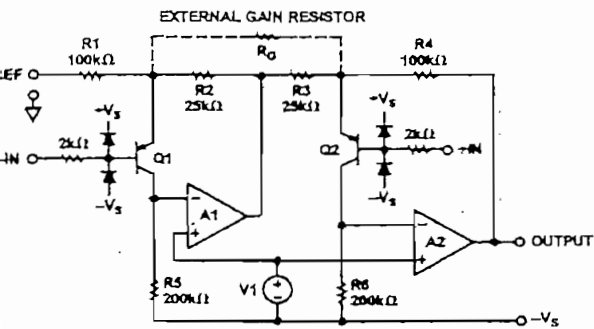


Figure 32. Simplified Schematic

The differential mode gain is equal to  $1 + R_4/R_3$ , nominally five and is factory trimmed to 0.01% final accuracy. Adding an external gain setting resistor ( $R_G$ ) increases the gain by an amount equal to  $(R_4 + R_1)/R_G$ . The output voltage of the AD627 is given by the following equation.

$$V_{OUT} = [V_{IN(+)} - V_{IN(-)}] \times (5 + 200 \text{ k}\Omega/R_G) + V_{REF}$$

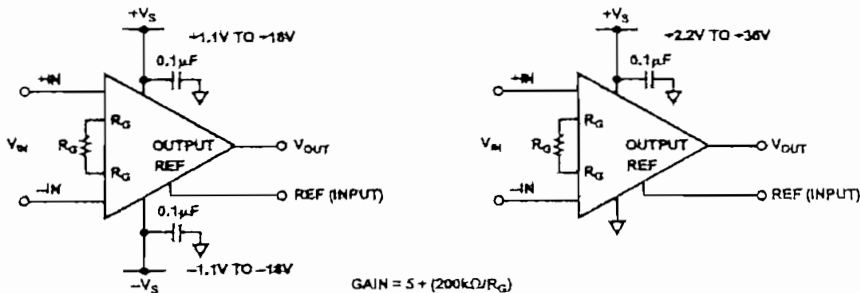


Figure 33. Basic Connections for Single and Dual Supplies

Laser trims are performed on R1 through R4 to ensure that their values are as close as possible to the absolute values in the gain equation. This ensures low gain error and high common-mode rejection at all practical gains.

**USING THE AD627**

**Basic Connections**

Figure 33 shows the basic connection circuit for the AD627. The  $+V_S$  and  $-V_S$  terminals are connected to the power supply. The supply can either be bipolar ( $V_S = \pm 1.1 \text{ V}$  to  $\pm 18 \text{ V}$ ) or single supply ( $-V_S = 0 \text{ V}$ ,  $+V_S = +2.2 \text{ V}$  to  $+36 \text{ V}$ ). The power supplies should be capacitively decoupled close to the devices power pins. For best results, use surface mount 0.1  $\mu\text{F}$  ceramic chip capacitors.

The input voltage, which can be either single ended (tie either  $-IN$  or  $+IN$  to ground) or differential. The difference between the voltage on the inverting and noninverting pins is amplified by the programmed gain. The programmed gain is set by the gain resistor (see below). The output signal appears as the voltage difference between the output pin and the externally applied voltage on the REF pin (see below).

**Setting the Gain**

The AD627's gain is resistor programmed by  $R_G$ , or more precisely, by whatever impedance appears between Pins 1 and 8. The gain is set according to the equation:

$$Gain = 5 + (200 \text{ k}\Omega/R_G)$$

OR

$$R_G = 200 \text{ k}\Omega / (Gain - 5)$$

It follows that the minimum achievable gain is 5 (for  $R_G = \infty$ ). With an internal gain accuracy of between 0.05% and 0.7% depending on gain and grade, a 0.1% external gain resistor would seem appropriate to prevent significant degradation of the overall gain error. However, 0.1% resistors are not available in a wide range of values and are quite expensive. Table I shows recommended gain resistor values using 1% resistors. For all gains, the size of the gain resistor is conservatively chosen as the closest value from the standard resistor table that is higher than the ideal value. This results in a gain that is always slightly less than the desired gain. This prevents clipping of the signal at the output due to resistor tolerance.

The internal resistors on the AD627 have a negative temperature coefficient of  $-75 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$  max for gains  $> 5$ . Using a gain resistor that also has a negative temperature coefficient of  $-75 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$  or less will tend to reduce the overall circuit's gain drift.

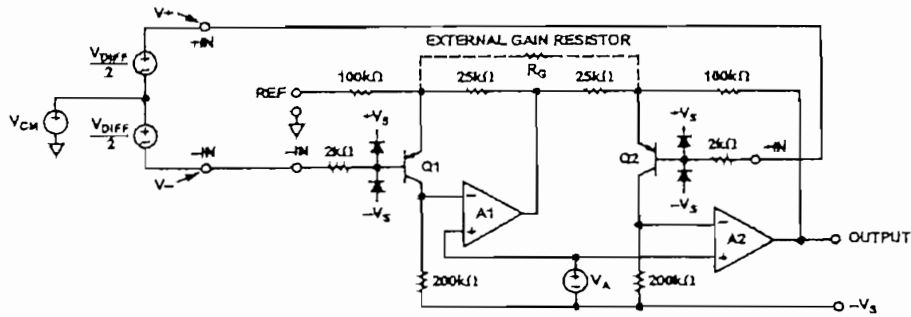


Figure 34. Amplifying Differential Signals with a Common-Mode Component

Table I. Recommended Values of Gain Resistors

Desired Gain	1% Std Table Value of $R_G$ , $\Omega$	Resulting Gain
5	$\infty$	5
6	200 k	6
7	100 k	7
8	68.1 k	7.93
9	51.1 k	8.91
10	40.2 k	9.98
15	20 k	15
20	13.7 k	19.6
25	10 k	25
30	8.06 k	29.81
40	5.76 k	39.72
50	4.53 k	49.15
60	3.65 k	59.79
70	3.09 k	69.73
80	2.67 k	79.9
90	2.37 k	89.39
100	2.1 k	99.24
200	1.05 k	195.48
500	412	489.44
1000	205	980.61

#### Reference Terminal

The reference terminal potential defines the zero output voltage and is especially useful when the load does not share a precise ground with the rest of the system. It provides a direct means of injecting a precise offset to the output. The reference terminal is also useful when bipolar signals are being amplified as it can be used to provide a virtual ground voltage.

Since the AD627 output voltage is developed with respect to the potential on the reference terminal, it can solve many grounding problems by simply tying the REF pin to the appropriate "local ground." The REF pin should however be tied to a low impedance point for optimal CMR.

#### Input Range Limitations in Single Supply Applications

In general, the maximum achievable gain is determined by the available output signal range. However, in single supply applications where the input common mode voltage is close to or equal to zero, some limitations on the gain can be set. While the Input, Output and Reference Pins have ranges that are nominally defined on the specification pages, there is a mutual interdependence between the voltage ranges on these pins. Figure 34 shows the simplified schematic of the AD627, driven by a differential voltage  $V_{DIFF}$  which has a common mode component,  $V_{CM}$ . The voltage on the output of op amp A1 is a function of  $V_{DIFF}$ ,  $V_{CM}$ , the voltage on the REF pin and the programmed gain. This voltage is given by the equation:

$$V_{A1} = 1.25 (V_{CM} + 0.5 V) - 0.25 V_{REF} - V_{DIFF} (25 k\Omega / R_G - 0.625)$$

We can also express the voltage on A1 as a function of the actual voltages on the -IN and +IN pins ( $V^-$  and  $V^+$ )

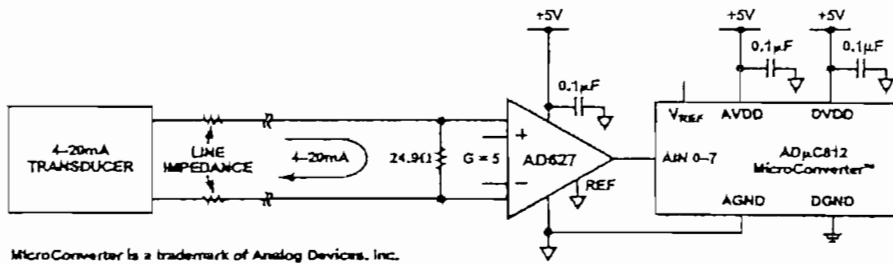
$$V_{A1} = 1.25 (V^- + 0.5 V) - 0.25 V_{REF} - (V^+ - V^-) 25 k\Omega / R_G$$

A1's output is capable of swinging to within 50 mV of the negative rail and to within 200 mV of the positive rail. From either of the above equations, it is clear that an increasing  $V_{REF}$ , (while it acts as a positive offset at the output of the AD627), tends to decrease the voltage on A1. Figures 35 and 36 show the maximum voltages that can be applied to the REF pin, for a gain of five for both the single and dual supply cases. Raising the input common-mode voltage will increase the voltage on the output of A1. However, in single supply applications where the common-mode voltage is low, a differential input voltage or a voltage on REF that is too high can drive the output of A1 into the ground rail. Some low side headroom is added by virtue of both inputs being shifted upwards by about 0.5 V (i.e., by the  $V_{BE}$  of Q1 and Q2). The above equations can be used to check that the voltage on amplifier A1 is within its operating range.

Table II gives values for the maximum gains for various single supply input conditions. The resulting output swings shown refer to 0 V. The voltages on the REF pins has been set to either

Table II. Maximum Gain for Low Common-Mode Single Supply Applications

$V_{IN}$	REF Pin	Supply Voltage	$R_G$ (1% Tolerance)	Resulting Max Gain	Output Swing WRT 0 V
$\pm 100$ mV, $V_{CM} = 0$ V	2 V	+5 V to +15 V	28.7 k $\Omega$	12.0	0.8 V to 3.2 V
$\pm 50$ mV, $V_{CM} = 0$ V	2 V	+5 V to +15 V	10.7 k $\Omega$	23.7	0.8 V to 3.2 V
$\pm 10$ mV, $V_{CM} = 0$ V	2 V	+5 V to +15 V	1.74 k $\Omega$	119.9	0.8 V to 3.2 V
$V^- = 0$ V, $V^+ = 0$ V to 1 V	1 V	+10 V to +15 V	78.7 k $\Omega$	7.5	1 V to 8.5 V
$V^- = 0$ V, $V^+ = 0$ mV to 100 mV	1 V	+5 V to +15 V	7.87 k $\Omega$	31	1 V to 4.1 V
$V^- = 0$ V, $V^+ = 0$ mV to 10 mV	1 V	+5 V to +15 V	7.87 $\Omega$	259.1	1 V to 3.6 V



MicroConverter is a trademark of Analog Devices, Inc.

Figure 46. A 4 mA-to-20 mA Receiver Circuit

4 mA-to-20 mA Single Supply Receiver

Figure 46 shows how a signal from a 4 mA-to-20 mA transducer can be interfaced to the ADμC812, a 12-bit ADC with an embedded microcontroller. The signal from a 4 mA-to-20 mA transducer is single ended. This initially suggests the need for a simple shunt resistor, to convert the current to a voltage at the high impedance analog input of the converter. However, any resistance in the return path (to the transducer) will add a current dependent offset error. So the current must be sensed differentially.

In this example, a 24.9 Ω shunt resistor generates a maximum differential input voltage to the AD627 of between 100 mV (for 4 mA in) and 500 mV (for 20 mA in). With no gain resistor present, the AD627 amplifies the 500 mV input voltage by a factor of 5, to 2.5 V, the full-scale input voltage of the ADC. The zero current of 4 mA corresponds to a code of 819 and the LSB size is 4.9 mA.

Thermocouple Amplifier

Because the common-mode input range of the AD627 extends 1 V below ground, it is possible to measure small differential signals which have low, or no, common mode component. Figure 47 shows a thermocouple application where one side of the J-type thermocouple is grounded.

Over a temperature range from -200°C to +200°C, the J-type thermocouple delivers a voltage ranging from -7.890 mV to 10.777 mV. A programmed gain on the AD627 of 100 ( $R_G = 2.1 \text{ k}\Omega$ ) and a voltage on the AD627 REF pin of 2 V, results in the AD627's output voltage ranging from 1.110 V to 3.077 V relative to ground. For a different input range or different voltage on the REF pin, it is important to check that the voltage on internal node A1 (see Figure 34) is not driven below ground. This can be checked using the equations in the section entitled Input Range Limitations in Single Supply Applications.

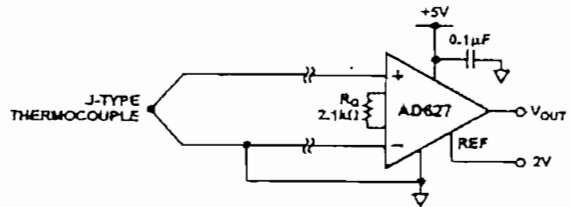
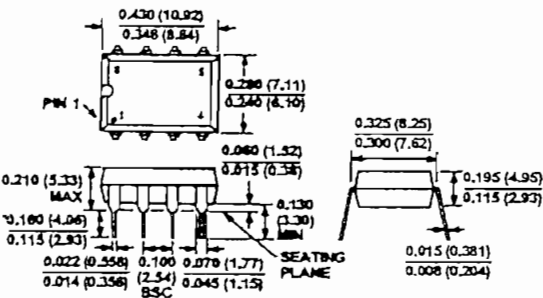


Figure 47. Amplifying Bipolar Signals with Low Common-Mode Voltage

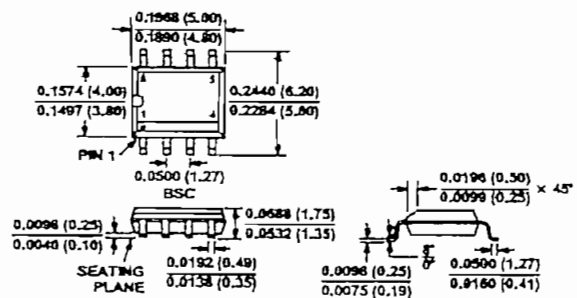
OUTLINE DIMENSIONS

Dimensions shown in inches and (mm).

8-Lead Plastic DIP (N-8)



8-Lead SOIC (SO-8)



## **ANEXO 4.5**

### **DATOS TÉCNICOS ELEMENTOS ELÉCTRICOS**



#### 3SB1-63N MINI CIRCUIT BREAKER

3SB1-63N series circuit breaker is used in lighting distribution system or motor distribution system for protecting overload and short-circuit in the system. The product is neoteric in structure, light in weight, reliable and excellent in performance. Its frame and parts adopt plastics of high fire-resistant and shockproof. The product, with long life, is mainly used in AC 50Hz/60Hz single-pole 240V or two, three, four-pole 415V circuit for overload and short-circuit protection as well as for unfrequent on-and-off switching electric equipment and lighting circuit in normal case. The products comply with IEC 60898.



#### 3SC8 CONTACTORS

3SC8 series A.C Contactor is suitable for using in the circuits up to the rated voltage 660V A.C 50Hz or 60Hz, rated current up to 95A, for making, breaking, frequently starting & controlling the A.C motor. Combined with the auxiliary contact block, timer delay & machine-interlocking device etc, it becomes the delay contactor, mechanical interlocking contactor, star - delta starter. With the thermal relay, it is combined into the electromagnetic starter. The Contactor is produced according to IEC947-4, VDE0660 & Bs5452.



#### 3SR7 THERMAL RELAY

3SR7 thermal relay is suitable for using in power system with AC 50Hz, rated operation voltage up to 660V and 1000V, in main circuit, current from 0.1A to 630A. It is used to protect AC three - phase asynchronous motor against overload and open-phase. The current setting value can be regulated and the setting current values of many thermal elements are intercrossing overlapping arrangement, for easy selecting by the customers from  $-25^{\circ}\text{C}$  to  $+55^{\circ}\text{C}$  air temperature as the products have temperature compensating. The relays have the test push-button for breaking NC contacts, the operating indication and free trip characteristics. The items conform to IEC292-1, IEC337-1 & VDE0660.

LETRAS CLAVE DE IDENTIFICACIÓN EN MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA

Letra clave NEMA	KVA de arranque por caballo de fuerza	Protección de circuito de derivación en porcentaje de corriente de motor-plena carga			
		Arranque a pleno voltaje		Arranque con autotransformador	
		Capacidad máxima del fusible	Ajuste max del breaker	Capacidad máxima del fusible	Ajuste max del breaker
A	0,00-3,14	150	150	150	150
B	3,15-3,54	250	200	200	200
C	3,55-3,99	250	200	200	200
D	4,00-4,49	250	200	200	200
E	4,50-4,99	250	200	200	200
F	5,00-5,59	300	250	250	200
G	5,60-6,29	300	250	250	250
H	6,30-7,09	300	250	250	200
J	7,10-7,99	300	250	250	200
K	8,00-8,99	300	250	250	200
L	9,00-9,99	300	250	250	200
M	10,00-11,19	300	250	250	200
N	11,20-12,49	300	250	250	200
P	12,50-13,99	300	250	250	200
R	14,00-15,99	300	250	250	200
S	16,00-17,99	300	250	250	200
T	18,00-19,99	300	250	250	200
U	20,00-22,39	300	250	250	200
V	22,40-	300	250	250	200
Motor rotor * bobinado		150	150		
* No tiene letra clave					
Arranque					
KVA por HP = (Watts x Amp. rotor cerrado / HP) x					
1 para monofásico					
2 para bifásico					
1,732 para trifásico					
Letra clave aplicadas a la clasificación de motores que normalmente arrancan con voltaje pleno					
Letras clave					
F G H J K L					
HP 15 y mas 10 - 7 1/2 5 3 2 - 1 1/2 1					
monofásico 5 3 2 - 1 1/2 1- 3/4 1/2					

## **ANEXO 5**

### **TABLA DE PROPIEDADES TERMOFÍSICAS DEL AGUA**

TABLA DE PROPIEDADES TERMOFÍSICAS DEL AGUA

Propiedades termofísicas de agua saturada<sup>a</sup>

Temperatura, T (K)	Presión p (bars) <sup>b</sup>	Volumen específico (m <sup>3</sup> /kg)		Entalpía de vaporización h <sub>fg</sub> (kJ/kg)	Calor específico (kJ/kg · K)		Viscosidad μ <sub>f</sub> · 10 <sup>6</sup> (N · s/m <sup>2</sup> )	Conductividad térmica k <sub>f</sub> · 10 <sup>3</sup> (W/m · K)		Número de Prandtl		Tensión superficial σ <sub>f</sub> · 10 <sup>3</sup> (N/m)	Coeficiente de expansión β <sub>f</sub> · 10 <sup>6</sup> (K <sup>-1</sup> )	Temperatura T (K)
		v <sub>f</sub> · 10 <sup>3</sup>	v <sub>g</sub>		c <sub>p,f</sub>	c <sub>p,g</sub>		k <sub>f</sub> · 10 <sup>3</sup>	k <sub>g</sub> · 10 <sup>3</sup>	Pr <sub>f</sub>	Pr <sub>g</sub>			
273.15	0.00611	1.000	206.3	2502	4.217	1.854	1750	8.02	569	18.2	12.99	0.815	75.5	273.15
275	0.00697	1.000	181.7	2497	4.211	1.855	1652	8.09	574	18.3	12.22	0.817	75.3	275
280	0.00990	1.000	130.4	2485	4.198	1.858	1422	8.29	582	18.6	10.26	0.825	74.8	280
285	0.01387	1.000	99.4	2473	4.189	1.861	1225	8.49	590	18.9	8.81	0.833	74.3	285
290	0.01917	1.001	69.7	2461	4.184	1.864	1080	8.69	598	19.3	7.56	0.841	73.7	290
295	0.02617	1.002	51.94	2449	4.181	1.868	959	8.89	606	19.5	6.62	0.849	72.7	295
300	0.03531	1.003	39.13	2438	4.179	1.872	855	9.09	613	19.6	5.83	0.857	71.7	300
305	0.04712	1.005	29.74	2426	4.178	1.877	769	9.29	620	20.1	5.20	0.865	70.9	305
310	0.06221	1.007	22.93	2414	4.178	1.882	695	9.49	628	20.4	4.62	0.873	70.0	310
315	0.08132	1.009	17.82	2402	4.179	1.888	631	9.69	634	20.7	4.16	0.883	69.2	315
320	0.1053	1.011	13.98	2390	4.180	1.895	577	9.89	640	21.0	3.77	0.894	68.3	320
325	0.1351	1.013	11.06	2378	4.182	1.903	528	10.09	645	21.3	3.42	0.901	67.5	325
330	0.1719	1.016	8.82	2366	4.184	1.911	489	10.29	650	21.7	3.15	0.908	66.6	330
335	0.2167	1.018	7.09	2354	4.186	1.920	453	10.49	656	22.0	2.88	0.916	65.8	335
340	0.2713	1.021	5.74	2342	4.188	1.930	420	10.69	660	22.3	2.66	0.925	64.9	340
345	0.3372	1.024	4.683	2329	4.191	1.941	389	10.89	668	22.6	2.45	0.933	64.1	345
350	0.4163	1.027	3.846	2317	4.195	1.954	365	11.09	678	23.0	2.29	0.942	63.2	350
355	0.5100	1.030	3.180	2304	4.199	1.968	343	11.29	671	23.3	2.14	0.951	62.3	355
360	0.6209	1.034	2.645	2291	4.203	1.983	324	11.49	674	23.7	2.02	0.960	61.4	360
365	0.7514	1.038	2.212	2278	4.209	1.999	306	11.69	677	24.1	1.91	0.969	60.5	365
370	0.9040	1.041	1.861	2265	4.214	2.017	289	11.89	679	24.5	1.80	0.978	59.5	370
373.15	1.0133	1.044	1.679	2257	4.217	2.029	279	12.02	680	24.8	1.76	0.984	58.9	373.15
375	1.0815	1.045	1.574	2252	4.220	2.036	274	12.09	681	24.9	1.70	0.987	58.6	375
380	1.2869	1.049	1.337	2239	4.226	2.057	260	12.29	683	25.4	1.61	0.999	57.6	380
385	1.5233	1.053	1.142	2225	4.232	2.080	248	12.49	685	25.8	1.53	1.004	56.6	385



## **ANEXO 6**

**PROGRAMA DEL PIC 16F877 PARA EL PASTEURIZADOR  
PROTOTIPO**

## PROGRAMA DEL PIC 16F877 PARA EL PROTOTIPO DE PASTEURIZACIÓN DE LECHE

```
LIST P=16F877
INCLUDE <P16F877.INC>
```

;\*\*\*\*\*ASIGNACIÓN DE FUNCIONES A REGISTROS AUXILIARES\*\*\*\*\*

```
SELECCION EQU 0X20 ;SELECCION DEL SENSOR DESDE PULSADOR (Ps)
DISPLAY1 EQU 0X21 ;UNIDADES A MOSTRAR EN LOS DISPLAYS
DISPLAY2 EQU 0X22 ;DECENAS A MOSTRAR EN OS DISPLAYS
SENSOR EQU 0X23 ;NUMERAL DEL SENSOR A MOSTRAR EN LOS DISPLAYS
DIGIT11 EQU 0X24 ;UNIDADES BCD DE T1
DIGIT12 EQU 0X25 ;DECENAS BCD DE T1
DIGIT21 EQU 0X26 ;UNIDADES BCD DE T2
DIGIT22 EQU 0X27 ;DECENAS BCD DE T2
DIGIT31 EQU 0X28 ;UNIDADES BCD DE T3
DIGIT32 EQU 0X29 ;DECENAS BCD DE T3
DIGIT41 EQU 0X2A ;UNIDADES BCD DE T4
DIGIT42 EQU 0X2B ;DECENAS BCD DE T4
DIGIT51 EQU 0X2C ;UNIDADES BCD DE T5
DIGIT52 EQU 0X2D ;DECENAS BCD DE T5
DIGIQ11 EQU 0X2E ;UNIDADES BCD DE Q1
DIGIQ12 EQU 0X2F ;DECENAS BCD DE Q1
DIGIL11 EQU 0X30 ;UNIDADES BCD DE L1
DIGIL12 EQU 0X31 ;DECENAS BCD DE L1
CONVERSOR EQU 0X32 ;INDICA EL CANAL EN QUE SE REALIZA LA CONVER A/D
CONVER1 EQU 0X33 ;8 BITS RESULTANTES DE LA CONV A/D JUST IZQ
CONVER2 EQU 0X34 ;2 BITS RESULTANTES DE LA CONV A/D JUST IZQ
TRANSF1 EQU 0X35 ;AUXILIAR PARA SUBROUTINA DE TRANSFORMACION BCD
TRANSF2 EQU 0X36 ;AUXILIAR PARA SUBROUTINA DE TRANSFORMACION BCD
RETAR1 EQU 0X37 ;AUXILIAR PARA SUBROUTINA RETARDOAD
RETAR2 EQU 0X38 ;AUXILIAR PARA SUBROUTINA RETARDOAD
RETAR3 EQU 0X39 ;AUXILIAR PARA SUBROUTINA RETARDOP
RETAR4 EQU 0X3A ;AUXILIAR PARA SUBROUTINA RETARDOP
ESP EQU 0X3B ;BANDERA SE PRODUJO LA INTERRUPCION POR CONV A/D
TERMO1 EQU 0X3C ;ALMACENA LA CONVERSION DE T1 EN 7 BITS
TERMO2 EQU 0X3D ;ALMACENA LA CONVERSION DE T2 EN 7 BITS
TERMO3 EQU 0X3E ;ALMACENA LA CONVERSION DE T3 EN 7 BITS
TERMO4 EQU 0X3F ;ALMACENA LA CONVERSION DE T4 EN 7 BITS
TERMO5 EQU 0X40 ;ALMACENA LA CONVERSION DE T5 EN 7 BITS
CAUDALQ1 EQU 0X41 ;ALMACENA LA CONVERSION DE Q1 EN 7 BITS
SELPLC EQU 0X42 ;ALMACENA LA SELECCION DEL SENSOR DESDE PLC (Pq)
NUMERO EQU 0X43 ;AUXILIAR PARA SUBROUTINA DE TRANSFORMACION BCD
AUX1 EQU 0X44 ;AUXILIAR PARA SUBROUTINA DE TRANSFORMACION BCD
AUX2 EQU 0X45 ;AUXILIAR PARA SUBROUTINA DE TRANSFORMACION BCD
AYUDA1 EQU 0X46 ;AUXILIAR PARA SUBROUTINA DE TRANSFORMACION BCD
AYUDA2 EQU 0X47 ;AUXILIAR PARA SUBROUTINA DE TRANSFORMACION BCD
UNIDAD EQU 0X48 ;ALMACENA LA UNIDAD DE LA TRANSFORMACION BCD
DECENA EQU 0X49 ;ALMACENA LA DECENA DE LA TRANSFORMACION BCD
DIVIL EQU 0X4A ;LSB DEL NUMERO A TRANSFORMAR A BCD
DIVIH EQU 0X4B ;MSB DEL NUMERO A TRANSFORMAR A BCD
HOLA1 EQU 0X4C ;AUXILIAR PARA SUBROUTINA DE TRANSFORMACION BCD
HOLA2 EQU 0X4D ;AUXILIAR PARA SUBROUTINA DE TRANSFORMACION BCD
RIEL EQU 0X4E ;AUXILIAR PARA SUBROUTINA DE TRANSFORMACION BCD
RETAR5 EQU 0X50 ;AUXILIAR PARA SUBROUTINA DE RETARDOT0
RETAR6 EQU 0X51 ;AUXILIAR PARA SUBROUTINA DE RETARDOT0
RETAR7 EQU 0X52 ;AUXILIAR PARA SUBROUTINA DE RETARDOT1
RETAR8 EQU 0X53 ;AUXILIAR PARA SUBROUTINA DE RETARDOT1
```

```

ORG 0X00
GOTO INICIO
ORG 0X04
BANKSEL PIR1
BTFSS PIR1,ADIF
GOTO INTER1
GOTO CONVER ;INTERRUPCION POR CONVERSION A/D COMPLETA
INTER1
BTFSS INTCON,INTF
GOTO INTER2
GOTO INTEREXT ;INTERRUPCION EXTERNA (SELEC DE SENSOR
DESDE PLC)
INTER2
BTFSS INTCON,T0IF
BTFSS PIR1,TMR1IF
GOTO TIMER0 ;INTERRUPCION POR TMR0 (SELEC SENSOR DESDE
PULSA)
GOTO SELECCIONAR ;INTERRUPCION POR TMR1 (BASE DE TIEMPO
DISPLAYS)

```

\*\*\*\*\*DEFINICION DE REGISTROS ESPECIALES\*\*\*\*\*

```

INICIO
BANKSEL PORTA
CLRF PORTA
CLRF PORTB
CLRF PORTC
CLRF PORTD
BANKSEL TRISA ;PORT A COMO IN (CANALES DEL CONV Y RA4 IN DIGITAL)
MOVLW B'00111111'
MOVWF TRISA
MOVLW B'00001111' ;RB4 RB5 RB6 RB7 SALIDAS (DISPLAY NUM SENSOR)
MOVWF TRISB ;RB0 IN (SELEC SENSOR PLC (Pq)) RB1 A RB3 #SENSOR
CLRF TRISC ;PORT C OUT (DISPLAY UNIDADES Y DISPLAY DECENAS)
CLRF TRISD ;PORT D OUT (PALABRA DE 7 BITS DE LA CONVER AL PLC)
MOVLW B'00000111'
MOVWF TRISE ;PORT E COMO IN (RE0-C A/D RE1-Lcal RE2-Pq)
BANKSEL OPTION_REG
MOVLW B'11100000'
MOVWF OPTION_REG ;INT EXT FLANCO ASCENDENTE, TMR0: CONTADOR
MOVLW B'11110000'
MOVWF INTCON ;HABIL INT: GLOBAL-PERIF-EXTER-TMR0
MOVLW B'01000000' ;*****CONFIGURACION DEL CONV A/D*****
MOVWF PIE1 ;HABILITADA INTERRUPCION POR CONVER A/D
MOVLW B'00001001'
MOVWF ADCON1 ;JUST IZQ, PORT A Y RE0 ANALO RE1 Y RE2 DIG
BANKSEL ADCON0 ;CONTROLA LA OPERACION DEL CONV A/D
MOVLW B'01000000' ;Tad: 8*Tosc, CONVER DESACTIVADO
MOVWF ADCON0
BANKSEL PIE1 ;TMR1 (BASE DE TIEMPO DE DISPLAYS)
BSF PIE1,TMR1IE ;HABILITADA INTERRUPCION POR TMR1
BANKSEL T1CON
MOVLW B'00110001'
MOVWF T1CON ;TMR1: OSCILADOR INTERNO, DIV FREQ=1/8
CLRF TMR1H
CLRF TMR1L
BANKSEL TMR0
MOVLW D'255'
MOVWF TMR0

```

BANKSEL	SELECCION	
MOVLW	.16	; VALORES PARA LA SUBROUTINA DE TRANSFOR BCD
MOVWF	NUMERO	
MOVLW	.246	
MOVWF	AYUDA1	
MOVLW	.255	
MOVWF	AYUDA2	
MOVLW	.3	
MOVWF	RIEL	
CLRF	UNIDAD	
CLRF	DECENA	
CLRF	SELECCION	
CLRF	DISPLAY1	
CLRF	DISPLAY2	
CLRF	SENSOR	
CLRF	CONVERSOR	
GOTO	TERMOCUPLA1	

;\*\*\*\*\*PROGRAMA PRINCIPAL\*\*\*\*\*

TERMOCUPLA1		GOTO	LAZO2
BANKSEL	ADCON0	BCF	ESP,0
CLRF	CONVERSOR	BCF	ADCON0,ADON
BCF	ADCON0,CHS2	BANKSEL	CONVER1
BCF	ADCON0,CHS1	MOVF	CONVER1,W
BCF	ADCON0,CHS0	MOVWF	TERMO2
BSF	ADCON0,ADON	MOVWF	DIVIL
CALL	RETARDOAD	CLRF	DIVIH
BSF	ADCON0,GO	CALL	TRANSFORMA
LAZO1		BANKSEL	UNIDAD
BANKSEL	ESP	MOVF	UNIDAD,W
BTFS	ESP,0	MOVWF	DIGIT21
GOTO	LAZO1	MOVF	DECENA,W
BCF	ESP,0	MOVWF	DIGIT22
BCF	ADCON0,ADON		
BANKSEL	CONVER1	TERMOCUPLA3	
MOVF	CONVER1,W	BANKSEL	ADCON0
MOVWF	TERMO1	INCF	CONVERSOR
MOVWF	DIVIL	BCF	ADCON0,CHS2
CLRF	DIVIH	BSF	ADCON0,CHS1
CALL	TRANSFORMA	BCF	ADCON0,CHS0
BANKSEL	UNIDAD	BSF	ADCON0,ADON
MOVF	UNIDAD,W	CALL	RETARDOAD
MOVWF	DIGIT11	BSF	ADCON0,GO
MOVF	DECENA,W	LAZO3	
MOVWF	DIGIT12	BANKSEL	ESP
TERMOCUPLA2		BTFS	ESP,0
BANKSEL	ADCON0	GOTO	LAZO3
INCF	CONVERSOR	BCF	ESP,0
BCF	ADCON0,CHS2	BCF	ADCON0,ADON
BCF	ADCON0,CHS1	BANKSEL	CONVER1
BSF	ADCON0,CHS0	MOVF	CONVER1,W
BSF	ADCON0,ADON	MOVWF	TERMO3
CALL	RETARDOAD	MOVWF	DIVIL
BSF	ADCON0,GO	CLRF	DIVIH
LAZO2		CALL	TRANSFORMA
BANKSEL	ESP	BANKSEL	UNIDAD
BTFS	ESP,0	MOVF	UNIDAD,W
		MOVWF	DIGIT31

MOVF	DECENA,W	BSF	ADCON0,CHS2
MOVWF	DIGIT32	BCF	ADCON0,CHS1
TERMOCUPLA4		BSF	ADCON0,CHS0
BANKSEL	ADCON0	BSF	ADCON0,ADON
INCF	CONVERSOR	CALL	RETARDOAD
BCF	ADCON0,CHS2	BSF	ADCON0,GO
BSF	ADCON0,CHS1	LAZO6	
BSF	ADCON0,CHS0	BANKSEL	ESP
BSF	ADCON0,ADON	BTFSS	ESP,0
CALL	RETARDOAD	GOTO	LAZO6
BSF	ADCON0,GO	BCF	ESP,0
LAZO4		BCF	ADCON0,ADON
BANKSEL	ESP	BANKSEL	CONVER1
BTFSS	ESP,0	BCF	STATUS,0
GOTO	LAZO4	RRF	CONVER1
BCF	ESP,0	BCF	CONVER1,7
BCF	ADCON0,ADON	BCF	STATUS,0
BANKSEL	CONVER1	RRF	CONVER1
MOVF	CONVER1,W	BCF	CONVER1,7
MOVWF	TERMO4	BCF	STATUS,0
MOVWF	DIVIL	RRF	CONVER1
CLRF	DIVIH	BCF	CONVER1,7
CALL	TRANSFORMA	BCF	STATUS,0
BANKSEL	UNIDAD	MOVF	CONVER1,W
MOVF	UNIDAD,W	MOVWF	CAUDALQ1
MOVWF	DIGIT41	MOVWF	DIVIL
MOVF	DECENA,W	CLRF	DIVIH
MOVWF	DIGIT42	CALL	TRANSFORMA
TERMOCUPLA5		BANKSEL	UNIDAD
BANKSEL	ADCON0	MOVF	UNIDAD,W
INCF	CONVERSOR	MOVWF	DIGIQ11
BSF	ADCON0,CHS2	MOVF	DECENA,W
BCF	ADCON0,CHS1	MOVWF	DIGIQ12
BCF	ADCON0,CHS0		
BSF	ADCON0,ADON	GOTO	TERMOCUPLA1
CALL	RETARDOAD		
BSF	ADCON0,GO		
LAZO5			
BANKSEL	ESP	RETARDOAD	(T = 0.065seg)
BTFSS	ESP,0	MOVLW	0XFF
GOTO	LAZO5	MOVWF	RETAR1
BCF	ESP,0	DREC0	
BCF	ADCON0,ADON	MOVLW	0XFF
BANKSEL	CONVER1	MOVWF	RETAR2
MOVF	CONVER1,W	DREC1	
MOVWF	TERMO5	DECFSZ	RETAR2,F
MOVWF	DIVIL	GOTO	DREC1
CLRF	DIVIH	DECFSZ	RETAR1,F
CALL	TRANSFORMA	GOTO	DREC0
BANKSEL	UNIDAD	RETURN	
MOVF	UNIDAD,W		
MOVWF	DIGIT51		
MOVF	DECENA,W		
MOVWF	DIGIT52		
CAUDAL1			
BANKSEL	ADCON0		
INCF	CONVERSOR		

*;\*\*\*\*\*SUBROUTINA DE RETARDO PARA  
ADQUIRIR EL VALOR ANALOGO\*\*\*\*\**

;\*\*\*\*\*SUBROUTINA DE INTERRUPCION EXTERNA\*\*\*\*\*  
 \*\*\*\* (SELECCION DE SENSOR DESDE PLC)\*\*\*\*

```

INTEREXT      MOVWF      PORTD
              CALL      RETARDOP
              GOTO      PLC8
              BANKSEL   INTCON
              BCF       INTCON,INTF
              CALL      RETARDOP
              BANKSEL   PORTB
              MOVF      PORTB,W          PLC5
              ANDLW     B'00001110'
              BANKSEL   SELPLC
              MOVWF     SELPLC
PLC1          MOVF      SELPLC,W
              BCF       STATUS,Z
              XORLW     B'00000010'
              BTFSS     STATUS,Z
              GOTO      PLC2
              BANKSEL   TERMO1
              MOVF      TERMO1,W
              BANKSEL   PORTD
              MOVWF     PORTD          PLC6
              CALL      RETARDOP
              GOTO      PLC8
              BANKSEL   TERMO1
              MOVF      TERMO1,W
              BANKSEL   PORTD
              MOVWF     PORTD
              CALL      RETARDOP
              GOTO      PLC8
PLC2          MOVF      SELPLC,W
              BCF       STATUS,Z
              XORLW     B'00000100'
              BTFSS     STATUS,Z
              GOTO      PLC3
              BANKSEL   TERMO2
              MOVF      TERMO2,W
              BANKSEL   PORTD
              MOVWF     PORTD          PLC7
              CALL      RETARDOP
              GOTO      PLC8
PLC3          MOVF      SELPLC,W
              BCF       STATUS,Z
              XORLW     B'00000110'
              BTFSS     STATUS,Z
              GOTO      PLC4
              BANKSEL   TERMO3
              MOVF      TERMO3,W
              BANKSEL   PORTD
              MOVWF     PORTD          PLC71
              CALL      RETARDOP
              GOTO      PLC8
PLC4          MOVF      SELPLC,W
              BCF       STATUS,Z
              XORLW     B'00001000'
              BTFSS     STATUS,Z
              GOTO      PLC5
              BANKSEL   TERMO4
              MOVF      TERMO4,W
              BANKSEL   PORTD
              MOVWF     PORTD
              CALL      RETARDOP
              GOTO      PLC8
              RETARDOP      (T = 0.015seg)
              MOVLW      0X2F
              MOVWF      RETAR3
              DREC2
;*****SUBROUTINA DE RETARDO PARA
PULSO ENVIADO AL PLC*****
  
```

```

MOV LW    0XFF          GOTO    DREC2
MOV W    RETAR4        RETURN
DREC3    ;*****
DECFSZ   RETAR4,F     PLC8
GOTO     DREC3        RETFIE
DECFSZ   RETAR3,F

```

;\*\*\*\*\*SUBROUTINA DE INTERRUPCIÓN POR CONVERSION A/D\*\*\*\*\*

```

CONVER    MOVF    ADRESH,W
BANKSEL  PIR1      BANKSEL  CONVER1
BCF      PIR1,ADIF MOVWF   CONVER1
BANKSEL  ESP       BCF      STATUS,0
BSF      ESP,0     RRF      CONVER1
BANKSEL  ADRESL    BCF      CONVER1,7
MOVF    ADRESL,W  BCF      STATUS,0
BANKSEL  CONVER2
MOVWF   CONVER2   RETFIE
BANKSEL  ADRESH

```

;\*\*\*\*\*SUBROUTINA DE INTERRUPCION POR TMR0 /CONTADOR/\*\*\*\*\*  
\*\*\*\*(SELECCION DE SENSOR DESDE PANEL DE CONTROL)\*\*\*\*

```

TIMER0    RETFIE
BANKSEL  INTCON
BCF      INTCON,T0IF
CALL    RETARDOT0 ;*****SUBROUTINA DE RETARDO PARA
CALL    RETARDOT0 REBOTES DEL PULSADOR*****
BANKSEL  TMR0
MOVLW   D'255'    RETARDOT0
MOVWF   TMR0      MOV LW    0XFF
BANKSEL  SELECCION MOVWF   RETAR5
INCF    SELECCION,F DREC4
BCF     STATUS,Z
MOVF    SELECCION,W
XORLW   D'7'      DREC5
BTFS   STATUS,Z   DECFSZ   RETAR6,F
GOTO    TIMER01   GOTO    DREC5
BANKSEL  SELECCION DECFSZ   RETAR5,F
CLRF    SELECCION GOTO    DREC4
INCF    SELECCION RETURN
TIMER01

```

;\*\*\*\*\*SUBROUTINA DE INTERRUPCION POR TMR1 /TIMER/ \*\*\*\*\*  
\*\*\*\*(BASE DE TIEMPO ACTUALIZAR LOS DISPLAYS)\*\*\*\*

```

SELECCIONAR
BANKSEL  PIR1      SELECC1
BCF      PIR1,TMRIIF MOVF    SELECCION,W
BANKSEL  T1CON    XORLW   D'1'
BCF      T1CON,TMRI1ON BTFS   STATUS,Z
CLRF     TMRIH    GOTO    SELECC2
CLRF     TMRIL    BANKSEL  SENSOR
CALL    RETARDOT1 MOV LW   B'0000001'
BANKSEL  SELECCION MOVWF   SENSOR
BCF     STATUS,Z MOVF    DIGIT11,W

```

```

MOVWF DISPLAY1
MOVF DIGIT12,W
MOVWF DISPLAY2
GOTO MOSTRAR

SELECC2
MOVF SELECCION,W
XORLW D'2'
BTFSS STATUS,Z
GOTO SELECC3
BANKSEL SENSOR
MOVLW B'0000010'
MOVWF SENSOR
MOVF DIGIT21,W
MOVWF DISPLAY1
MOVF DIGIT22,W
MOVWF DISPLAY2
GOTO MOSTRAR

SELECC3
MOVF SELECCION,W
XORLW D'3'
BTFSS STATUS,Z
GOTO SELECC4
BANKSEL SENSOR
MOVLW B'0000011'
MOVWF SENSOR
MOVF DIGIT31,W
MOVWF DISPLAY1
MOVF DIGIT32,W
MOVWF DISPLAY2
GOTO MOSTRAR

SELECC4
MOVF SELECCION,W
XORLW D'4'
BTFSS STATUS,Z
GOTO SELECC5
BANKSEL SENSOR
MOVLW B'0000100'
MOVWF SENSOR
MOVF DIGIT41,W
MOVWF DISPLAY1
MOVF DIGIT42,W
MOVWF DISPLAY2
GOTO MOSTRAR

SELECC5
MOVF SELECCION,W
XORLW D'5'
BTFSS STATUS,Z
GOTO SELECC6
BANKSEL SENSOR
MOVLW B'0000101'
MOVWF SENSOR
MOVF DIGIT51,W
MOVWF DISPLAY1
MOVF DIGIT52,W
MOVWF DISPLAY2
GOTO MOSTRAR

SELECC6
MOVF SELECCION,W
XORLW D'6'
BTFSS STATUS,Z
GOTO SELECC7
BANKSEL SENSOR
MOVLW B'00000110'
MOVWF SENSOR
MOVF DIGIQ11,W
MOVWF DISPLAY1
MOVF DIGIQ12,W
MOVWF DISPLAY2
GOTO MOSTRAR

SELECC7
BANKSEL T1CON
BSF T1CON,TMR1ON
RETFIE

;*****SUBROUTINA PARA MOSTRAR
LOS VALORES EN LOS DISPLAYS*****
MOSTRAR
BANKSEL PORTC
MOVLW B'11110000'
ANDWF PORTC,F
BANKSEL DISPLAY1
MOVLW B'00001111'
ANDWF DISPLAY1,F
MOVF DISPLAY1,W
BANKSEL PORTC
XORWF PORTC,F
MOVLW B'00001111'
ANDWF PORTC,F
BANKSEL DISPLAY2
SWAPF DISPLAY2,F
MOVLW B'11110000'
ANDWF DISPLAY2,F
MOVF DISPLAY2,W
BANKSEL PORTC
XORWF PORTC,F
BANKSEL SENSOR
MOVLW B'00001111'
ANDWF SENSOR,F
SWAPF SENSOR,F
MOVF SENSOR,W
BANKSEL PORTB
MOVWF PORTB
BANKSEL T1CON
BSF T1CON,TMR1ON
RETFIE

RETARDOT1
MOVLW 0X2F
MOVWF RETAR7

DREC6
MOVLW 0XFF
MOVWF RETAR8

DREC7

```



DECFSZ	RETAR8,F	GOTO	DREC6
GOTO	DREC7	RETURN	
DECFSZ	RETAR7,F		

;\*\*\*\*\*SUBROUTINA DE TRANSFORMACION DE BITS A BCD\*\*\*\*\*

TRANSFORMA		MOVWF	UNIDAD
MOVF	DIVL,W	;UNIDAD DE LA TRANSFOR	
MOVWF	AUX1	GOTO	PROG
MOVF	DIVH,W	DECE	
MOVWF	AUX2	MOVF	RIEL,W
PROG		XORLW	.1
CLRF	TRANSF1	BTFSS	STATUS,Z
CLRF	TRANSF2	GOTO	SALIDA
CLRF	HOLA1	MOVF	TRANSF1,W
CLRF	HOLA2	MOVWF	DECENA
BCF	STATUS,C	;DECENA DE LA TRANSFOR	
		MOVLW	.3
DESPLAZA		MOVWF	RIEL
RLF	AUX1,F		
RLF	AUX2,F	SALIDA	
RLF	TRANSF1,F	RETURN	
RLF	TRANSF2,F		
MOVF	TRANSF1,W		
ADDWF	AYUDA1,W	END	
MOVWF	HOLA1		
BTFSS	STATUS,C		
GOTO	SUMAR		
MOVLW	.1		
ADDWF	TRANSF2,W		
ADDWF	AYUDA2,W		
MOVWF	HOLA2		
GOTO	CARRY		
SUMAR			
MOVF	TRANSF2,W		
ADDWF	AYUDA2,W		
MOVWF	HOLA2		
CARRY			
BTFSS	STATUS,C		
GOTO	CONTINUA		
MOVF	HOLA2,W		
MOVWF	TRANSF2		
MOVF	HOLA1,W		
MOVWF	TRANSF1		
MOVLW	.1		
ADDWF	AUX1,F		
BCF	STATUS,C		
CONTINUA			
DECFSZ	NUMERO,F		
GOTO	DESPLAZA		
MOVLW	.16		
MOVWF	NUMERO		
DEC	RIEL,F		
MOVF	RIEL,W		
XORLW	.2		
BTFSS	STATUS,Z		
GOTO	DECE		
MOVF	TRANSF1,W		

**ANEXO 7**  
**SCRIPT DEL HMI DESARROLLADO EN EL PROGRAMA**  
**INTOUCH**

## SCRIPT DEL HMI DESARROLLADO EN EL PROGRAMA INTOUCH

```
IF LHT1 == 1 THEN
    VACEADO =500;
    TIMER1 = 0;
ENDIF;

IF BALIMENTOS == 1 THEN
    VACEADO = VACEADO - 1;
    TIMER1= TIMER1+5;
    TIMER2 = TIMER2 +1;
    CAUDAL = Q1;
    TIMER3 = TIMER2/60;
    PRODUCCION =CAUDAL * TIMER3;
    PRODUCCIONF = PRODUCCION;

    IF TIMER1 >= 95 THEN
        TIMER1 = 0;
        ENDIF;

IF BALIMENTOS == 0 THEN
    VACEADO = 0;
    TIMER1 =100;
    TIMER2 = 0;
    ENDIF;

ENDIF;

IF SUB_CI == 1 AND NIVEL_T1 == 1 THEN
    Show " REINICIO DE PROCESO";
ENDIF;

IF NIVEL_T1 == 1 AND SUB_CI == 0 THEN
    Show "FIN DE PROCESO";
ENDIF;

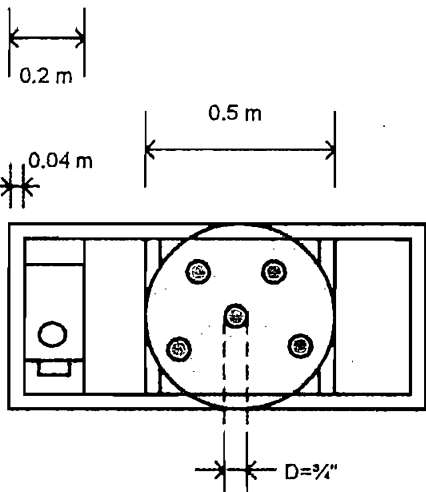
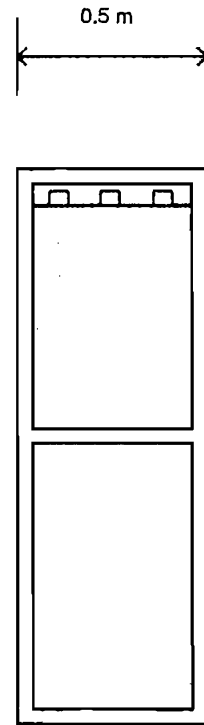
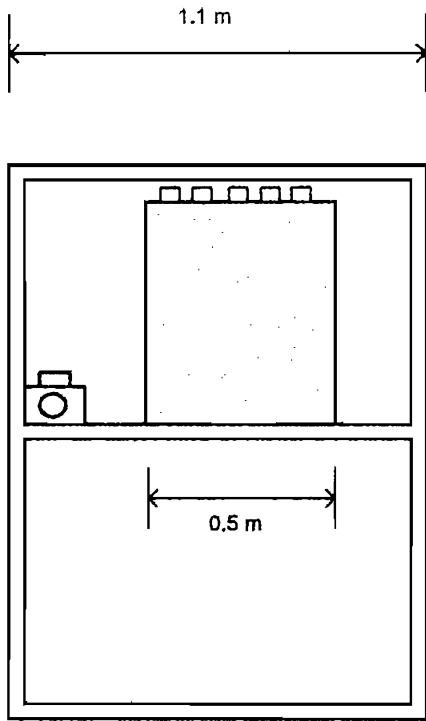
IF GM1== 1 OR GM2 ==1 OR GM3 ==1 THEN
    Show "PROTECCIONES";
ENDIF;

IF T5 > 30 THEN
    Show " CAMBIO";
ENDIF;
```

**ANEXO 8**  
**DIAGRAMAS ESTRUCTURALES**

VISTA FRONTAL

VISTA LATERAL



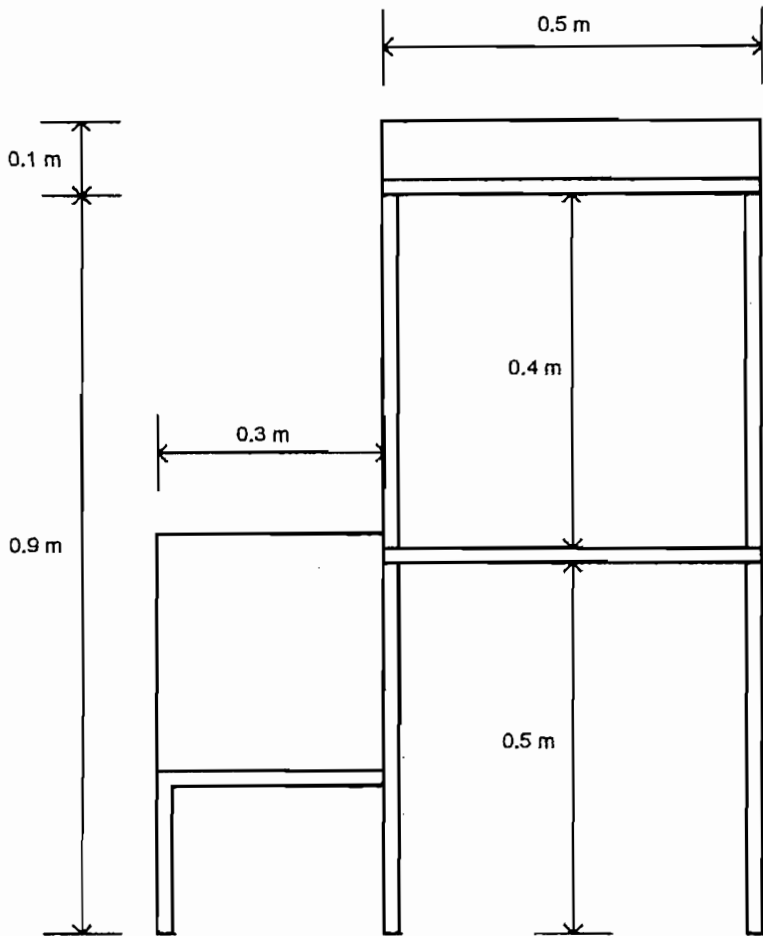
VISTA SUPERIOR

PROTOTIPO DE PASTEURIZACIÓN DE LECHE

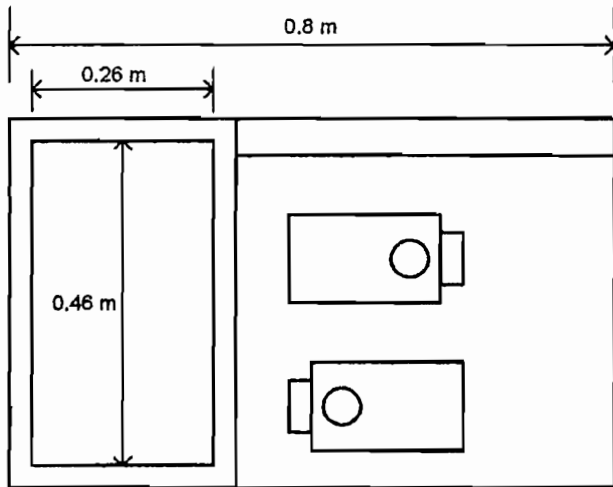
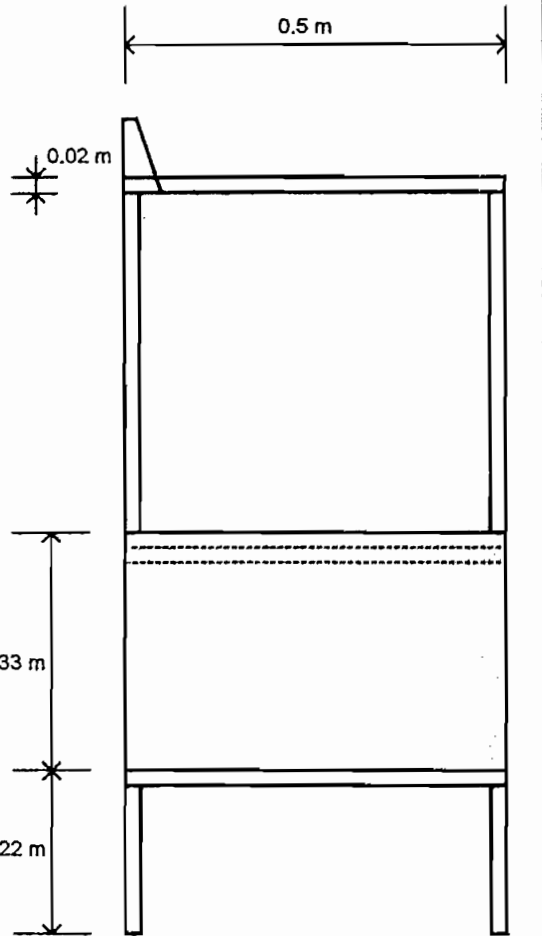
ESTRUCTURA DEL MODULO CALENTADOR

PROYECTO DE  
TITULACIÓN

VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



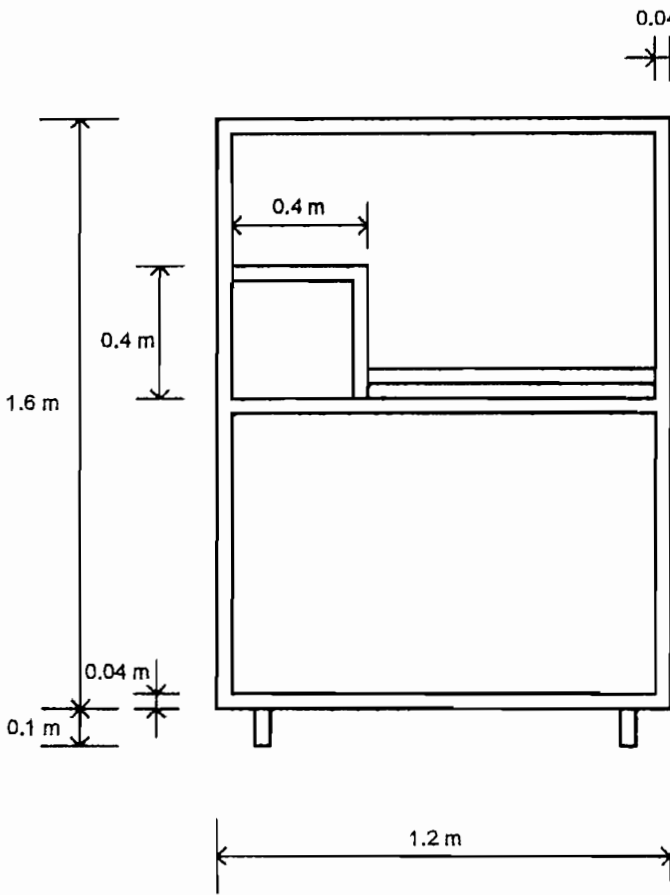
VISTA SUPERIOR

PROTOTIPO DE PASTEURIZACIÓN DE LECHE

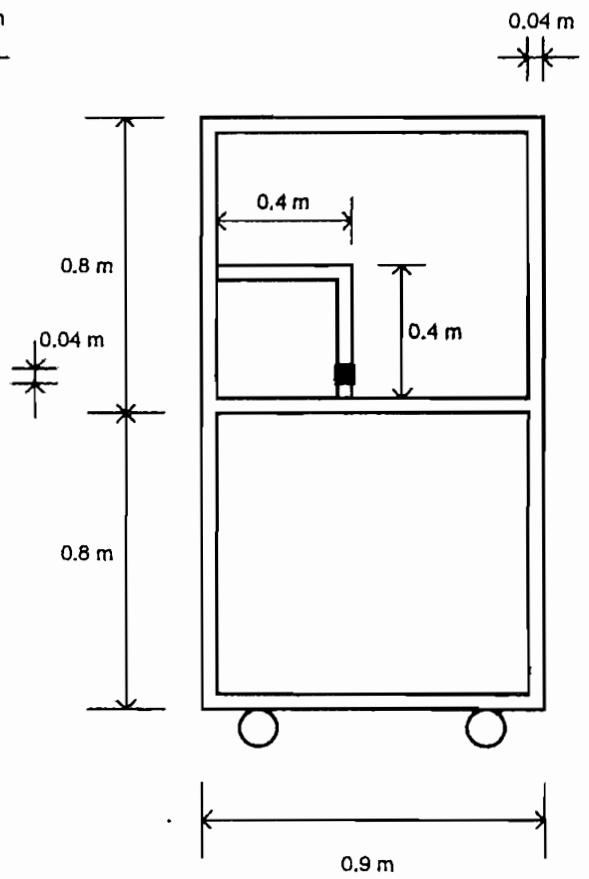
ESTRUCTURA DEL MODULO ENFRIADOR

PROYECTO DE  
TITULACIÓN

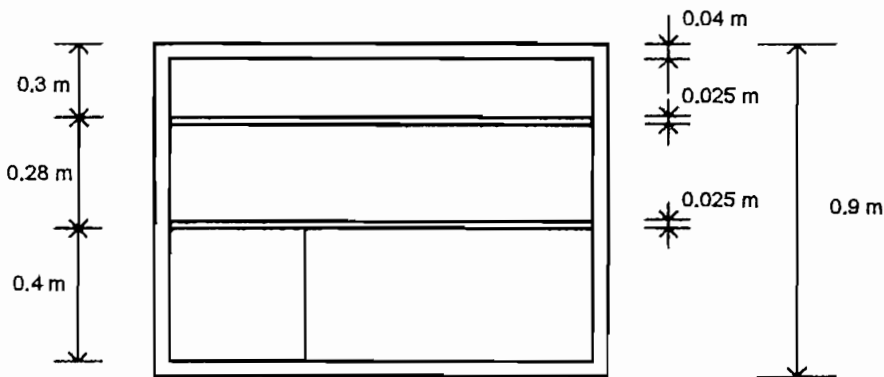
VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



VISTA SUPERIOR



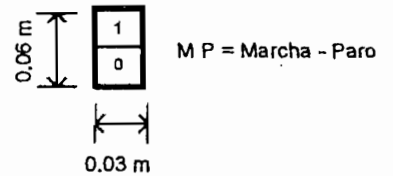
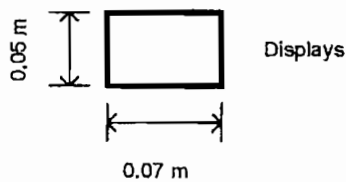
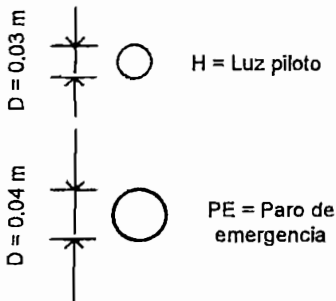
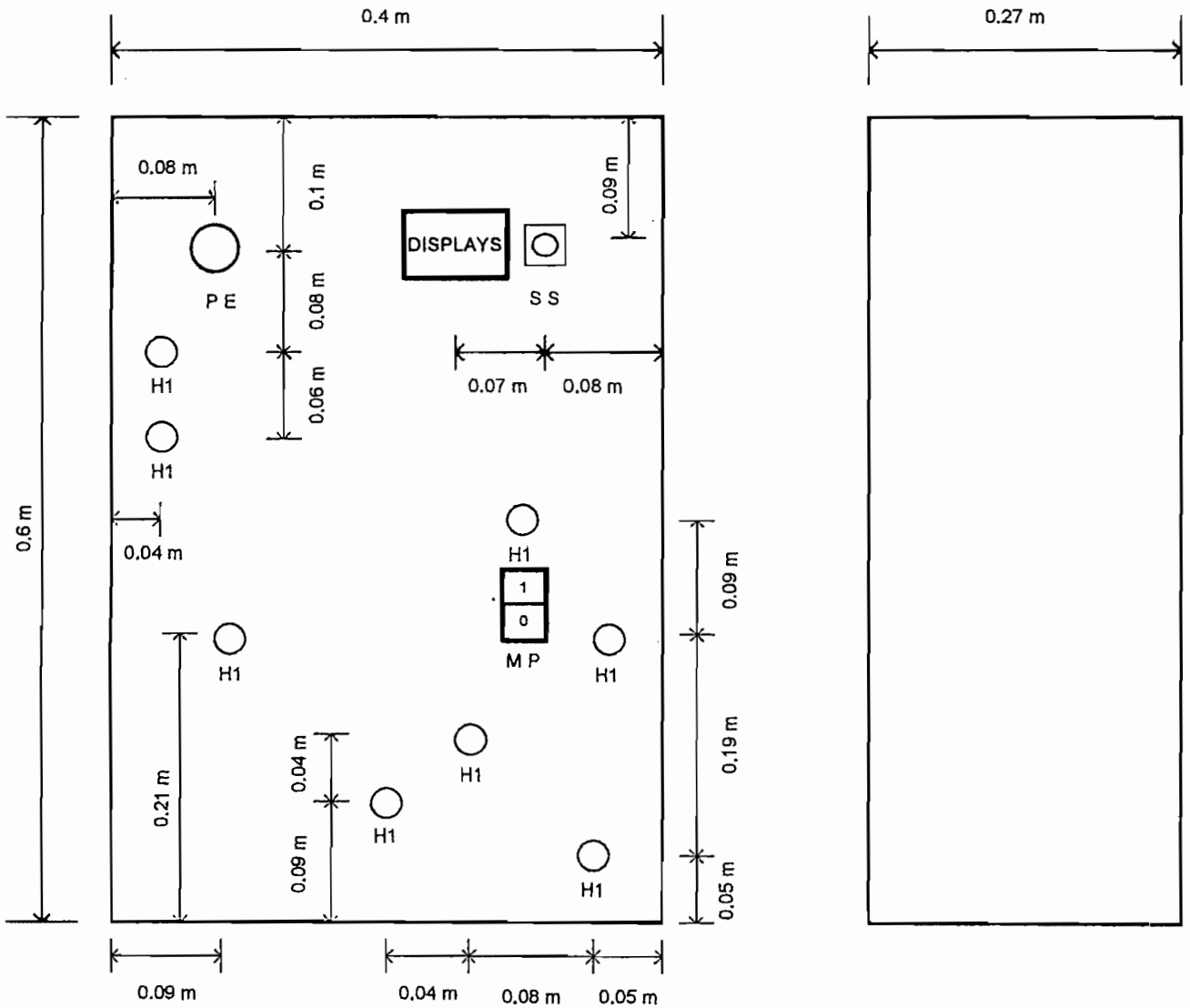
PROTOTIPO DE PASTEURIZACIÓN DE LECHE

ESTRUCTURA DEL MODULO  
INTERCAMBIADOR DE CALOR

PROYECTO DE  
TITULACIÓN

# VISTA FRONTAL

# VISTA LATERAL



PROTOTIPO DE PASTEURIZACIÓN DE LECHE

PANEL DE CONTROL

PROYECTO DE TITULACIÓN



## **ANEXO 9**

### **DIAGRAMAS DE TUBERÍAS E INSTRUMENTACIÓN (P&ID)**

## MÓDULO CALENTADOR

CODIGO	TAMAÑO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
1	1"	2	Válvula de bola	Hierro cromado
5	½"	1	Válvula check	Bronce
6	1" x ½"	3	Acople reducción	HIDRO 3
7	½" x 1"	3	Acople bushin	HIDRO 3
P1	½"	6 m	Tubería Hidro 3 para agua caliente	HIDRO 3
M2		1	Bomba de la caldera 0.5 HP	
E-1	30 lt	1	Tanque de la caldera Tcal	Acero

## MÓDULO ENFRIADOR

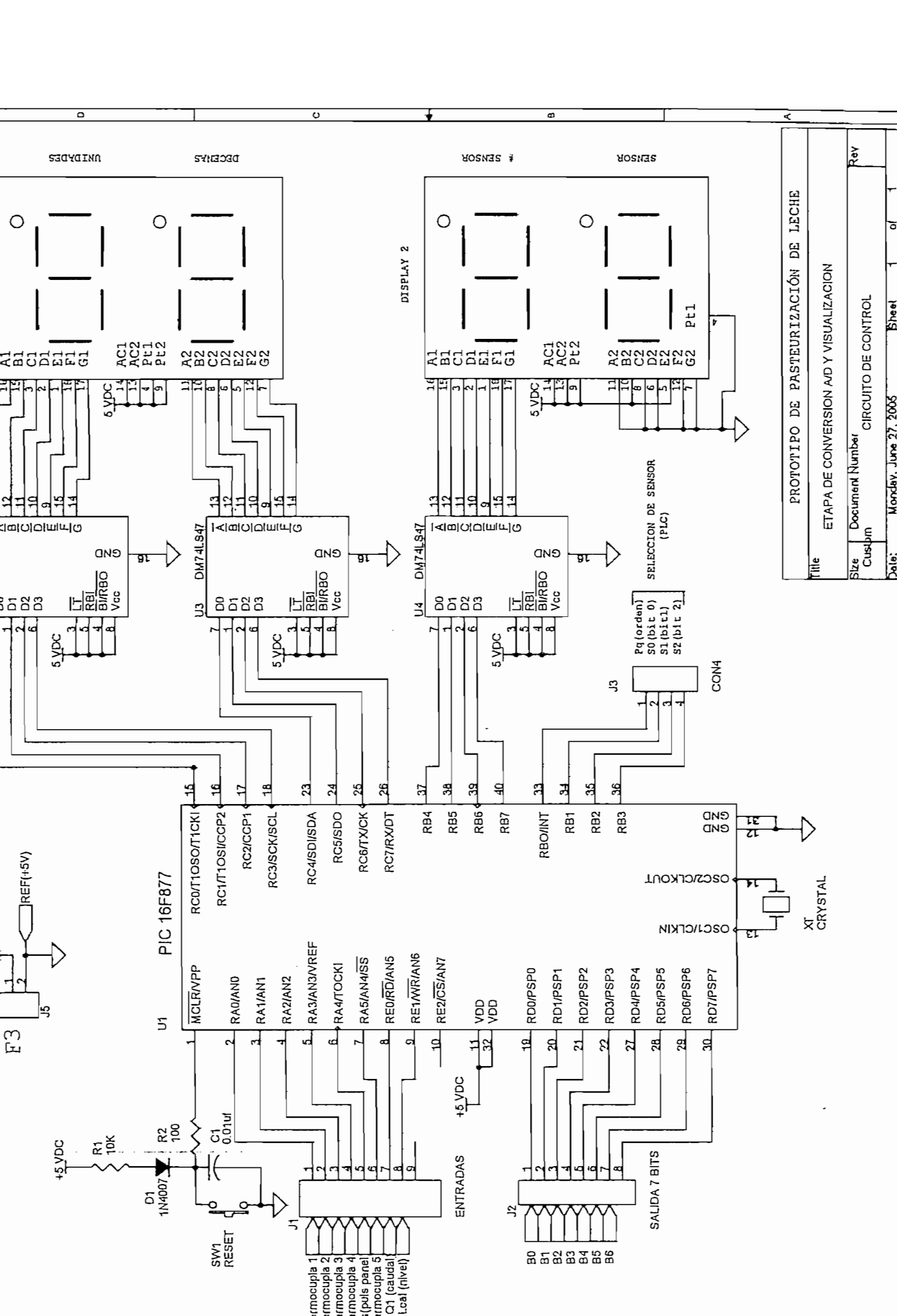
CODIGO	TAMAÑO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
2	½"	2	Válvula de bola	Acero inoxidable
5	½"	2	Válvula check	Hierro cromado
3	¼"	1	Válvula de bola	Acero inoxidable
P2	½"	12 m	Tubería tubin para alimentos	Acero inoxidable
P3	½"	3 m	Tubería de cobre inoxidable	Cobre
P4	½"	6 m	Manguera transparente	Vinyl
M3		1	Refrigerador	
E-2	90 lt	1	Tanque de almacenamiento de agua	Tol galvanizado
E-3	30 lt	1	Tanque de almacenamiento de leche pasteurizada	Plástico
E-4	10 lt	1	Tanque del Intercambiador de calor de enfriamiento	Hierro con aislamiento
E-5	½"	1	Serpentín tubin para alimentos	Acero inoxidable
E-6	½"	1	Serpentín del refrigerador	Cobre
E-7		1	Torre de enfriamiento	Hierro galvanizado

M4		1	Bomba de recirculación 0.5 HP	
M5		1	Bomba de recirculación 0.5 HP	

#### MÓDULO INTERCAMBIADOR DE CALOR

CODIGO	TAMAÑO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
2	½"		Válvula de bola	Acero inoxidable
4	½"	1	Válvula check	Acero inoxidable
8	½"	1	Válvula de mariposa	Acero inoxidable
9	2" x ½"	3	Acople bushin	HIDRO 3
10	½" x 2"	3	Acople reducción	HIDRO 3
P-5	2"	6 m	Tubería Hidro 3 para agua caliente	HIDRO 3
P-6	1"	1.5 m	Manguera transparente	Vinyl
E-8	30 lt	1	Tanque de almacenamiento de leche cruda	Plástico
E-9		1	Sensor de Caudal (Turbina)	Acero inoxidable
E-10	20 lt	1	Tanque de regeneración	Plástico
E-11	10 m	1	Aislamiento térmico	Lana de vidrio y cañuela
M1		1	Bomba de alimentos 0.5 HP	

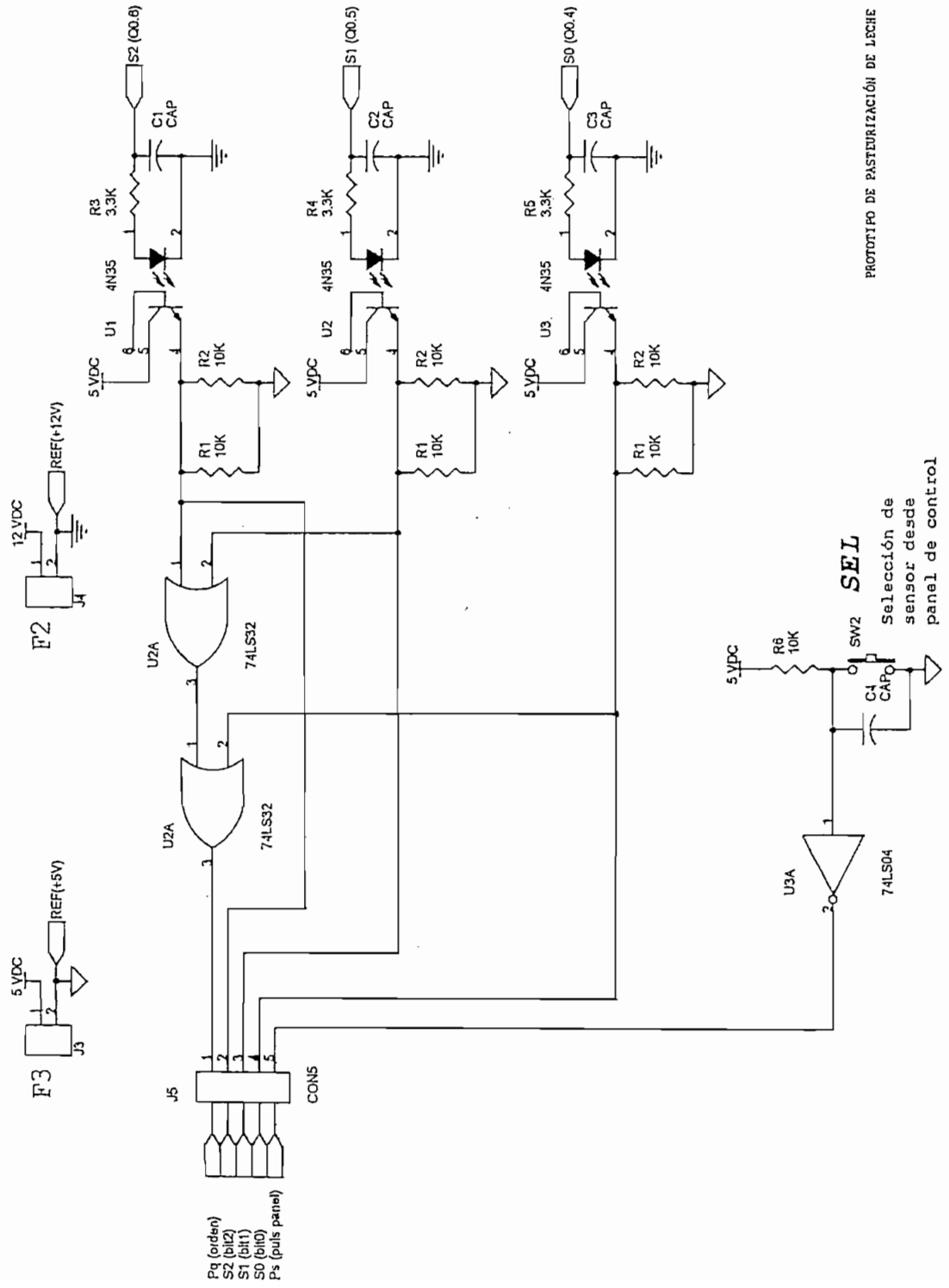
**ANEXO 10**  
**DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS DE LOS CIRCUITOS**  
**IMPLEMENTADOS**



Title: PROTOTIPO DE PASTEURIZACIÓN DE LECHE  
 ETAPA DE CONVERSION A/D Y VISUALIZACIÓN  
 Size: Cushman  
 Document Number: CIRCUITO DE CONTROL  
 Date: Monday, June 27, 2005  
 Sheet: 1 of 1

FUENTE DE ALIMENTACION

FUENTE DE ALIMENTACION



PROTOTIPO DE PASTEURIZACIÓN DE LECHE

Pq (orden)

S2 (bit2)

S1 (bit1)

S0 (bit0)

P-s (puls panel)

J5

CONIS

U2A

U2A

R1

R1

R1

5.VDC

5.VDC

5.VDC

U1

U2

U3

R2

R2

R2

R3

R4

R5

C1

C2

C3

S2 (00.6)

S1 (00.5)

S0 (00.4)

5.VDC

U3A

74LS04

SEL

Selección de sensor desde panel de control

R6

SW2

C1

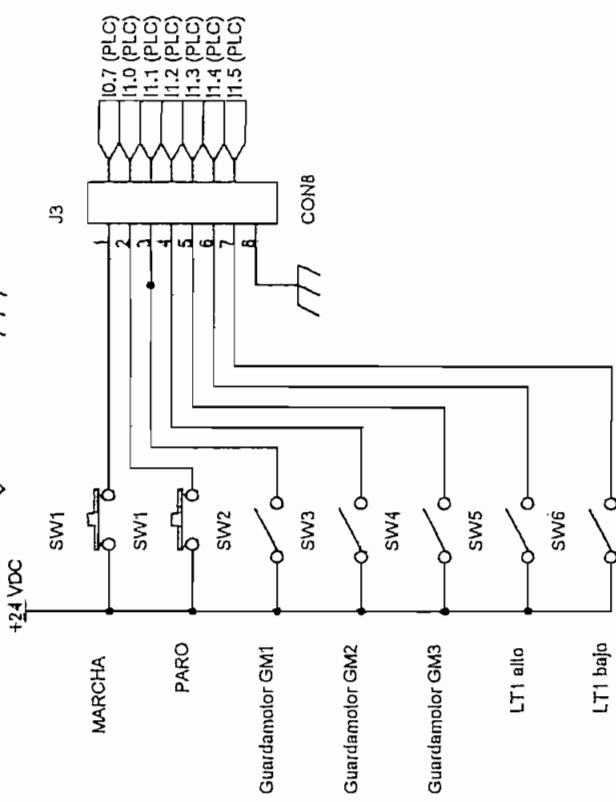
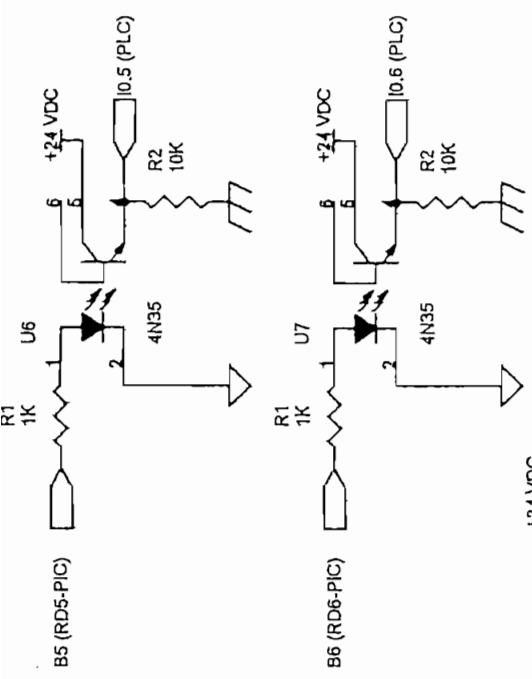
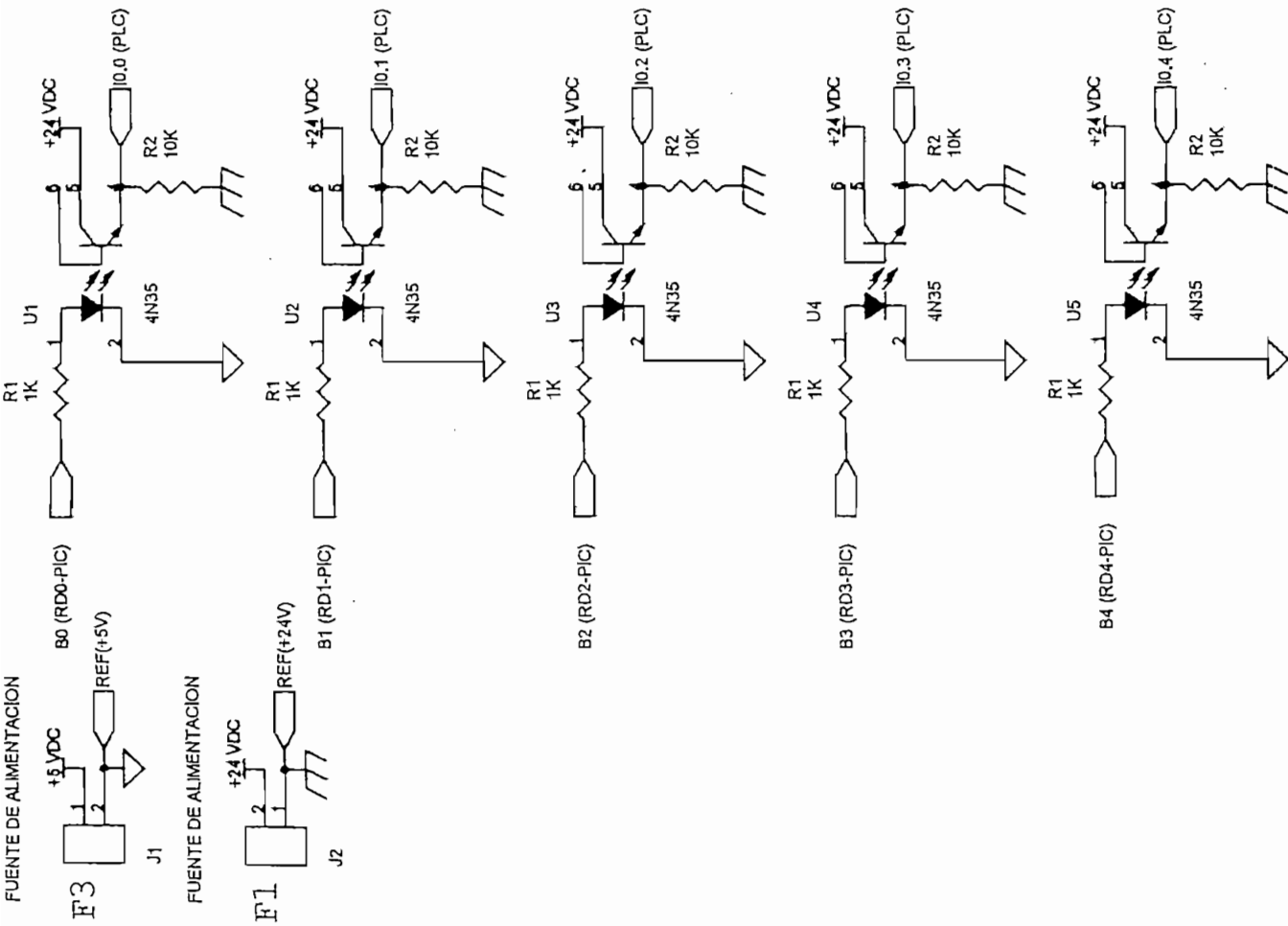
CAPo

Title AISLAMIENTO SALIDAS DEL PLC AL PIC Y SELEC SENSOR DESDE PANEL

Size A4 Document Number CIRCUITO DE CONTROL

Date: Thursday, August 25, 2005 Sheet 1 of 1

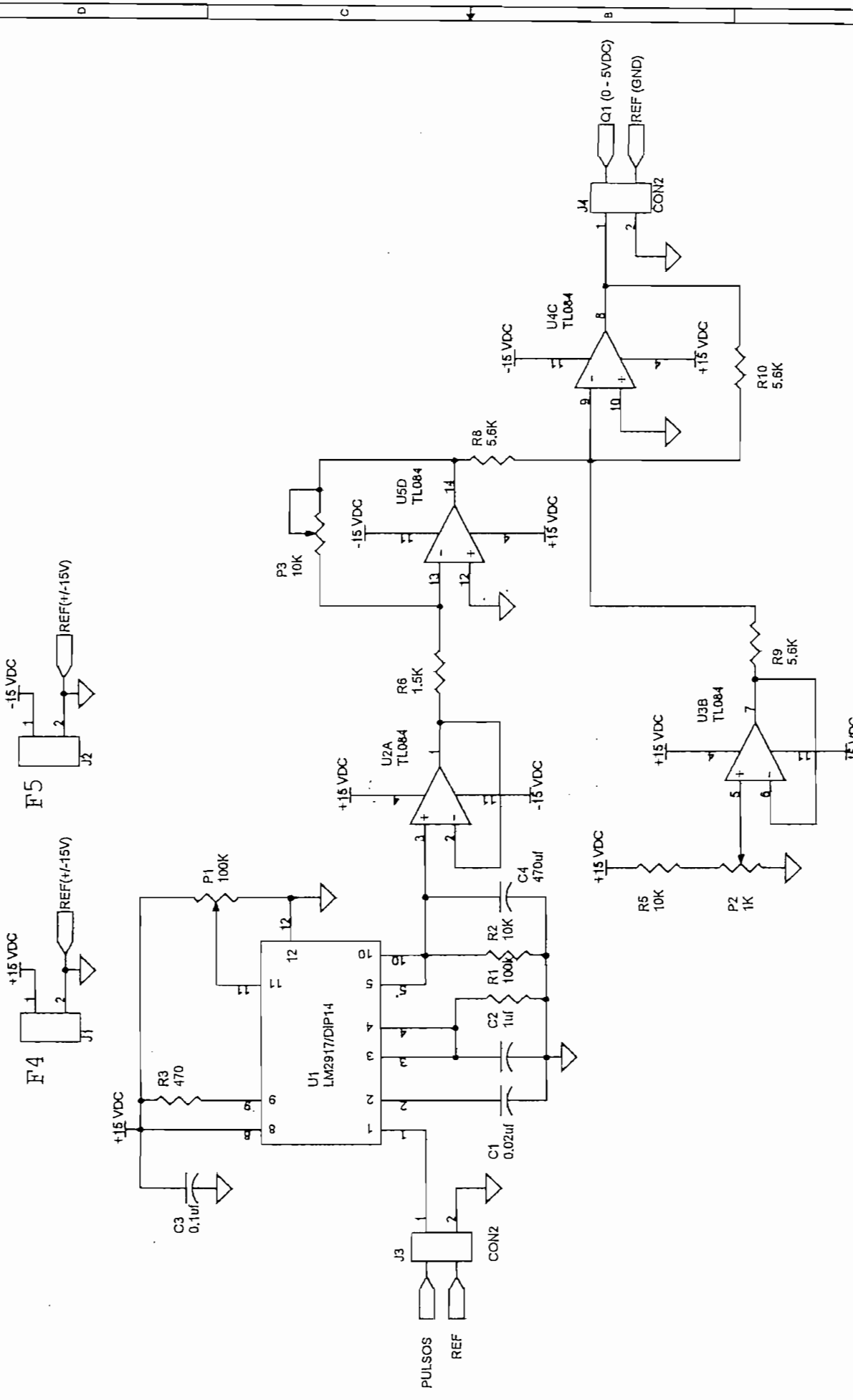
FUENTE DE ALIMENTACION



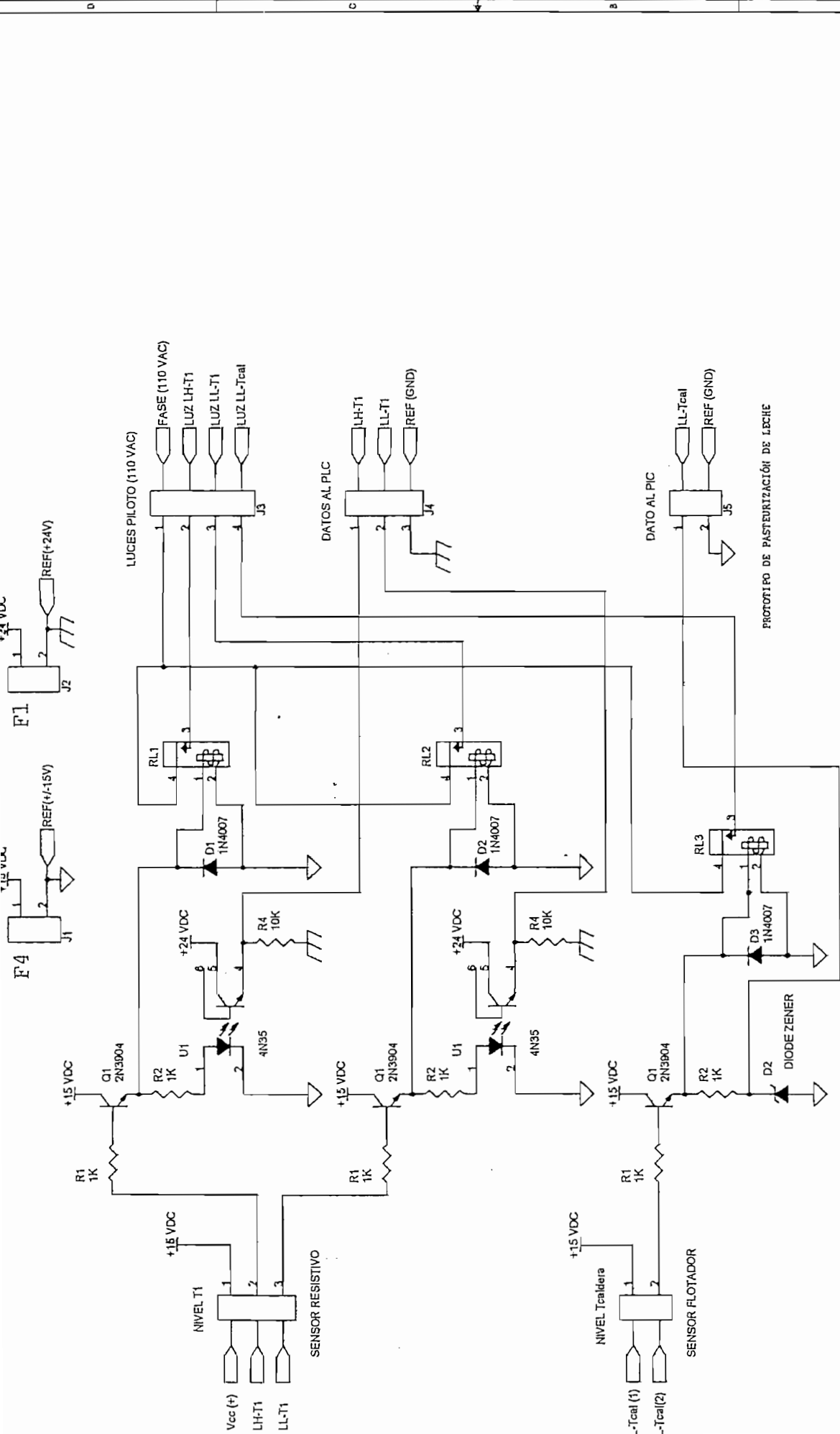
PROTOTIPO DE PASTEURIZACIÓN DE LECHE	
ENTRADAS DEL PLC	
Title	
Size	Document Number
A	CIRCUITO DE CONTROL
Date:	Rev
Tuesday, June 28, 2006	Sheet 1 of 1







<b>PROTOTIPO DE PASTEURIZACION DE LECHE</b>	
<b>Title</b>	CIRCUITO ACONDICIONAMIENTO SENSOR DE CAUDAL (ROTAMETRO)
<b>Size</b>	A
<b>Document Number</b>	CIRCUITO DE CONTROL
<b>Rev</b>	Rev
<b>Date:</b>	Tuesday, June 26, 2005
<b>Sheet</b>	of



PROTOTIPO DE PASTEURIZACIÓN DE LECHE

Title		ACONDICIONAMIENTO SENSORES DE NIVEL
Size	Document Number	CIRCUITO DE CONTROL
A4		
Date:	Thursday, August 25, 2005	Sheet 1 of 1

## **ANEXO 11**

### **DIAGRAMAS DE RUTEADO DE LAS TARJETAS ELECTRÓNICAS**

