

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



TRABAJO ESTRUCTURADO DE MANERA INDEPENDIENTE

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

ESTUDIO DEL PROCESO DE ENFRIAMIENTO DEL SUERO LÁCTEO Y SU INCIDENCIA EN LA CONSERVACIÓN DE SUS PROPIEDADES, EN LA PASTEURIZADORA EL RANCHITO CÍA. LTDA.

AUTOR: Juan Pablo Garzón Chávez

TUTOR: Ing. Luis Escobar

AMBATO-ECUADOR

Noviembre 2012

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del trabajo de investigación, con el tema “ESTUDIO DEL PROCESO DE ENFRIAMIENTO DEL SUERO LÁCTEO Y SU INCIDENCIA EN LA CONSERVACIÓN DE SUS PROPIEDADES, EN LA PASTEURIZADORA EL RANCHITO CÍA. LTDA.”, elaborado por el Señor Juan Pablo Garzón Chávez , egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, certifico:

- Que la presente Tesis es Original de su Autor.
- Ha sido revisada en cada uno de sus Capítulos.
- Está concluida y puede continuar con los trámites correspondientes.

Ambato, Noviembre del 2012

Ing. Luis Escobar

Tutor de Tesis

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Juan Pablo Garzón Chávez, con C.I. #050283171-2 declaro que los resultados obtenidos y expuestos en el presente Trabajo de Investigación con el tema, “ESTUDIO DEL PROCESO DE ENFRIAMIENTO DEL SUERO LÁCTEO Y SU INCIDENCIA EN LA CONSERVACIÓN DE SUS PROPIEDADES, EN LA PASTEURIZADORA EL RANCHITO CÍA. LTDA.”, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas bibliográficas.

Ambato, Noviembre del 2012

Sr. Juan Pablo Garzón Chávez

C.I. 050283171-2

AUTOR

DEDICATORIA

Es grato dedicar uno de los esfuerzos más grandes de mi vida a la persona que con su cariño, apoyo, comprensión y amor me ha forjado en el camino del bien y la cual ha sido madre y padre a la vez, lo dedico principalmente a mi madre Irma Salome Chávez Arcos, a su vez le dedico a Dios por darme la salud y la protección para culminar este trabajo, le dedico a mi hermano Leonel y también a mis abuelitos Aurora y Rosendo los cuales han sido en mi vida mis segundos padres, así también a toda mi familia y a mi novia Johana los cuales siempre me han apoyado incondicionalmente.

Atte.: Juan Pablo

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento más eufórico es a Dios por concederme la madre, el hermano, la familia, la vida y la capacidad necesaria para culminar hoy por hoy uno de los proyectos y sueños más grande de mi vida.

Como no agradecerle con todo mi corazón a mi madre querida la cual con su apoyo, sacrificio, esfuerzo y dedicación hizo de mí la persona que soy actualmente y la cual encamino mi vida para poder tener varios objetivos en la vida y alcanzarlos.

Le agradezco a toda mi familia por la confianza depositada en mí, a mis tíos a mis primos y uno concreto a mi primo Cristian el cual ha sido en su vida como un hermano más.

Expreso mi agradecimiento especial a mi querida universidad a la Universidad Técnica de Ambato y profesores de la Carrera de Ingeniería Mecánica, por haberme inculcado en mi sus conocimientos, vivencias y experiencias profesionales las cuales me han preparado para ser un profesional eficiente y competente para enfrentar la profesión de ingeniero mecánico en lo posterior.

También manifiesto mi agradecimiento particular al Ingeniero Luis Escobar por haberme apoyado con la tutoría en el transcurso de esta investigación, de igual forma quiero resaltar mis sinceros agradecimientos al Ingeniero Santiago Cabrera.

Destaco también mis agradecimientos a los directivos de la Pasteurizadora el Ranchito Cía. Ltda. Por su apertura para la realización de este proyecto.

Juan Pablo

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PÁGINAS PRELIMINARES

Portada.....	I
Certificación.....	II
Autoría.....	III
Dedicatoria.....	IV
Agradecimiento.....	V
Índice General de Contenidos.....	VI
Índice de Figuras.....	IX
Índice de Tablas.....	IX
Índice de Anexos.....	X
Simbología.....	XI
Resumen Ejecutivo.....	XII

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Tema.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	1
1.2.1 Contextualización.....	1
1.2.2 Análisis crítico.....	3
1.2.3 Prognosis.....	3

1.2.4 Formulación del problema.....	3
1.2.5 Preguntas directrices.....	3
1.2.6 Delimitación.....	4
1.3 Justificación.....	5
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1 objetivo general.....	6
1.4.2 objetivos específicos.....	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes investigativos.....	7
2.2 Fundamentación filosófica.....	8
2.3 Categorías fundamentales.....	8
2.3.1 Glosario de términos básicos.....	8
2.3.2 Suero lácteo y sus propiedades.....	11
2.3.3 Intercambiadores de calor tipos y características.....	15
2.3.4 Intercambiadores de calor de tipo placas.....	20
2.3.5 Intercambiadores de calor de tipo tubos concéntricos.....	24
2.3.6 Proceso de producción de quesos.....	27
2.3.7 Datos de obtención del suero lácteo.....	29
2.3.8 Datos considerables para el proceso de enfriamiento.....	30
2.3.9 Requerimientos posteriores al proceso de enfriamiento.....	30
2.3.10 Selección del intercambiador de calor.....	30

2.3.11 Relaciones matemáticas en el diseño del intercambiador de calor.....	36
2.3.12 Diseño térmico.....	36
2.5 Categorías fundamentales.....	39
2.5 Hipótesis.....	39
2.6 Señalamiento de variables.....	39
2.6.1 Variable independiente.....	39
2.6.2 Variable dependiente.....	39

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Enfoque de la investigación.....	40
3.2 Modalidad de la investigación.....	40
3.2.1 Explicativa.....	40
3.2.2 De campo.....	40
3.2.2 Bibliográfica.....	40
3.3 Niveles de investigación.....	41
3.4 Población y muestra.....	41
3.4.1 Población.....	41
3.4.2 Muestra.....	41
3.5 Operacionalización de variables.....	43
3.5.1 Variable independiente.....	43
3.5.2 Variable dependiente.....	44
3.6 Recolección de la información.....	45

3.7 Procesamiento y análisis.....	45
-----------------------------------	----

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis de los resultados.....	47
4.2 Interpretación de datos.....	50
4.2.1 Análisis del comportamiento de la temperatura del suero lácteo.....	50
4.2.2 Análisis del comportamiento de la acidez.....	56
4.2.3 Análisis del comportamiento del pH.....	71
4.2.4 Análisis del comportamiento de la densidad.....	87
4.2.4 Análisis del comportamiento de la materia grasa.....	93
4.3 Verificación de hipótesis.....	97

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.....	99
5.2 Recomendaciones.....	101

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1 Datos informativos.....	102
6.1.1 Tema.....	102
6.1.2 Institución ejecutora.....	102
6.1.3 Beneficiarios.....	102
6.1.4 Ubicación.....	102

6.1.5 Tiempo estimado para la ejecución.....	102
6.1.6 Equipo técnico responsable.....	102
6.2 Antecedentes de la propuesta.....	103
6.3 Justificación.....	103
6.4 Objetivos.....	103
6.4.1 Objetivo general.....	103
6.4.2 Objetivos específicos.....	103
6.5 Análisis de factibilidad.....	104
6.5.1 Análisis técnico.....	104
6.5.2 Análisis de costos.....	104
6.6 Fundamentación.....	110
6.6.1 Selección de las placas.....	111
6.6.2 Selección del tipo de conexiones.....	111
6.6.3 Selección del material de las uniones.....	111
6.6.4 Diseño térmico.....	112
6.6.5 Selección de la tubería.....	119
6.6.6 Selección de accesorios hidráulicos.....	121
6.6.7 Diseño hidráulico.....	123
6.6.9 Diseño mecánico.....	135
6.7 Metodología.....	136
6.7.1 Accesorios de la instalación hidráulica.....	136
6.7.2 Accesorios de la instalación eléctrica.....	139

6.7.3 Base.....	142
6.8 Administración.....	142
6.8.1 Planeación.....	142
6.8.2 Organización.....	147
6.8.3 Dirección.....	147
6.8.4 Control.....	147
6.9 Previsión de la evaluación.....	148

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Tiempos de producción por cada parada de queso.....	28
Tabla 2.2 Valores de las propiedades del suero lácteo a 35°C.....	29
Tabla 2.3 Tabla de parámetros de rendimiento de queso y derivados.....	29
Tabla 2.4 Cuantificación de ventajas y desventajas de los intercambiadores.....	35
Tabla 4.1 Medición de la temperatura en las pruebas del día 1.....	51
Tabla 4.2 Medición de la temperatura en las pruebas del día 2.....	52
Tabla 4.3 Medición de la temperatura en las pruebas del día 3.....	53
Tabla 4.4 Medición de la temperatura en las pruebas del día 4.....	54
Tabla 4.5 Medición de la temperatura en las pruebas del día 5.....	55
Tabla 4.6 Medición de temperatura y acidez en las pruebas del día 1.....	57
Tabla 4.7 Medición de temperatura y acidez en las pruebas del día 2.....	58
Tabla 4.8 Medición de temperatura y acidez en las pruebas del día 3.....	59
Tabla 4.9 Medición de temperatura y acidez en las pruebas del día 4.....	60
Tabla 4.10 Medición de temperatura y acidez en las pruebas del día 5.....	61
Tabla 4.11 Medición de temperatura y acidez en las pruebas del día 1.....	62
Tabla 4.12 Medición de temperatura y acidez en las pruebas del día 2.....	63
Tabla 4.13 Medición de temperatura y acidez en las pruebas del día 3.....	64
Tabla 4.14 Medición de temperatura y acidez en las pruebas del día 4.....	65
Tabla 4.15 Medición de temperatura y acidez en las pruebas del día 5.....	66
Tabla 4.16 Medición de temperatura y acidez en las pruebas del día 1.....	67
Tabla 4.17 Medición de temperatura y acidez en las pruebas del día 2.....	68

Tabla 4.18 Medición de temperatura y acidez en las pruebas del día 3.....	69
Tabla 4.19 Medición de temperatura y acidez en las pruebas del día 4.....	70
Tabla 4.20 Medición de temperatura y acidez en las pruebas del día 5.....	71
Tabla 4.21 Medición de temperatura y pH en las pruebas del día 1.....	72
Tabla 4.22 Medición de temperatura y pH en las pruebas del día 2.....	73
Tabla 4.23 Medición de temperatura y pH en las pruebas del día 3.....	74
Tabla 4.24 Medición de temperatura y pH en las pruebas del día 4.....	75
Tabla 4.25 Medición de temperatura y pH en las pruebas del día 5.....	76
Tabla 4.26 Medición de temperatura y pH en las pruebas del día 1.....	77
Tabla 4.27 Medición de temperatura y pH en las pruebas del día 2.....	78
Tabla 4.28 Medición de temperatura y pH en las pruebas del día 3.....	79
Tabla 4.29 Medición de temperatura y pH en las pruebas del día 4.....	80
Tabla 4.30 Medición de temperatura y pH en las pruebas del día 5.....	81
Tabla 4.31 Medición de temperatura y pH en las pruebas del día 1.....	82
Tabla 4.32 Medición de temperatura y pH en las pruebas del día 2.....	83
Tabla 4.33 Medición de temperatura y pH en las pruebas del día 3.....	84
Tabla 4.34 Medición de temperatura y pH en las pruebas del día 4.....	85
Tabla 4.35 Medición de temperatura y pH en las pruebas del día 5.....	86
Tabla 4.36 Medición de temperatura y densidad en las pruebas del día 1.....	87
Tabla 4.37 Medición de temperatura y densidad en las pruebas del día 2.....	88
Tabla 4.38 Medición de temperatura y densidad en las pruebas del día 3.....	89
Tabla 4.39 Medición de temperatura y densidad en las pruebas del día 4.....	90

Tabla 4.40 Medición de temperatura y densidad en las pruebas del día 5.....	91
Tabla 4.41 Medición de temperatura y % de materia grasa en el día 1.....	92
Tabla 4.42 Medición de temperatura y % de materia grasa en el día 2.....	93
Tabla 4.43 Medición de temperatura y % de materia grasa en el día 3.....	94
Tabla 4.44 Medición de temperatura y % de materia grasa en el día 4.....	95
Tabla 4.45 Medición de temperatura y % de materia grasa en el día 5.....	96
Tabla 6.1 Plantilla de cálculo de materiales del intercambiador.....	107
Tabla 6.2 Plantilla de cálculo de materiales para la instalación hidráulica.....	108
Tabla 6.3 Plantilla de cálculo de materiales varios.....	109
Tabla 6.4 Plantilla de cálculo de los costos directos.....	109
Tabla 6.5 Plantilla de cálculo de utilización de la maquinaria.....	110
Tabla 6.6 Plantilla de cálculo de mano de obra.....	111
Tabla 6.7 Plantilla de cálculo de los costos indirectos.....	111
Tabla 6.8 Costos totales.....	112
Tabla 6.9 Tablas de características de las tuberías de acero AISI 304.....	123
Tabla 6.10 Tablas de características de las tuberías de acero galvanizado.....	124
Tabla 6.11 Tablas de detalle de accesorios.....	134
Tabla 6.12 Tablas de cálculo de pérdidas en la red del fluido caliente.....	135
Tabla 6.13 Tablas de cálculo de pérdidas en la red del fluido frío.....	136

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 2.1 Medición de la densidad del suero lácteo.....	12
Figura. 2.2 Reactivos empleados para determinar la acidez.....	12
Figura. 2.3 Acidímetro.....	13
Figura. 2.4 Esquema de un intercambiador de calor.....	17
Figura. 2.5 Esquema de un intercambiador de calor de flujo paralelo.....	18
Figura. 2.5 Esquema de un intercambiador de calor de flujo cruzado.....	19
Figura. 2.7 Intercambiador de calor de tipo placas.....	20
Figura. 2.8 Circulación de fluidos en el intercambiador de calor de tipo placas...21	
Figura. 2.9 Partes de un intercambiador de calor por placas.....	22
Figura. 2.10 Diagrama del intercambiador de calor tipo tubos concéntricos.....	25
Figura. 2.11 Partes del intercambiador de calor tipo tubos concéntricos.....	25
Figura. 2.12 Diagrama de proceso del suero lácteo.....	27
Figura. 4.1 Imagen del intercambiador de calor de tubos concéntricos.....	48
Figura. 4.2 Imagen del intercambiador de calor por placas.....	49
Figura. 4.3 Placa de características de la bomba del fluido caliente.....	49
Figura. 4.4 Placa de características de la bomba del fluido frío.....	50
Figura. 4.5 Grafico del comportamiento térmico del suero lácteo en el día 1.....	51
Figura. 4.6 Grafico del comportamiento térmico del suero lácteo en el día 2.....	52
Figura. 4.7 Grafico del comportamiento térmico del suero lácteo en el día 3.....	53
Figura. 4.8 Grafico del comportamiento térmico del suero lácteo en el día 4.....	54
Figura. 4.9 Grafico del comportamiento térmico del suero lácteo en el día 5.....	55

Figura. 4.10 Grafico del comportamiento de la acidez del suero CA en el día 1..	57
Figura. 4.11 Grafico del comportamiento de la acidez del suero CA en el día 2..	58
Figura. 4.12 Grafico del comportamiento de la acidez del suero CA en el día 3..	59
Figura. 4.13 Grafico del comportamiento de la acidez del suero CA en el día 4..	60
Figura. 4.14 Grafico del comportamiento de la acidez del suero CA en el día 5..	61
Figura. 4.15 Grafico del comportamiento de la acidez del suero TC en el día 1..	62
Figura. 4.16 Grafico del comportamiento de la acidez del suero TC en el día 2..	63
Figura. 4.17 Grafico del comportamiento de la acidez del suero TC en el día 3..	64
Figura. 4.18 Grafico del comportamiento de la acidez del suero TC en el día 4..	65
Figura. 4.19 Grafico del comportamiento de la acidez del suero TC en el día 5..	66
Figura. 4.20 Grafico del comportamiento de la acidez del suero PL en el día 1..	67
Figura. 4.21 Grafico del comportamiento de la acidez del suero PL en el día 2..	68
Figura. 4.22 Grafico del comportamiento de la acidez del suero PL en el día 3..	69
Figura. 4.23 Grafico del comportamiento de la acidez del suero PL en el día 4..	70
Figura. 4.24 Grafico del comportamiento de la acidez del suero PL en el día 5..	71
Figura. 4.25 Grafico del comportamiento del pH del suero CA en el día 1.....	72
Figura. 4.26 Grafico del comportamiento del pH del suero CA en el día 2.....	73
Figura. 4.27 Grafico del comportamiento del pH del suero CA en el día 3.....	74
Figura. 4.28 Grafico del comportamiento del pH del suero CA en el día 4.....	75
Figura. 4.29 Grafico del comportamiento del pH del suero CA en el día 5.....	76
Figura. 4.30 Grafico del comportamiento del pH del suero TC en el día 1.....	77
Figura. 4.31 Grafico del comportamiento del pH del suero TC en el día 2.....	78

Figura. 4.32 Grafico del comportamiento del pH del suero TC en el día 3.....	79
Figura. 4.33 Grafico del comportamiento del pH del suero TC en el día 4.....	80
Figura. 4.34 Grafico del comportamiento del pH del suero TC en el día 5.....	81
Figura. 4.35 Grafico del comportamiento del pH del suero PL en el día 1.....	82
Figura. 4.36 Grafico del comportamiento del pH del suero PL en el día 2.....	83
Figura. 4.37 Grafico del comportamiento del pH del suero PL en el día 3.....	84
Figura. 4.38 Grafico del comportamiento del pH del suero PL en el día 4.....	85
Figura. 4.39 Grafico del comportamiento del pH del suero PL en el día 5.....	86
Figura. 4.40 Grafico del comportamiento de la densidad en el día 1.....	87
Figura. 4.41 Grafico del comportamiento de la densidad en el día 2.....	88
Figura. 4.42 Grafico del comportamiento de la densidad en el día 3.....	89
Figura. 4.43 Grafico del comportamiento de la densidad en el día 4.....	90
Figura. 4.44 Grafico del comportamiento de la densidad en el día 5.....	91
Figura. 4.45 Grafico del comportamiento de la materia grasa en el día 5.....	97
Figura. 6.1 Grafico de la configuración de la placa tipo chevron.....	112
Figura. 6.2 Diagrama de distribución de temperaturas.....	114
Figura. 6.3 Esquema del sistema hidráulico para el fluido frio.....	126
Figura. 6.4 Esquema del sistema hidráulico para el fluido caliente.....	126
Figura. 6.5 Diagrama de cuerpo libre de la base.....	139
Figura. 6.6 Codo de 90°.....	140
Figura. 6.7 Junta universal.....	141
Figura. 6.8 Válvula de pie.....	141

Figura. 6.9 Válvula check.....	141
Figura. 6.10 Válvula tipo mariposa.....	142
Figura. 6.11 Unión tipo SMS.....	142
Figura. 6.12 Gabinete metálico.....	143
Figura. 6.13 pulsador ON/OFF.....	143
Figura. 6.14 Relé térmico.....	144
Figura. 6.15 Breaker trifásico.....	144
Figura. 6.16 Cable 3x12.....	145
Figura. 6.17 Cable # 18 AWG.....	145
Figura. 6.18 Perfil UPN 50x25x5.....	146
Figura. 6.19 Guantes de butilo.....	148
Figura. 6.20 Mascarilla antigás (full face).....	149
Figura. 6.21 Delantal.....	149
Figura. 6.22 Especificaciones NFPA para el ácido nítrico.....	150

SIMBOLOGÍA

CA	Suero caliente
TC	Suero enfriado por tubos concéntricos
PL	Suero enfriado por placas de enfriamiento
<i>q</i>	Capacidad térmica del diseño [<i>w</i>]
<i>m</i>	Flujo másico del fluido [$\frac{Kg}{s}$]
<i>Cp</i>	Calor específico de los fluidos [$\frac{KJ}{Kg\ ^\circ C}$]
<i>Ti</i>	Temperatura de entrada de los fluidos [$^\circ C$]
<i>To</i>	Temperatura de salida de los fluidos [$^\circ C$]
<i>Uo</i>	Coefficiente total de transferencia de calor [$\frac{W}{m^2 * k}$]
<i>A</i>	Área [m^2]
ΔT_{ml}	Diferencia de temperatura media logarítmica [$^\circ C$]
CD	Costo directo [\$]
CI	Costo indirecto [\$]
CMH	Costo de materiales instalación hidráulica [\$]
CMV	Costo de materiales varios [\$]
CUM	Costos de utilización de maquinaria [\$]
CMO	Costo de mano de obra [\$]
CT	Costos total [\$]
$T_{h,i}$	Temperatura de entrada del fluido caliente [$^\circ C$]
$T_{h,o}$	Temperatura de salida del fluido caliente [$^\circ C$]

$T_{c,i}$	Temperatura de entrada del fluido frio [°C]
$T_{c,o}$	Temperatura de salida del fluido frio [°C]
Q_h	Caudal del fluido caliente [$\frac{m^3}{s}$]
Q_c	Caudal del fluido frio [$\frac{m^3}{s}$]
ρ_h	Densidad del fluido caliente [$\frac{Kg}{m^3}$]
ρ_c	Densidad del fluido frio [$\frac{Kg}{m^3}$]
m_h	Flujo másico del fluido caliente [$\frac{Kg}{s}$]
m_c	Flujo másico del fluido frio [$\frac{Kg}{s}$]
$C_{p,h}$	Poder calorífico [$\frac{J}{Kg \text{ } ^\circ C}$]
De	Diámetro equivalente [m]
w	Ancho de la placa [m]
b	Distancia entre las placas [m]
Re	Número de Reynolds [adimensional]
G	Gasto másico de corriente [$\frac{Kg}{s * m^2}$]
μ_h	Viscosidad dinámica del fluido caliente [$\frac{Kg}{m * s}$]
μ_c	Viscosidad dinámica del fluido frio [$\frac{Kg}{m * s}$]
Nu_h	Numero de nussel del fluido caliente [adimensional]
Nu_c	Numero de nussel del fluido frio [adimensional]
k_h	Conductividad térmica del fluido caliente [$\frac{W}{m * K}$]
k_c	Conductividad térmica del fluido frio [$\frac{W}{m * K}$]

Δx	Espesor de la placa [m]
k	Conductividad térmica del material de las placas [$\frac{W}{m \cdot K}$]
N_p	Numero de placas [adimensional]
A_p	Área de la placa [m^2]
v	Velocidad del flujo [$\frac{m}{s}$]
γ	Viscosidad cinemática [$\frac{m^2}{s}$]
ϵ	Rugosidad de conducto [adimensional]
W	Peso [N]
P_A	Presión en el punto A [KPa]
P_B	Presión en el punto B [KPa]
V_A	Velocidad en el punto A [$\frac{m}{s}$]
V_B	Velocidad en el punto A [$\frac{m}{s}$]
z_A	Nivel del punto A [m]
z_B	Nivel del punto B [m]
H_G	Pérdidas por Fricción [m]
H_L	Pérdidas por Accesorios [m]
H_B	Energía que entrega la bomba [m]
γ	Peso específico del fluido [$\frac{KN}{m^3}$]
g	Gravedad [$\frac{m}{s^2}$]

RESUMEN EJECUTIVO

En el desarrollo de la presente investigación se enfocaron los principales procesos de enfriamientos empleados en la industria láctea y puntualmente en el suero lácteo el cual es el fluido inmerso en el tema de estudio, los cuales fueron analizados y evaluados independientemente tomando en cuenta sus características, costos y primordialmente su efectividad de enfriamiento.

Se evaluó el comportamiento de las propiedades físicas del suero lácteo mediante tres procesos de enfriamiento distintos, el primero es el proceso de enfriamiento del suero lácteo a temperatura ambiente, el segundo es el proceso de enfriamiento del suero lácteo mediante el empleo de un intercambiador de calor de tipo tubos concéntricos y el tercero se lo realizó en un intercambiador de calor de tipo placas.

Posteriormente de realizar la investigación y evaluar los resultados obtenidos se identificaron patrones de comportamiento físico distintos en las diferentes propiedades del suero lácteo entre cada proceso de enfriamiento, sobresaliendo el proceso de enfriamiento mediante el empleo de un intercambiador de calor de tipo placas, entre los parámetros de relevancia fue por ser el más eficiente en cuanto a la disminución de la temperatura en un menor tiempo y en cuanto al costo de sus elementos empleados en su construcción.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Tema de investigación

Estudio del proceso de enfriamiento del suero lácteo y su incidencia en la conservación de sus propiedades, en la Pasteurizadora El Ranchito Cía. Ltda.

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 Contextualización del problema

1.2.1.1 Macro

Según Instituto de Investigaciones Agropecuarias “Jorge Dimitrov”. Bayamo. De Cuba hacen mención a que el suero lácteo es un subproducto resultante de la elaboración de quesos que se distingue por su elevado valor nutritivo. Sin embargo, grandes cantidades de este subproducto no se aprovechan adecuadamente, y muchas veces se vierten en los ríos aledaños a los centros productores, como parte de los efluentes fabriles. La alta demanda biológica de oxígeno de estos desechos, estimada entre 30 y 50 mil partes por millón (ppm), los convierte en graves focos de contaminación ambiental.

El suero se ha utilizado como uno de los ingredientes en la elaboración de bebidas fermentadas con una acidez final del 0.54%, y que han sido aceptadas por el consumidor. Los altos volúmenes de producción de suero de queso en Cuba, el contenido de vitaminas y minerales de este subproducto, el alto tenor de lactosa, el bajo costo de obtención, y el escaso aprovechamiento industrial, hacen posible su utilización como substrato para la elaboración de bebidas fermentadas en este país.

Recalcando que es recomendable un manejo adecuado del suero lácteo, esto es su obtención, su proceso de enfriamiento, un adecuado almacenamiento, así también como su traslado y posterior empleo como materia prima para otros productos.

1.2.1.2 Meso

En el medio nacional al suero lácteo se le otorga varios usos tales como la preparación de bebidas lácteas, tiene también usos diferentes como para la alimentación de los cerdos en granjas porcinas, por su alto contenido en proteínas también se lo emplea como abono orgánico en plantaciones florícolas, pero también es de conocimiento que un gran porcentaje de este producto es desechado a los distintos efluentes cercanos, los cuales son altamente contaminantes.

Es por esta razón que es necesario en el caso de que el suero lácteo vaya a ser destinado como materia prima para la industria alimenticia, que tenga un manejo técnico es por esto que se emplean varios procesos de enfriamiento para los diferentes tipos de lácteos líquidos y en especial del suero lácteo, cabe destacar que estos procesos van encaminados a conservar sus propiedades, siendo la acidez la principal propiedad a controlar ya que de esta depende la principal decisión de saber si la materia prima esta apta o no para su almacenamiento y direccionamiento a los diferentes productos que va a ser transformada.

1.2.1.3 Micro

En el medio local la problemática de la conservación de la acidez del suero lácteo se ha hecho frecuente, puesto que las empresas lácteas que adquieren y procesan este producto son poco permisibles con los parámetros en cuanto a calidad del producto, es por esta razón que se encuentran en la necesidad de encontrar alternativas de enfriamiento para conservar las propiedades del suero lácteo y con ello garantizar su producto.

Cabe destacar que la provincia del Cotopaxi es una de las provincias con una tasa alta de producción de la totalidad de la producción de leche a nivel nacional con un 7.5% esto según la cámara de agricultura de la primera zona que realizo el proyecto SICA.

En la cual se menciona también que el 20% de esta leche es destinada a la producción de queso la cual tiene una aproximación que se genera aproximadamente un 70% de suero lácteo del total de leche destinada a la elaboración de quesos.

1.2.2 Análisis crítico

En la actualidad no se emplea ningún método de enfriamiento para el suero lácteo, esto ha ocasionado cambios en las propiedades físicas del suero lácteo y principalmente en la elevación de la acidez que es la principal propiedad a tomarse en cuenta ya que de ella depende si este producto puede ser utilizado en los diferentes derivados que se lo pueda emplear, caso contrario dicho producto es rechazado y ello conlleva a una pérdida económica, ya que el suero lácteo tiene un precio comercial en el medio que nos encontramos de aproximadamente un 10% del costo de la leche.

1.2.3 Prognosis

En el caso de no realizar el estudio del proceso de enfriamiento del suero lácteo no se obtendrá un método de enfriamiento que nos permita conservar sus propiedades físicas, por ende no estarán en la capacidad de almacenar adecuadamente y un mayor tiempo posible el suero lácteo.

1.2.4 Formulación del problema

¿Cuál sería el método más adecuado para conservar las diferentes propiedades del suero lácteo?

1.2.5 Preguntas directrices

¿Qué tan cercana será la información obtenida de las diferentes propiedades del suero lácteo, en los ensayos realizados para comparar con los actuales?

¿En qué magnitud influirá la temperatura sobre la acidez del suero lácteo?

¿En qué grado influirá el proceso de enfriamiento para la conservación de las propiedades físicas del suero lácteo?

1.2.6 Delimitación del problema de investigación

Para el desarrollo de esta investigación es ineludible delimitar el tiempo y el lugar, es por ello que se procederá a la delimitación de contenidos, espacial y temporal.

1.2.6.1 De contenido

Las áreas que están relacionadas con nuestro tema de investigación son las siguientes:

- Transferencia de calor
- Fluidos

1.2.6.2 Espacial

El trabajo de campo, ensayos análisis y actividades complementarias del presente proyecto se lo realizara en la Pasteurizadora El Ranchito Cía. Ltda. La cual está ubicada en la provincia de Cotopaxi, Ciudad de Salcedo, Parroquia San miguel de Salcedo, Barrio Rumipamba de la Universidad, Km 2 ½ vía Latacunga Ambato.

Es necesario destacar que para efectos de la investigación se solicitara la colaboración de dos empresas privadas las cuales facilitaran sus equipos de enfriamiento, esto previo a una solicitud dirigida a cada uno de sus propietarios.

La primera es la enfriadora de leche ENFRILAC la cual se encuentra ubicada en la provincia del Tungurahua, ciudad de Pillaro, Parroquia San Andrés, Barrio Cruzpamba. La segunda es la quesería MARÍA BELÉN ubicado en la provincia de Cotopaxi, Ciudad de Latacunga, Parroquia Mulalo.

1.2.6.3 Temporal

El presente estudio se realizará en el transcurso de los meses de Enero – Noviembre del 2012.

1.3 Justificación

El presente proyecto tiene como finalidad principal el estudio del proceso de enfriamiento del suero lácteo, esto debido a la necesidad de la Pasteurizadora El Ranchito Cía. Ltda.

De aplicar un sistema de enfriamiento que este en la capacidad de lograr conservar las propiedades del suero lácteo y principalmente de la acidez, ya que esta propiedad es la más importante, ya que de ella depende su uso o no en los productos que se va a transformar.

Aportando de esta manera a la empresa con el estudio para la implementación de un intercambiador de calor, diseñado de acuerdo a las necesidades y requerimientos de la empresa.

El presente trabajo investigativo se ejecutara para poder conservar las diferentes propiedades del suero lácteo tomando en cuenta el proceso que se debe aplicar para cumplir dicho propósito.

Una vez obtenidos dichos resultados de las pruebas realizadas serán de gran utilidad ya que la empresa estará en la capacidad de almacenar u mayor tiempo el suero lácteo, y como este; esta conservando sus propiedades estará en la capacidad de garantizar este producto.

Es necesario destacar que el objetivo del estudio es el proceso de enfriamiento del suero lácteo, descartando el estudio o la investigación del proceso posterior que este producto tenga es decir los productos en los que se vayan a transformar el suero lácteo.

La aplicación del empleo del suero lácteo en la presente investigación se basa en la norma técnica ecuatoriana INEN 708:2009 primera edición, la cual rige para las bebidas de leche con ingredientes, la cual menciona que se permite el empleo de proteína láctea o (suero lácteo) en un porcentaje de no mayor de un 30% de la totalidad de los ingredientes de estas mencionadas bebidas.

1.4 Objetivos:

1.4.1 Objetivo general:

Determinar un sistema de enfriamiento que permita conservar las propiedades físicas del suero lácteo.

1.4.2 Objetivo específico:

- ✓ Determinar la variación de la acidez con respecto al tiempo de calentamiento del suero lácteo.
- ✓ Comparar los valores obtenidos en los ensayos en cuanto al suero lácteo aplicando el proceso de enfriamiento y el suero lácteo sin aplicar el proceso de enfriamiento.
- ✓ Establecer los diferentes valores de las propiedades físicas del suero lácteo sometido al proceso de enfriamiento.
- ✓ Diseñar y construir un sistema de enfriamiento adecuado para el suero lácteo, según los parámetros establecidos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes investigativos

En la Facultad de Ingeniería en Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato se ha realizado el proyecto de titulación con el tema “Cálculo, Diseño y Construcción de un intercambiador de calor de tubos concéntricos para los sistemas de vapor-agua, agua-agua”, desarrollado en el año 1977 por el Sr. Ángel Gualberto Ulloa Ulloa.

En la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica se realizó un proyecto de investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico con el tema “Calentamiento de aceites vegetales y su efecto sobre la viscosidad”, desarrollado en el año 2010 por el Sr. Andrés Guillermo Mena Yopez.

Como otro antecedente se puede citar los registros de la Pasteurizadora El Ranchito Cía. Ltda. En cuanto al manejo de la leche durante el proceso, el cual es llevado de una temperatura alta a una temperatura baja para el control de sus propiedades, tomando en cuenta que el suero lácteo es un derivado de la leche y es semejante podemos tomarlos como referencia en cuanto a procesos de enfriamiento como a procedimientos para el enfriamiento, los cuales constan en los registros del año 2010, en la Jefatura de Producción de la Pasteurizadora El Ranchito Cía. Ltda.

2.2 Fundamentación filosófica

El desarrollo del presente estudio se orienta en el funcionamiento, ventajas y desventajas de los intercambiadores de calor, que se pueden emplear en la industria láctea y principalmente el suero lácteo; con ello seleccionar la mejor alternativa para el proceso de enfriamiento.

2.3 Categorías fundamentales

2.3.1 Glosario de términos básicos

Acidez: La valoración acidimetría de la leche fresca es una medida indirecta de su riqueza en caseína y fosfatos.

Acidímetro: Instrumento utilizado para medir el grado de acidez de una disolución.

Aislamiento térmico: Es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor por conducción.

Calor: Es una forma de energía que se transfiere entre dos sistemas, o un sistema y sus alrededores; debido a una diferencia de temperatura.

Calor específico: Es la energía para elevar un grado la temperatura de una masa unitaria de una sustancia.

Coefficiente de convección: Es una constante de proporcionalidad que 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 y de transporte.

Conducción: La conducción es un proceso mediante el cual fluye el calor desde una región de alta temperatura a otra de baja temperatura, dentro de un medio determinado mediante el flujo de electrones.

Conductividad térmica: Es la propiedad física de cualquier material que mide la capacidad de conducción del calor a través del mismo.

Convección: Es la transferencia de energía debido a un movimiento molecular aleatorio de partículas.

Densidad: Es la medida del grado de compactación de un material. Para un fluido homogéneo se define como la masa por unidad de volumen y depende de factores tales como su temperatura y la presión a la que está sometido. Sus unidades en el SI son: kg/m^3 .

Fluido: Es una sustancia material continua y deformable cuando es sometida a una tensión de cortadura (relación entre la componente tangencial a la superficie de la fuerza y el área de la superficie).

Flujo laminar: Es aquel en el que el movimiento del fluido es altamente ordenado y es posible identificar líneas de flujo a lo largo de las cuales se mueven las partículas.

Flujo másico: Cantidad de masa que pasa por una sección transversal por unidad de tiempo.

Flujo turbulento: Es aquel en el que el movimiento del fluido es altamente irregular y se caracteriza por fluctuaciones de velocidad.

Flujo volumétrico: volumen de fluido que pasa por una sección transversal por unidad de tiempo.

Lactodensímetro: Aparato utilizado para determinar la densidad de la leche o de derivados del mismo tales como suero lácteo. Se los conoce también como lactómetro, galactómetro, pesaleches, picnómetros.

Masa: Es la propiedad de un cuerpo de fluido que se mide por su inercia o resistencia a un cambio de movimiento. Es también una medida de la cantidad de fluido.

Número de Reynolds: Es la relación de la fuerza de inercia sobre un elemento de fluido a la fuerza viscosa. Determina la existencia de flujo laminar o turbulento.

Peso: Es la cantidad que pesa un cuerpo, es decir, la fuerza, con la que el cuerpo es atraído hacia la tierra por la acción de la gravedad.

Peso específico: El peso específico de una sustancia es el peso de la unidad de volumen. Se obtiene dividiendo un peso conocido de la sustancia entre el volumen que ocupa.

pH: Es una unidad de medida aceptada y común como un " metro " es una medida de la longitud, y un "litro" es una medida de volumen fluido El pH es una medida de la acidez o de la alcalinidad de una sustancia.

pH metro o medidor de pH: Aparato mediante el cual se puede realizar una medida precisa del pH de una disolución por métodos electrométricos.

Potencia: Es la rapidez con la que se transfiere la energía.

Presión: La presión se define como la cantidad de fuerza que se ejerce sobre una unidad de área de una sustancia, o sobre una superficie.

Suero lácteo: El suero es el líquido remanente resultante de la elaboración de quesos ya que en este proceso se separa del cuajo o caseína, que se distingue por su elevado valor nutritivo.

Temperatura: La temperatura es la medida de la cantidad de energía de un objeto, Ya que la temperatura es una medida relativa, las escalas que se basan en puntos de referencia deben ser usadas para medir la temperatura con precisión.

Termómetro: El termómetro es un instrumento, que se emplea para medir la temperatura; la presentación más común que este posee es en vidrio, este tubo de vidrio contiene en su interior otro pequeño tubo hecho en mercurio, que se dilata o expande de acuerdo a los cambios de temperatura que mida.

Velocidad: Es la distancia que recorre el fluido por unidad de tiempo.

2.3.2 Suero lácteo y sus propiedades

a) Suero lácteo

El suero lácteo es un residuo resultante de la producción del queso, goza de un gran contenido proteínico, el cual, a pesar de ser una sustancia ácida, altamente contaminante, en algunos casos es desechado y vertido a la superficie terrestre y mantos acuíferos.

Sin embargo, mediante un proceso térmico, es posible neutralizar la acidez del suero, más aún, obtener subproductos o emplear como materias primas en otros productos dando como resultado un producto altamente nutritivo.

b) Propiedades del suero lácteo

Densidad: No es un valor constante, depende de la concentración de los elementos disueltos y en suspensión (Sólidos No Grasos); la densidad varía proporcionalmente a esta concentración.

Proporción de materia grasa; teniendo esta una densidad inferior a 1, la densidad varía de manera inversa al contenido graso.

Se determina mediante un lactodensímetro. Colocando 100 ml de suero lácteo en una probeta.

Nota: Se debe tomar en cuenta que en el momento de determinar la densidad también se determina el valor exacto de su temperatura, puesto que al ser la una propiedad dependiente de la otra es necesario obtener las dos lecturas para poder interpretar y emitir un criterio de la calidad del suero lácteo.

Procedimiento para determinar la densidad: Se coloca en la probeta la leche, procediendo de manera cuidadosa para impedir la formación de espuma.

Se introduce el lactodensímetro de forma que la leche rebose de la probeta para evitar una posible formación de espuma que dificulte la lectura tubo de ensayo, el valor determinado mediante observación directa estará dado la densidad en gr/cm^3 y la temperatura del suero lácteo en grados centígrados.



Fig. 2.1: Medición de la densidad del suero lácteo.

[Fuente: Laboratorio de análisis físico químico de la Pasteurizadora El Ranchito]

Acidez Dornic (°D): La acidez Dornic se determina mediante titulación en un vaso de precipitado de una muestra de 10 ml de suero lácteo, es decir es el resultado de una valoración ácido-base en la que un volumen de leche es llevado al punto de viraje de un indicador de pH que suele ser la fenolftaleína (punto de viraje $\text{pH} = 8,3$) utilizando para ello una disolución alcalina (hidróxido sódico). En la acidez de valoración estamos determinando la suma de la acidez natural del suero lácteo (caseínas, sustancias minerales - ácidos orgánicos y fosfatos) y la acidez desarrollada (ácidos orgánicos generados a partir de la lactosa por crecimiento microbiano).



Fig. 2.2: Reactivos empleados para determinar la acidez.

[Fuente: Laboratorio de análisis físico químico de la Pasteurizadora El Ranchito]

Procedimiento para determinar la acidez dornic: Se depositan 10ml. de leche en un vaso precipitado, se agregan 2 a 3 gotas de fenolftaleína y se procede a titular con la solución de Hidróxido de Sodio al .1 N, hasta obtener el punto de virar o una colocación rosa muy tenue (30 segundos).



Fig. 2.3: Acidímetro.

[Fuente: Laboratorio de análisis físico químico de la Pasteurizadora El Ranchito]

Interpretación: Los mililitros gastados de Hidróxido multiplicados por 10 se expresan directamente en grados Dornic, y estos a su vez, en gramos de ácido láctico.

Un grado Dornic equivale a 0.01 gramo de ácido láctico. Así se puede expresar que los mililitros gastados de Hidróxido de sodio al .1 N se multiplican por el equivalente en gramos de ácido láctico.

El punto final de la valoración no es totalmente claro, porque depende de la agudeza visual del operador: por esta razón es aconsejable poner en otro vaso al lado del de ensayo, cierta cantidad de leche sin indicador.

pH: El método más exacto y comúnmente más usado para medir el pH es usando un medidor de pH o (pH metro) y un par de electrodos. Un medidor de pH es básicamente un voltímetro muy sensible, los electrodos conectados al mismo generarán una corriente eléctrica cuando se sumergen en soluciones. Un medidor de pH tiene electrodos que producen una corriente eléctrica; ésta varía de acuerdo con la concentración de iones hidrógeno en la solución.

El medidor debe estar calibrado con una solución de pH conocido, llamada "amortiguador" (también solución tampón o buffer) Los amortiguadores resisten las variaciones de pH y tienen valores de pH específicos a temperaturas determinadas.

Los números a partir del 0 al 7 en la escala indican las soluciones ácidas, y 7 a 14 indican soluciones alcalinas. Cuanto más ácida es una sustancia, más cercano su pH estará a 0; cuanto más alcalina es una sustancia, más cercano su pH estará a 14. Algunas soluciones fotográficas no son ni altamente ácidas ni altamente alcalinas sino que están más cercanas al punto neutro, $\text{pH}=7$ que es el pH de la solución del agua de canilla. Las soluciones de revelador tienen valores en la porción alcalina de la escala del pH, extendiéndose típicamente de pH 9 a 12. Los baños de parada tienen valores en el extremo opuesto de la escala porque contienen cantidades grandes de ácido; tienen típicamente valores de pH de 1 a 3.

Grasa: El porcentaje de grasa se determinó por el método Gerber empleando los siguientes reactivos: 10 ml de H_2SO_4 concentrado ($\rho = 1,820$ a $1,825$), 1 ml de alcohol isoamílico y 11 ml de suero lácteo.

Procedimiento para determinar la grasa: Se colocan en un butirómetro de Gerber graduado y siguiendo este orden:

- 10 mL de la disolución de H_2SO_4 ,
- 11 mL de leche de forma cuidadosa para que no se mezclen
- 1 mL de alcohol isoamílico

Se coloca el tapón en el butirómetro con la ayuda del vástago y se agita enérgicamente hasta la disolución total de la fase proteica de la leche.

Se centrifuga en la centrífuga Gerber termostaticándola a 65°C .

Se saca el butirómetro con cuidado de la centrífuga para no mezclar la capa de grasa separada y se procede a leer rápidamente el porcentaje de grasa sobre la escala del butirómetro.

2.3.3 Intercambiadores de calor tipos y características

a) Transferencia de calor ¹

La transferencia de calor, es el proceso por el que se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos, o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están a distinta temperatura. El calor se transfiere mediante convección, radiación o conducción. Aunque estos tres procesos pueden tener lugar simultáneamente, puede ocurrir que uno de los mecanismos predomine sobre los otros dos. Por ejemplo, el calor se transmite a través de la pared de una casa fundamentalmente por conducción, el agua de una cacerola situada sobre un quemador de gas se calienta en gran medida por convección, y la Tierra recibe calor del Sol casi exclusivamente por radiación.

La transmisión de calor es necesaria en los procesos industriales actuales, mediante esta transmisión se consiguen ahorros de costes energéticos y máximo aprovechamiento de la energía ya disponible en el sistema.

Los fluidos, por tanto, se calientan ó refrigeran para seguir siendo aprovechados dentro del proceso industrial gracias a los intercambiadores.

b) Tipos de transferencia de calor ²

Existen tres métodos para la transferencia de calor: conducción, convección y radiación. Conocer cada tipo y saber cómo funciona le permite entender mejor cómo los sistemas de aislamiento y burletes protegen el espacio acondicionado.

Conducción. En los sólidos, la única forma de transferencia de calor es la conducción. Si se calienta un extremo de una varilla metálica, de forma que aumente su temperatura, el calor se transmite hasta el extremo más frío por conducción.

¹ CENGEL, Yunus (2003). Transferencia de calor. Segunda edición.

² INCROPERA, Frank (1999). Fundamentos de transferencia de calor.

No se comprende en su totalidad el mecanismo exacto de la conducción de calor en los sólidos, pero se cree que se debe, en parte, al movimiento de los electrones libres que transportan energía cuando existe una diferencia de temperatura. Esta teoría explica por qué los buenos conductores eléctricos también tienden a ser buenos conductores del calor. En 1822, el matemático francés Joseph Fourier dio una expresión matemática precisa que hoy se conoce como ley de Fourier de la conducción del calor. Esta ley afirma que la velocidad de conducción de calor a través de un cuerpo por unidad de sección transversal es proporcional al gradiente de temperatura que existe en el cuerpo (con el signo cambiado).

Convección. Si existe una diferencia de temperatura en el interior de un líquido o un gas, es casi seguro que se producirá un movimiento del fluido. Este movimiento transfiere calor de una parte del fluido a otra por un proceso llamado convección. El movimiento del fluido puede ser natural o forzado. Si se calienta un líquido o un gas, su densidad (masa por unidad de volumen) suele disminuir. Si el líquido o gas se encuentra en el campo gravitatorio, el fluido más caliente y menos denso asciende, mientras que el fluido más frío y más denso desciende. Este tipo de movimiento, debido exclusivamente a la no uniformidad de la temperatura del fluido, se denomina convección natural.

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

Radiación. Es la transferencia de calor, en forma de energía electromagnética, por el espacio. La radiación presenta una diferencia fundamental respecto a la conducción y la convección: las sustancias que intercambian calor no tienen que estar en contacto, sino que pueden estar separadas por un vacío. La radiación es un término que se aplica genéricamente a toda clase de fenómenos relacionados con ondas electromagnéticas. Algunos fenómenos de la radiación pueden describirse mediante la teoría de ondas, pero la única explicación general satisfactoria de la radiación electromagnética es la teoría cuántica.

c) Intercambiadores de calor ³

Los intercambiadores de calor son equipos que permiten transferir energía (calor) de un fluido a otro sin ponerlos en contacto directo, la transferencia se produce a través de una pared sólida que los separa.

Un fluido transfiere calor por convección a una pared sólida, el calor atraviesa esta por conducción y por último el otro fluido recibe la transferencia por convección.

El esquema de un intercambiador de calor básico es el siguiente

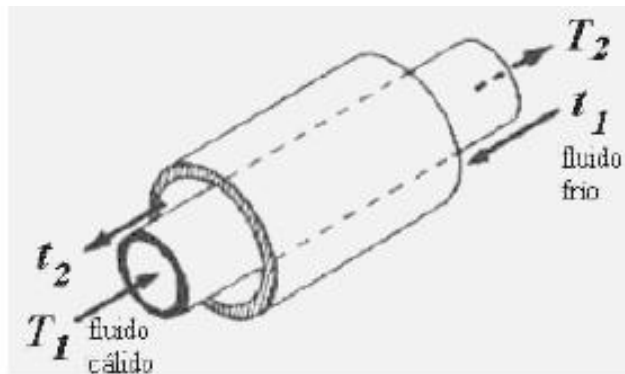


Fig. 2.4: Esquema de un intercambiador de calor básico.

[Fuente: INCROPERA- Fundamentos de transferencia de calor]

Dónde t_1 y t_2 = temperatura de entrada y salida del fluido frío.

T_1 y T_2 = temperatura de entrada y salida del fluido caliente.

d) Tipos de intercambiadores de calor y características

Los intercambiadores normalmente se clasifican de acuerdo con el arreglo del flujo y el tipo de construcción. El intercambio de calor más simple es aquel en que los fluidos caliente y frío se mueven en la misma dirección o en direcciones opuestas en una construcción de tubos concéntricos (o doble tubo).

³ CENGEL, Yunus (2003). Transferencia de calor. Segunda edición.

En el arreglo de flujo paralelo, los fluidos caliente y frío entran por el mismo extremo, fluyen en la misma dirección y salen por el mismo extremo. En el arreglo de contra flujo, los fluidos entran por extremos opuestos, fluyen en direcciones opuestas, y salen por extremos opuestos.

Intercambiadores de calor de flujo paralelo: En un intercambiador de calor en flujo paralelo la temperatura de salida del fluido frío nunca puede ser superior a la temperatura de salida del fluido caliente.

Se puede observar en el esquema siguiente una interpretación mediante un diagrama de temperatura:

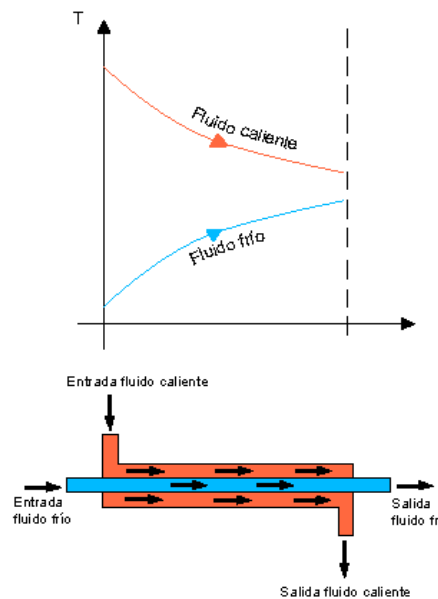


Fig. 2.5: Esquema de un intercambiador de calor de flujo paralelo.

[Fuente: Ingenieria-mecanica.asp.]

Ecuaciones empleadas en los intercambiadores de calor de flujo paralelo

$$\left(\begin{array}{l} \Delta T_1 \equiv T_{h,1} - T_{c,1} \equiv T_{h,i} - T_{c,i} \\ \Delta T_2 \equiv T_{h,2} - T_{c,2} \equiv T_{h,o} - T_{c,o} \end{array} \right) \quad (2.1)$$

Intercambiadores de calor de flujo cruzado: En un intercambiador de calor en flujo cruzado la temperatura de salida del fluido frío puede ser superior a la temperatura de salida del fluido caliente. El caso límite se tiene cuando la temperatura de salida del fluido frío es igual a la temperatura de entrada del fluido caliente. La temperatura de salida del fluido frío nunca puede ser superior a la temperatura de entrada del fluido caliente.

Se puede observar en el esquema siguiente una interpretación mediante un diagrama de temperatura:

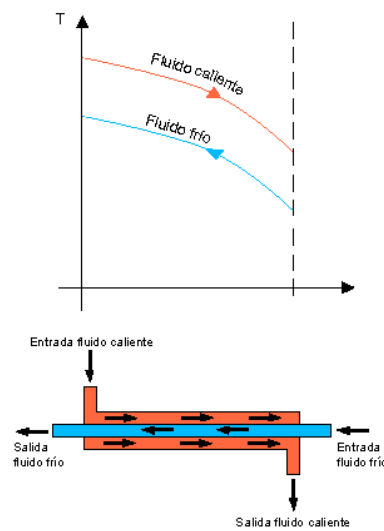


Fig. 2.6: Esquema de un intercambiador de calor de flujo cruzado.

[Fuente: Ingenieria-mecanica.asp.]

Ecuaciones empleadas en los intercambiadores de calor de flujo cruzado

$$\left(\begin{array}{l} \Delta T_1 \equiv T_{h,1} - T_{c,1} \equiv T_{h,i} - T_{c,o} \\ \Delta T_2 \equiv T_{h,2} - T_{c,2} \equiv T_{h,o} - T_{c,i} \end{array} \right) \quad (2.2)$$

2.3.4 Intercambiadores de calor de tipo placas, características y usos

a) Intercambiador tipo placas ⁴

Los intercambiadores de calor de placas y marco consisten en una serie de placas acanaladas que se montan en un marco y se afianzan con abrazaderas. Cada placa se hace de una material prensable (acero inoxidable, níquel, titanio, etc.) y se forma con una serie de corrugaciones. El paquete también incluye una junta o sello. La junta o sello contiene la presión y controla el flujo.

Los intercambiadores de calor de placa son de uso frecuente en fluidos de baja viscosidad con demandas moderadas de temperaturas y presión, típicamente por debajo de los 150°C. El material de los sellos se elige preferentemente para soportar la temperatura de operación y conforme a las características del líquido de proceso.

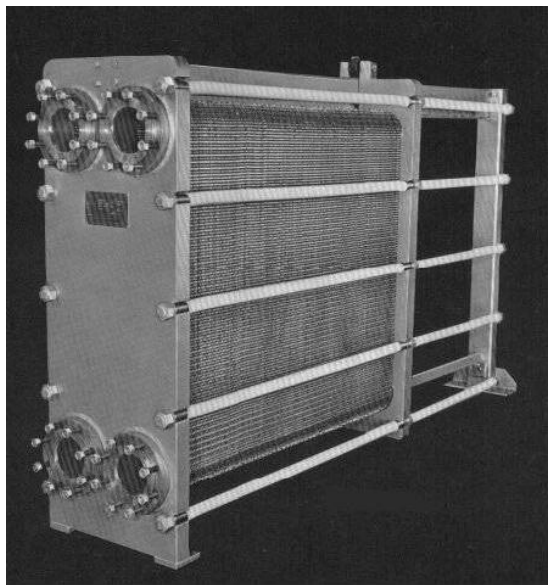


Fig. 2.7: Intercambiador de calor de tipo placas.

[Fuente: www.monografias.com/trabajos/trans/intercambiadorescompac.shtml#c]

⁴Catalogo COMEVAL S.L depto. Técnico.

Las placas son ensambladas en paquetes montados sobre unos rieles guías que se encuentran tanto en la parte inferior como superior y se mantienen unidas a presión por medio de tornillos de compresión.

El arreglo de la junta de cada placa distribuye el medio caliente y frío en canales de flujo alternados a través del paquete de placas.

b) Principio de funcionamiento

Los intercambiadores de placas consisten en un conjunto de placas preformadas con unos canales en disposición paralela por dónde circulan los fluidos. Estas placas están montadas sobre un bastidor de acero y dos placas de acero sujetadas por espárragos de apriete que compactan las placas.

Cada placa dispone de 4 bocas por dónde circulan los fluidos en paralelo mientras que un fluido es conducido por las placas pares y el otro por las impares consiguiendo así el necesario intercambio de calor entre ambos.

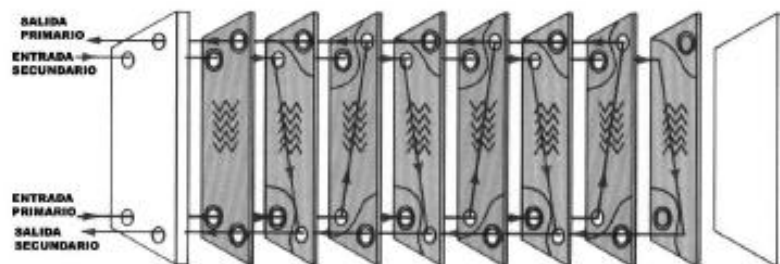


Fig. 2.8: Circulación de los fluidos en el intercambiador de calor de tipo placas.

[Fuente: Catalogo COMEVAL S.L depto. Técnico]

Las placas están separadas por juntas de estanqueidad de caucho, facilitando en este caso el mantenimiento de las mismas. También se pueden ofrecer intercambiadores con placas soldadas sin juntas, siendo más competitivos pero no siendo posible el mantenimiento.

c) Partes y materiales

En la figura mostrada a continuación se detalla las partes y los materiales que se emplean comúnmente en la construcción de un intercambiador de calor por placas.



Fig. 2.9: Partes de un intercambiador de calor por placas

[Fuente: Catalogo COMEVAL S.L depto. Técnico]

1. Bastidor
2. Placas Acero Inoxidable AISI 316 o AISI 317
3. Conexiones roscadas Acero Inoxidable AISI 316 o SMS 316
4. Juntas NBR ó EPDM
5. Guías de las placas Acero Inoxidable

d) Características

Según el departamento técnico de la empresa COMEVAL ⁵ las principales características de los intercambiadores de calor de tipo placas son los que se detallan a continuación, los cuales serán tomados muy en cuenta al momento de la selección de la mejor alternativa.

Compactos: tienen una gran superficie de intercambio y las placas en conjunto proporcionan una mayor eficiencia térmica requiriendo menor espacio de instalación.

⁵ Catalogo COMEVAL S.L depto. Técnico

Alto rendimiento térmico: Precisión de intercambio y mayor superficie de intercambio térmico, los circuitos funcionan a contra corriente y el resultado es una gran transferencia térmica.

Seguridad: ausencia de contaminación entre circuitos debido al sellado independiente de ambos mediante las juntas de estanqueidad. El área intermedia ventea a atmósfera en caso de rotura ó desgaste de juntas, evitando así la no deseada contaminación interior.

Livianos: su diseño proporciona más fácil manipulación en planta, embarque y seguridad de uso en la instalación.

Ensuciamiento mínimo: debido a su diseño auto limpiante de las placas.

Mínima corrosión y desgaste de materiales.

Costes de operación mínimos.

Expansibilidad y durabilidad; posibilidad de ampliación de placas para el futuro incremento del rendimiento térmico en planta y renovación de efectividad con el cambio de placas.

Juntas de caucho incrustadas a presión, sin colas o pegamentos.

e) Usos del intercambiador de calor de placas

Son diversos los usos que se le pueden acreditar a cada uno de los tipos de intercambiadores existentes, pero en general, los intercambiadores son usados para recuperar calor entre dos corrientes en un proceso. Por ejemplo para los intercambiadores de calor de tipo placas indicaremos algunos de los usos que se conocen actualmente:

- Para uso industrial desde Farmacéutico, Alimenticio, Químico, Petroquímico, Plantas Eléctricas, Plantas Siderúrgicas, Marino y otros más.

- Recuperadores de calor, particularmente con diferenciales cortos de temperatura.
- Torres de enfriamiento secas.
- Calentadores de agua y otros fluidos, mediante vapor.
- Enfriadores de aceite.
- Manejo de sustancias corrosivas, medias.
- Enfriadores de agua salada.
- Para cualquier aplicación dónde se requieren diferenciales cortos de temperatura.
- Para usos de refrigeración libres de congelación.

2.3.5 Intercambiadores de calor de tipo tubos concéntricos, características y usos

a) Intercambiador tipo tubos concéntricos ⁶

El intercambiador de doble tubo es el tipo más simple que se puede encontrar de tubos rectos, el intercambiador está formado por varias unidades, cada una de ellas se llama horquilla y se arma con tubos roscados o bridados. Las uniones también pueden ser soldadas, pero no es lo habitual ni lo recomendable pues dificulta el armado y desarmado para su limpieza.

Los intercambiadores de doble tubo se los puede configurar de dos maneras que detallaremos a continuación:

1. Los dos fluidos circulan en la misma dirección: flujo paralelo.
2. Los dos fluidos circulan en direcciones contrarias: flujo contracorriente.

⁶ CENGEL, Yunus (2003). Transferencia de calor. Segunda edición

b) Principio de funcionamiento

Básicamente están constituidos por dos tubos concéntricos, un fluido circula por el tubo interior y el otro por la superficie que queda entre ambos tubos, la transferencia se realiza a través de la pared del tubo interior.

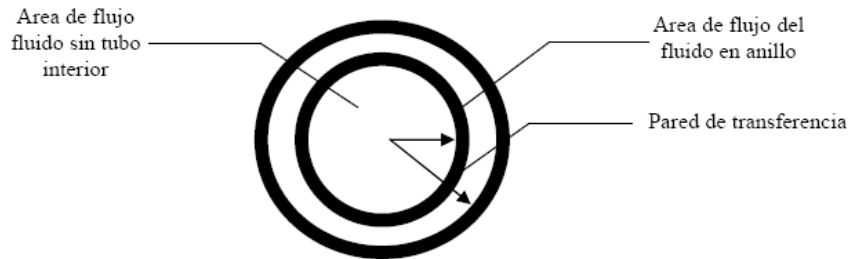


Fig. 2.10: Diagrama del intercambiador de calor tipo tubos concéntricos.

[Fuente: CENGEL, Yunus (2003). Transferencia de calor. Segunda edición]

c) Partes y materiales

Están constituidos por juegos de tubos concéntricos, "U" conectoras, cabezales de retorno y codos en U según el esquema siguiente.

Este esquema representa una "horquilla". Los intercambiadores de doble tubo están constituidos por varias horquillas interconectadas para obtener el área de transferencia, que como veremos, se prevé en el cálculo de su diseño.

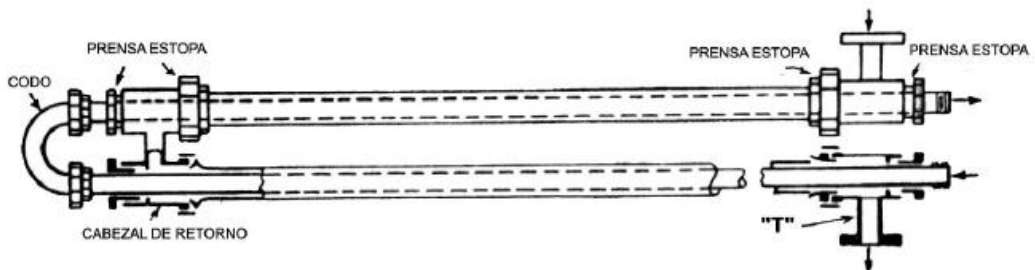


Fig. 2.11: Partes del intercambiador de calor tipo tubos concéntricos.

[Fuente: CENGEL, Yunus (2003). Transferencia de calor. Segunda edición]

d) Características

Los intercambiadores de calor de tipo tubos concéntricos tienen muchas características positivas tanto como negativas, las cuales detallaremos a continuación y queda a criterio del diseñador la decisión de tomar en cuenta.

Flexibilidad: este tipo de intercambiadores son fáciles de armar y mantener.

Repuestos: los repuestos son fácilmente intercambiables y obtenibles en corto tiempo.

Superficie: La superficie útil de intercambio es fácil de modificar para adaptar el intercambiador a cambios de condiciones de operación, simplemente conectando mas horquillas o anulándolas, operaciones en las cuales tan solo requiere de varios minutos.

Mano de obra: No requieren de mano de obra especializada para el armado y mantenimiento.

e) Usos del intercambiador de tubos concéntricos

Este tipo de intercambiadores de calor se los emplea principalmente: cuando un fluido es un gas, o un líquido viscoso, o su caudal es pequeño, mientras el otro es un líquido de baja viscosidad, o con alto caudal.

- Adecuados para servicios con corrientes de alto ensuciamiento, con lodos sedimentables o sólidos o alquitranes por la facilidad con que se limpian.
- Para uso industrial como, Alimenticio, Plantas Siderúrgicas y otros más.
- Enfriadores de aceite.
- Manejo de sustancias corrosivas.
- Enfriadores de agua.
- En aplicaciones dónde se requieren diferenciales cortos de temperatura.
- Para usos de fluidos de alta viscosidad.

2.3.6 Procesos de producción de quesos

a) Queso

Queso, producto alimenticio sólido o semisólido que se obtiene separando los componentes sólidos de la leche, la cuajada, de los líquidos, el suero. Cuanto más suero se extrae más compacto es el queso. El queso se elabora desde tiempos prehistóricos a partir de la leche de diferentes mamíferos, incluidos los camellos y los alces. Hoy en día, sin embargo, la mayoría de los quesos son de leche de vaca, a pesar del incremento que ha experimentado en los últimos años la producción de quesos de cabra y oveja. Es un elemento importante en la dieta de casi todas las sociedades porque es nutritivo, natural, fácil de producir en cualquier entorno, desde el desierto hasta el polo, y permite el consumo de leche en momentos en que no se puede obtener.

En el Gráfico que se detalla a continuación se enfoca un diagrama de proceso que lleva en la actualidad el suero lácteo.

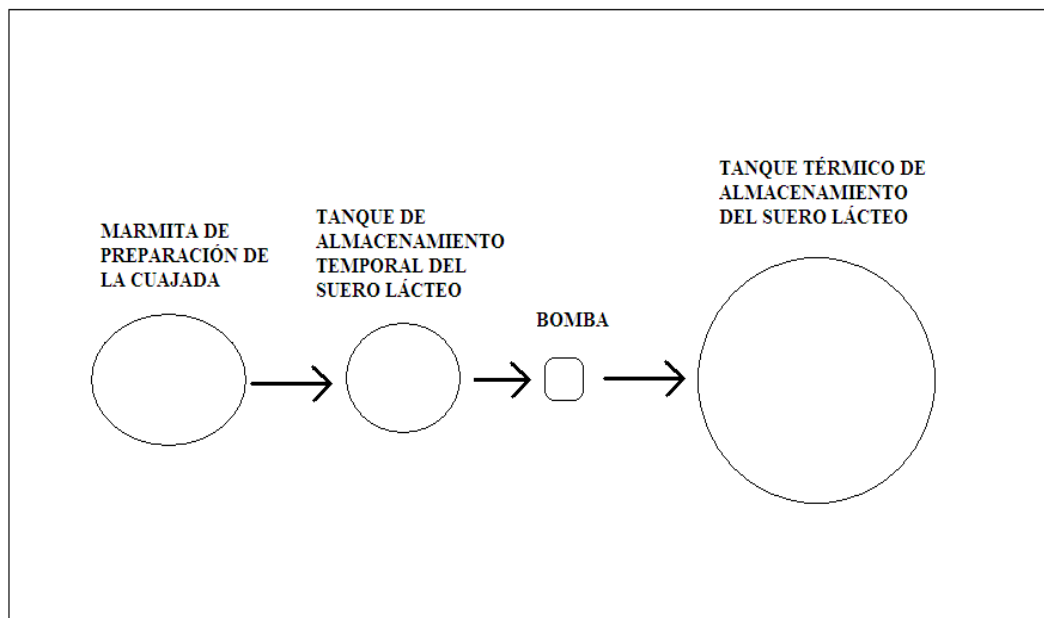


Fig. 2.12: Diagrama de proceso del suero lácteo.

[Fuente: Jefatura de producción Pasteurizadora El Ranchito.]

b) Detalle del proceso

En la siguiente tabla se procede a indicar el proceso que se lleva en la empresa para la obtención del queso y por ende del suero lácteo, de esta tabla vamos a poder determinar el tiempo que tenemos para estudiar el proceso de enfriamiento del suero lácteo. Desglose de proceso y tiempo empleado en cada parada de producción de quesos en la Pasteurizadora El Ranchito Cía. Ltda.

Tabla 2.1: Tiempos de producción por cada parada de queso.

[Fuente: Jefatura de producción Pasteurizadora El Ranchito]

	Detalle	Tiempo	Unidad
1	Pasteurización de la leche	17	Minutos
2	Cuajado de la leche	40	Minutos
3	Agitación de la cuajada	5	Minutos
4	Reposo de la cuajada	10	Minutos
5	Retiro del 25% de suero lácteo	2	Minutos
6	Agitación de la cuajada	5	Minutos
7	Reposo de la cuajada	5	Minutos
8	Retiro del suero lácteo restante en la cuajada	6	Minutos
	Total	90	Minutos

c) Suero lácteo

De la tabla anterior podemos obtener que en el quinto y octavo proceso de producción de cada parada de queso, se obtiene una cierta cantidad de suero que es destinada a diversos procesos tales como la producción de bebidas lácteas y bebidas de yogurt principalmente las cuales no serán objeto de estudio puesto que los requerimientos de la empresa son fijados en el proceso de enfriamiento del suero lácteo.

Propiedades del suero lácteo: Posterior a la obtención del suero lácteo se realizan los análisis en el laboratorio de la empresa y se obtienen los siguientes datos de las propiedades que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2.2: Valores de las propiedades del suero lácteo a 35 °C.

[Fuente: Obtenidos del laboratorio de análisis de la Pasteurizadora El Ranchito]

Propiedades	Cantidad	Unidad
Temperatura	35	°C
Acidez	10	°D
Densidad	1.021	gr/cm ³
pH	6.55	
Grasa	0.5	% mG
Cp. (investigado)	4019,33	$\left[\frac{J}{Kg\ ^\circ C}\right]$

2.3.7 Datos de obtención del suero lácteo

Previo a la obtención del suero lácteo es necesario tomar en cuenta los siguientes parámetros técnicos que se refieren a cantidades, tiempos y porcentajes de rendimientos establecidos en la Pasteurizadora El Ranchito.

Tabla 2.3: Tabla de parámetros de rendimiento de queso y derivados.

[Fuente: Obtenidos de la jefatura de producción de la Pasteurizadora El Ranchito]

Ítem	Cantidad	Unidades
Leche	1200	L
Paradas	1	Uni.
Total	1200	L
Tiempo	2	H
Tiempo Total	2	H
% rendimiento del suero lácteo promedio	78%	%
Suero lácteo	900	L

2.3.8 Datos considerables previos al estudio del proceso de enfriamiento

T. Suero Inicio Proceso	28	°C Promedio
T. Promedio del agua Inicio del Proceso	4	°C Promedio
Tiempo para proceso de enfriamiento	90	Max

Nota: El tiempo para el proceso de enfriamiento esta tomado en cuenta en el tiempo hábil que contaremos mientras se ejecuta el proceso de producción de la siguiente parada de queso el cual es un tiempo máximo de 90 minutos, para efectos de cálculos lo realizaremos con 60 minutos.

2.3.9 Requerimientos posteriores al proceso de enfriamiento

Los requerimientos estarían totalmente cubiertos, al cumplir el objetivo de disminuir la temperatura bajo los 18 °C, puesto que bajo esta temperatura se conservan las propiedades del suero lácteo y principalmente la acidez.

Temperatura del Suero lácteo al final proceso	< 18	°C
---	------	----

2.3.10 Selección del intercambiador de calor

Posteriormente de realizar un análisis minucioso del problema planteado y sus posibles soluciones, es necesario seleccionar el intercambiador de calor más adecuado que se pueda emplear en el proceso de enfriamiento del suero lácteo.

Se presento anteriormente dos opciones de intercambiadores de calor que se podrían emplear en el proceso de enfriamiento anteriormente mencionado y son los siguientes: el primero es el proceso de enfriamiento mediante el empleo de un intercambiador de calor de tipo tubos concéntricos, el cual denominaremos como **Opción (A)**.

El segundo es el proceso de enfriamiento empleando un intercambiador de calor de tipo placas, el cual se lo denominará como **Opción (B)**.

De estos dos tipos de intercambiadores de calor se procederá a analizar su ventajas y desventajas las cuales se procederá a detallar a continuación, las cuales ayudaran a dar una alternativa de solución en la propuesta que se presenta en este trabajo de investigación.

2.3.10.1 Razón de transferencia de calor

Es la cantidad más importante en la selección de un intercambiador. Un intercambiador debe ser capaz de transferir el calor a una razón específica para lograr el cambio deseado en la temperatura del fluido con el gasto de masa determinado.

Opción (A): Este intercambiador de calor tiene una razón de transferencia de calor media debido a la disposición de los tubos, ya que el tubo externo está en contacto con el ambiente en el 100 % de la superficie.

Opción (B): Por ser un intercambiador de calor que siempre están en contacto las superficies de los fluidos fríos y calientes tiene una razón de transferencia de calor alta la cual le hace más eficiente en cuanto a la opción anterior.

2.3.10.2 Costo

Las limitaciones en el presupuesto suelen desempeñar un papel importante en la selección de los intercambiadores, excepto en algunos casos especiales en dónde "el dinero no es lo más importante". Los intercambiadores que existen en catálogo tienen una ventaja definida en el costo sobre los que se lo realizan sobre pedido.

En algunos casos ninguno de los intercambiadores en existencia realizará lo que se desea y puede ser necesario tener que emprender la tarea costosa y tardada de diseñar y fabricar un intercambiador a partir de la nada que se adecuó a las necesidades.

En este parámetro también debemos tener en cuenta los costos que implica en la operación y mantenimiento del intercambiador los cuales también son consideraciones importantes en la valoración del costo total.

Opción (A): En un intercambiador de calor de tubos concéntricos el costo de ensamble es elevado, puesto que los tubos concéntricos requieren de varios accesorios y soldaduras para su confección los cuales por ser un acero inoxidable son relativamente costosos y complicados de encontrar mano de obra calificada que pueda realizar dicho trabajo.

Opción (B): En el caso del intercambiador de calor de tipo placas no es necesario de equipos adicionales para su ensamblaje tales como soldadoras, pulidoras, etc. Ya que dichas placas son unidas solo mediante sujeción y están unidas unas a otras mediante empaques de polímeros, cabe destacar que este proceso no es necesario realizarlo en un taller especializado.

Por todos los antecedentes antes mencionados este tipo de intercambiador de calor resulta económicamente menor que el intercambiador de calor de tipo tubos concéntricos.

2.3.10.3 Tamaño y peso

En la publicación de transferencia de calor del autor ⁷ segunda edición, menciona que en la selección de un intercambiador de calor cuando se tiene dos o más opciones influye en gran magnitud el tamaño y peso del mismo y menciona lo siguiente.

Normalmente, entre más pequeño y más ligero es el intercambiador, mejor es. En especial, éste es el caso en las industrias automotriz y aeroespacial, en donde los requisitos con respecto al tamaño y al peso son más rigurosos. Asimismo, lo normal es que a un intercambiador más grande se le etiquete con un precio más alto. El espacio del que se dispone para el intercambiador en algunos casos limita la longitud de los tubos que se pueden usar.

⁷ CENGEL, Yunus (2003). Transferencia de calor. Segunda edición.

En la Pasteurizadora el ranchito es fundamental el ahorro de espacio puesto que es una empresa en constante crecimiento y desarrollo, por lo que a criterio de su Gerente es necesaria la optimización de espacios como también el empleo de maquinaria, accesorios y equipos de menor tamaño y elevada eficiencia.

Según el criterio del coordinador de mantenimiento de la empresa la selección del intercambiador de calor para el sistema de enfriamiento del suero lácteo debe fundamentarse principalmente en el tamaño y el peso, en el tamaño por el ahorro de espacio que esto ocasionaría; en el peso, por la facilidad de montaje y el tiempo empleado en el mismo, es por eso que a su criterio la mejor alternativa es el intercambiador de calor de tipo placas, ya que tiene una eficiencia comprobada en sistema de enfriamientos de leche y como el suero lácteo es un líquido de características físicas semejante al de la leche sería igual de eficiente.

Opción (A): En los intercambiadores de calor de tipo tubos concéntricos es necesario un espacio amplio que por lo general son de aproximadamente 3 metros de largo, ya que normalmente se los encuentra en el mercado de esta longitud, así también se debe tener en cuenta su altura puesto que de acuerdo a la necesidad y a los requerimientos son los pasos y de estos dependen su estructura.

Es necesario indicar que el peso de un intercambiador de calor de tubos concéntricos es alto ya que requiere una gran cantidad de elementos para su ensamble, así también se debe tomar en cuenta el peso de los tubos.

Opción (B): Por ser compacto, un intercambiador de calor de tipo placas es relativamente ligero en cuanto a su peso, lo cual facilita su montaje y desmontaje, así también como su traslado en el caso de reubicación de equipos.

En cuanto al tamaño, este intercambiador de calor es pequeño ya que solo dependen del tamaño de sus placas que por lo general son de 0.35 m de alto y 0.20 m de ancho; lo cual implica un espacio relativamente pequeño.

2.3.10.4 Materiales

Los materiales que se usen en la construcción del intercambiador pueden constituir una consideración importante en la selección de los intercambiadores.

Según ⁸ una diferencia de temperatura de 50°C o más entre los tubos y el casco es posible que plantee problemas de expansión térmica diferencial que necesitan considerarse. En el caso de fluidos corrosivos puede ser que tengan que seleccionarse materiales costosos resistentes a la corrosión, como el acero inoxidable o incluso el titanio, si no se desea reemplazar con frecuencia los intercambiadores de bajo costo. Por lo general no es necesario considerar los efectos de los esfuerzos térmicos y estructurales a presiones por debajo de 15 atm o temperaturas inferiores a 150°C.

En el caso de la Pasteurizadora el Ranchito es necesario el empleo de materiales sanitarios e inoxidables ya que es una planta de alimentos y también tomando en cuenta que la leche y sus derivados son altamente corrosivos, sea el caso del intercambiador de calor de tubos concéntricos o el de placas.

Opción (A): En el caso del intercambiador de calor de tubos concéntricos se lo puede realizar con tubos de acero inoxidable AISI 304 permitidos en el manejo de alimentos. Este material es fácil de encontrar en el mercado local, sin embargo no todos los diámetros pueden encontrarse en el mercado nacional, siendo los tubos de 3 plg. Y menores de este diámetro los de mayor comercialización y fácil consecución.

Opción (B): En el caso de las placas que se emplean en los intercambiadores, se las encuentra en el mercado en materiales como es el acero inoxidable AISI 316 o AISI 317, los cuales son permitidos en el manejo y empleo de alimentos, cabe destacar que en nuestro país es más frecuente encontrar placas de acero inoxidable AISI 316. El cual garantiza el diseño por sus propiedades mecánicas y térmicas.

⁸ CENGEL, Yunus (2003). Transferencia de calor. Segunda edición.

En el cuadro mostrado a continuación se presenta una cuantificación acerca de las ventajas y desventajas presentadas en las dos opciones de intercambiadores de calor anteriormente mencionadas.

Tabla 2.4: Cuantificación de la ventajas y desventajas de las dos opciones de intercambiadores.

[Fuente: investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Ventajas y desventajas	Cuantificación	Cualificación	Opción A	Opción B
Razón de transferencia de calor	1	Mínima	2	3
	2	Media		
	3	Alta		
Costo	1	Elevado	1	2
	2	Medio		
	3	Bajo		
Tamaño del intercambiador	1	Grande	2	3
	2	Medio		
	3	Pequeño		
Peso	1	Alto	1	3
	2	Medio		
	3	Bajo		
Factibilidad de materiales	1	Largo plazo	3	3
	2	Corto plazo		
	3	Inmediato		
Total			9	14

2.3.11 Relaciones matemáticas en el diseño del intercambiador de calor

La estructura lógica para el proceso de diseño de un intercambiador de calor puede descomponerse en dos fases importantes:

- El diseño térmico
- El diseño hidráulico

2.3.12 Diseño térmico

En la fase del análisis térmico se determina el área de superficie necesaria para transferir calor desde el fluido caliente (suero lácteo), hacia el fluido frío (agua helada), en función de su área para determinadas condiciones de flujo.

2.3.12.1 Capacidad térmica del diseño

Si q es la transferencia total de calor entre los fluidos caliente y frío, y la transferencia de calor entre el intercambiador de calor y sus alrededores es insignificante, así como los cambios de energía potencial y cinética despreciables; si los fluidos no experimentan un cambio de fase y se suponen calores específicos constantes, la capacidad térmica del diseño se determinan a partir de las siguientes ecuaciones.

Para el cálculo de la energía perdida por el fluido caliente es empleada la siguiente ecuación.

$$q = m_h C_{p,h} * (T_{h,i} - T_{h,o}) \quad (2.3)$$

Para calcular la energía absorbida por el fluido frío se emplea la siguiente ecuación.

$$q = m_c C_{p,c} * (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (2.4)$$

La transferencia de calor real se puede obtener calculando ya sea la energía perdida por el fluido caliente o la energía absorbida por el fluido frío. Para flujo transversal se tiene:

$$q = m_h * C_{p,h} * (T_{h,i} - T_{h,o}) = m_c * C_{p,c} * (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (2.5)$$

Dónde:

q : capacidad térmica de diseño, [w]

m : flujo másico del fluido, [$\frac{Kg}{s}$]

C_p : calor específico de los fluidos, [$\frac{KJ}{Kg \text{ } ^\circ C}$]

T_i : temperatura de entrada de los fluidos, [$^\circ C$]

T_o : temperatura de salida de los fluidos, [$^\circ C$]

Las temperaturas que aparecen en las expresiones se refieren a las temperaturas medias. Los subíndices h y c se refieren a los fluidos caliente y frío respectivamente.

2.3.12.2 Determinación del coeficiente global de transferencia de calor

La transferencia de calor total combinada de conducción y convección se expresa frecuentemente en términos de un coeficiente global de transferencia de calor U_o .

$$q = U_o * A * \Delta T_{ml} \quad (2.6)$$

Dónde:

q : flujo de calor recuperado por la superficie del intercambiador [w]

U_o : coeficiente total de transferencia de calor [$\frac{W}{m^2 * k}$]

A : área de superficie para transferencia de calor [m^2]

ΔT_{ml} : diferencia de temperatura media logarítmica [$^\circ C$]

El coeficiente global de transferencia de calor “ U_o ” expresa la facilidad con que se transfiere calor desde un fluido caliente a un fluido frío.

Este coeficiente depende directamente de las propiedades del fluido utilizado, así como del tipo de material del cual está hecho el intercambiador, dicha dependencia queda expresada en los coeficientes de convección interior y exterior.

2.3.12.3 diferencia de la temperatura media logarítmica

Para el cálculo de la diferencia de temperatura media logarítmica se debe tomar en cuenta el flujo de los fluidos.

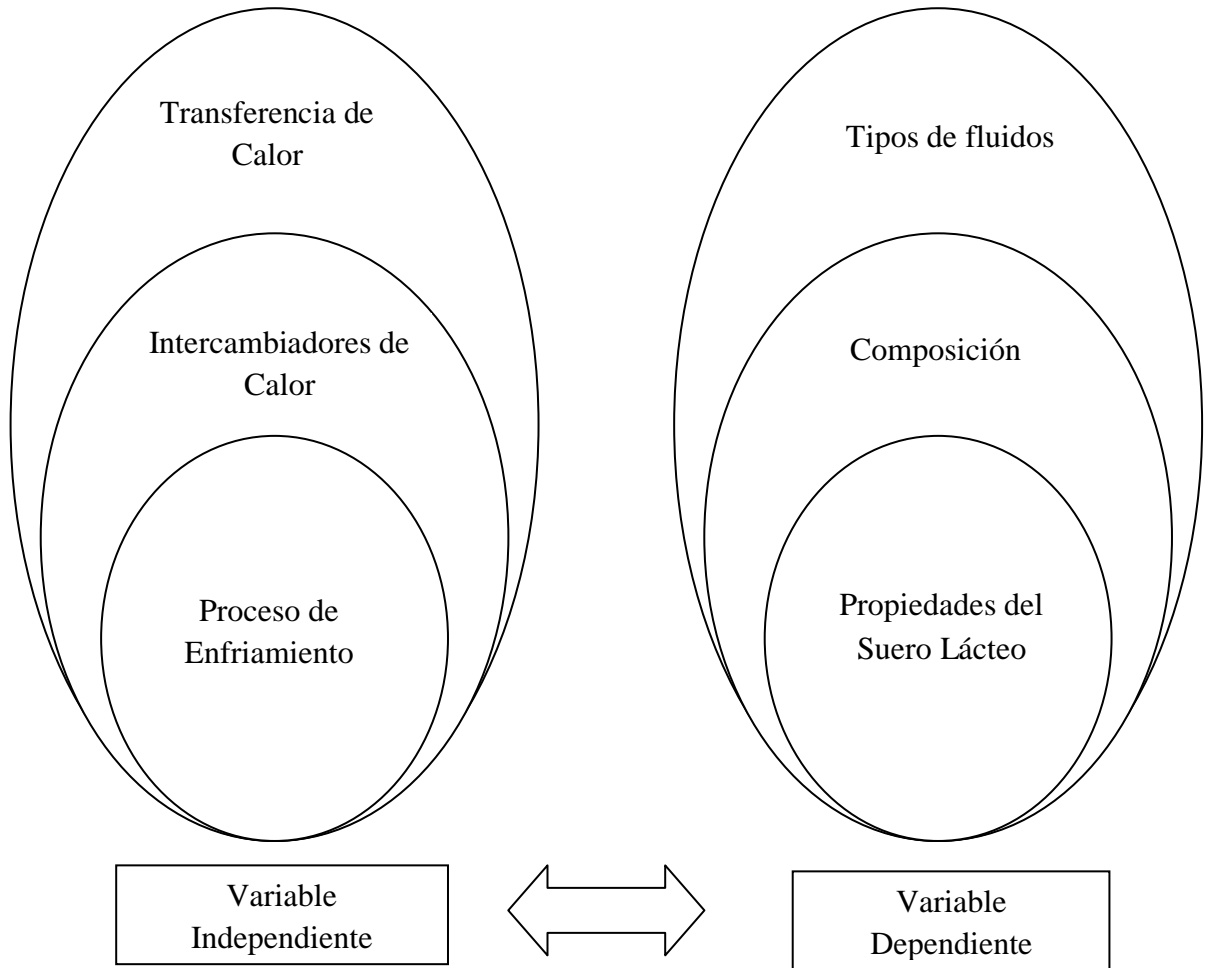
Para el caso de un intercambiador de calor de flujo paralelo la diferencia de temperatura ΔT es grande al principio, pero decae rápidamente al aumentar x , y se aproxima a cero de forma asintótica, es necesario señalar que en este tipo de intercambiadores la temperatura de salida del fluido frío nunca excede la del fluido caliente.

En el caso de un intercambiador de calor de contra flujo la diferencia de temperaturas $\Delta T = T_h - T_c$, con respecto a x no es tan grande en ningún lugar como lo es para la región de entrada del intercambiador de calor de flujo paralelo, cabe destacar que la temperatura de salida del fluido frío puede exceder la temperatura de salida del fluido caliente.

En los dos casos de los intercambiadores el cálculo se simplifica en la siguiente ecuación:

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln(\Delta T_2 / \Delta T_1)} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} \quad (2.7)$$

2.4 Categorías fundamentales



2.5 Hipótesis

Un proceso de enfriamiento adecuado conservaría las propiedades (pH, acidez y materia grasa) del suero lácteo en niveles óptimos en relación con el tiempo.

2.6 Señalamiento de variables

2.6.1 Variable independiente

Proceso de enfriamiento.

2.6.2 Variable dependiente

Conservación de las propiedades del Suero lácteo.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Enfoque de la investigación

El enfoque utilizado en la presente investigación es cuantitativo, debido a que en esta investigación se privilegia técnicas cuantitativas buscando la comprensión de los fenómenos para orientarse hacia la formación de hipótesis que permitan solucionar la temática de esta investigación.

De la misma manera de acuerdo al paradigma mencionado se hará énfasis en el proceso de enfriamiento mediante placas para conservar las diferentes propiedades del suero lácteo.

3.2 Modalidades de la investigación

La modalidad de investigación es de tipo:

3.2.1 Explicativa: Se investigo la tecnología empleada en el proceso de enfriamiento mediante la aplicación de un intercambiador de calor para suero lácteo.

3.2.2 De campo: Se realizo la investigación en los laboratorios de la empresa, con el fin de conocer las distintas propiedades del suero lácteo y su comportamiento al ser sometido al proceso de enfriamiento.

3.2.3 Bibliográfica: Se recolecto toda la información necesaria para iniciar la investigación tanto del internet como de fuentes bibliografías especialmente las encontradas en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica así como de la Facultad de Ingeniería en Alimentos.

3.3 Niveles de investigación

La presente investigación alcanzó el primer nivel exploratorio de investigación pues se reconoció variables de interés investigativo, como la temática de los procesos de enfriamiento empleados para la conservación de las propiedades del suero lácteo.

Esta investigación tiene un alcance del segundo nivel descriptivo de investigación debido a que se realizaron preguntas directrices, y se analizaron variables de manera aislada en la parte de red de categorías, describiendo las características de cada variable como procesos de enfriamiento y propiedades de los fluidos de manera aislada.

Con este trabajo investigativo se evaluarán las variaciones de los valores determinados de cada propiedad en función a la aplicación del proceso de enfriamiento, del mismo modo se medirá el grado de relación entre estas dos variables.

3.4 Población y muestra

3.4.1 Población

La población sobre la cual versa la investigación está constituida por el suero que se obtiene a partir de la producción de queso que se procesa en la Pasteurizadora El Ranchito.

3.4.2 Muestra

El muestreo es muy importante en el presente proyecto debido que en base de un tamaño adecuado de la muestra, dará una visión clara para poder obtener conclusiones exactas a partir de los resultados.

En esta investigación se toma como muestra a una determinada cantidad de suero lácteo la cual será sometida a los diversos análisis que se realizaran en los equipos que posee el laboratorio físico químico de la Pasteurizadora El Ranchito Cía. Ltda. Los cuales se realizaran bajo supervisión de los responsables del

mencionado laboratorio esto para garantizar los resultados obtenidos en las diferentes pruebas.

Los análisis se realizaron a diferentes horas del día por lo tanto tenemos variación de la temperatura y sus diferentes propiedades en el suero lácteo enfriado a temperatura ambiente como en el suero lácteo sometido a los diferentes procesos de enfriamiento.

Datos:

N Es el número de muestras por cada día, las cuales son (Suero Caliente, Suero enfriado por tubos concéntricos y Suero enfriado por placas)

d Es el número de días que se recolectaran la muestra

n Es el tamaño de la muestra

p Es el número de análisis por cada muestra

$$n = N \times p \times d$$

Dónde:

N= 3 muestras

d=5 días

p=4 análisis por cada muestra

$$n = 3 \times 4 \times 5$$

$$n = 60 \text{ muestras}$$

Entonces la muestra estará constituida por 60 análisis.

3.5 Operacionalización de variables

3.5.1 Variable independiente: Proceso de enfriamiento.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Índices	Técnicas e Instrumentos
Proceso de enfriamiento, es un proceso en el que se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos o fluidos, los cuales transfieren calor de uno caliente a uno frío.	Temperatura	Caliente	$T > 18\text{ }^{\circ}\text{C}$	Técnica: Observación Directa.
		Frio	$T \leq 18\text{ }^{\circ}\text{C}$	Instrumento: Lactodensímetro.
	Tiempo	Adecuado	$T < 90\text{ minutos}$	Técnica: Observación Directa.
		Inadecuado	$T > 90\text{ minutos}$	Instrumento: Cronometro.

3.5.2 Variable dependiente: Conservación de las propiedades del suero lácteo.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Índices	Técnicas e Instrumentos
La conservación de las propiedades del suero lácteo permiten tener un mejor control y manejo del producto esto previo al envío a las diferentes líneas de producción.	Densidad	Baja	$\rho < 1.020 \text{ gr/cm}^3$	Técnica: Observación Directa
		Alta	$\rho > 1.020 \text{ gr/cm}^3$	Instrumento: Lactodensímetro
	Acidez (Dornic)	Permitida	$A \leq 11 \text{ }^\circ\text{D}$	Técnica: Observación Directa
		No Permitida	$A > 11 \text{ }^\circ\text{D}$	Instrumento: Acidímetro
	pH	Permitida	$\text{pH} > 6.4$	Técnica: Observación Directa
		No Permitida	$\text{pH} \leq 6.4$	Instrumento: pH metro
	Materia Grasa	Baja	$\% \text{mG} < 0.4\%$	Técnica: Observación Directa
		Media	$\% \text{mG} > 0.4\%$ y $\% \text{mG} < 0.8\%$	Instrumento: Centrifuga de Gerber
		Alta	$\% \text{mG} > 0.8\%$	

3.6 Recolección de la información

Como se dijo anteriormente en la Operacionalización de variables se recolecto la información aplicando la técnica de observación directa, técnica que será empleada conjuntamente con el empleo de los diferentes instrumentos necesarios para determinar cada una de las dimensiones.

Observación directa: Esta técnica consiste en observar, calificar, cuantificar y evaluar directamente algún variable de la investigación, esta es realizada directamente por la persona que lleva la investigación.

Estas observaciones se realizaron durante el transcurso de la investigación y a cada muestra que obtendremos del suero lácteo. Cabe recalcar que cada muestra que sea sometida a análisis será valorada y evaluada con los diferentes equipos necesarios para realizar estas diferentes mediciones, estas mediciones serán realizadas por los técnicos responsables del laboratorio de análisis físico químico de la Pasteurizadora El ranchito.

3.7 Procesamiento y análisis

Para el procesamiento de la información se consideraron una secuencia pasos que se los detalla a continuación:

- Extracción de una muestra de suero lácteo resultante de la producción de quesos y su traslado al laboratorio.
- Someter a los diferentes análisis y determinar sus valores en un tiempo inicial.
- Efectuar los análisis previos a los diferentes procesos de enfriamiento y posterior a ellos.
- Realizar los diferentes análisis y determinar sus valores en un tiempo posterior a 2 horas después de haber extraído la muestra.
- Ejecutar los diferentes análisis y determinar sus valores en un tiempo posterior a 4 horas de haber obtenido la muestra.
- Efectuar una última evaluación de las diferentes propiedades del suero lácteo el cual se lo realizara a las 6 horas del primer análisis.
- Llenar el formulario de recolección de datos que se muestra en los anexos.

Es necesario destacar que esta serie de pasos que fueron detallados anteriormente se los realizara al suero enfriado a temperatura ambiente, al suero enfriado mediante tubos concéntricos y al suero enfriado mediante placas de enfriamiento.

Luego de seguir esta serie de procesos identificaremos los valores y analizaremos los resultados, para ello de ser necesario se efectuaran gráficos explicativos para obtener una mejor comprensión de la evolución que lleva el suero lácteo con respecto al tiempo transcurrido y a la temperatura.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis de resultados

De acuerdo a la investigación de campo y bibliográfica en conjunto de la observación como técnica para recoger la información necesaria, nos ayudó a determinar que los equipos y los procesos para determinar los valores de las diferentes propiedades físicas del suero lácteo previo y posterior al proceso de enfriamiento.

En la industria láctea es necesario realizar análisis a todas las materias primas como también a los diferentes productos terminados, a las materias primas se realiza los diferentes análisis para determinar la aceptación o el rechazo de las mismas. En este proceso se realiza un análisis minucioso al suero lácteo previo a su envío a su siguiente proceso.

Una vez que se realizó una parte de la investigación es necesario determinar los valores de las diferentes propiedades del suero lácteo, dichos valores se los determina en el laboratorio de la Pasteurizadora El Ranchito Cía. Ltda. Es necesario destacar que esta investigación de campo determinara el comportamiento de las propiedades del suero lácteo las cuales nos ayudaran a concluir nuestros objetivos.

Las propiedades que determinaremos en los diferentes equipos del laboratorio son las siguientes:

- Temperatura
- Densidad
- Acidez
- pH
- % de Materia grasa

Es necesario indicar que en la investigación de campo se tomo tres tipos de muestras para los análisis respectivos las cuales identificaremos de la siguiente manera.

Suero caliente representado como **Suero CA** El cual se lo dejara que tenga un enfriamiento progresivo a temperatura ambiente identificando sus diferentes propiedades en el proceso que acarrea actualmente el suero lácteo.

Suero enfriado mediante tubos concéntricos representado como **Suero TC** Estas muestras fueron sometidas a un proceso de enfriamiento mediante una investigación de campo, la cual se realizo en un intercambiador de calor de tipo tubos concéntricos que emplean en la quesería MARÍA BELÉN, la ubicación se detalla en la delimitación espacial, la cual fue solicitada y autorizada para efectos de pruebas de la investigación durante 5 días que se realizaran los diferentes muestreos.

Es necesario detallar las características del equipo de enfriamiento mencionado en el párrafo anterior.

- Intercambiador de calor tipo tubos concéntricos de tres pasos



Fig. 4.1: Imagen del intercambiador de calor de tubos concéntricos.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

- Dimensiones de los tubos exteriores 3 plg.
- Dimensiones de los tubos interiores 1.5 plg.
- Bomba para el fluido caliente de 1/4 Hp.
- Bomba para el fluido frio de 1/2 Hp.

Suero enfriado mediante placas de enfriamiento representado como **Suero PL** A diferencia de las muestras del suero TC. Estas muestras fueron enfriadas mediante un intercambiador de calor de tipo placas, previo a una solicitud y autorización para realizar las diferentes pruebas de la investigación durante los 5 días de los muestreos al propietario de la enfriadora ENFRILAC, de la misma forma se detalla la ubicación en la delimitación espacial.

De igual forma que en el proceso de enfriamiento anterior es necesario pormenorizar el equipo de enfriamiento que se empleara.

- Intercambiador de calor tipo placas con un número de 34 placas



Fig. 4.2: Imagen del intercambiador de calor por placas.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

- Bomba para el fluido caliente de 1 Hp.



Fig. 4.3: Placa de características de la bomba del fluido caliente.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

- Bomba para el fluido frio de 1 Hp.

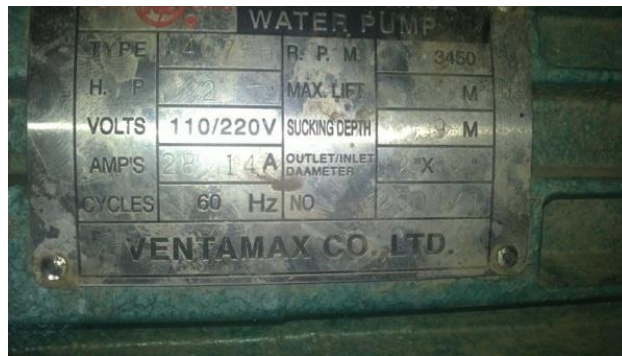


Fig. 4.4: Placa de características de la bomba del fluido frío.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

4.2 Interpretación de datos

En la investigación de campo se procedió a tomar una muestra de suero lácteo para identificar el comportamiento de sus propiedades las cuales interpretaremos los datos detallando cada propiedad.

Es necesario tomar en cuenta que los datos que se tomaron en cuenta para los gráficos y tablas que van a ser presentados a continuación fueron evaluados en el campo y se presentan en tablas de acuerdo al día en el ANEXO A.

4.2.1 Análisis del comportamiento de la temperatura del suero lácteo

En la investigación se determinó que el suero lácteo por lo general se lo obtiene a una temperatura alta y posteriormente tiende a disminuir y estabilizarse en cuanto a la temperatura ambiente, en las tablas y gráficos mostrados a continuación se detallan los comportamientos de la temperatura del suero lácteo en los diferentes días que fueron sometidos a ensayos y análisis.

1) Día 1 de análisis

La temperatura ambiente durante el día estuvo en un promedio de **19 °C**.

La temperatura del fluido frío en el proceso de enfriamiento del **Suero TC** fue de **16 °C**.

La temperatura del fluido frío en el proceso de enfriamiento del **Suero PL** fue de **5 °C**.

Tabla 4.1: Mediciones de temperaturas en las pruebas del día 1.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores determinados de la temperatura del suero lácteo en el día 1						
	Suero CA.	Hora	Suero TC	Hora	Suero PL	Hora
Análisis 1	29 °C	08:15am	28 °C	09:55am	28 °C	10:10am
Análisis 2	24 °C	10:15am	18 °C	10:15am	7 °C	10:15am
Análisis 3	22 °C	12:15pm	18 °C	12:15pm	7 °C	12:15pm
Análisis 4	20 °C	14:15pm	19 °C	14:15pm	7 °C	14:15pm

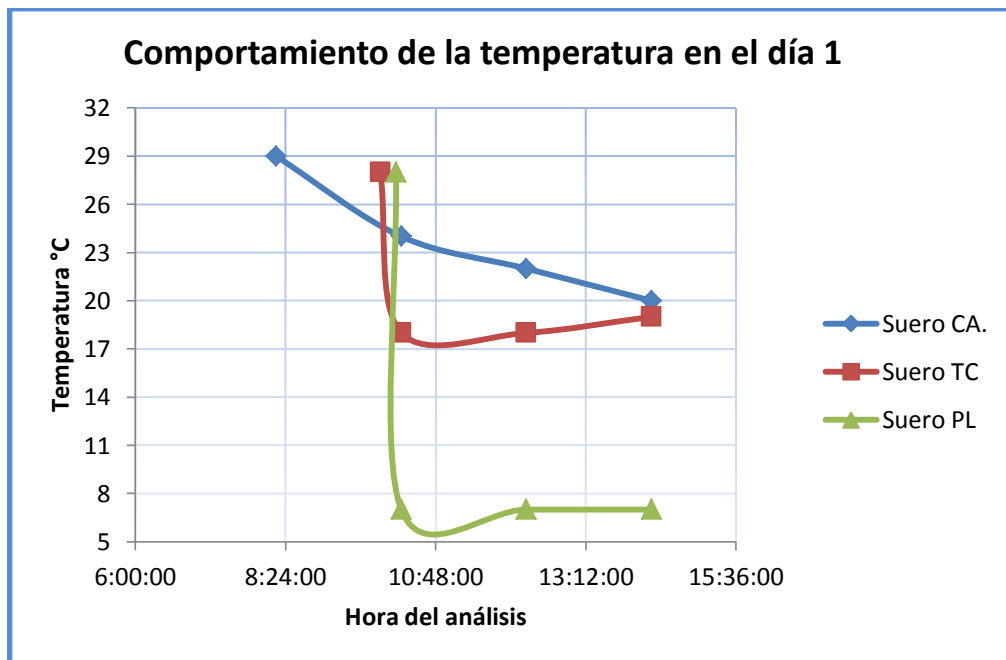


Fig. 4.5: Gráfico del comportamiento térmico del suero lácteo en el día 1.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

2) Día 2 de análisis

La temperatura ambiente durante el día estuvo en un promedio de **17 °C**.

La temperatura del fluido frío en el proceso de enfriamiento del **Suero TC** fue de **15 °C**.

La temperatura del fluido frío en el proceso de enfriamiento del **Suero PL** fue de **6 °C**.

Tabla 4.2: Mediciones de temperaturas en las pruebas del día 2.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores determinados de la temperatura del suero lácteo en el día 2						
	Suero CA.	Hora	Suero TC	Hora	Suero PL	Hora
Análisis 1	31 °C	08:05am	30 °C	09:30am	28 °C	10:00am
Análisis 2	25 °C	10:05am	18 °C	09:50am	8 °C	10:05am
Análisis 3	23 °C	12:05pm	19 °C	12:05pm	8 °C	12:05pm
Análisis 4	20 °C	14:05pm	20 °C	14:05pm	8 °C	14:05pm

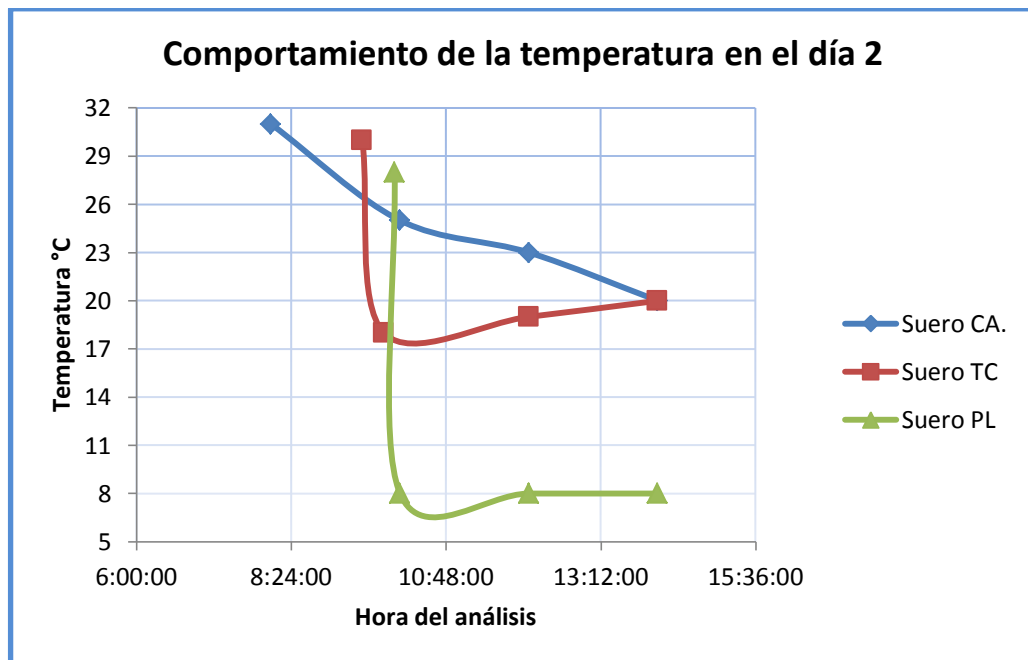


Fig. 4.6: Gráfico del comportamiento térmico del suero lácteo en el día 2.

[Fuente: Jefatura de producción Pasteurizadora El Ranchito.]

3) Día 3 de análisis

La temperatura ambiente durante el día estuvo en un promedio de **20 °C**.

La temperatura del fluido frío en el proceso de enfriamiento del **Suero TC** fue de **16 °C**.

La temperatura del fluido frío en el proceso de enfriamiento del **Suero PL** fue de **3 °C**.

Tabla 4.3: Mediciones de temperaturas en las pruebas del día 3.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores determinados de la temperatura del suero lácteo en el día 3						
	Suero CA.	Hora	Suero TC	Hora	Suero PL	Hora
Análisis 1	31 °C	08:20am	30 °C	09:10am	29 °C	09:30am
Análisis 2	26 °C	10:20am	19 °C	09:30am	5 °C	09:37am
Análisis 3	23 °C	12:20pm	20 °C	12:20pm	5 °C	12:20pm
Análisis 4	22 °C	14:20pm	21 °C	14:20pm	6 °C	14:20pm

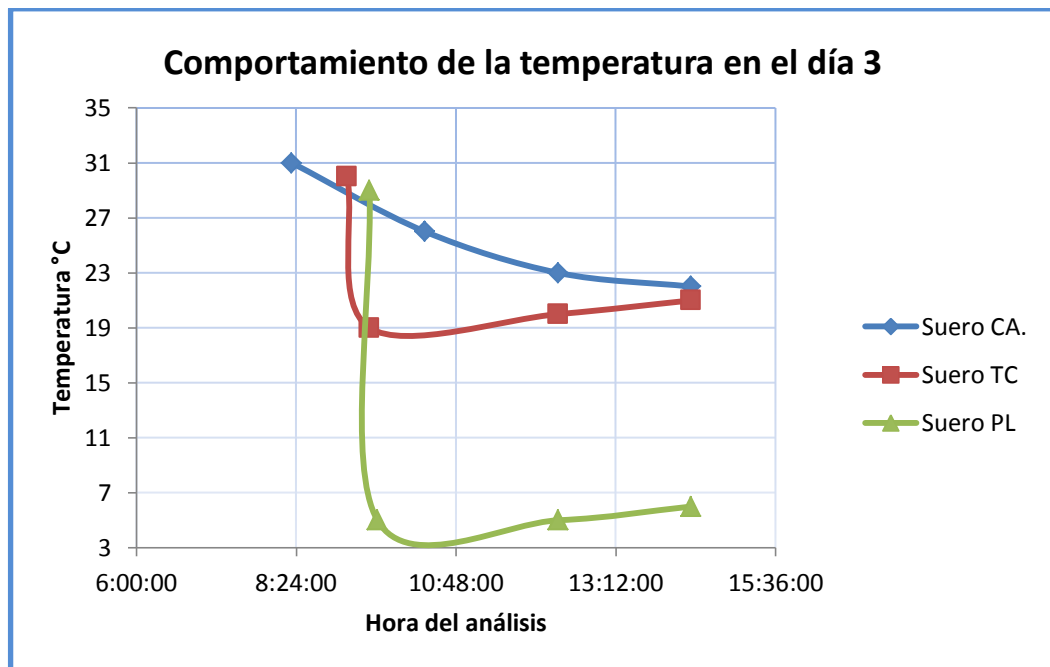


Fig. 4.7: Gráfico del comportamiento térmico del suero lácteo en el día 3.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

4) Día 4 de análisis

La temperatura ambiente durante el día estuvo en un promedio de **18 °C**.

La temperatura del fluido frío en el proceso de enfriamiento del **Suero TC** fue de **17 °C**.

La temperatura del fluido frío en el proceso de enfriamiento del **Suero PL** fue de **8 °C**.

Tabla 4.4: Mediciones de temperaturas en las pruebas del día 4.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores determinados de la temperatura del suero lácteo en el día 4						
	Suero CA.	Hora	Suero TC	Hora	Suero PL	Hora
Análisis 1	29 °C	08:10am	28 °C	09:00am	27 °C	09:55am
Análisis 2	25 °C	10:10am	19 °C	09:25am	10 °C	10:00am
Análisis 3	23 °C	12:10pm	19 °C	12:10pm	10 °C	12:10pm
Análisis 4	20 °C	14:10pm	19 °C	14:10pm	10 °C	14:10pm

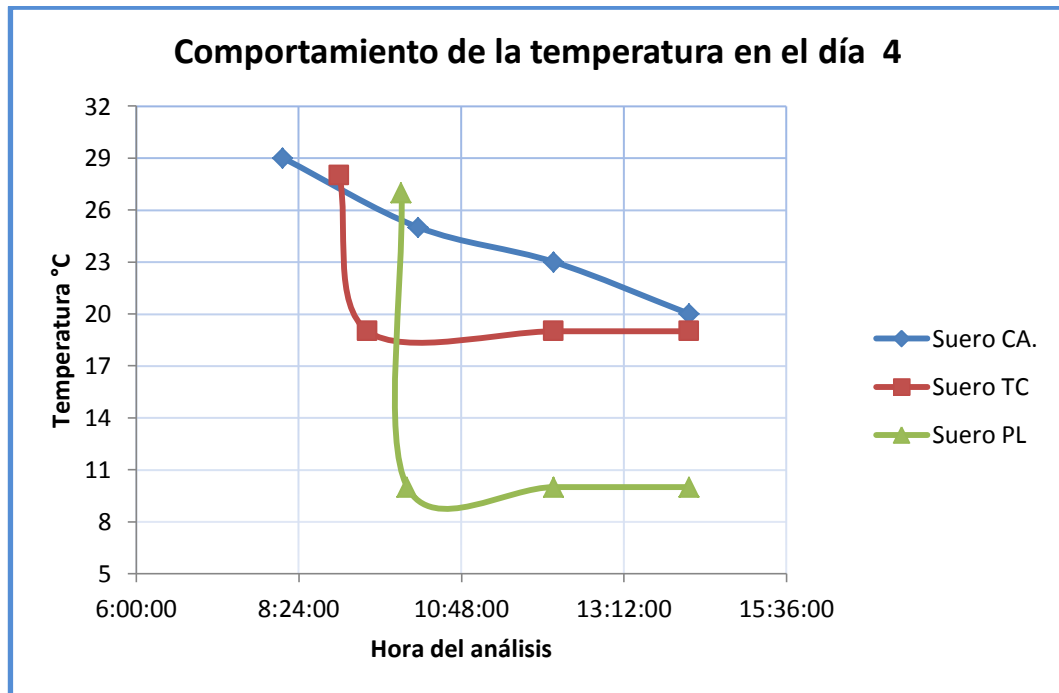


Fig. 4.8: Gráfico del comportamiento térmico del suero lácteo en el día 4.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

5) Día 5 de análisis

La temperatura ambiente durante el día estuvo en un promedio de **22 °C**.

La temperatura del fluido frío en el proceso de enfriamiento del **Suero TC** fue de **19 °C**.

La temperatura del fluido frío en el proceso de enfriamiento del **Suero PL** fue de **6 °C**.

Tabla 4.5: Mediciones de temperaturas en las pruebas del día 5.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores determinados de la temperatura del suero lácteo en el día 5						
	Suero CA.	Hora	Suero TC	Hora	Suero PL	Hora
Análisis 1	31 °C	08:45am	30 °C	09:15am	30 °C	10:15am
Análisis 2	28 °C	10:45am	21 °C	09:40am	8 °C	10:22am
Análisis 3	25 °C	12:45pm	21 °C	12:45pm	8 °C	12:45pm
Análisis 4	24 °C	14:45pm	22 °C	14:45pm	8 °C	14:45pm

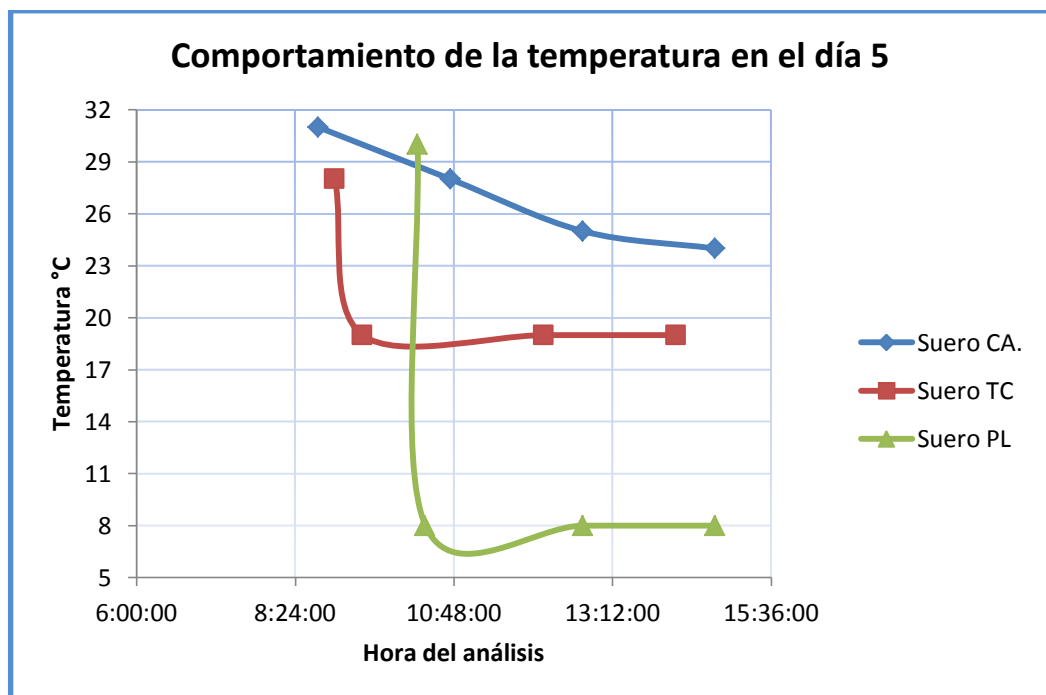


Fig. 4.9: Gráfico del comportamiento térmico del suero lácteo en el día 5.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Es necesario destacar que el **Suero TC**. En el instante en que fue sometido al proceso de enfriamiento la temperatura del fluido frío estuvo a **16 °C**. De igual forma en el proceso de enfriamiento del **Suero PL**. La temperatura del fluido frío fue de **5 °C**. Mediante la ayuda de un Gráfico se identifica un patrón diferente de comportamiento del suero lácteo en sus tres procesos de enfriamiento diferentes.

A continuación se detalla mediante una tabla el comportamiento de la temperatura del suero lácteo en el día 2 de la investigación de campo, tomando en cuenta que la temperatura ambiente promedio de este día fue 17 °C.

4.2.2 Análisis del comportamiento de la acidez con respecto al cambio de la temperatura

Es necesario enfocarnos en el comportamiento de la acidez de una manera minuciosa, esto debido a las exigencias de la empresa en cuanto concierne a este parámetro.

4.2.2.1 Análisis del Suero Caliente (Suero CA)

1) Día 1 de análisis

Tabla 4.6: Mediciones de temperaturas y acidez en las pruebas del día 1.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de Temperatura y Acidez en el día 1 del Suero CA			
	Hora	Temperatura	Acidez °D
Análisis 1	08:15am	29 °C	9 °D
Análisis 2	10:15am	24 °C	9 °D
Análisis 3	12:15pm	22 °C	10 °D
Análisis 4	14:15pm	20 °C	11 °D

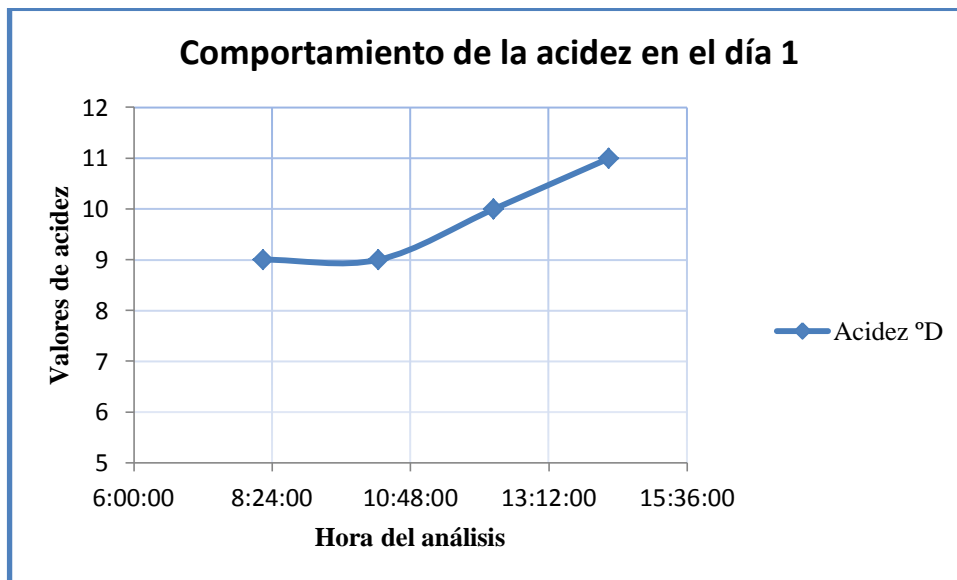


Fig. 4.10: Gráfico del comportamiento de la acidez del Suero CA en el día 1.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

2) Día 2 de análisis

Tabla 4.7: Mediciones de temperaturas y acidez en las pruebas del día 2.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de Temperatura y Acidez en el día 2 del Suero CA			
	Hora	Temperatura	Acidez °D
Análisis 1	08:05am	31 °C	10 °D
Análisis 2	10:05am	25 °C	10 °D
Análisis 3	12:05pm	23 °C	11 °D
Análisis 4	14:05pm	20 °C	12 °D

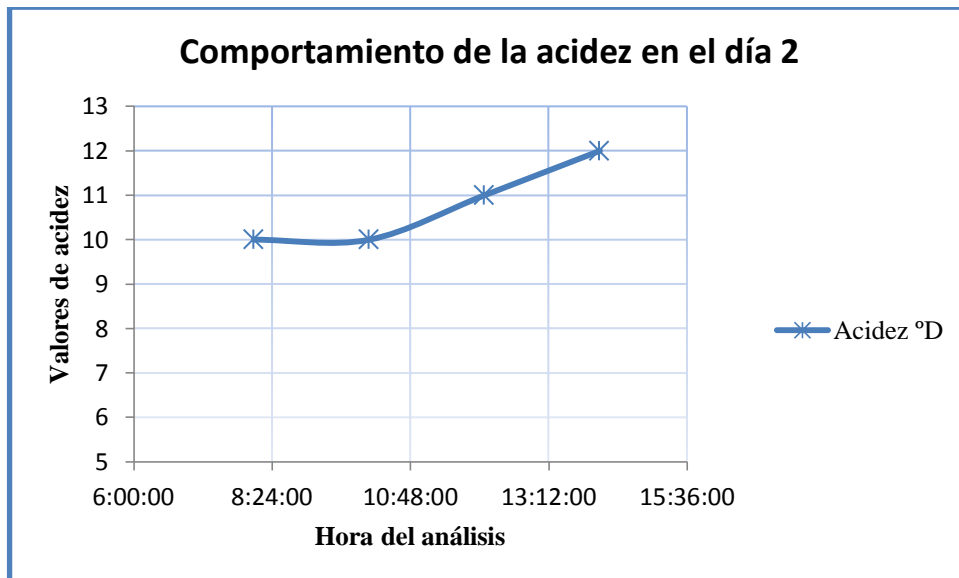


Fig. 4.11: Gráfico del comportamiento de la acidez del Suero CA en el día 2.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

3) Día 3 de análisis

Tabla 4.8: Mediciones de temperaturas y acidez en las pruebas del día 3.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de Temperatura y Acidez en el día 3 del Suero CA			
	Hora	Temperatura	Acidez °D
Análisis 1	08:20am	31 °C	10 °D
Análisis 2	10:20am	26 °C	11 °D
Análisis 3	12:20pm	23 °C	12 °D
Análisis 4	14:20pm	22 °C	12 °D

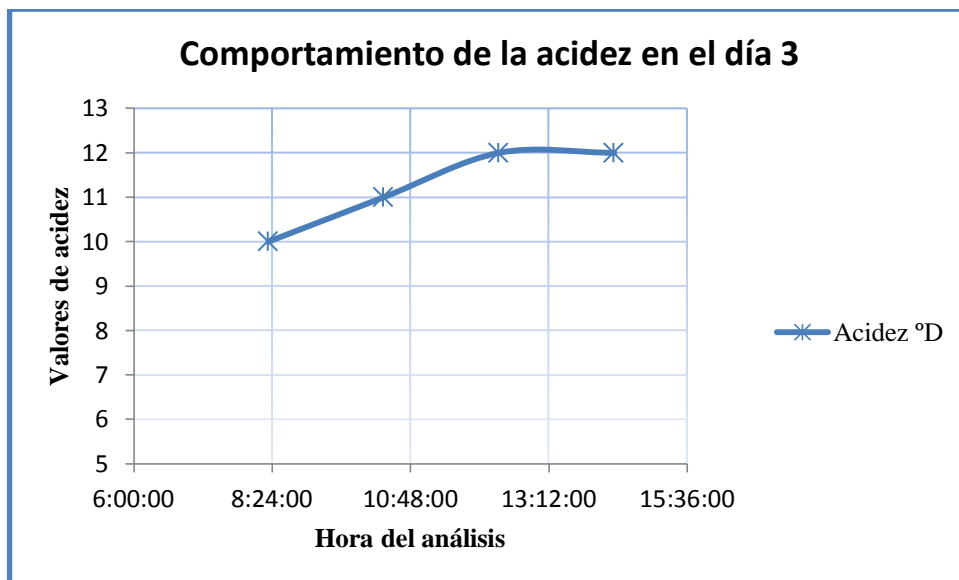


Fig. 4.12: Gráfico del comportamiento de la acidez del Suero CA en el día 3.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

4) Día 4 de análisis

Tabla 4.9: Mediciones de temperaturas y acidez en las pruebas del día 4.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de Temperatura y Acidez en el día 4 del Suero CA			
	Hora	Temperatura	Acidez °D
Análisis 1	08:10am	29 °C	9 °D
Análisis 2	10:10am	25 °C	9 °D
Análisis 3	12:10pm	23 °C	9 °D
Análisis 4	14:10pm	20 °C	10 °D

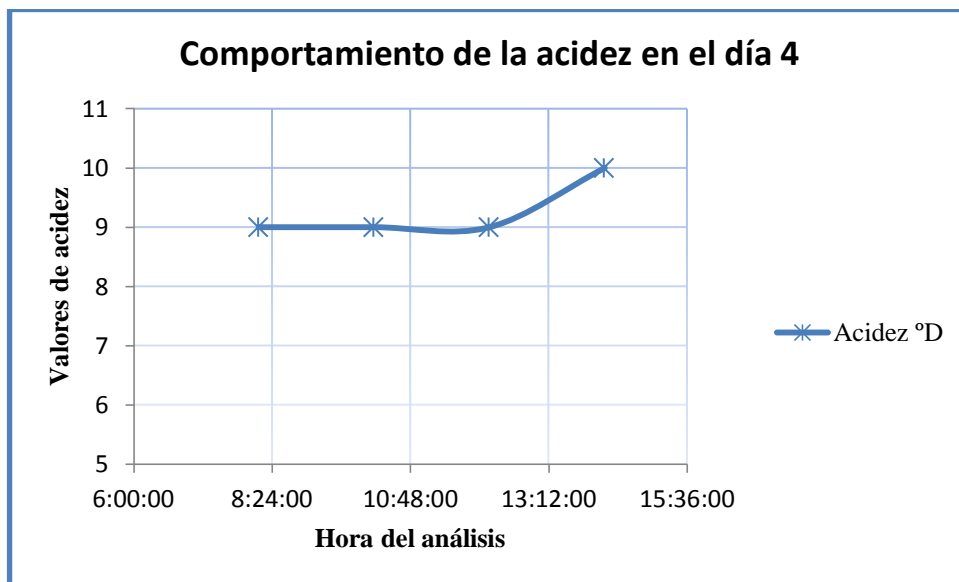


Fig. 4.13: Gráfico del comportamiento de la acidez del Suero CA en el día 4.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

5) Día 5 de análisis

Tabla 4.10: Mediciones de temperaturas y acidez en las pruebas del día 5.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de Temperatura y Acidez en el día 5 del Suero CA			
	Hora	Temperatura	Acidez °D
Análisis 1	08:45am	31 °C	11 °D
Análisis 2	10:45am	28 °C	11 °D
Análisis 3	12:45pm	25 °C	12 °D
Análisis 4	14:45pm	24 °C	14 °D

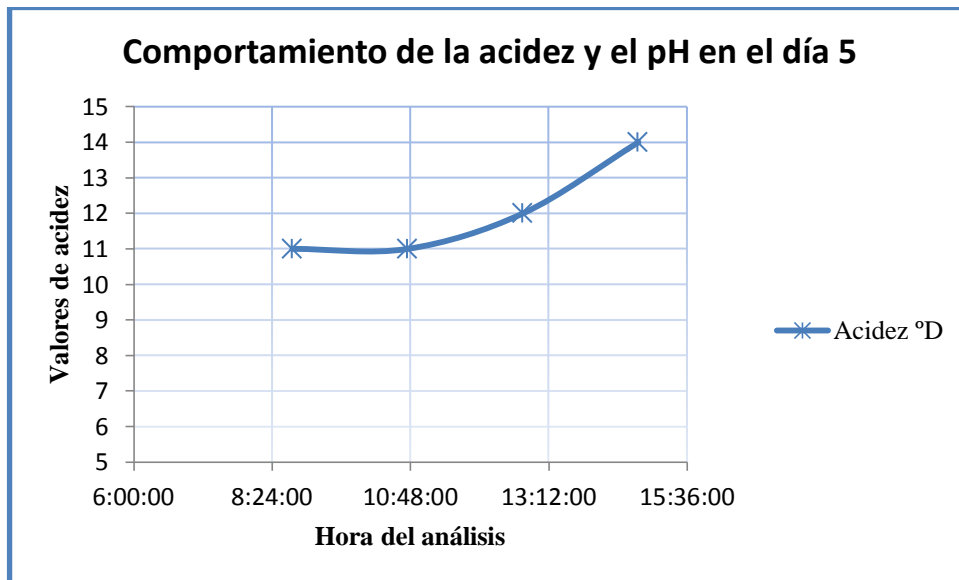


Fig. 4.14: Gráfico del comportamiento de la acidez del Suero CA en el día 5.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

4.2.2.2 Análisis del Suero enfriado por tubos concéntricos (Suero TC)

1) Día 1 de análisis

Tabla 4.11: Mediciones de temperaturas y acidez en las pruebas del día 1.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de Temperatura y Acidez en el día 1 del Suero TC			
	Hora	Temperatura	Acidez °D
Análisis 1	09:55am	28 °C	9 °D
Análisis 2	10:15am	18 °C	9 °D
Análisis 3	12:15pm	18 °C	9 °D
Análisis 4	14:15pm	19 °C	9 °D

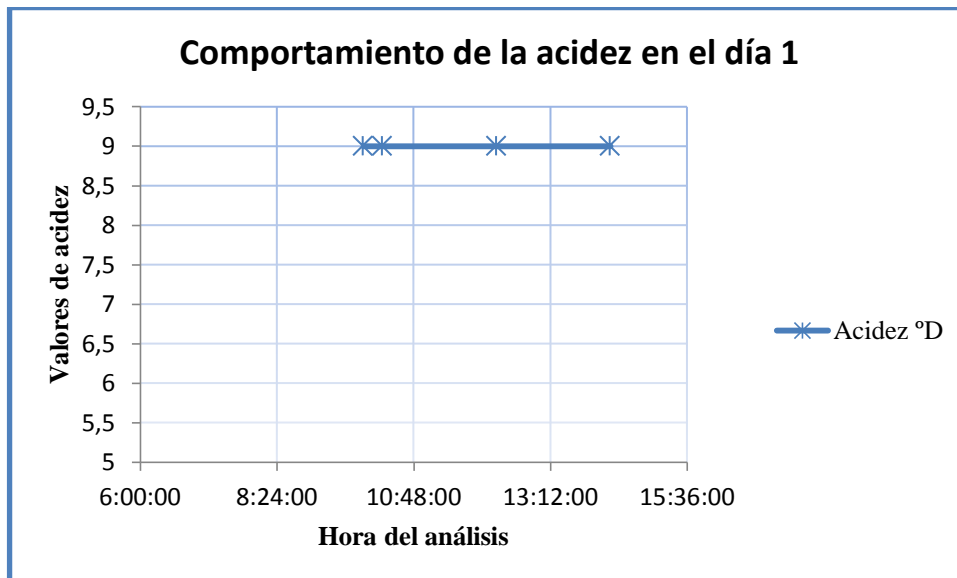


Fig. 4.15: Gráfico del comportamiento de la acidez del Suero TC en el día 1.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

2) Día 2 de análisis

Tabla 4.12: Mediciones de temperaturas y acidez en las pruebas del día 2.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de Temperatura y Acidez en el día 2 del Suero TC			
	Hora	Temperatura	Acidez °D
Análisis 1	09:30am	30 °C	10 °D
Análisis 2	09:50am	18 °C	10 °D
Análisis 3	12:05pm	19 °C	10 °D
Análisis 4	14:05pm	20 °C	10 °D

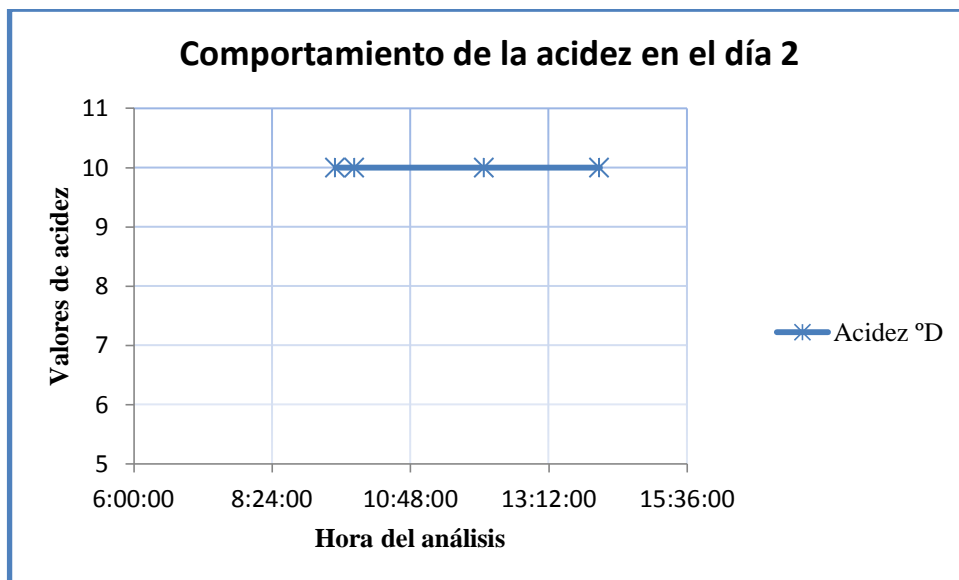


Fig. 4.16: Gráfico del comportamiento de la acidez del Suero TC en el día 2.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

3) Día 3 de análisis

Tabla 4.13: Mediciones de temperaturas y acidez en las pruebas del día 3.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de Temperatura y Acidez en el día 3 del Suero TC			
	Hora	Temperatura	Acidez °D
Análisis 1	09:10am	30 °C	10 °D
Análisis 2	09:30am	19 °C	10 °D
Análisis 3	12:20pm	20 °C	11 °D
Análisis 4	14:20pm	21 °C	11 °D

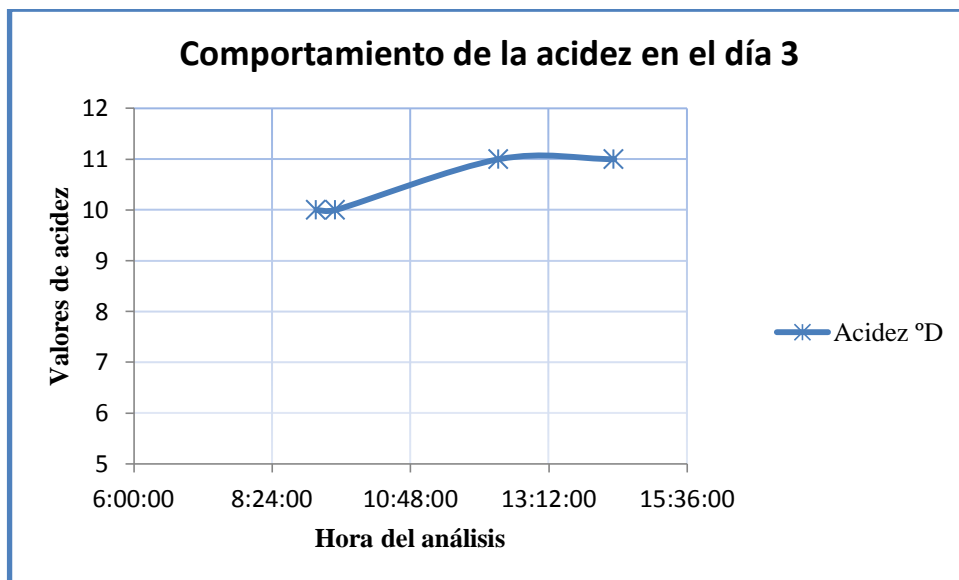


Fig. 4.17: Gráfico del comportamiento de la acidez del Suero TC en el día 3.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

4) Día 4 de análisis

Tabla 4.14: Mediciones de temperaturas y acidez en las pruebas del día 4.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de Temperatura y Acidez en el día 4 del Suero TC			
	Hora	Temperatura	Acidez °D
Análisis 1	09:00am	28 °C	9 °D
Análisis 2	09:25am	19 °C	9 °D
Análisis 3	12:10pm	19 °C	9 °D
Análisis 4	14:10pm	19 °C	9 °D



Fig. 4.18: Gráfico del comportamiento de la acidez del Suero TC en el día 4.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

5) Día 5 de análisis

Tabla 4.15: Mediciones de temperaturas y acidez en las pruebas del día 5.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de Temperatura y Acidez en el día 5 del Suero TC			
	Hora	Temperatura	Acidez °D
Análisis 1	09:15am	30 °C	11 °D
Análisis 2	09:40am	21 °C	11 °D
Análisis 3	12:45pm	22 °C	12 °D
Análisis 4	14:45pm	22 °C	13 °D

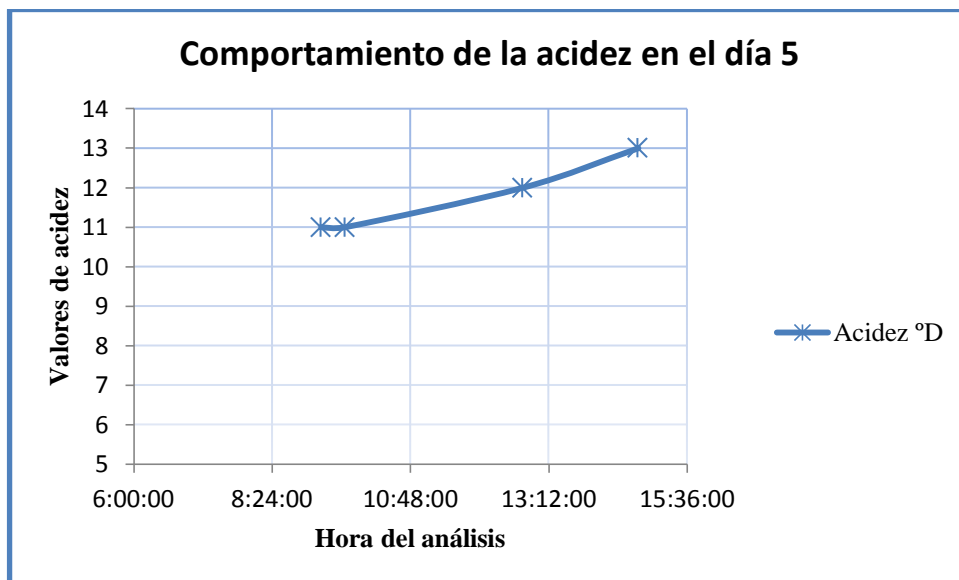


Fig. 4.19: Gráfico del comportamiento de la acidez del Suero TC en el día 5.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

4.2.2.3 Análisis del Suero enfriado por placas (Suero PL)

1) Día 1 de análisis

Tabla 4.16: Mediciones de temperaturas y acidez en las pruebas del día 1.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de Temperatura y Acidez en el día 1 del Suero PL			
	Hora	Temperatura	Acidez °D
Análisis 1	10:10am	28 °C	9 °D
Análisis 2	10:15am	7 °C	9 °D
Análisis 3	12:15pm	7 °C	9 °D
Análisis 4	14:15pm	7 °C	9 °D

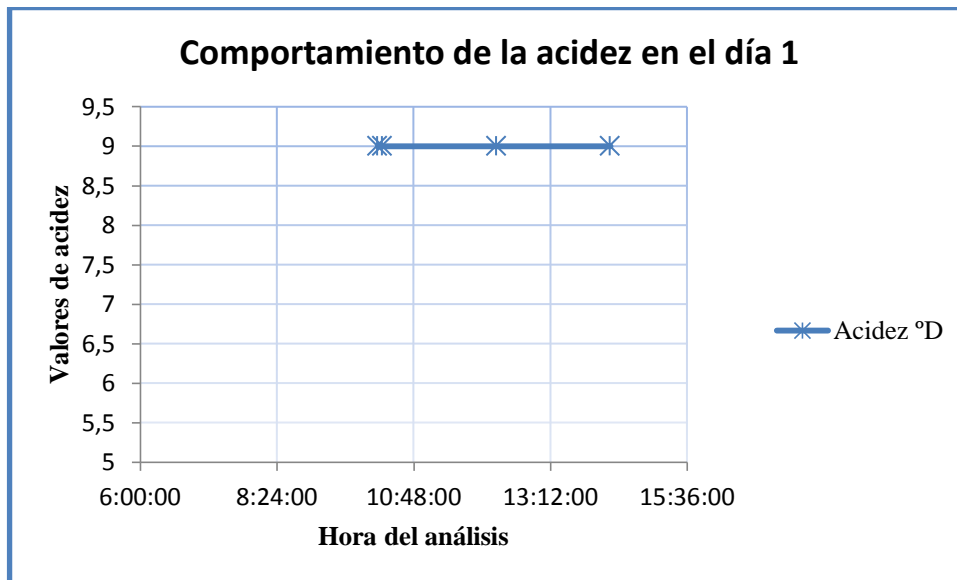


Fig. 4.20: Gráfico del comportamiento de la acidez del Suero PL en el día 1.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

2) Día 2 de análisis

Tabla 4.17: Mediciones de temperaturas y acidez en las pruebas del día 2.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de Temperatura y Acidez en el día 2 del Suero PL			
	Hora	Temperatura	Acidez °D
Análisis 1	10:00am	28 °C	10 °D
Análisis 2	10:05am	8 °C	10 °D
Análisis 3	12:05pm	8 °C	10 °D
Análisis 4	14:05pm	8 °C	10 °D

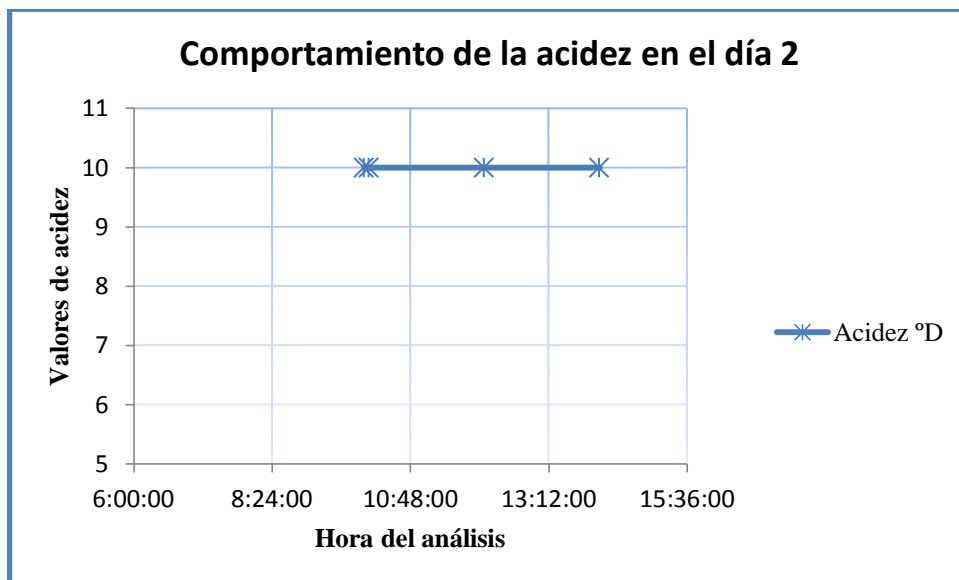


Fig. 4.21: Gráfico del comportamiento de la acidez del Suero PL en el día 2.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

3) Día 3 de análisis

Tabla 4.18: Mediciones de temperaturas y acidez en las pruebas del día 3.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de Temperatura y Acidez en el día 3 del Suero PL			
	Hora	Temperatura	Acidez °D
Análisis 1	09:30am	29 °C	10 °D
Análisis 2	09:37am	5 °C	10 °D
Análisis 3	12:20pm	5 °C	10 °D
Análisis 4	14:20pm	6 °C	10 °D

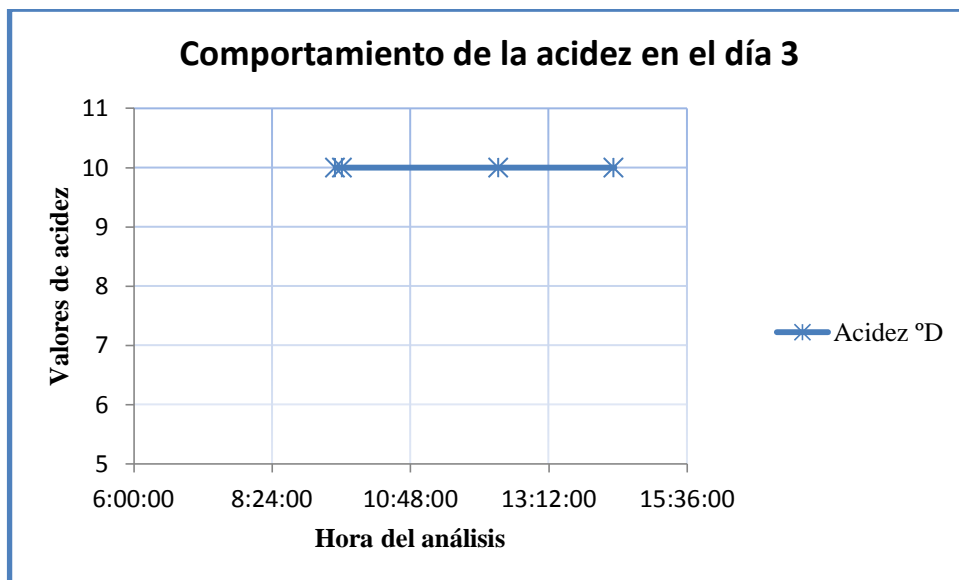


Fig. 4.22: Gráfico del comportamiento de la acidez del Suero PL en el día 3.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

4) Día 4 de análisis

Tabla 4.19: Mediciones de temperaturas y acidez en las pruebas del día 4.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de Temperatura y Acidez en el día 4 del Suero PL			
	Hora	Temperatura	Acidez °D
Análisis 1	09:55am	27 °C	9 °D
Análisis 2	10:00am	10 °C	9 °D
Análisis 3	12:10pm	10 °C	9 °D
Análisis 4	14:10pm	10 °C	9 °D

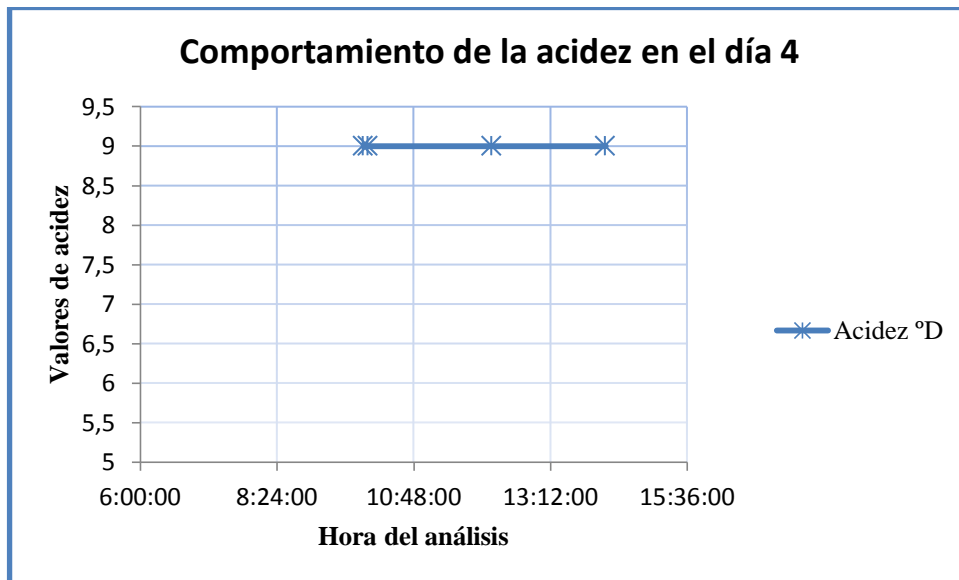


Fig. 4.23: Gráfico del comportamiento de la acidez del Suero PL en el día 4.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

5) Día 5 de análisis

Tabla 4.20: Mediciones de temperaturas y acidez en las pruebas del día 5.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de Temperatura y Acidez en el día 5 del Suero PL			
	Hora	Temperatura	Acidez °D
Análisis 1	10:15am	30 °C	11 °D
Análisis 2	10:22am	8 °C	11 °D
Análisis 3	12:45pm	8 °C	11 °D
Análisis 4	14:45pm	8 °C	11 °D

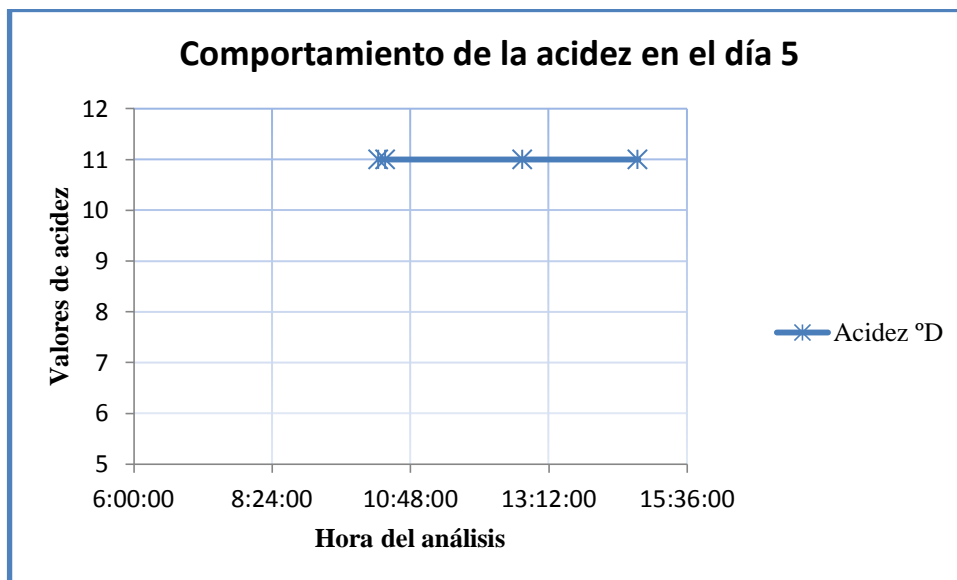


Fig. 4.24: Gráfico del comportamiento de la acidez del Suero PL en el día 5.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

4.2.3 Análisis de comportamiento del pH con respecto al cambio de la temperatura

En el capítulo 2 se identificó la relación que tiene el pH con la temperatura es la razón por la cual analizaremos minuciosamente los datos obtenidos de las dos propiedades en mención, de los análisis realizados al suero lácteo en la presente investigación

4.2.3.1 Análisis del Suero Caliente (Suero CA)

1) Día 1 de análisis

Tabla 4.21: Mediciones de temperaturas y pH en las pruebas del día 1.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de Temperatura y pH en el día 1 del Suero CA			
	Hora	Temperatura	pH
Análisis 1	08:15am	29 °C	6.61
Análisis 2	10:15am	24 °C	6.60
Análisis 3	12:15pm	22 °C	6.54
Análisis 4	14:15pm	20 °C	6.49

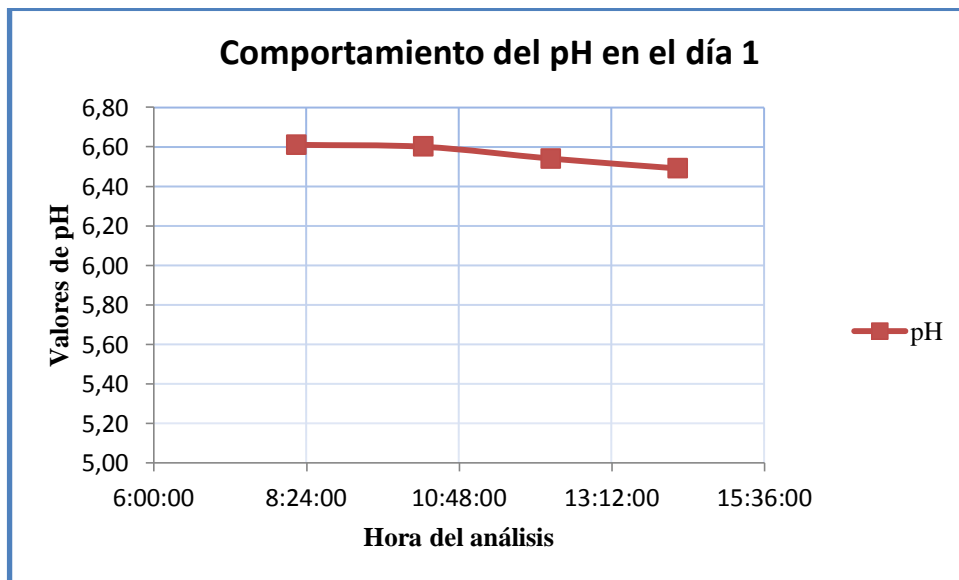


Fig. 4.25: Gráfico del comportamiento del pH del Suero CA en el día 1.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

2) Día 2 de análisis

Tabla 4.22: Mediciones de temperaturas y pH en las pruebas del día 2.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de Temperatura y pH en el día 2 del Suero CA			
	Hora	Temperatura	pH
Análisis 1	08:05am	31 °C	6.55
Análisis 2	10:05am	25 °C	6.53
Análisis 3	12:05pm	23 °C	6.48
Análisis 4	14:05pm	20 °C	6.39

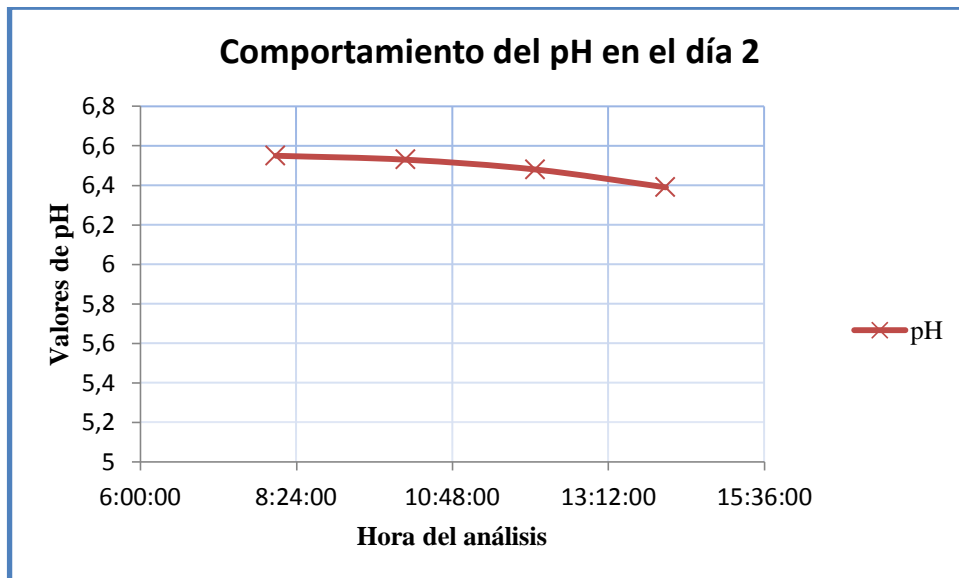


Fig. 4.26: Gráfico del comportamiento del pH del Suero CA en el día 2.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

3) Día 3 de análisis

Tabla 4.23: Mediciones de temperaturas y pH en las pruebas del día 3.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de Temperatura y pH en el día 3 del Suero CA			
	Hora	Temperatura	pH
Análisis 1	08:20am	31 °C	6.53
Análisis 2	10:20am	26 °C	6.48
Análisis 3	12:20pm	23 °C	6.40
Análisis 4	14:20pm	22 °C	6.34

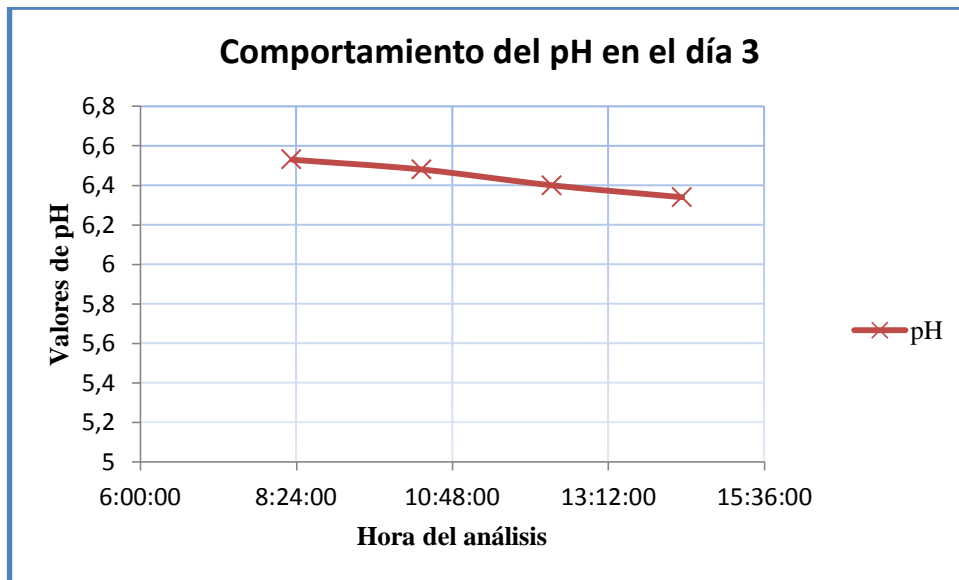


Fig. 4.27: Gráfico del comportamiento del pH del Suero CA en el día 3.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

4) Día 4 de análisis

Tabla 4.24: Mediciones de temperaturas y pH en las pruebas del día 4.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de Temperatura y pH en el día 4 del Suero CA			
	Hora	Temperatura	pH
Análisis 1	08:10am	29 °C	6.63
Análisis 2	10:10am	25 °C	6.61
Análisis 3	12:10pm	23 °C	6.56
Análisis 4	14:10pm	20 °C	6.51

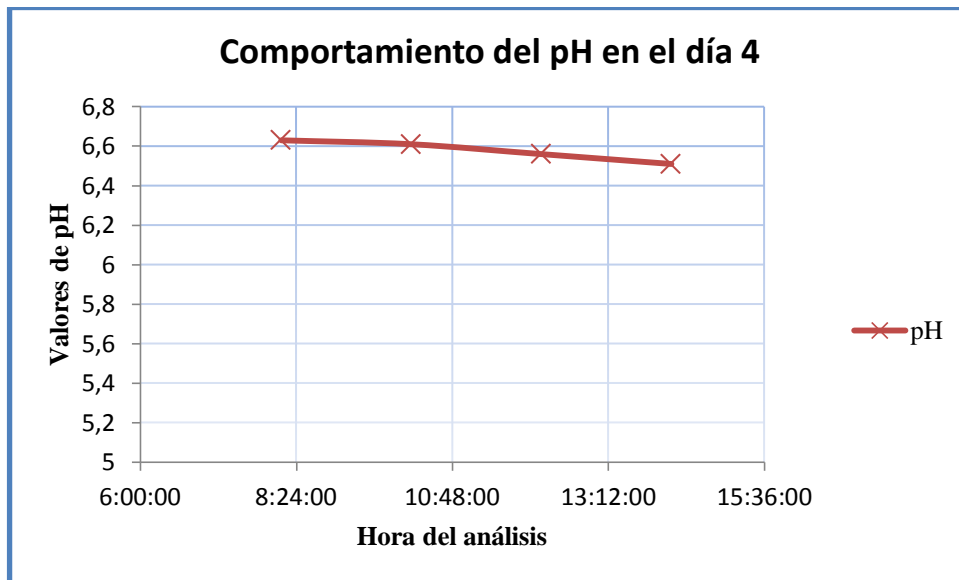


Fig. 4.28: Gráfico del comportamiento del pH del Suero CA en el día 4.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

5) Día 5 de análisis

Tabla 4.25: Mediciones de temperaturas y pH en las pruebas del día 5.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de Temperatura y pH en el día 5 del Suero CA			
	Hora	Temperatura	pH
Análisis 1	08:45am	31 °C	6.49
Análisis 2	10:45am	28 °C	6.41
Análisis 3	12:45pm	25 °C	6.36
Análisis 4	14:45pm	24 °C	6.29

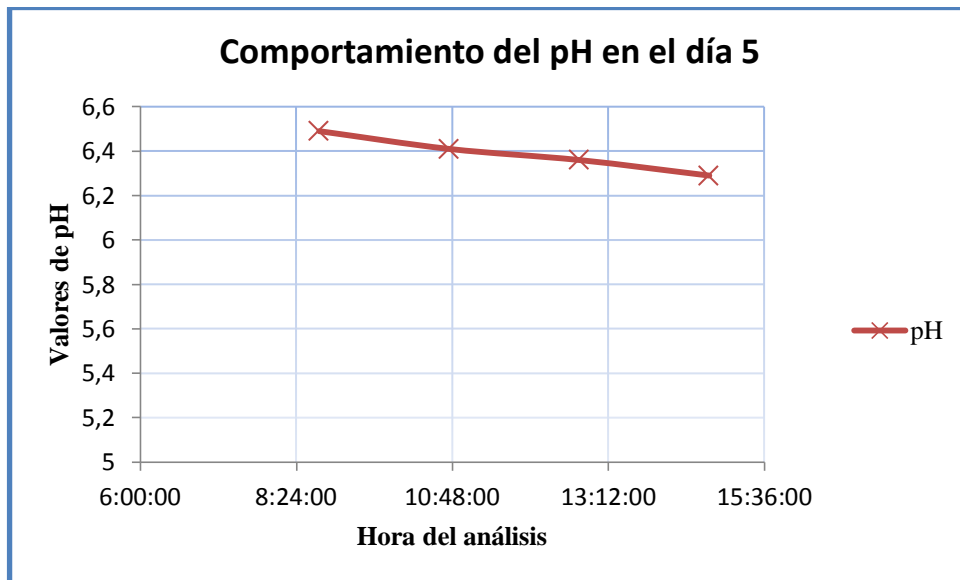


Fig. 4.29: Gráfico del comportamiento del pH del Suero CA en el día 5.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

4.2.3.2 Análisis del Suero enfriado por tubos concéntricos (Suero TC)

1) Día 1 de análisis

Tabla 4.26: Mediciones de temperaturas y pH en las pruebas del día 1.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de Temperatura y pH en el día 1 del Suero TC			
	Hora	Temperatura	pH
Análisis 1	09:55am	28 °C	6.61
Análisis 2	10:15am	18 °C	6.61
Análisis 3	12:15pm	18 °C	6.60
Análisis 4	14:15pm	19 °C	6.59

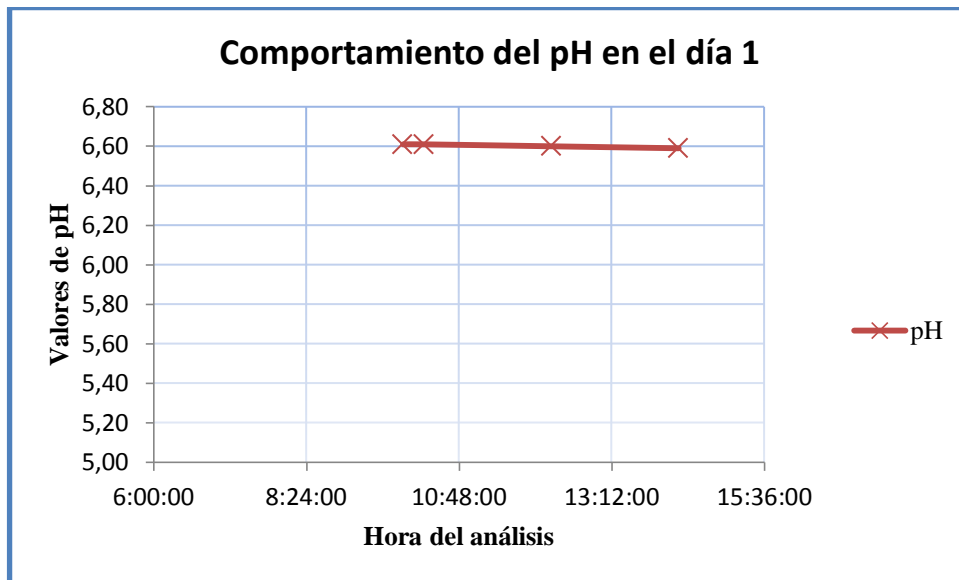


Fig. 4.30: Gráfico del comportamiento del pH del Suero TC en el día 1.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

2) Día 2 de análisis

Tabla 4.27: Mediciones de temperaturas y pH en las pruebas del día 2.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de Temperatura y pH en el día 2 del Suero TC			
	Hora	Temperatura	pH
Análisis 1	09:30am	30 °C	6.55
Análisis 2	09:50am	18 °C	6.55
Análisis 3	12:05pm	19 °C	6.55
Análisis 4	14:05pm	20 °C	6.53

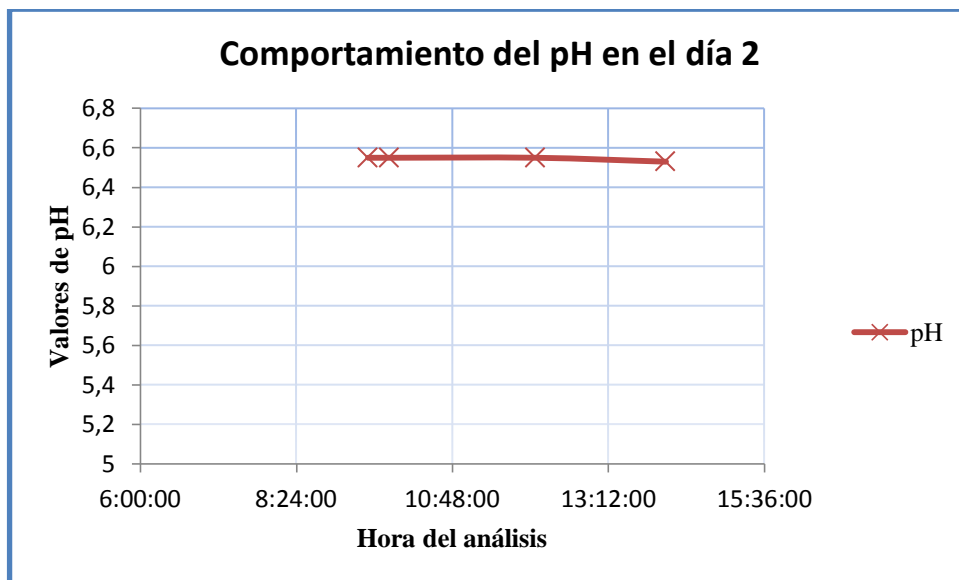


Fig. 4.31: Gráfico del comportamiento del pH del Suero TC en el día 2.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

3) Día 3 de análisis

Tabla 4.28: Mediciones de temperaturas y pH en las pruebas del día 3.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de Temperatura y Acidez en el día 3 del Suero TC			
	Hora	Temperatura	pH
Análisis 1	09:10am	30 °C	6.52
Análisis 2	09:30am	19 °C	6.52
Análisis 3	12:20pm	20 °C	6.49
Análisis 4	14:20pm	21 °C	6.46

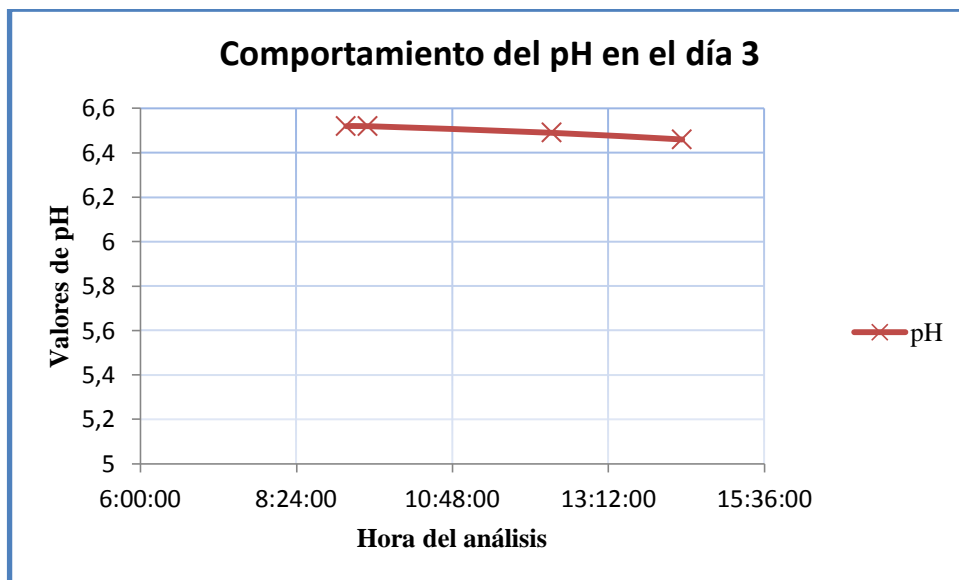


Fig. 4.32: Gráfico del comportamiento del pH del Suero TC en el día 3.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

4) Día 4 de análisis

Tabla 4.29: Mediciones de temperaturas y pH en las pruebas del día 4.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de Temperatura y pH en el día 4 del Suero TC			
	Hora	Temperatura	pH
Análisis 1	09:00am	28 °C	6.61
Análisis 2	09:25am	19 °C	6.60
Análisis 3	12:10pm	19 °C	6.60
Análisis 4	14:10pm	19 °C	6.59

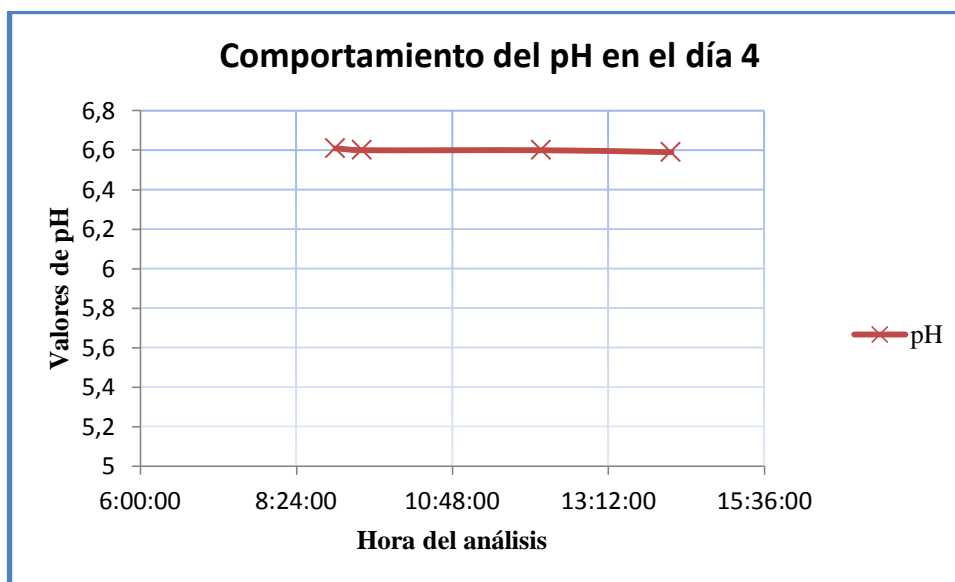


Fig. 4.33: Gráfico del comportamiento del pH del Suero TC en el día 4.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

5) Día 5 de análisis

Tabla 4.30: Mediciones de temperaturas y pH en las pruebas del día 5.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de Temperatura y pH en el día 5 del Suero TC			
	Hora	Temperatura	pH
Análisis 1	09:15am	30 °C	6.49
Análisis 2	09:40am	21 °C	6.48
Análisis 3	12:45pm	22 °C	6.38
Análisis 4	14:45pm	22 °C	6.32

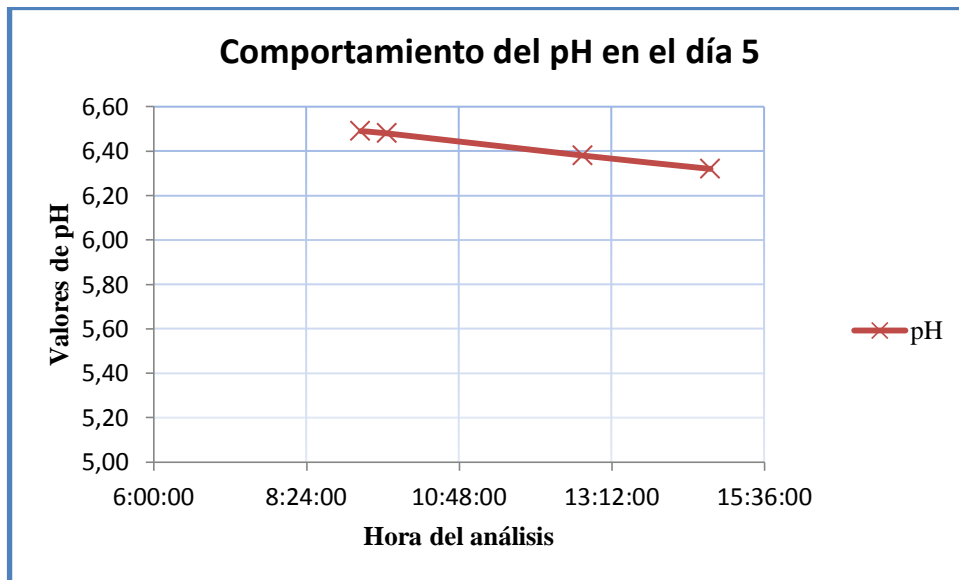


Fig. 4.34: Gráfico del comportamiento del pH del Suero TC en el día 5.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

4.2.3.3 Análisis del Suero enfriado por placas (Suero PL)

1) Día 1 de análisis

Tabla 4.31: Mediciones de temperaturas y pH en las pruebas del día 1.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de Temperatura y pH en el día 1 del Suero PL			
	Hora	Temperatura	pH
Análisis 1	10:10am	28 °C	6.61
Análisis 2	10:15am	7 °C	6.61
Análisis 3	12:15pm	7 °C	6.61
Análisis 4	14:15pm	7 °C	6.60

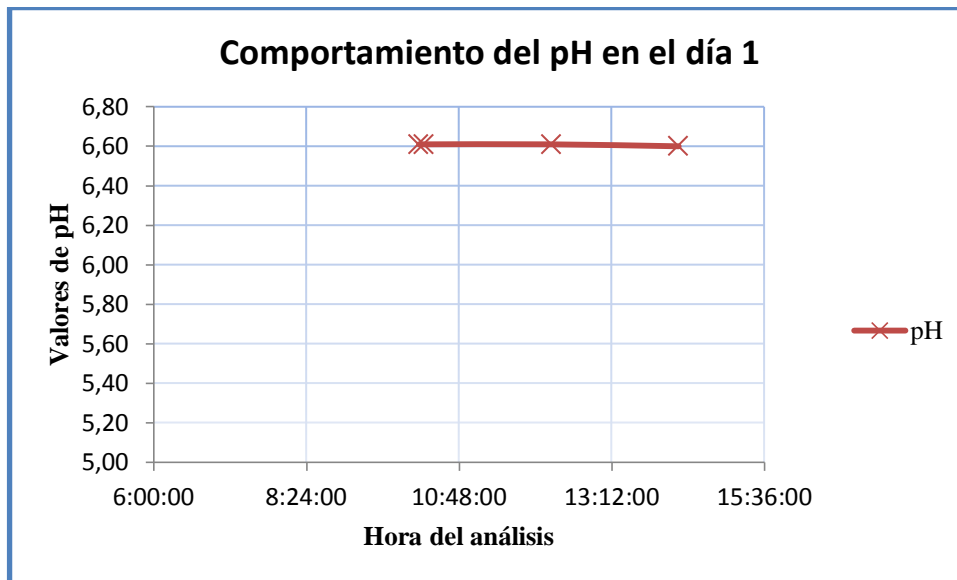


Fig. 4.35: Gráfico del comportamiento del pH del Suero PL en el día 1.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

2) Día 2 de análisis

Tabla 4.32: Mediciones de temperaturas y pH en las pruebas del día 2.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de Temperatura y pH en el día 2 del Suero PL			
	Hora	Temperatura	pH
Análisis 1	10:00am	28 °C	6.55
Análisis 2	10:05am	8 °C	6.54
Análisis 3	12:05pm	8 °C	6.54
Análisis 4	14:05pm	8 °C	6.54

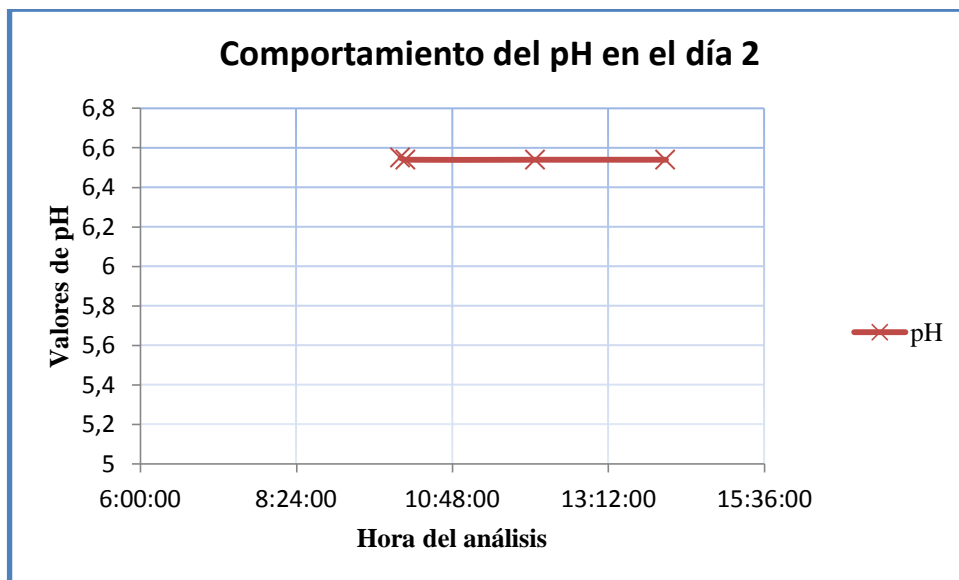


Fig. 4.36: Gráfico del comportamiento del pH del Suero PL en el día 2.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

3) Día 3 de análisis

Tabla 4.33: Mediciones de temperaturas y pH en las pruebas del día 3.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de Temperatura y pH en el día 3 del Suero PL			
	Hora	Temperatura	pH
Análisis 1	09:30am	29 °C	6.52
Análisis 2	09:37am	5 °C	6.52
Análisis 3	12:20pm	5 °C	6.52
Análisis 4	14:20pm	6 °C	6.51

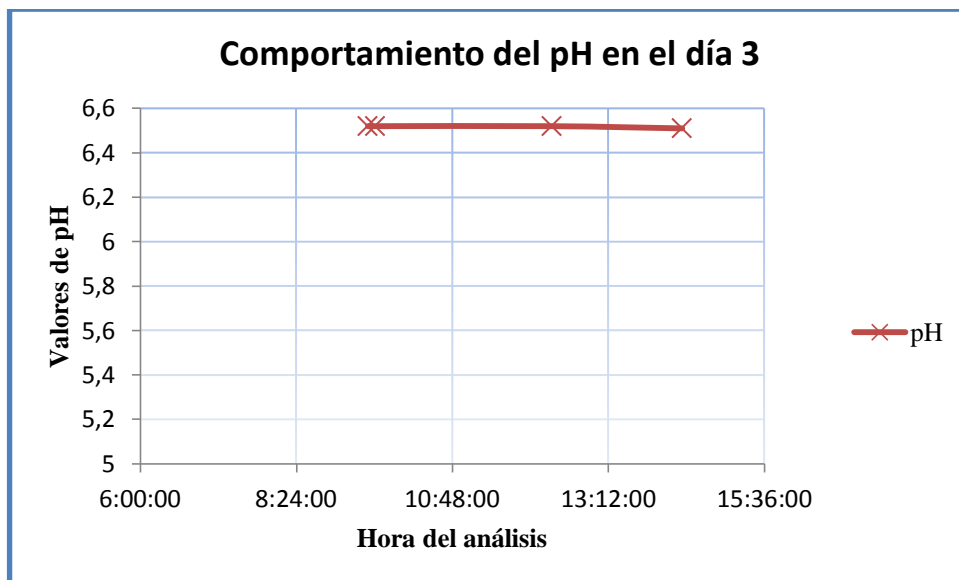


Fig. 4.37: Gráfico del comportamiento del pH del Suero PL en el día 3.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

4) Día 4 de análisis

Tabla 4.34: Mediciones de temperaturas y pH en las pruebas del día 4.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de Temperatura y pH en el día 4 del Suero PL			
	Hora	Temperatura	pH
Análisis 1	09:55am	27 °C	6.59
Análisis 2	10:00am	10 °C	6.59
Análisis 3	12:10pm	10 °C	6.59
Análisis 4	14:10pm	10 °C	6.59

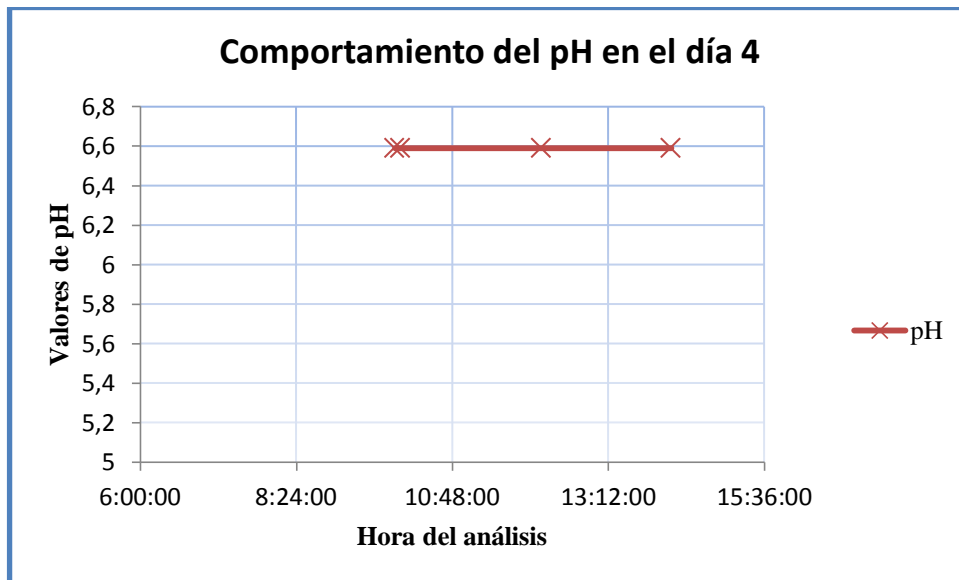


Fig. 4.38: Gráfico del comportamiento del pH del Suero PL en el día 4.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

5) Día 5 de análisis

Tabla 4.35: Mediciones de temperaturas y pH en las pruebas del día 5.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de Temperatura y pH en el día 5 del Suero PL				
	Hora	Temperatura	Acidez °D	pH
Análisis 1	10:15am	30 °C	11 °D	6.48
Análisis 2	10:22am	8 °C	11 °D	6.47
Análisis 3	12:45pm	8 °C	11 °D	6.47
Análisis 4	14:45pm	8 °C	11 °D	6.47

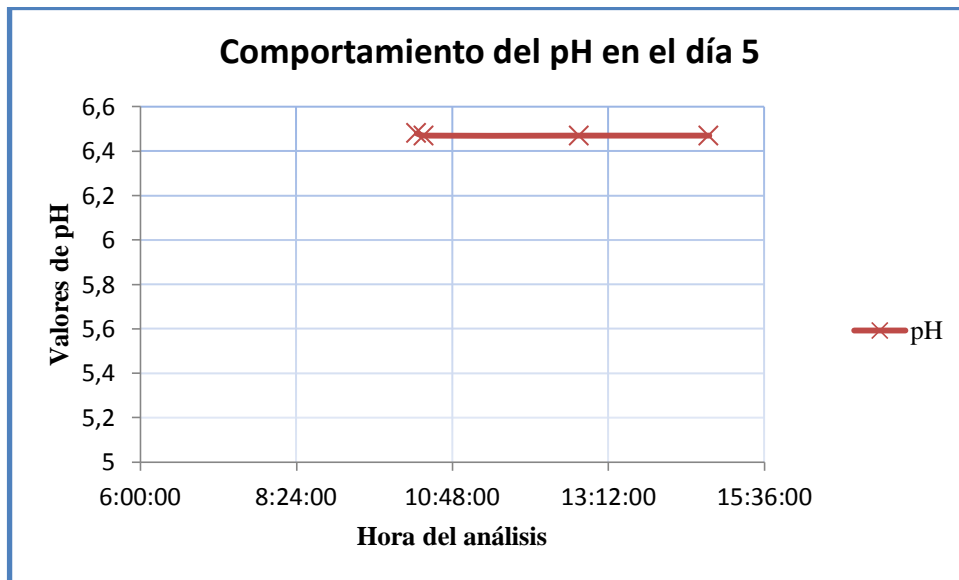


Fig. 4.39: Gráfico del comportamiento del pH del Suero PL en el día 5.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

4.2.4 Análisis de comportamiento de la densidad con respecto al comportamiento de la temperatura

1) Día 1 de análisis

Tabla 4.36: Mediciones de temperaturas y densidad en las pruebas del día 1.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de temperatura y densidad determinados en el día 1		
	Temperatura	Densidad
Suero CA	29 °C	1.022 (gr/cm ³)
	24 °C	1.023 (gr/cm ³)
	22 °C	1.023 (gr/cm ³)
	20 °C	1.023 (gr/cm ³)
Suero TC	28 °C	1.022 (gr/cm ³)
	18 °C	1.024 (gr/cm ³)
	18 °C	1.024 (gr/cm ³)
	19 °C	1.024 (gr/cm ³)
Suero PL	28 °C	1.022 (gr/cm ³)
	7 °C	1.025 (gr/cm ³)
	7 °C	1.025 (gr/cm ³)
	7 °C	1.025 (gr/cm ³)

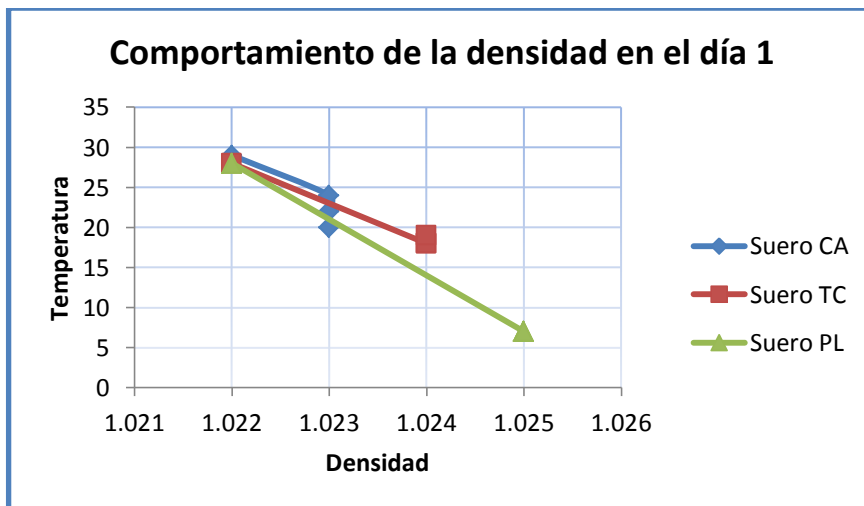


Fig. 4.40: Gráfico del comportamiento de la densidad frente a la temperatura en el día 1.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

2) Día 2 de análisis

Tabla 4.37: Mediciones de temperaturas y densidad en las pruebas del día 2.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de temperatura y densidad determinados en el día 2		
	Temperatura	Densidad
Suero CA	31 °C	1.023 (gr/cm ³)
	25 °C	1.024 (gr/cm ³)
	23 °C	1.024 (gr/cm ³)
	20 °C	1.025 (gr/cm ³)
Suero TC	30 °C	1.023 (gr/cm ³)
	18 °C	1.025 (gr/cm ³)
	19 °C	1.025 (gr/cm ³)
	20 °C	1.025 (gr/cm ³)
Suero PL	28 °C	1.023 (gr/cm ³)
	8 °C	1.026 (gr/cm ³)
	8 °C	1.026 (gr/cm ³)
	8 °C	1.026 (gr/cm ³)

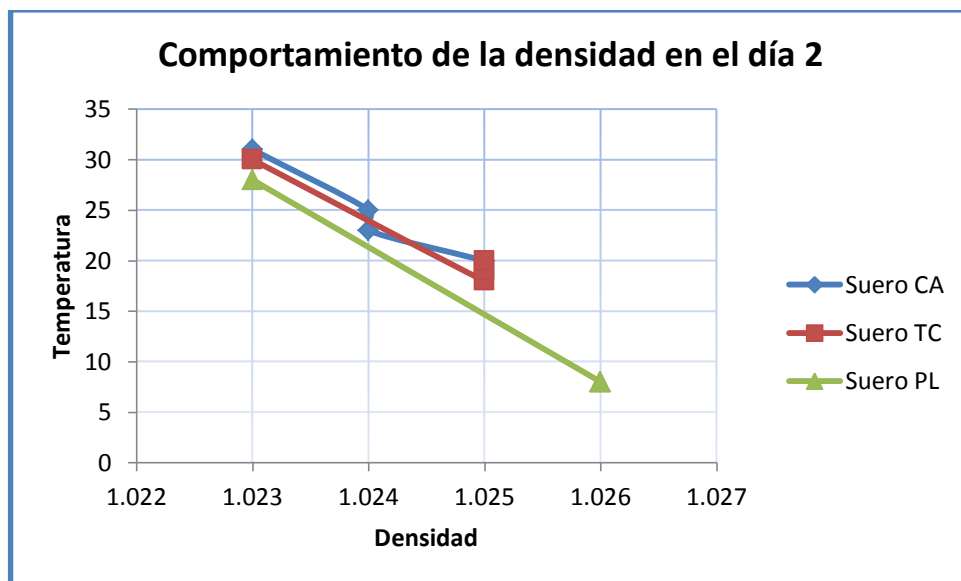


Fig. 4.41: Gráfico del comportamiento de la densidad frente a la temperatura en el día 2.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

3) Día 3 de análisis

Tabla 4.38: Mediciones de temperaturas y densidad en las pruebas del día 3.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de temperatura y densidad determinados en el día 3		
	Temperatura	Densidad
Suero CA	31 °C	1.024 (gr/cm ³)
	26 °C	1.025 (gr/cm ³)
	23 °C	1.025 (gr/cm ³)
	22 °C	1.026 (gr/cm ³)
Suero TC	30 °C	1.024 (gr/cm ³)
	19 °C	1.026 (gr/cm ³)
	20 °C	1.026 (gr/cm ³)
	21 °C	1.026 (gr/cm ³)
Suero PL	29 °C	1.024 (gr/cm ³)
	5 °C	1.027 (gr/cm ³)
	5 °C	1.027 (gr/cm ³)
	6 °C	1.027 (gr/cm ³)

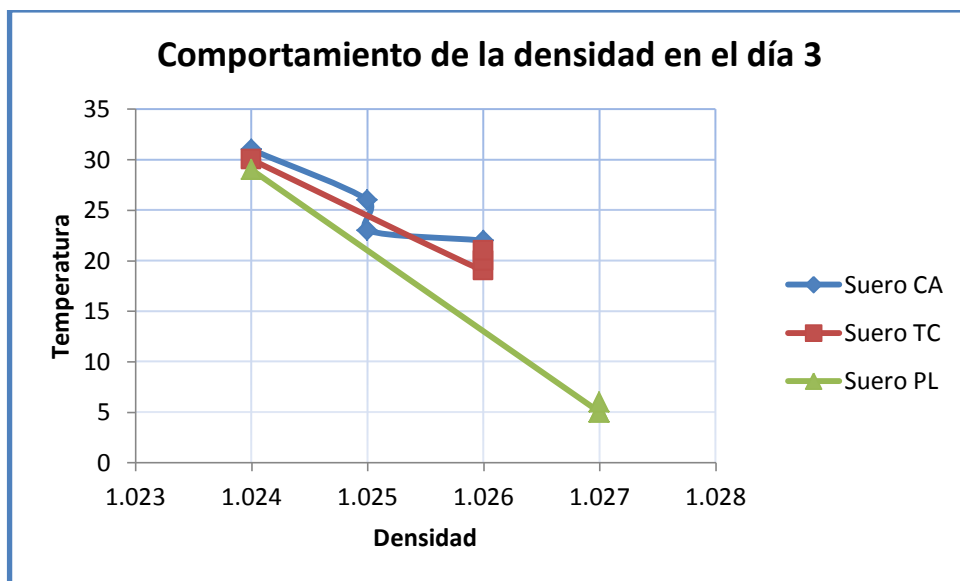


Fig. 4.42: Gráfico del comportamiento de la densidad frente a la temperatura en el día 3.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

4) Día 4 de análisis

Tabla 4.39: Mediciones de temperaturas y densidad en las pruebas del día 4.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de temperatura y densidad determinados en el día 4		
	Temperatura	Densidad
Suero CA	29 °C	1.021 (gr/cm ³)
	25 °C	1.022 (gr/cm ³)
	23 °C	1.022 (gr/cm ³)
	20 °C	1.022 (gr/cm ³)
Suero TC	28 °C	1.021 (gr/cm ³)
	19 °C	1.023 (gr/cm ³)
	19 °C	1.023 (gr/cm ³)
	19 °C	1.023 (gr/cm ³)
Suero PL	27 °C	1.021 (gr/cm ³)
	10 °C	1.024 (gr/cm ³)
	10 °C	1.024 (gr/cm ³)
	10 °C	1.024 (gr/cm ³)

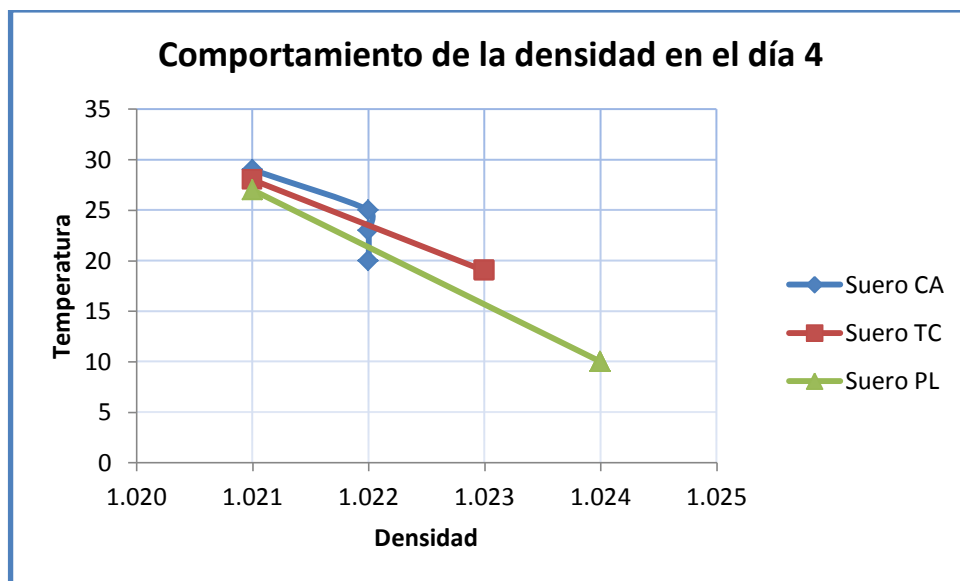


Fig. 4.43: Gráfico del comportamiento de la densidad frente a la temperatura en el día 4.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

5) Día 5 de análisis

Tabla 4.40: Mediciones de temperaturas y densidad en las pruebas del día 5.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de temperatura y densidad determinados en el día 5		
	Temperatura	Densidad
Suero CA	31 °C	1.023 (gr/cm ³)
	28 °C	1.023 (gr/cm ³)
	25 °C	1.024 (gr/cm ³)
	24 °C	1.024 (gr/cm ³)
Suero TC	30 °C	1.023 (gr/cm ³)
	21 °C	1.025 (gr/cm ³)
	21 °C	1.025 (gr/cm ³)
	22 °C	1.025 (gr/cm ³)
Suero PL	30 °C	1.023 (gr/cm ³)
	8 °C	1.026 (gr/cm ³)
	8 °C	1.026 (gr/cm ³)
	8 °C	1.026 (gr/cm ³)

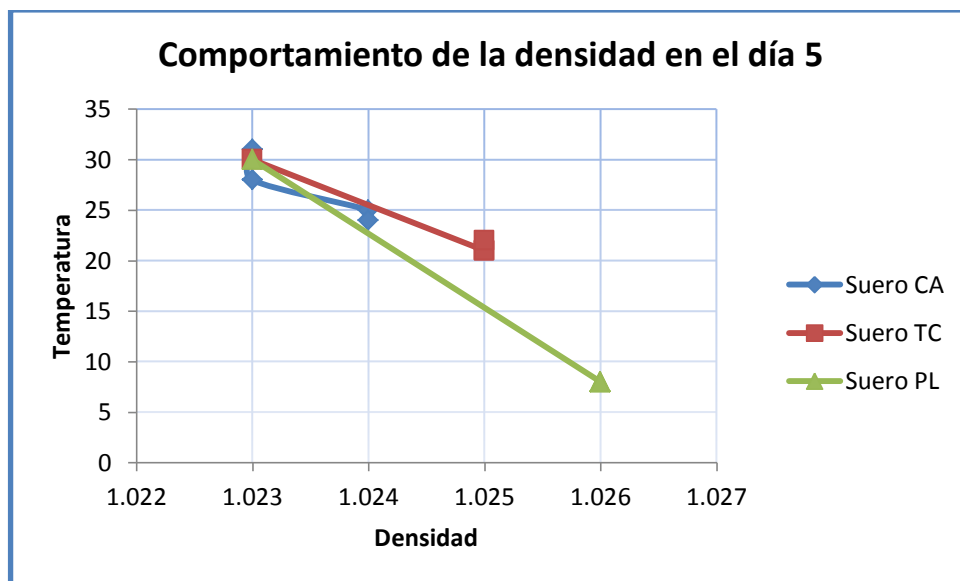


Fig. 4.44: Gráfico del comportamiento de la densidad frente a la temperatura en el día 5.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

4.2.5 Análisis de comportamiento de la materia grasa con respecto al cambio de la temperatura

1) Día 1 de análisis

Tabla 4.41: Mediciones de temperaturas y materia grasa en las pruebas del día 1.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de temperatura y materia grasa determinados en el día 1		
	Temperatura	% Materia Grasa
Suero CA	29 °C	1.3 (%)
	24 °C	1.3 (%)
	22 °C	1.3 (%)
	20 °C	1.3 (%)
Suero TC	28 °C	1.3 (%)
	18 °C	1.3 (%)
	18 °C	1.3 (%)
	19 °C	1.3 (%)
Suero PL	28 °C	1.3 (%)
	7 °C	1.3 (%)
	7 °C	1.3 (%)
	7 °C	1.3 (%)

2) Día 2 de análisis

Tabla 4.42: Mediciones de temperaturas y % de materia grasa en las pruebas del día 2.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de temperatura y materia grasa determinados en el día 2		
	Temperatura	% Materia Grasa
Suero CA	31 °C	1.5 (%)
	25 °C	1.5 (%)
	23 °C	1.5 (%)
	20 °C	1.5 (%)
Suero TC	30 °C	1.5 (%)
	18 °C	1.5 (%)
	19 °C	1.5 (%)
	20 °C	1.5 (%)
Suero PL	28 °C	1.5 (%)
	8 °C	1.5 (%)
	8 °C	1.5 (%)
	8 °C	1.5 (%)

3) Día 3 de análisis

Tabla 4.43: Mediciones de temperaturas y % de materia grasa en las pruebas del día 3.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de temperatura y materia grasa determinados en el día 3		
	Temperatura	% Materia Grasa
Suero CA	31 °C	1.5 (%)
	26 °C	1.5 (%)
	23 °C	1.5 (%)
	22 °C	1.5 (%)
Suero TC	30 °C	1.5 (%)
	19 °C	1.5 (%)
	20 °C	1.5 (%)
	21 °C	1.5 (%)
Suero PL	29 °C	1.5 (%)
	5 °C	1.5 (%)
	5 °C	1.5 (%)
	6 °C	1.5 (%)

4) Día 4 de análisis

Tabla 4.44: Mediciones de temperaturas y % de materia grasa en las pruebas del día 4.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de temperatura y materia grasa determinados en el día 4		
	Temperatura	% Materia Grasa
Suero CA	29 °C	1.2 (%)
	25 °C	1.2 (%)
	23 °C	1.2 (%)
	20 °C	1.2 (%)
Suero TC	28 °C	1.2 (%)
	19 °C	1.2 (%)
	19 °C	1.2 (%)
	19 °C	1.2 (%)
Suero PL	27 °C	1.2 (%)
	10 °C	1.2 (%)
	10 °C	1.2 (%)
	10 °C	1.2 (%)

5) Día 5 de análisis

Tabla 4.45: Mediciones de temperaturas y % de materia grasa en las pruebas del día 5.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Valores de temperatura y materia grasa determinados en el día 5		
	Temperatura	% Materia Grasa
Suero CA	31 °C	1.3 (%)
	28 °C	1.3 (%)
	25 °C	1.3 (%)
	24 °C	1.3 (%)
Suero TC	30 °C	1.3 (%)
	21 °C	1.3 (%)
	21 °C	1.3 (%)
	22 °C	1.3 (%)
Suero PL	30 °C	1.3 (%)
	8 °C	1.3 (%)
	8 °C	1.3 (%)
	8 °C	1.3 (%)

En vista de que la materia grasa del suero lácteo es una propiedad que no presenta modificación alguna durante el transcurso de los tres procesos en estudio, se realizó un Gráfico del comportamiento tan solo del **día 5 del Suero PL**, del **día 4 del Suero TC** y del **día 3 del Suero CA** el cual nos permite reflejar los valores obtenidos en los análisis.

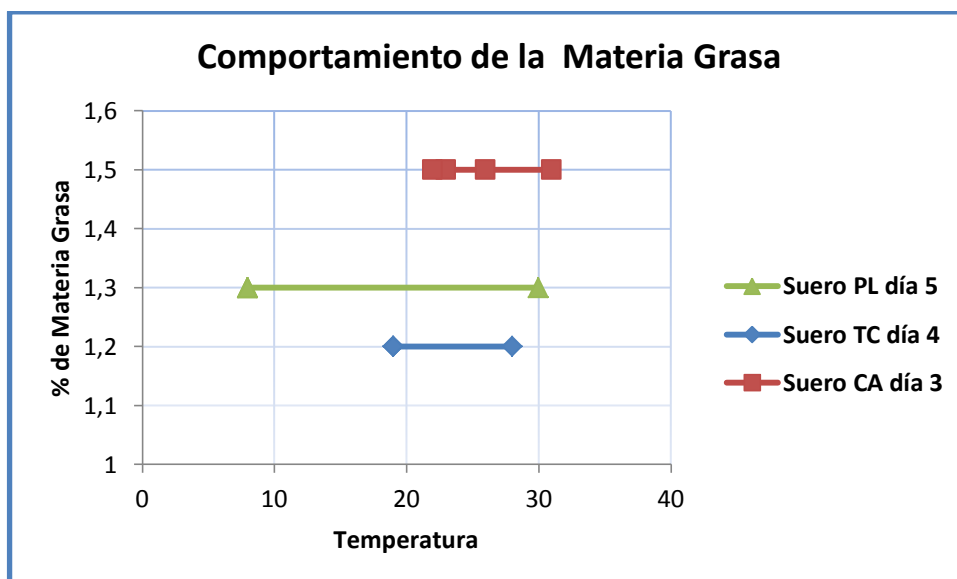


Fig. 4.45: Gráfico del comportamiento de la materia grasa frente a la temperatura en el día 5.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

4.3 Verificación de hipótesis

Para la verificación de la hipótesis es necesaria la revisión minuciosa de los datos arrojados en el subcapítulo anterior los cuales mediante la ilustración de gráficos permitieron visualizar los comportamientos de las propiedades del suero lácteo y se los expondrá en los párrafos siguientes detallando para cada proceso de enfriamiento.

Suero lácteo enfriado a temperatura ambiente CA.

En este proceso se identificó cambios significativos en tres de sus propiedades y en una de ellas no se registró cambio alguno, tal es así que la temperatura presenta cambios cortos en el transcurso de los análisis de las diferentes muestras, tendiendo a equilibrarse térmicamente con la temperatura ambiente.

El pH presentó un decremento durante los análisis realizados en el transcurso de los cinco días resaltando que esta propiedad tiene un comportamiento opuesto a la de la acidez.

La propiedad de la acidez presenta incrementos significativos en sus valores, es decir que no está en óptimas condiciones para su aceptación.

La materia grasa no mostro cambio alguno en sus valores es decir que ni el transcurso del tiempo ni la temperatura incidieron sobre ella.

Suero lácteo enfriado mediante un intercambiador de tubos concéntricos TC.

En este proceso de enfriamiento la temperatura presento una disminución considerable, pero no fue la ideal para conservar las propiedades de acidez y pH del suero lácteo en todas las muestras analizadas.

El pH y la acidez presentaron cortos cambios en sus comportamientos dentro de las cuatro primeras horas posteriores al proceso de enfriamiento, a pesar de haber existido un cambio corto de las propiedades en mención no es el proceso ideal.

La propiedad de la materia grasa no presento alteraciones en su comportamiento a pesar de que existan cambios de temperatura.

Suero lácteo enfriado mediante un intercambiador de tipo placas PL.

En los análisis que se realizaron a las muestras de suero lácteo enfriado mediante este proceso se logro identificar una reducción considerable de temperatura, mostrando un sustancial cambio en su densidad ya que esta propiedad depende de la temperatura que se encuentra el suero lácteo.

Las propiedades de la acidez y pH presentaron una conservación casi ideal ya que el enfriamiento inmediato a una temperatura menor o igual a 12 °C conserva en niveles óptimos estas propiedades.

Posteriormente de haber realizado un análisis minucioso de los datos arrojados en la investigación se puede sintetizar que, el intercambiador de calor de tipo placas es el más adecuado para realizar el proceso de enfriamiento del suero lácteo.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Posteriormente de haber obtenido y analizado toda la información expuesta en la investigación de Campo y Bibliográfica nos permite visualizar las problemáticas que existe en el proceso de enfriamiento del Suero Lácteo por lo que se concluye lo siguiente:

Posteriormente de haber realizado una investigación minuciosa del comportamiento de las propiedades del suero lácteo

- Se llego a determinar principalmente que la variación de la acidez del suero lácteo sin someterle a ningún proceso de enfriamiento denominado **Suero CA** tiene un comportamiento variable esto debido a dos factores estos son la temperatura ambiente y el valor de la acidez al instante de la obtención del suero lácteo, tal es así que en el transcurso de los 5 días de haber realizado los análisis se identifico un patrón de comportamiento el cual nos indica que se eleva 1 grado de acidez °D por cada 3 horas posteriores a su obtención.
- El suero lácteo que fue sometido al proceso de enfriamiento mediante tubos concéntricos llamado **Suero TC** mostro un comportamiento conservador hasta los valores de acidez de 10 °D los cuales se mantuvieron hasta 5 horas posteriores a el primer análisis.
- Empleando el método de enfriamiento mediante placas al suero denominado **Suero PL** mostro un comportamiento ideal puesto que en ninguno de los casos se elevo la acidez durante el transcurso de los análisis realizados.

- Se identifico un comportamiento opuesto entre la acidez °D y el pH ya que a medida que **la acidez se incrementa el pH disminuye** a medida que el suero se va convirtiendo en una solución cada vez mas acida.
- Llegamos a concluir que el comportamiento térmico del **Suero CA** tiene tendencia a llegar a un equilibrio térmico con la temperatura ambiente, llegando hasta a 2 grados de diferencia en el cual la temperatura del suero lácteo es mayor que la temperatura ambiente.
- Se estableció que el comportamiento de la temperatura del **Suero PL** es la idónea para neutralizar la acidez y conservarla en su mismo valor inicial.
- Mediante la aplicación de gráficos los cuales aportaron significativamente identificamos un cambio de valores en la **Densidad** el cual presenta un cambio ascendente al momento de disminuir la temperatura del suero lácteo.
- Es apreciable en el comportamiento de la **Densidad** que por cada 5 grados °C de temperatura que disminuya se eleva 0.001(gr/cm³) en casi el 95% de los análisis realizados sin que influya el tipo de proceso de enfriamiento al que el suero lácteo fue sometido.
- Se estableció que la propiedad del suero lácteo denominada **% de Materia Grasa** no presento cambio alguno en los diferentes análisis de todas las muestras, es decir que se conserva sin influir en esta la temperatura o el tiempo presentando un comportamiento lineal.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda la implementación de un intercambiador de calor de tipo placas ya que este permite conservar principalmente la acidez en un rango óptimo, también por sus características ya que es un intercambiador compacto.
- Para mantener los valores de acidez y pH y evitar la acidificación del suero lácteo es necesario el empleo del intercambiador de calor posterior a la obtención del mismo.
- Al momento de realizar el diseño térmico y el diseño hidráulico se debe tener en cuenta el caudal máximo de suero lácteo.
- Podemos sugerir que el suero lácteo sea sometido al proceso de enfriamiento en un lapso máximo de dos horas posteriores a su obtención ya que en este lapso de tiempo no presenta cambios significativos en sus diferentes propiedades.
- Se recomienda al jefe de producción de la Pasteurizadora el ranchito Cía. Ltda. que no se asigne a la producción de quesos leches con valores de acidez mayores a 17 °D ya que de esto depende el valor inicial que tendrá la acidez del suero lácteo.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1 Datos informativos

6.1.1 Tema: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE TIPO PLACAS REQUERIDO EN EL PROCESO DE ENFRIAMIENTO DEL SUERO LÁCTEO, PARA CONSERVAR SUS PROPIEDADES EN LA PASTEURIZADORA EL RANCHITO CÍA. LTDA.

6.1.2 Institución ejecutora

La institución en la cual se va a desarrollar la propuesta es la Pasteurizadora El Ranchito Cía. Ltda.

6.1.3 Beneficiarios

El beneficiario en la realización del intercambiador de calor para el proceso de enfriamiento del suero lácteo es principalmente la Pasteurizadora El Ranchito Cía. Ltda.

6.1.4 Ubicación

La propuesta se va a realizar en la Pasteurizadora El Ranchito Cía. Ltda. Ubicada en la el barrio Rumipamba de la ciudad de Salcedo provincia del Tungurahua.

6.1.5 Tiempo estimado para la ejecución

La presente propuesta se va a realizar desde el mes de Febrero del 2012 al mes de Noviembre del 2012.

6.1.6 Equipo técnico responsable

El responsable del diseño en su totalidad es el investigador de la propuesta como responsable de los procesos que conlleven su culminación.

6.2 Antecedente de la propuesta

La Pasteurizadora El Ranchito Cía. Ltda. Carece de un método de enfriamiento adecuado para el suero lácteo, para lo cual es necesario aplicar un método comúnmente empleado por toda la industria láctea, siendo este el proceso de enfriamiento mediante un intercambiador de tipo placas de enfriamiento.

Es la razón por la cual analizamos este método para el enfriamiento del suero lácteo.

6.3 Justificación

Una vez analizado los sistemas de enfriamiento de tipo placas y tubos concéntricos se determinó que el intercambiador de calor de placas es la mejor alternativa ya que el suero lácteo no presenta ninguna variación en las propiedades de acidez y pH.

6.4 Objetivos

6.4.1 Objetivo general

Diseñar y construir un sistema de enfriamiento tipo placas que permitirá conservar las propiedades físicas del suero lácteo.

6.4.2 Objetivos específicos

- ✓ Disminuir la temperatura del suero lácteo en un valor menor o igual a 12°C.
- ✓ Determinar un número de placas para el intercambiador de calor que permita disminuir la temperatura del suero lácteo a la temperatura correspondiente.
- ✓ Seleccionar las bombas adecuadas para cada fluido tomando en cuenta los parámetros del diseño térmico e hidráulico.
- ✓ Establecer un procedimiento de limpieza adecuado con tiempos y concentraciones de detergentes y desincrustantes empleados en la industria láctea.

6.5 Análisis de factibilidad

6.5.1 Análisis técnico

Debido a que la Pasteurizadora el Ranchito Cía. Ltda. No cuenta con un proceso de enfriamiento específico, que permita enfriar el suero lácteo y con ello lograr la conservación de sus propiedades físicas, resulta factible realizar el enfriamiento del suero lácteo mediante la implementación de un intercambiador de calor de tipo placas, que permita descender la temperatura del suero lácteo, y con ello conservar sus propiedades físicas, lo cual beneficiara a la empresa en la preservación de la materia prima que va a ser empleada en los diferentes procesos subsiguientes.

La implementación del intercambiador de calor de tipo placas en el proceso de enfriamiento en estudio, es factible ya que en el mercado nacional se dispone de varios tipos de placas de enfriamiento adecuados para la propuesta trazada así como de sus accesorios a emplearse en las diferentes instalaciones.

6.5.2 Análisis de costos

A continuación se presentara toda la información de los costos de: materiales, mano de obra y maquinaria utilizados en la construcción del intercambiador de calor de tipo placas.

6.5.2.1 Costos directos (CD)

- **Costos de materiales del intercambiador (CM)**

Tabla 6.1: Plantilla de cálculo de materiales del intercambiador.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Cantidad	Unidad	Descripción	Costo Unitario (\$)	Subtotal (\$)
29	Unid.	Placas intermedias, AISI 316	42,50	1232,50
1	Unid.	Placa inicial, AISI 316	39,50	39,50
1	Unid.	Placa final, AISI 316	37,50	37,50
1	Unid.	Empaque de goma de nitrilo (cuatro agujeros cerrados)	6,75	6,75
29	Unid.	Empaque de goma de nitrilo (dos agujeros cerrados)	6,25	181,25
2	Unid.	Planchas de acero A36 de 25 mm	93,00	186,00
2	Unid.	Ejes de acero AISI 304 de 20 mm	23,00	46,00
8	Unid.	Ejes de acero AISI 304 roscado de 16 mm	37,00	296,00
16	Unid.	Arandelas planas de acero AISI 304 de 16 mm	2,00	32,00
16	Unid.	Arandelas de presión de acero AISI 304 de 16 mm	2,25	36,00
16	Unid.	Tuercas de acero AISI 304 de 16 mm	3,15	50,40
2	Unid.	Tuercas de acero AISI 304 de 20 mm	3,75	7,50
2	Unid.	Arandelas planas de acero AISI 304 de 20 mm	2,50	5,00
4	Unid.	Neplos de acero inoxidable AISI 304 de 1 ½ pulg.	4,00	16,00
TOTAL (\$)				2172,40

➤ **Costos de materiales y equipos para la instalación hidráulica (CMH)**

Tabla 6.2: Plantilla de cálculo de materiales para la instalación hidráulica.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Cantidad	Unidad	Descripción	Costo Unitario (\$)	Subtotal (\$)
1	Unid.	Bomba sanitaria Goulds. 1ST 1750 rpm 1.5 Hp	650,00	650,00
1	Unid.	Bomba centrifuga Goulds 3600 rpm 3 Hp	450,00	450,00
14	Unid.	Tubería galvanizada de 2 pulg.	38,00	532,00
10	Unid.	Codo de 90° galvanizado de 2 pulg.	3,50	35,00
8	Unid.	Universal galvanizada de 2 pulg.	4,75	38,00
1	Unid.	Válvula de pie de bronce de 2 pulg.	6,60	6,60
1	Unid.	Válvula check de bronce de 2 pulg.	13,75	13,75
1	Unid.	Válvula de mariposa hierro fundido de 2 pulg.	22,50	22,50
2	Unid.	Tubo de acero inoxidable sanitario AISI 304 de 1 ½ pulg.	96,50	193,00
2	Unid.	Codo de 90° acero inoxidable AISI 304 de 1 ½ pulg.	19,50	39,00
7	Unid.	Unión SMS acero inoxidable AISI 304 de 1 ½ pulg.	65,00	455,00
1	Unid.	Válvula de mariposa de acero inoxidable AISI 304 de 1 ½ pulg.	105,00	105,00
TOTAL (\$)				2539,85

➤ **Costos de materiales varios (CMV)**

En los costos de materiales varios se incluirán los materiales que se van a emplear en la instalación eléctrica.

Tabla 6.3: Plantilla de cálculo de materiales varios.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Cantidad	Unidad	Descripción	Costo Unitario (\$)	Subtotal (\$)
1	Unid.	Tablero metálico eléctrico de 30*20*35 cm	35,00	35,00
2	Unid.	Pulsadores ON/OFF	35,00	70,00
2	Unid.	Relé térmico de 5 a 8 amperios	42,00	84,00
2	Unid.	Contactores de 18 amperios	45,00	90,00
2	Unid.	Breaker trifásico de 32 amperios	18,00	36,00
100	m	Cable 3*12	1,50	150,00
10	m	Cable flexible # 18	0,80	8,00
4	Unid.	Pliego de lija # 50	0,50	2,00
1	Gal.	Fondo antiox gris	12,50	12,50
1	Gal.	Pintura esmalte color gris	19,50	19,50
1	Gal.	Tinner laca	8,00	8,00
TOTAL (\$)				515,00

Sumando todos los totales tenemos:

$$CD = CM + CMI + CMV$$

6.1

Tabla 6.4: Plantilla de cálculo de los costos directos.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Costos Directos (CD)		
N°	Descripción	Valor (\$)
1	CM	2172,40
2	CMI	2539,85
3	CMV	515,00
TOTAL		5227,25

6.5.2.2 Costos indirectos (CI)

➤ Costos de utilización de la maquinaria (CUM)

Estos costos se generan por el empleo de maquinas, herramientas y equipos empleados en la ejecución del proyecto las cuales se detallan a continuación en la siguiente tabla y se basan en las horas de ocupación de cada una de ellas.

Tabla 6.5: Plantilla de cálculo de utilización de la maquinaria.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Máquina o Equipo	Tiempo de Uso (h)	Costo/hora (\$)	Costo Total (\$)
Suelda Tig.	2	35,00	70,00
Suelda Eléctrica	0.5	4,00	2,00
Pulidora	1	3,00	3,00
Compresor	2	4,00	8,00
Tarrajá Eléctrica	3	12,00	36,00
TOTAL			119,00

➤ **Costos de mano de obra (CMO)**

En el ensamble tanto del intercambiador de calor como de los sistemas de tuberías se necesitara de un técnico soldador, un técnico plomero, un técnico eléctrico y un auxiliar de mantenimiento, los cuales posee en su nómina, pese a ello es necesario tomar en cuenta los costos por hora que cada técnico implica.

Tabla 6.6: Plantilla de cálculo de mano de obra.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Descripción	Tiempo Empleado (h)	Costo Hora (\$)	Subtotal (\$)
Soldador	7	5,50	58,50
Plomero	18	3,25	38,50
Eléctrico	20	4,50	90,00
Auxiliar	50	2,75	137,50
TOTAL			324,50

Sumando todos los totales tenemos:

$$CI = CUM + CMO$$

6.2

Tabla 6.7: Plantilla de cálculo de los costos indirectos.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Costos Indirectos (CI)		
N°	Descripción	Valor (\$)
1	CUM	119,00
2	CMO	324,50
TOTAL		443,50

6.5.2.3 Costos totales (CT) de construcción e instalación del intercambiador de calor.

Para obtener el valor total de la maquina sumamos los costos directos y los indirectos obtenidos anteriormente:

$$CT = CD + CI$$

6.3

Tabla 6.8: Costos totales.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Costos Totales (CT)		
N°	Descripción	Valor (\$)
1	CD	5827,25
2	CI	443,50
TOTAL		6270,75

6.6 Fundamentación

El diseño y construcción del intercambiador de calor se basa en el marco teórico del CAPÍTULO II del presente trabajo de investigación. En este capítulo se detallan la forma de funcionamiento del dispositivo, y los parámetros básicos a tomar en cuenta para el diseño y la construcción.

6.6.1 Selección de las placas

Las placas de enfriamiento se seleccionan de acuerdo a los siguientes rangos de operación del intercambiador siendo estos la presión de trabajo, el área de transferencia de calor y la capacidad máxima de caudal.



Fig. 6.1: Gráfico de la configuración de la placa tipo chevron.

[Fuente: Catálogo alfa laval 1982]

Esta placa es de acero inoxidable del tipo AISI-316, este es un acero al cromo (18%) con conductividad térmica de $17 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Características de la placa tipo chevron

- Material acero inoxidable AISI 316
- Dibujo de la placa es de tipo chevron con un ángulo β de 30°
- Espesor de 0,00006 m.
- Ancho de la placa 0,18 m.
- Uniones de material Goma de Nitrilo sanitario
- Presión máxima de operación de 25 bares
- Volumen máximo de $10 \text{ m}^3/\text{h}$
- Superficie de transferencia de calor de 0.0442 m^2
- Uniones estandarizadas DN 32, DIN 11851, SMS, IDF, TRI-CLAMP

6.6.2 Selección del tipo de conexiones.

El material de las conexiones es acero inoxidable con terminales tipo rosca SMS de 1 pulgadas.

6.6.3 Selección del material de las uniones.

Para las uniones se toma en consideración el tipo de uniones existentes en el mercado local tomando en cuenta que estas estén permitidas y soporten el manejo de alimentos, por lo tanto se instalaran uniones de material Goma de Nitrilo sanitario las cuales se ajustan al diseño y a las dimensiones de la placa anteriormente seleccionada.

Por lo general las empresas que comercializan las placas a su vez comercializan las uniones puesto que cada una de ellas se ajusta al diseño y las dimensiones de cada placa.

6.6.4 Diseño térmico (algoritmo de cálculo).

6.6.4.1 Suposiciones previas al cálculo.

Para diseñar el intercambiador de calor es preciso indicar las suposiciones previas al desarrollo del cálculo.

- Perdidas de calor insignificantes a los alrededores
- Cambios de energía cinética y potencial insignificante.
- Propiedades constantes.
- Resistencia térmica en las paredes de las placas insignificantes.
- Fluidos totalmente desarrollados.

Para diferenciar si el valor o propiedad pertenece al fluido caliente o frío se utilizan las letras h y c . La letra h indica que el valor hace referencia al fluido caliente y la letra c indica que el valor hace referencia al fluido frío.

Es necesario realizar un diagrama de la distribución de las temperaturas que intervienen en el intercambiador

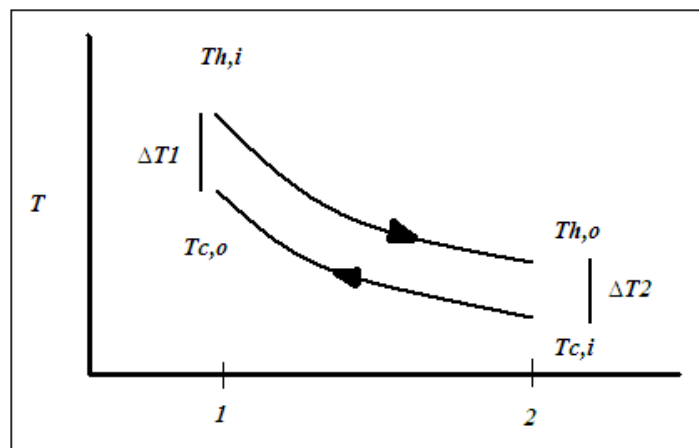


Fig. 6.2: Diagrama de distribución de temperaturas.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Dónde:

$$T_{h,i} = 30,2 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$T_{c,i} = 4,8 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

El valor de $T_{h,i}$ se promedió del valor de la temperatura inicial durante los días que se realizó el estudio y de $T_{c,i}$ del promedio de la temperatura del fluido frío (agua helada) tomados del banco de agua helada #3 de la Pasteurizadora El Ranchito Cía. Ltda.

$$T_{h,o} = 10 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

El valor $T_{h,o}$ surge del estudio realizado ya que esta temperatura es la adecuada para conservar el suero lácteo en óptimas condiciones.

6.6.4.2 Carga térmica (q).

Para el cálculo de la capacidad térmica del diseño (q) se emplea la ecuación 2.3

$$q = m_h * C_{p,h} * (T_{h,i} - T_{h,o})$$

El valor de m se obtiene a partir de:

$$m_h = Q_h * \rho_h$$

Dónde:

$$Q_h = 600 \left[\frac{\text{L}}{\text{h}} \right] = 0,1667 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

El valor de Q se obtuvo a partir de los datos de la jefatura de producción detallados en el capítulo 2.

$$\rho_h = 1023 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$$

El valor de la ρ del suero lácteo se tomo del promedio de las mediciones de la densidad al inicio del proceso durante el estudio.

En la ecuación de m reemplazamos los valores identificados y obtenemos lo siguiente.

$$m_h = 0,1705 \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

$$C_{p,h} = 4019,33 \left[\frac{J}{Kg \text{ } ^\circ C} \right]$$

El $C_{p,h}$ esta dado en la tabla 2,2 la cual presenta las propiedades térmicas del suero lácteo.

Reemplazando en la ecuación de q los valores identificados, obtenemos el siguiente valor.

$$q = 13842,97 \text{ w}$$

6.6.4.3 Temperatura de salida del fluido caliente ($T_{c,o}$).

Despejando $T_{c,o}$ de la ecuación 2.5 obtendremos el valor de salida del fluido frio.

$$q = m_h * C_{p,h} * (T_{h,i} - T_{h,o}) = m_c * C_{p,c} * (T_{c,o} - T_{c,i})$$

$$T_{c,o} = \frac{q}{m_c * C_{p,c}} + T_{c,i}$$

Dónde:

$$m_c = 0,1667 \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

$$C_{p,c} = 4200 \left[\frac{J}{Kg \text{ } ^\circ C} \right]$$

El $C_{p,c}$ del agua se obtiene de la tabla de anexos C extraído de los anexos de libro⁹

Se obtiene el siguiente valor de salida del fluido frio.

$$T_{c,o} = 24,57 \text{ } [^\circ C]$$

⁹ INCROPERA, Frank. *Fundamentos de transferencia de calor*. Editorial Pretince Hall.

6.6.4.4 Cálculo de la temperatura media logarítmica (ΔT_{ml}).

Para el diseño térmico del intercambiador de calor es necesario realizar el análisis de la transferencia de calor mediante el cálculo de la temperatura media logarítmica para aquello es necesario emplear la ecuación 2.7.

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{hi}-T_{co})-(T_{ho}-T_{ci})}{\ln(T_{hi}-T_{co})/(T_{ho}-T_{ci})}$$

$$\Delta T_{ml} = 1,29 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

6.6.4.5 Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor (U).

Para el cálculo de U es necesario la aplicación de la ecuación.

$$U = \frac{1}{\left(\frac{\Delta x}{k}\right) + \left(\frac{1}{h_n}\right) + \left(\frac{1}{h_c}\right)} \quad (6.4)$$

Es necesaria la aplicación de diversas ecuaciones para el cálculo de h .

6.6.4.6 Cálculo del diámetro equivalente (De).

Este parámetro es de acuerdo a las dimensiones de las placas que conforman las secciones del intercambiador de calor. Este valor es de interés para el cálculo del número de Reynolds.

$$De = \frac{4wb}{2w+2b} \quad (6.5)$$

Dónde:

w = Ancho de la placa = 0,18 [m]

b = Distancia entre las placas = 0,0003 [m]

$$De = 0,000599 \text{ [m]}$$

6.6.4.7 Cálculo del número de Reynolds (Re).

Se calcula el número de Reynolds para cada fluido, el valor de Reynolds que es la frontera entre el régimen laminar y turbulento es 400.

$$Re = \frac{De * \left(\frac{G}{n}\right)}{\mu} \quad (6.6)$$

Dónde:

Re = Es un parámetro adimensional

G = Gasto másico de corriente $[\frac{Kg}{s * m^2}]$

$$G_h = 6,397 [\frac{Kg}{s * m^2}]$$

$$G_c = 6,255 [\frac{Kg}{s * m^2}]$$

n = Número de corrientes en las que dividen el flujo.

$$n = 1$$

μ = Viscosidad dinámica del fluido $[\frac{Kg}{m * s}]$

$$\mu_h = 0,00115 [\frac{Kg}{m * s}]$$

$$\mu_c = 0,00152 [\frac{Kg}{m * s}]$$

Reemplazando los diferentes valores en la ecuación de Re

$$Re_h = 3,333$$

$$Re_c = 2,465$$

6.6.4.8 Cálculo de los coeficientes convectivos de transferencia de calor de las corrientes (h).

Para determinar estos coeficientes es necesario seguir un proceso de cálculo previo. Empleando el método de Saunders¹⁰.

6.6.4.9 Cálculo de (jh_h) y (jh_c)

El método de Saunders considera el diseño de las placas, en este caso se trata de una placa chevron la misma que tiene un ángulo β de 30° . El cual nos entrega los valores de:

$$Ch = 0,348$$

$$y = 0,663$$

¹⁰ Saunders (1988)

$$jh_h = Ch * Re_h^y \quad (6.7)$$

$$jh_h = 0,773$$

$$jh_c = Ch * Re_c^y \quad (6.8)$$

$$jh_c = 0,633$$

6.6.4.10 Cálculo del número de Prandtl (Pr).

El número de prandtl depende de las características físicas del fluido en el caso del suero lácteo será calculado y en el caso del agua helada será tomado de la tabla de A.6 de Incropera.

$$Pr_c = 10,26$$

$$Pr_h = \frac{Cp * \mu}{k} \quad (6.9)$$

Dónde:

$$k = \text{Conductividad térmica del fluido} = 0,568 \left[\frac{W}{m * K} \right]$$

$$Pr_h = \frac{Cp_h * \mu_h}{k_h}$$

$$Pr_h = 8,14$$

6.6.4.11 Cálculo del número de Nussel (Nu).

El número de nussel es un parámetro adimensional.

$$Nu_h = jh_h * Pr_h^{0,33} \quad (6.10)$$

$$Nu_h = 0,70$$

$$Nu_c = jh_c * Pr_c^{0,33} \quad (6.11)$$

$$Nu_c = 0,62$$

6.6.4.12 Cálculo del coeficiente de transferencia de calor convectivo (h).

Con la información anteriormente reunida se cuenta con los suficientes datos para este cálculo.

$$h_h = \frac{Nu_h * k_h}{De} \quad (6.12)$$

Dónde:

$$k_h = \text{Conductividad térmica del fluido} = 0,568 \left[\frac{W}{m * K} \right]$$

$$h_h = 19789,45 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

$$h_c = \frac{Nu_c * k_c}{De} \quad (6.13)$$

Dónde:

$$k_c = \text{Conductividad térmica del fluido} = 0,582 \left[\frac{W}{m * K} \right]$$

$$h_c = 17490,28 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

Entonces tenemos el valor del coeficiente global de transferencia de calor (U).

$$U = \frac{1}{\left(\frac{\Delta x}{k}\right) + \left(\frac{1}{h_h}\right) + \left(\frac{1}{h_c}\right)}$$

Dónde:

$$\Delta x = \text{Espesor de la placa} = 0,00006 \text{ [m]}$$

$$k = \text{Conductividad térmica del material de fabricación de las placas} = 17 \left[\frac{W}{m * K} \right]$$

$$U = 8989,89 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

6.6.4.13 Cálculo del área total (A).

Despejando de la ecuación 2.4 obtendremos el valor del área total requerida.

$$q = U_o * A * \Delta T m l$$

$$A = \frac{q}{U_o * \Delta T m l}$$

$$A = 1,19 [m^2]$$

6.6.4.14 Cálculo del número de placas del intercambiador (Np).

Para determinar el número de placas requerida se emplea la siguiente ecuación

$$Np = \frac{A}{A_p} \tag{6.14}$$

Dónde:

$$A_p = \text{Área de la placa} = 0,0442 [m^2]$$

$$Np = 27,3 \text{ Placas}$$

6.6.5 Selección de la tubería.

6.6.5.1 Selección de la tubería para el fluido caliente (Suero Lácteo).

La tubería a emplearse en el transcurso de todo el proceso es decir a la entrada y la salida del fluido caliente es de acero inoxidable AISI 304 sanitario ya que esta permite un manejo higiénico de alimentos, sin embargo existen otros factores a tomar en cuenta para su selección los cuales presentaremos en una tabla a continuación, tomando en cuenta los datos de diseño.

Datos:

$$Q_h = 0,0001667 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Tabla 6.9: Tabla de características de las tuberías de acero AISI 304.

[Fuente: Cotización comercializadora “ADINOX S.A.” Quito]

Características de las tuberías para el fluido caliente (<i>h</i>) previo a su selección			
Descripción	Unidades	Caudal Recomendable	Costo Unitario
Tubo acero inoxidable 1” AISI 304 sanitario	Pulg.	5 -15 (lts/min)	(\$) 74,00
Tubo acero inoxidable 1 ½” AISI 304 sanitario	Pulg.	15 -40 (lts/min)	(\$) 96,50
Tubo acero inoxidable 2” AISI 304 sanitario	Pulg.	40-90 (lts/min)	(\$) 148,00

Posteriormente de haber realizado el análisis se determino que la tubería optima para realizar el diseño y la construcción de la red hidráulica para el fluido caliente es la tubería de acero inoxidable AISI 304 de tipo sanitario de 1 ½” pulgadas.

6.6.5.2 Selección de la tubería para el fluido frio (Agua Helada).

Al contrario que en la tubería del fluido frio no es necesario el empleo de tuberías de acero inoxidable por lo que se instalara tuberías de acero galvanizado de 1.5 pulgadas desde la toma del fluido que se encuentra en la cisterna del banco de agua helada hasta la entrada del intercambiador de calor, así como desde la salida del intercambiador hasta la descarga en la cisterna en mención.

Datos:

$$Q_c = 0,0001667 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Tabla 6.10: Tabla de características de las tuberías de acero galvanizado.

[Fuente: Cotización Ferretería “la casa del perno” Salcedo]

Características de las tuberías para el fluido frio (c) previo a su selección			
Descripción	Unidades	Caudal Recomendable	Costo Unitario
Tubo redondo 1 ½” galvanizado	Pulg.	1000 (lts/h)	(\$) 31,00
Tubo redondo 2” galvanizado	Pulg.	3000 (lts/h)	(\$) 38,00
Tubo redondo 2 ½” galvanizado	Pulg.	6000 (lts/h)	(\$) 56,00

Consecutivamente de haber desarrollado el análisis se estableció que la tubería optima para realizar el diseño y la construcción de la red hidráulica para el fluido frio es la tubería de acero galvanizado de 2” pulg.

6.6.6 Selección de accesorios hidráulicos

El detalle de los accesorios hidráulicos necesarios para la instalación y puesta en marcha del intercambiador de calor se presentan a continuación, destacando sus características las cuales son necesarias para los diferentes cálculos de pérdidas primarias y secundarias.

6.6.6.1 Accesorios hidráulicos para la red del fluido frio (Agua Helada)

Es necesario resaltar los accesorios necesarios para la instalación de la red del fluido frio, estos accesorios son de materiales como bronce y de acero galvanizado los cuales detallamos a continuación.

Válvula de pie. Se colocada al extremo inferior de la línea de succión de la bomba, su función es dar el paso al fluido cuando la bomba está en funcionamiento y cuando esta deja de funcionar esta válvula se cierra a fin de impedir que el fluido retorne a la cisterna de agua helada, con esto permite que la bomba permanezca cebada permanentemente.

Material: Bronce

Válvula de check. Este tipo de válvula evita que el flujo retorne su sentido normal de circulación, es decir que ayuda a que el flujo tenga una sola dirección.

Material: Bronce

Válvula de mariposa. Son de fácil manipulación y se las emplea para dar paso u obstaculizar al fluido.

Material: Hierro fundido

Junta universal. Se usan en las secciones de la tubería dónde es necesario realizar una unión de tubería, se los emplea también a la entrada y salida de la bomba así como también a la entrada y salida del intercambiador ya que su función principal es facilitar el desmontaje de las diferente secciones.

Material: Acero Galvanizado

Codo de 90°. Son empleados en la red de tubería dónde sea necesario un cambio de dirección en la tubería y se unen mediante roscas.

Material: Acero Galvanizado

6.6.6.2 Accesorios hidráulicos para la red del fluido caliente (Suero lácteo)

Para la instalación de la red del fluido caliente es necesario indicar que el material de los accesorios debe ser de acero inoxidable y se los detalla a continuación.

Válvula de mariposa. Este tipo de válvulas se emplean tanto para estrangular el paso del fluido como para regular el paso del mismo.

Material: Acero Inoxidable sanitario

Codo de 90° sanitario inox. Se emplean para realizar un cambio de dirección en una red de circulación de un fluido este tipo de codos por ser sanitario solo se lo puede unir mediante soldadura tipo Tig.

Material: Acero Inoxidable sanitario

Uniones SMS. Son uniones sanitarias empleadas en el manejo sanitario de fácil ensamble, es indispensable un empaque que se encuentra en su interior y constan de dos partes fijas las cuales se unen mediante una rosca, este tipo de uniones se juntan a la tubería mediante soldadura tipo Tig.

Material: Acero Inoxidable sanitario.

6.6.7 Diseño hidráulico

Para realizar el diseño hidráulico hemos dividido en dos secciones la primera que es la sección de circulación del fluido frío y la otra es la sección de circulación del fluido caliente, por esta razón se continuara con la notación del diseño térmico, designando para el fluido caliente con la letra (*h*) y para el fluido frío con la letra (*c*).

Datos fluido frío:

Fluido: Agua helada a 4,8 [°C]

Tubería: Acero común cedula 40 de 2 pulg.

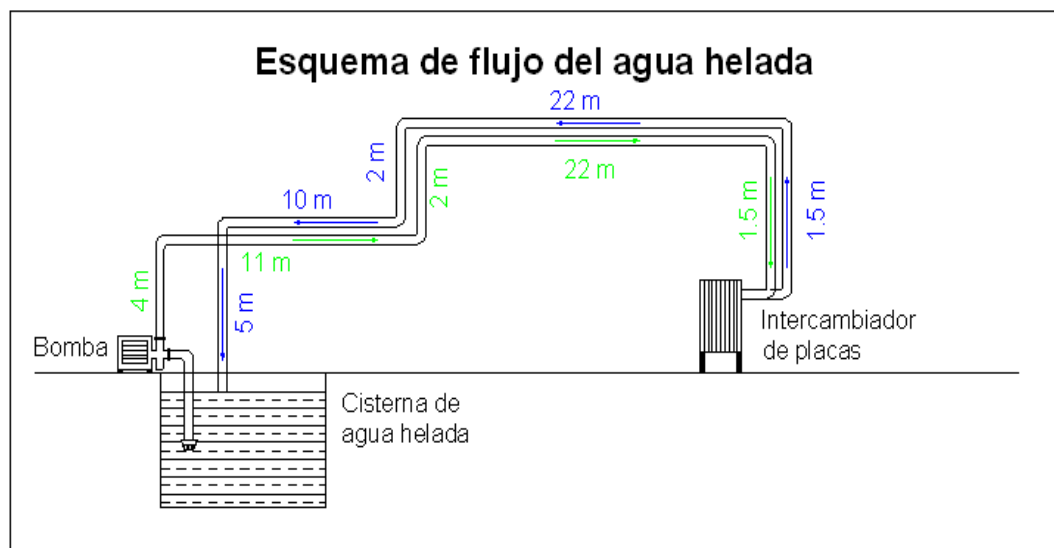


Fig. 6.3: Esquema del sistema hidráulico para el fluido frío.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Datos fluido caliente:

Fluido: Suero caliente a 30,2 [°C]

Tubería: Acero inoxidable AISI 304 tipo sanitario cedula 40 de 1½ pulg.

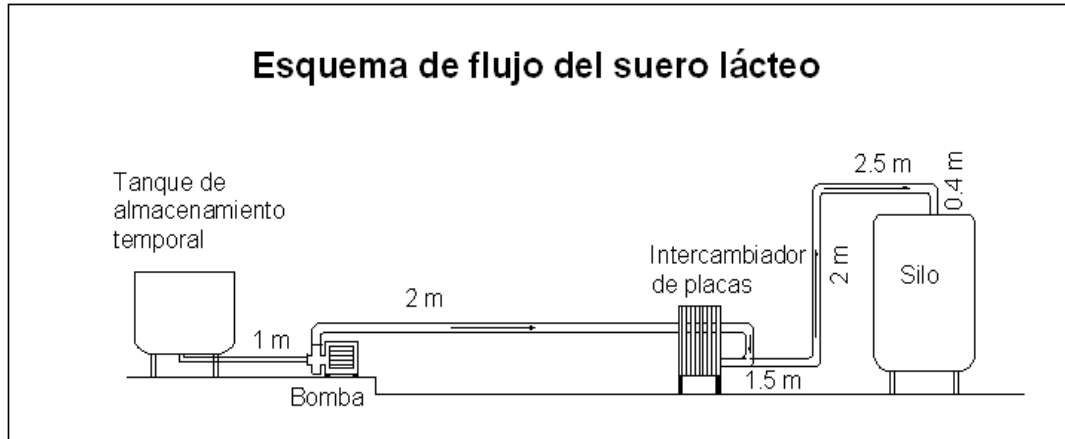


Fig. 6.4: Esquema del sistema hidráulico para el fluido caliente.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

6.6.7.1 Cálculo de pérdidas primarias y secundarias.

Es necesario tomar en cuenta las pérdidas por fricción, ya que la longitud de la tubería es considerable

Cálculo por fricción.

Mediante la figura 6.2 y 6.3 podemos observar la distancia de la tubería, así como los accesorios necesarios para su instalación.

Mediante la ecuación de Darcy Weisbach.

$$HG = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} \tag{6.15}$$

Dónde

HG = Pérdidas por fricción [m]

f = Factor de fricción [adimensional]

L = Longitud de la tubería [m]

D = Diámetro de la tubería [m]

V = Velocidad del flujo [$\frac{m}{s}$]

g = Gravedad [$\frac{m}{s^2}$]

El caudal con el que se va a trabajar son los mismos caudales que se mencionaron en los cálculos térmicos.

$$Q_h = 0,0001667 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$Q_c = 0,0001667 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Tanto el diámetro nominal de las tuberías como las características de cada uno de los fluidos se mencionan junto a los esquemas de los flujos de cada una de las redes de tuberías de la siguiente manera.

$$D_h = 1 \frac{1}{2} \text{ pulg. Tubería de acero inoxidable tipo sanitario}$$

$$D_c = 2 \text{ pulg. Tubería de acero galvanizado}$$

Con estos valores podemos obtener la velocidad de los fluidos están circulando por las tuberías mediante la aplicación de la ecuación:

$$Q = A * v \tag{6.16}$$

$$Q = \text{Caudal} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$A = \text{Área transversal de la sección} [m^2]$$

$$v = \text{Velocidad promedio del flujo} \left[\frac{m}{s} \right]$$

El área de la tubería se obtiene mediante la ecuación.

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \tag{6.17}$$

El diámetro nominal de las dos tuberías independientemente se toma en cuenta para determinar mediante tablas los valores de los diámetros internos correspondientes para cada una de ellas de la siguiente manera.

Para determinar el diámetro interno de la tubería del fluido caliente (suero lácteo) se toma en cuenta el espesor de pared ya que dicha tubería tiene especificaciones de del espesor de la pared de acuerdo a las medidas nominales, en este caso corresponde al diámetro nominal de 1 ½ pulgadas un espesor de pared de 1.5 mm

estos valores son tomados del anexo F, en dónde el diámetro interior se obtiene restando del diámetro exterior dos veces el espesor de pared.

$$D_h = 1 \frac{1}{2} \text{ pulg} \qquad D_{ext, h} = 38,1 \text{ mm} \qquad ; D_{int. h} = 35,1 \text{ mm.}$$

En el caso de la tubería del fluido frío por ser de acero galvanizado cedula 40 se tomara en cuenta de la tabla del anexo G para tuberías de este tipo de cedulas.

$$D_c = 2 \text{ pulg} \qquad D_{int. c} = 52,5 \text{ mm.}$$

$$A_h = \frac{\pi * D_h^2}{4}$$

$$A_c = \frac{\pi * D_c^2}{4}$$

$$A_h = \frac{\pi * (0,0351 \text{ m})^2}{4}$$

$$A_c = \frac{\pi * (0,0525 \text{ m})^2}{4}$$

$$A_h = 0,001 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_c = 0,0022 \text{ [m}^2\text{]}$$

Reemplazando en la ecuación del caudal obtenemos.

$$V_{1h} = \frac{Q_h}{A_h}$$

$$V_{1c} = \frac{Q_c}{A_c}$$

$$V_{1h} = \frac{0,0001667 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,001 \text{ m}^2}$$

$$V_{1c} = \frac{0,0001667 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,0022 \text{ m}^2}$$

$$V_{1h} = 0,172 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$V_{1c} = 0,077 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Con la velocidad podemos calcular el número de Reynolds mediante la siguiente ecuación.

$$Re = \frac{v \cdot D}{\gamma} \quad (6.18)$$

Dónde:

γ = Viscosidad cinemática independiente para cada fluido $\left[\frac{m^2}{s} \right]$

El valor de la viscosidad cinemática del fluido caliente (suero lácteo) se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\gamma_h = \frac{\mu_h}{\rho_h} \quad (6.19)$$

Dónde:

μ_h = Viscosidad dinámica del fluido caliente

Este valor se encuentra en el diseño térmico y es de $\mu_h = 0,00115 \left[\frac{Kg}{m \cdot s} \right]$

ρ_h = Densidad del fluido caliente, este valor se toma del valor promedio de la densidad del suero lácteo en el estudio y es de $\rho_h = 1023 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$

$$\gamma_h = \frac{0,00115 \left[\frac{Kg}{m \cdot s} \right]}{1023 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]}$$

$$\gamma_h = 1,12 E - 6 \left[\frac{m^2}{s} \right]$$

Los valores de la viscosidad cinemática para el fluido frío (agua helada) se toman del anexo D con el valor promedio que se consideró anteriormente para el diseño térmico el cual era de 4,8 °C.

$$\gamma_c = 1,35 E - 6 \left[\frac{m^2}{s} \right]$$

Reemplazamos en:

$$Re_h = \frac{v_h * D_h}{\gamma_h}$$

$$Re_c = \frac{v_c * D_c}{\gamma_c}$$

$$Re_h = \frac{0,172 \frac{m}{s} * 0,0351m}{1,12 E - 6 \frac{m^2}{s}}$$

$$Re_c = \frac{0,077 \frac{m}{s} * 0,0525 m}{1,35 E - 6 \frac{m^2}{s}}$$

$$Re_h = 5399$$

$$Re_c = 2995$$

El cálculo del factor por fricción lo realizaremos mediante la ecuación de P. k. Swamee y S. K. Jain, que se presenta a continuación.

$$f = \frac{0,25}{[\log(\frac{1}{3,7(\frac{D}{\epsilon})} + \frac{5,74}{Re^{0,9}})]^2} \quad (6.20)$$

Dónde:

ϵ = Rugosidad de conducto [adimensional]

Estos valores son tomados distintamente para cada una de las tuberías ya que este depende del material y se toman del anexo E tal es el caso que para cada una de las tuberías independientemente son los siguientes valores.

$\epsilon_h = 1,5 E - 6 m$ (tubería acero inoxidable sanitario, fluido caliente)

$\epsilon_c = 1,5 E - 4 m$ (tubería galvanizada, fluido frio)

$$f_h = \frac{0,25}{[\log(\frac{1}{3,7(\frac{D_h}{\epsilon_h})} + \frac{5,74}{Re_h^{0,9}})]^2}$$

$$f_c = \frac{0,25}{[\log(\frac{1}{3,7(\frac{D_c}{\epsilon_c})} + \frac{5,74}{Re_c^{0,9}})]^2}$$

Reemplazando los valores de rugosidad de los conductos en las ecuaciones anteriores obtenemos:

$$f_h = 0,0370$$

$$f_c = 0,0474$$

Anteriormente mencionamos la ecuación de Darcy Weisbach la cual se emplea para el cálculo de pérdidas en la tubería respectivamente para cada red y se presenta de la siguiente manera.

$$HG_h = f_h * \frac{L_h}{D_h} * \frac{v_h^2}{2g}$$

$$HG_c = f_c * \frac{L_c}{D_c} * \frac{v_c^2}{2g}$$

Para las perdidas por accesorios se emplea la siguiente ecuación.

$$HL = K * \frac{v^2}{2g} \quad (6.21)$$

$$K = f * \frac{L}{D} \quad (6.22)$$

Dónde:

K = Coeficiente de resistencia [adimensional]

L/D = Longitud equivalente en diámetros del conducto este valor se toma de las tablas del Anexo H [adimensional]

V = velocidad promedio del flujo [$\frac{m}{s}$]

f = Factor de fricción [adimensional]

El número de accesorios se detalla en la siguiente tabla tomando en cuenta la cantidad de accesorios que son necesarios para la instalación.

Tabla 6.11: Tabla de detalle de accesorios.

[Fuente: Investigación Juan pablo Garzón Chávez]

Características de las tuberías para el fluido frío (c) previo a su selección			
Descripción	Cantidad	Fluido Caliente	Fluido Frio
Tubería galvanizada de 2 pulg.	81 m		x
Codo de 90° galvanizado de 2 pulg.	10		x
Universal Galvanizado de 2 pulg.	8		x
Válvula de pie bronce de 2 pulg.	1		x
Válvula check galvanizado de 2 pulg.	1		x
Válvula de mariposa galvanizado de 2 pulg.	1		x
Tubería acero inoxidable sanitario de 1 ½ pulg.	8,4 m	x	
Codo de 90° acero inoxidable AISI 304 sanitario de 1 ½ pulg.	6	x	
Unión tipo SMS acero inoxidable sanitario 1 ½ pulg.	7	x	
Válvula de mariposa de acero inoxidable AISI 304 de 1 ½ pulg.	1	x	

Las pérdidas por fricción y perdidas en tuberías se expresan en las siguientes tablas respectivamente para cada red de tubería:

Tabla 6.12: Tabla de cálculo de pérdidas en la red del fluido caliente (suero lácteo).

[Fuente: Investigación Juan pablo Garzón Chávez]

CÁLCULO DE PERDIDAS POR ACCESORIOS Y TUBERÍA DEL FLUIDO CALIENTE							
Accesorios Inox 1 1/2 pulg.	# de Accesorios	Le/D	L/D	F	K	V ² /2g	HL=K*(V ² /2g)
V. de mariposa	1	45		0,0370	1,67	0,0015	0,003
Codo de 90°	6	30		0,0370	1,11	0,0015	0,010
						Total Accesorios	0,013
Tubería Inox 1 1/2 pulg.							
Tubería			220,47	0,0370	8,16	0,0015	0,012
						TOTAL	0,025

Tabla 6.13: Tabla de cálculo de pérdidas en la red del fluido frío (agua helada).

[Fuente: Investigación Juan pablo Garzón Chávez]

CÁLCULO DE PERDIDAS POR ACCESORIOS Y TUBERÍA DEL FLUIDO FRIO							
Accesorios HG 2 pulg.	# de Accesorios	Le/D	L/D	F	K	V ² /2g	HL=K*(V ² /2g)
V. de pie	1	75		0,0474	3,55	0,0003	0,0011
V. check	1	100		0,0474	4,74	0,0003	0,0014
V. de mariposa	1	45		0,0474	2,13	0,0003	0,0006
Codo de 90°	10	30		0,0474	1,42	0,0003	0,0004
					Total Accesorios		0,0036
Tubería HG 2 pulg.							
Tubería			1594,49	0,0474	75,51	0,0003	0,0228
					TOTAL		0,0264

Cálculo de la cabeza total de las bombas

Para encontrar el valor de la cabeza total de cada una de las bombas debemos aplicar la ecuación de Bernoulli en cada una de las redes de los fluidos, tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

1. La presión en el punto A para los dos sistemas es cero debido a que están expuestos a la atmosfera.
2. La presión en el punto B para los dos sistemas es cero debido a que están los fluidos tienen corrientes libres expuestas a la atmósfera.
3. La velocidad en A es cero independientemente para cada sistema debido a que al inicio los fluidos se encuentran en reposo.
4. La velocidad en B es cero puesto que los diámetros de las tuberías son iguales que en el punto A para los dos sistemas de tuberías.
5. El nivel de referencia se encuentra en el punto A.

$$\frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} + z_A - H_G - H_L + H_B = \frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} + z_B \quad (6.23)$$

Dónde:

P_A = Presión en el punto A [KPa]

P_B = Presión en el punto B [KPa]

V_A = Velocidad en el punto A [$\frac{m}{s}$]

V_B = Velocidad en el punto A [$\frac{m}{s}$]

z_A = Nivel del punto A [m]

z_B = Nivel del punto B [m]

H_G = Pérdidas por Fricción [m]

H_L = Pérdidas por Accesorios [m]

H_B = Energía que entrega la bomba [m]

γ = Peso específico del fluido [$\frac{KN}{m^3}$]

g = Gravedad [$\frac{m}{s^2}$]

Tomando en cuenta las consideraciones detalladas anteriormente la ecuación se reduce a la siguiente expresión:

$$H_B = Z_B + (H_G + H_L)$$

Independientemente para cada sistema se presenta de la siguiente forma:

$$H_{B,h} = Z_{B,h} + (H_{G,h} + H_{L,h})$$

$$H_{B,c} = Z_{B,c} + (H_{G,c} + H_{L,c})$$

Es necesario resaltar que en el transcurso de la investigación se obtuvo información en¹¹, la cual menciona que en el diseño hidráulico de intercambiadores de calor de tipo placas es necesario tomar en cuenta que por cada metro cuadrado de superficie del intercambiador de calor es necesario tomar en consideración 1,75 metros de pérdidas hidráulicas internas.

Por lo tanto debemos sumar 1,75 metros a los dos sistemas.

$$H_{B,h} = 2 \text{ m} + 0,025 + 1,75$$

$$H_{B,c} = 4,5 \text{ m} + 0,0264 + 1,75$$

$$H_{B,h} = 3,775 \text{ [m]}$$

$$H_{B,c} = 6,2764 \text{ [m]}$$

Selección de la bomba para la red del sistema de fluido caliente (suero lácteo)

En este caso se toma en cuenta los valores de $H_{B,h} = 3,775 \text{ [m]}$ y $Q_h = 0,6 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$, con estos valores acudimos a las curvas características de las bombas Goulds que en este caso necesariamente deben ser de tipo sanitario las cuales presentamos en el anexo I.

¹¹ COMEVAL, S.L- Departamento técnico especificaciones de diseño de pasteurizadores.

El punto determinado por el caudal y la altura manométrica se sitúa en la curva correspondiente a la bomba trifásica 1ST de 0,5 hp a 3500RPM.

Selección de la bomba para la red del sistema de fluido frío (agua helada)

Se debe tomar en cuenta los valores que corresponden al fluido frío indicando que en este caso no es necesaria una bomba especial, con los siguientes valores $H_{B,c} = 6,2764 [m]$ y $Q_c = 0,6 [\frac{m^3}{h}]$, acudimos a las curvas características de las bombas centrífugas Pedrollo indicadas en el anexo I.

El punto determinado por el caudal y la altura manométrica se sitúa en la curva correspondiente a la bomba trifásica CP 650M de 1.5 Hp a 3450 RPM

6.6.8 Diseño mecánico.

La base del intercambiador de calor fue diseñada con la ayuda del programa SolidWorks. En este punto es necesario tomar en cuenta dos consideraciones fundamentales de diseño:

1. Material es un perfil UPN de 50x25x5 de acero ASTM A36 del cual se encuentra sus especificaciones técnicas en el ANEXO J.
2. Peso del intercambiador de calor 107,35 Kg, este peso se toma del peso que nos entrega el programa solidworks.
3. El peso nos sirve para calcular la fuerza que actúa sobre la base del intercambiador de calor, tomando en cuenta un incremento del 20% esto debido al peso de los fluidos y esto obtenemos aplicando la siguiente ecuación:

$$W = m * 20\% \tag{6.24}$$

$$W = 107,35 \text{ Kg} * 20\%$$

$$W = 128,82 \text{ Kg} = 234,22 \text{ lb}$$

De acuerdo al manual AISC si toda sección es compacta es esfuerzo permisible es igual a:

$$\sigma_{permisible} = 0,6 Fy \quad (6.25)$$

Por ser el material un acero A 36 el cual posee un límite de fluencia $Fy = 36 \text{ kPsi}$

$$\sigma_{permisible} = 0,6 * 36 \text{ kPsi}$$

$$\sigma_{permisible} = 21,6 \text{ kPsi}$$

$$\sigma_{real} \ll \sigma_{permisible}$$

$$\sigma_{real} = \frac{W}{A} \quad (6.25)$$

Dónde:

W = Peso total del intercambiador [lb]

A = Área [plg^2]

$$A = 31 * 5 \text{ cm}^2$$

$$A = 155 \text{ cm}^2 = 24,03 \text{ plg}^2$$

$$\sigma_{real} = \frac{234,22 \text{ lb}}{24,03 \text{ plg}^2}$$

$$\sigma_{real} = 9,75 \text{ Psi}$$

$$9,75 \text{ Psi} \ll 21,6 \text{ kPsi}$$

6.7 Metodología

Posteriormente de haber realizado los diferentes cálculos y la selección de materiales adecuada se procedió a construir el intercambiador de calor de tipo placas para aquello es necesario describir los elementos que conforman las instalaciones del sistema.

6.7.1 Accesorios de la instalación hidráulica

Codo de 90°

El codo a 90 es en ángulo recto y permite unir dos tubos y cambiar la dirección en una esquina.



Fig. 6.6: Codo de 90°.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Universal

Es un accesorio designado para la instalación y reparación de sistemas de distribución de agua potable. Por su singular forma y movimiento permite unir tramos en los que se hayan realizado cortes de segmento de tubería.



Fig. 6.7: Junta Universal.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Válvula de pie

Es instalada en la parte inicial de la tubería de succión, el cual permite retener el fluido en el instante en que la bomba deja de funcionar.



Fig. 6.8: Válvula de pie.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Válvula check

Este tipo de válvulas tienen por objeto cerrar por completo el paso del fluido en circulación en un sentido y dejarlo libre en el contrario.



Fig. 6.9: Válvula check.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Válvula de mariposa

Es un dispositivo para interrumpir o regular el flujo de un fluido en un conducto, aumentando o reduciendo la sección de paso mediante una placa, denominada mariposa, que gira sobre un eje.



Fig. 6.10: Válvula tipo mariposa.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Unión SMS

Este tipo de uniones son de tipo sanitario las cuales se emplean en la industria alimenticia y en especial en la industria láctea ya que son fáciles de ensamblar en el instante del montaje de las líneas de tubería.



Fig. 6.11: Unión tipo SMS.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

6.7.2 Accesorios de la instalación eléctrica

Tablero metálico eléctrico

Estos tableros contienen dispositivos de protección y de maniobra o únicamente dispositivos de maniobra los cuales permiten la operación de maquinas o equipos en forma individual o en conjunto.



Fig. 6.12: Gabinete metálico.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Pulsador ON/OFF

Es un interruptor de encendido y apagado por medio de un pulsador que da la oportunidad de cambiar el pulsador por un circuito de control.



Fig. 6.13: Pulsador ON/OFF.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Relé térmico de 5 a 8 amperios

Son los aparatos más utilizados para proteger los motores contra las sobrecargas débiles y prolongadas, los cuales se los encuentra en el mercado en corriente alterna o continua.



Fig. 6.14: Relé térmico.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Breaker trifásico de 32 amperios

Un breaker es un dispositivo de protección el cual al presentarse un corto circuito, muestra una respuesta inmediata cortando la entrada principal de energía.



Fig. 6.15: Breaker trifásico.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Cable 3x12 AWG

Este tipo de cables se los emplea para las conexiones de potencia de los tableros eléctricos de potencia y por lo general se los emplea en conexiones trifásicas.



Fig. 6.16: Cable 3x12.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Cable flexible # 18 AWG

Estos tipos de cable se los emplea en los tableros eléctricos para la conexión de los mandos o controles es por ello que no se requiere de un cable de un diámetro considerable.



Fig. 6.17: Cable # 18 AWG.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

6.7.3 Base

La base está construida de un perfil en UPN de acero ASTM A36 de 50x25x5 mm, la cual soporta en el piso la totalidad del peso del intercambiador de calor.



Fig. 6.18: Perfil UPN 50x25x5.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

6.8 Administración

Posteriormente de haber realizado el diseño, la construcción, el montaje y las respectivas pruebas de funcionamiento del intercambiador de calor de tipo placas es necesario realizar una operación adecuada del equipo y un mantenimiento frecuente para evitar el deterioro del mismo, tomando en cuenta que debemos mantener una higiene alta es necesario también presentar un plan de limpieza diario y semanal.

6.8.1 Planeación

6.8.1.1 Manual de mantenimiento del intercambiador de calor

Para obtener una prolongada vida útil del intercambiador es necesario seguir las siguientes instrucciones:

1. Recambio de preno estopas y sellos mecánicos de las bombas

El recambio de las preno estopas y sellos mecánicos son muy importante ya que estos accesorios evitan la filtración o fuga de los fluidos por la turbina, los fabricantes de bombas Goulds recomiendan la el recambio de estos elementos y la revisión de las bombas cada 2500 horas de funcionamiento.

Responsable: Técnico mecánico del área de mantenimiento.

2. Limpieza y revisión del tablero eléctrico

Es necesario llevar a cabo una limpieza adecuada del tablero de control eléctrico ya que esto ayudara a evitar la acumulación de polvo y la falla de los relés, esto se lo realizara con una frecuencia mensual.

Responsable: Técnico eléctrico del área de mantenimiento.

3. Inspección de fugas en las tuberías del fluido frio y del fluido caliente

Esta inspección se realizara con una frecuencia semanal durante la inspección general que se realiza a todas las instalaciones de la planta, con ello determinando la acción que se debe realizar en las mismas.

Responsable: Coordinador del área de mantenimiento.

4. Recambio de empaques SMS de las tuberías del fluido caliente

Estos elementos serán remplazados con una frecuencia de dos meses y en el caso que exista desgaste o fuga por estas uniones serán reemplazados inmediatamente.

Responsable: Técnico mecánico del área de mantenimiento.

5. Revisión y limpieza de filtros de las tuberías del fluido frio

Las tuberías de fluido frio tienen un filtro para retener partículas sólidas que por diversas circunstancias se acumulan en la cisterna de agua helada, es por esta razón que es necesario limpiarlos periódicamente en lapsos de un mes conjuntamente con la limpieza del tablero eléctrico.

Responsable: Técnico mecánico del área de mantenimiento.

6.8.1.2 Manual de limpieza del intercambiador de calor

Como se ha mencionado anteriormente al ser alimentos los que se manejan dentro de este equipo es necesario tener un grado de limpieza optimo tanto en el intercambiador de calor como en las tuberías del fluido caliente (**suero lácteo**) tomando en cuenta los siguientes pasos.

1. Primer enjuague (Agua fría)

Este paso es necesario para retirar todos los residuos de suero lácteo e impurezas que se retienen en el intercambiador de calor y en las tuberías.

Tiempo de ejecución: 10 minutos.

Responsable: Operario de equipos del área de quesos.

2. Recirculación de solución de Ácido Nítrico

Es necesario tener en cuenta que esta disolución se aplica para eliminar por completo los residuos e incrustaciones que se generan dentro de las tuberías y las placas, debemos tomar en cuenta que esta solución solo se los puede aplicar al acero inoxidable y se lo mantiene en recirculación.

El ácido nítrico se lo aplica en proporción de 2% es decir para cada 100 litros de Agua se aplica 2 litro de Ácido nítrico, posteriormente se eleva la temperatura a 80 °C.

Es preciso aclarar en este paso que se debe utilizar los equipos de protección personal adecuados, los cuales previamente son dotados e indicados tanto su funcionamiento y modo de empleo, y son los siguientes.

- Guantes de butilo: Resistente a aldehídos, cetonas, esteres y ácidos minerales concentrados, poseen excelente destreza y flexibilidad¹²



Fig. 6.19: Guantes de butilo.

[Fuente: Ficha técnica guantes de butilo, Abonos Colombianos S.A.]

¹² Ficha técnica guantes de butilo, Abonos Colombianos S.A

- **Máscara antigás o (full face):** Una máscara antigás es un dispositivo de uso individual, que se ajusta a la cabeza para proteger de vapores y gases venenosos. Consta de un cuerpo fabricado de un material flexible que se adapta a la cara, unas protecciones plásticas para los ojos y una válvula para expulsar el aire¹³.



Fig. 6.20: Mascarilla antigás (full face).

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

- **Delantal:** Un Delantal es una prenda protectora externa que cubre sobre todo el frente del cuerpo. Puede ser usado por razones higiénicas así como para proteger la ropa frente al desgaste y el desgarro¹⁴.



Fig. 6.21: Delantal.

[Fuente: Investigación Juan Pablo Garzón Chávez]

Tiempo de ejecución: 30 minutos.

Responsable: Operario de equipos del área de quesos.

¹³ http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A1scara_antig%C3%A1s

¹⁴ <http://es.wikipedia.org/wiki/Delantal>

Nota: En este punto es necesario describir las características y los riesgos del ácido nítrico según la NFPA que detallaremos a continuación.

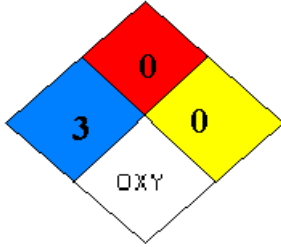
ROTULO NFPA 704 ASIGNADO		
	SALUD	3
	INCENDIO	0
	REACTIVIDAD	0
	ESPECIFICO	OXY

Fig. 6.22: Especificaciones NFPA para el ácido nítrico.

[Fuente: Ficha técnica del ácido nítrico, Abonos Colombianos S.A.]

3. Segundo enjuague (agua caliente 80 °C)

En esta etapa se eliminan los residuos de ácido nítrico que se incrustan en las tuberías y el intercambiador de calor, tomando en cuenta que posteriormente de realizar el enjuague no debe quedar residuos líquidos de la solución de ácido nítrico.

Tiempo de ejecución: 20 minutos.

Responsable: Operario de equipos del área de quesos.

4. Tercer enjuague (agua caliente 90 °C)

Esta etapa de la limpieza se lo realiza para eliminar por completo microorganismos que se incrustan entre las juntas, los empaques y en todos los lugares donde puedan acumularse y con ello garantizar la esterilidad del equipo para su próximo uso.

Tiempo de ejecución: 20 minutos.

Responsable: Operario de equipos del área de quesos.

6.8.2 Organización

Para obtener los beneficios esperados del intercambiador de calor es necesario asignar funciones a las personas encargadas tanto como de su empleo como de su limpieza y mantenimiento.

El operario de los quesos. Es la persona encargada de activar y desactivar las bombas tanto del fluido frío (**agua helada**) como del fluido caliente (**suero lácteo**), el cual será activado desde una botonera instalada en una caja térmica en el área de producción de quesos, esta persona a su vez es la responsable de la limpieza del intercambiador de calor y el sistema de tuberías del fluido caliente (**suero lácteo**).

Personal de mantenimiento. El personal de mantenimiento es el encargado de realizar los respectivos mantenimientos los cuales fueron detallados en el subcapítulo anterior, también serán encargados de la reubicación en el caso que fuere necesario.

6.8.3 Dirección

La manipulación estará a cargo del operario de quesos, para esto se detalló sus funciones específicas en el literal 6.8.2, tomando en cuenta que si existiera un cambio de personal en esta área el departamento de talento humano solicitara la capacitación de la persona mencionada por parte del departamento de mantenimiento.

6.8.4 Control

En el transcurso de la jornada es necesario controlar el desempeño de todo el sistema, esto se va a identificar mediante las muestras que van a ser analizadas por el técnico responsable del laboratorio de análisis físico químico, los cuales identificarán especialmente la temperatura, en el caso de existir una anomalía en este parámetro se notificara inmediatamente al COORDINADOR DE MANTENIMIENTO para que el revise y tome las acciones correspondientes.

6.9 Previsión de la evaluación

En lo posterior si se identifica un incremento sustancial de la producción de quesos y por ende un incremento de la temperatura de salida del fluido caliente se puede realizar una re potenciación del sistema mediante el incremento de placas de transferencia de calor.

En un futuro se podría optar también por el incremento en el sistema de un sensor de temperatura que le permita al responsable del laboratorio de análisis físico químico identificar por inspección visual la temperatura de salida del fluido caliente.

MATERIALES DE REFERENCIA

Bibliografía

- INCROPERA, Frank (1999). Fundamentos de transferencia de calor. Editorial Pretince Hall. México.
- CENGEL, Yunus (2003). Transferencia de calor. Segunda edición. Editorial Mc Graw-Hill. México.
- CENGEL, Yunus (2003). Termodinámica. Quinta edición. Editorial Mc Graw-Hill. México.
- CABRERA, Santiago (2010). Teoría de la termodinámica de procesos. Ambato-Ecuador.
- MATAIX, Claudio (1982). Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas. Editorial Oxford. México.
- MOTT, Robert (2006). Mecánica de fluidos. Editorial Pearson. México.
- PERRY, Roberth (2001). Manual del ingeniero químico. Editorial Mc Graw-Hill. España.
- MAVALLONE, Eugene (1995). Manual del ingeniero mecánico (marks). Editorial Mc Graw-Hill. México.
- NARANJO, y otros (2008), Tutoría de la investigación científica. Ambato Ecuador.
- TAFUR, Raúl (1995). La tesis universitaria. Editorial Mantaro. Lima.
- SÁNCHEZ, Teresa (2003). Procesos de elaboración de alimentos y bebidas. Editorial OMV. Madrid-España.
- ALVARADO, Juan (1996). Principios de ingeniería aplicada a alimentos. Ambato-Ecuador.



Linkcografía

- <http://www.gea-phe.com/themes/products/gasketed-plate-heat-exchangers-ecoflex/nt-series/>
- <http://pdf.monografias.com/control-de-calidad-en-leche.html>
- www.shivshaktiindustries.com/spanish/dinb.html
- <http://www.thermopedia.com/content/832/>
- <http://www.universidades.com/carreras/ingenieria-mecanica.asp>.
- <http://gouldspumps.com/Products/List.aspx?t=Keyword&q=centrifugal>
- <http://www.pedrollo.com/es/producto.php?id=11>



ANEXOS

Anexo A



A.1 Datos del análisis del día 1 de las muestras del suero lácteo “Estudio”

	REGISTRO DE ANÁLISIS DIARIO SOBRE LA INVESTIGACIÓN DEL SUERO LÁCTEO					 <i>¡ Sabor y confianza!</i>	
	Temperatura promedio del día: 19 °C						
	Fecha: Martes 27 de Marzo del 2012						
Autor:	Egdo: Juan Pablo Garzón Chávez					Día:	1
Analista:	Tlgo: José Luis Medina						
Producto:	Suero Lácteo		Cantidad de suero lácteo :			200 litros	
Número de Parada	Hora	Temperatura (°C)	Acidez °D	pH	Densidad (gr/cm ³)	Materia Grasa (%)	T. Agua helada (°C)
Suero Caliente	8:15	29	9	6.61	1.022	1.3	-
	10:15	24	9	6.60	1.023	1.3	-
	12:15	22	10	6.54	1.023	1.3	-
	14:15	20	11	6.49	1.023	1.3	-
Suero enfriado por tubos concéntricos	9:55	28	9	6.61	1.022	1.3	16
	10:15	18	9	6.61	1.024	1.3	16
	12:15	18	9	6.60	1.024	1.3	-
	14:15	19	9	6.59	1.024	1.3	-
Suero enfriado por placas	10:10	28	9	6.61	1.022	1.3	5
	10:15	7	9	6.61	1.025	1.3	5
	12:15	7	9	6.61	1.025	1.3	-
	14:15	7	9	6.60	1.025	1.3	-
Observaciones:							
Firma analista responsable :					Firma del autor:		



A.2 Datos del análisis del día 2 de las muestras del suero lácteo “Estudio”

	REGISTRO DE ANÁLISIS DIARIO SOBRE LA INVESTIGACIÓN DEL SUERO LÁCTEO					 <i>¡ Sabor y confianza!</i>	
	Temperatura promedio del día: 17 °C						
	Fecha: Miércoles 28 de Marzo del 2012						
Autor:	Egdo: Juan Pablo Garzón Chávez					Día:	2
Analista:	Tlgo: José Luis Medina						
Producto:	Suero Lácteo		Cantidad de suero lácteo :		200 litros		
Tipo de Muestra	Hora	Temperatura (°C)	Acidez °D	pH	Densidad (gr/cm ³)	Materia Grasa (%)	T. Agua helada (°C)
Suero Caliente	8:05	31	10	6.55	1.023	1.5	-
	10:05	25	10	6.53	1.024	1.5	-
	12:05	23	11	6.48	1.024	1.5	-
	14:05	20	12	6.39	1.025	1.5	-
Suero enfriado por tubos concéntricos	9:30	30	10	6.55	1.023	1.5	15
	9:50	18	10	6.55	1.025	1.5	15
	12:05	19	10	6.55	1.025	1.5	-
	14:05	20	10	6.53	1.025	1.5	-
Suero enfriado por placas	10:00	28	10	6.55	1.023	1.5	6
	10:05	8	10	6.54	1.026	1.5	6
	12:05	8	10	6.54	1.026	1.5	-
	14:05	8	10	6.54	1.026	1.5	-
Observaciones:							
Firma analista responsable :					Firma del autor:		



A.3 Datos del análisis del día 3 de las muestras del suero lácteo “Estudio”

	REGISTRO DE ANÁLISIS DIARIO SOBRE LA INVESTIGACIÓN DEL SUERO LÁCTEO						
	Temperatura promedio del día: 20 °C						
	Fecha: Jueves 29 de Marzo del 2012						
Autor:	Egdo: Juan Pablo Garzón Chávez					Día:	3
Analista:	Tlgo: José Luis Medina						
Producto:	Suero Lácteo		Cantidad de suero lácteo :		200 litros		
Tipo de Muestra	Hora	Temperatura (°C)	Acidez °D	pH	Densidad (gr/cm ³)	Materia Grasa (%)	T. Agua helada (°C)
Suero Caliente	8:20	31	10	6.53	1.024	1.5	-
	10:20	26	11	6.48	1.025	1.5	-
	12:20	23	12	6.40	1.025	1.5	-
	14:20	22	12	6.34	1.026	1.5	-
Suero enfriado por tubos concéntricos	9:10	30	10	6.52	1.024	1.5	16
	9:30	19	10	6.52	1.026	1.5	16
	12:20	20	11	6.49	1.026	1.5	-
	14:20	21	11	6.46	1.026	1.5	-
Suero enfriado por placas	9:30	29	10	6.52	1.024	1.5	3
	9:37	5	10	6.52	1.027	1.5	3
	12:20	5	10	6.52	1.027	1.5	-
	14:20	6	10	6.51	1.027	1.5	-
Observaciones:							
Firma analista responsable :					Firma del autor:		

A.4 Datos del análisis del día 4 de las muestras del suero lácteo “Estudio”

	REGISTRO DE ANÁLISIS DIARIO SOBRE LA INVESTIGACIÓN DEL SUERO LÁCTEO						 <i>¡ Sabor y confianza!</i>	
	Temperatura promedio del día: 18 °C							
	Fecha: Viernes 30 de Marzo del 2012							
Autor:	Egdo: Juan Pablo Garzón Chávez						Día:	4
Analista:	Tlgo: José Luis Medina							
Producto:	Suero Lácteo		Cantidad de suero lácteo :			200 litros		
Tipo de Muestra	Hora	Temperatura (°C)	Acidez °D	pH	Densidad (gr/cm ³)	Materia Grasa (%)	T. Agua helada (°C)	
Suero Caliente	8:10	29	9	6.63	1.021	1.2	-	
	10:10	25	9	6.61	1.022	1.2	-	
	12:10	23	9	6.56	1.022	1.2	-	
	14:10	20	10	6.51	1.022	1.2	-	
Suero enfriado por tubos concéntricos	9:00	28	9	6.61	1.021	1.2	17	
	9:25	19	9	6.60	1.023	1.2	17	
	12:10	19	9	6.60	1.023	1.2	-	
	14:10	19	9	6.59	1.023	1.2	-	
Suero enfriado por placas	9:55	27	9	6.59	1.021	1.2	8	
	10:00	10	9	6.59	1.024	1.2	8	
	12:10	10	9	6.59	1.024	1.2	-	
	14:10	10	9	6.59	1.024	1.2	-	
Observaciones:								
Firma analista responsable :					Firma del autor:			

A.5 Datos del análisis del día 5 de las muestras del suero lácteo “Estudio”

	REGISTRO DE ANÁLISIS DIARIO SOBRE LA INVESTIGACIÓN DEL SUERO LÁCTEO							
	Temperatura promedio del día: 22 °C						<i>¡ Sabor y confianza! </i>	
	Fecha: Lunes 02 de Abril del 2012							
Autor:	Egdo: Juan Pablo Garzón Chávez						Día:	5
Analista:	Tlgo: José Luis Medina							
Producto:	Suero Lácteo		Cantidad de suero lácteo :			200 litros		
Tipo de Muestra	Hora	Temperatura (°C)	Acidez °D	pH	Densidad (gr/cm ³)	Materia Grasa (%)	T. Agua helada (°C)	
Suero Caliente	8:45	31	11	6.49	1.023	1.3	-	
	10:45	28	11	6.41	1.023	1.3	-	
	12:45	25	12	6.36	1.024	1.3	-	
	14:45	24	14	6.29	1.024	1.3	-	
Suero enfriado por tubos concéntricos	9:15	30	11	6.49	1.023	1.3	19	
	9:40	21	11	6.48	1.025	1.3	19	
	12:45	21	12	6.38	1.025	1.3	-	
	14:45	22	13	6.32	1.025	1.3	-	
Suero enfriado por placas	10:15	30	11	6.48	1.023	1.3	6	
	10:22	8	11	6.47	1.026	1.3	6	
	12:45	8	11	6.47	1.026	1.3	-	
	14:45	8	11	6.47	1.026	1.3	-	
Observaciones:								
Firma analista responsable :					Firma del autor:			

Anexo B

Características de las placas de enfriamiento Varitherm 4 tipo p, empleadas en el intercambiador de calor.



Tuchenhagen

Plate Heat Exchanger System - VARITHERM® 4



Application

The Plate Heat Exchanger VARITHERM® 4 is generally used for heating and cooling fluids as well as for condensing vapours. Due to its very high regenerative efficiency, the system is specially suitable for heat recovery.

The VARITHERM® 4 has been certified according to 3A Sanitary Standards.

Design

The VARITHERM® 4 is a compact, expandable, high performance heat exchanger. It contains packs of corrugated plates sealed with gaskets, compressed in a frame by 2 deflection resistant end plates and tightened with bolts. Different plate packs separated in sections by intermediate plates allow the performance of several independent

Plate

- P-plates with V-shaped profile, very high heat transfer, a relatively high pressure drop and highest differential pressure resistance.
The plates of the same type and gasket are compiled in packs with the alternate plate rotated by 180°.
- Gasket fixed with adhesive.

VARITHERM® 4

Technical Data

Plate materials

1.4401/AISI 316
1.4439/AISI 317
1.4529/254 SMO
Titanium

Gasket materials

EPDM
NBR
Viton®

Operating pressure

Standard pressure stages up to 25 bar

Volume flow

up to 10 m³/h

Heat transfer surface

0,0442 m² each plate

Connections

Unions DN 32
DN 20 for intermediate plates, acc. to
DIN 11851/SMS/IDF/TRI-CLAMP

Frame

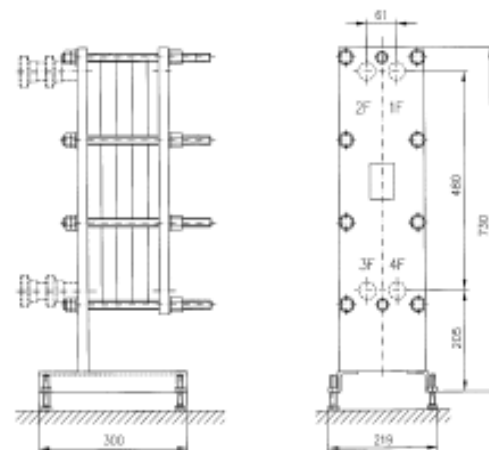
Chromium nickel steel, matt

Frame

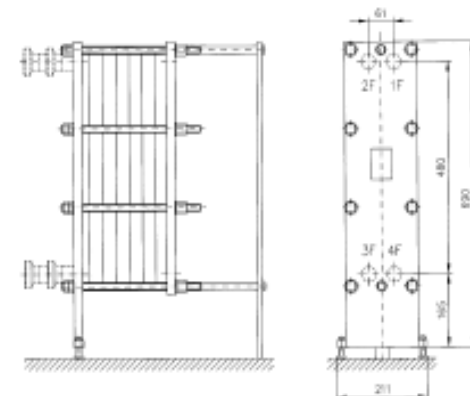
Tuchenhagen offers two standard frame types with lateral, easy-to-maintain bolt compression.

- CDSC frames accommodate short pack lengths of up to 135 mm
- CDLC frames are suitable for plate pack lengths of up to 435 mm

Parts exposed to compressed stress have been designed in strict conformity with the AD instruction sheet, ASME-Code and the regulations of international classification societies. Development and design meet the German pressure vessel regulations from 1st July 1980 and have been tested by the German Technical Control Board (TÜV).



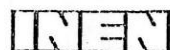
CDSC-16



CDLC-16

Anexo C

Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 708:2009



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 708:2009
Segunda revisión

BEBIDA DE LECHE CON INGREDIENTES. REQUISITOS

Primera Edición

DRINK OF MILK WITH INGREDIENTS. REQUIREMENTS.

First Edition

DESCRIPTORES: Tecnología de los alimentos, leche y producto lácteos procesados, bebida de leche con ingredientes, requisitos.
AL 03.01-428
CDU: 637.14
CIIU: 3112
ICS: 67.100.10

Anexo D

Propiedades del agua

Temperatura (°C)	Peso específico γ (kN/m ³)	Densidad ρ (kg/m ³)	Viscosidad dinámica η (Pa·s)	Viscosidad cinemática ν (m ² /s)
0	9.81	1000	1.75×10^{-3}	1.75×10^{-6}
5	9.81	1000	1.52×10^{-3}	1.52×10^{-6}
10	9.81	1000	1.30×10^{-3}	1.30×10^{-6}
15	9.81	1000	1.15×10^{-3}	1.15×10^{-6}
20	9.79	998	1.02×10^{-3}	1.02×10^{-6}
25	9.78	997	8.91×10^{-4}	8.94×10^{-7}
30	9.77	996	8.00×10^{-4}	8.03×10^{-7}
35	9.75	994	7.18×10^{-4}	7.22×10^{-7}
40	9.73	992	6.51×10^{-4}	6.56×10^{-7}
45	9.71	990	5.94×10^{-4}	6.00×10^{-7}
50	9.69	988	5.41×10^{-4}	5.48×10^{-7}
55	9.67	986	4.98×10^{-4}	5.05×10^{-7}
60	9.65	984	4.60×10^{-4}	4.67×10^{-7}
65	9.62	981	4.31×10^{-4}	4.39×10^{-7}
70	9.59	978	4.02×10^{-4}	4.11×10^{-7}
75	9.56	975	3.73×10^{-4}	3.83×10^{-7}
80	9.53	971	3.50×10^{-4}	3.60×10^{-7}
85	9.50	968	3.30×10^{-4}	3.41×10^{-7}
90	9.47	965	3.11×10^{-4}	3.22×10^{-7}
95	9.44	962	2.92×10^{-4}	3.04×10^{-7}
100	9.40	958	2.82×10^{-4}	2.94×10^{-7}

Anexo E

Rugosidad de conductos

Material	Rugosidad ϵ (m)	Rugosidad ϵ (pie)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	3.0×10^{-7}	1.0×10^{-6}
Tubo extruido; cobre, latón y acero	1.5×10^{-6}	5.0×10^{-6}
Acero, comercial o soldado	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
Hierro galvanizado	1.5×10^{-4}	5.0×10^{-4}
Hierro dúctil, recubierto	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Hierro dúctil, no recubierto	2.4×10^{-4}	8.0×10^{-4}
Concreto, bien fabricado	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Acero remachado	1.8×10^{-3}	6.0×10^{-3}

Anexo F

Tuberías de acero inoxidable sanitario



Tubería Sanitaria de acero inoxidable sin costura, Pulido Interno 420 grit y pulido externo 320 grit
Fabricada bajo el standard ASTM A-270



codigo	Diámetro externo en pulgadas	Diámetro externo en mm	Espesor de Pared	longitud de cada tubo	Material
W-20143	1"	25.4mm	1.5mm	6 metros	Tipo-304
W-20144	1 1/2"	38.1mm	1.5mm	6 metros	Tipo-304
W-20145	2"	50.8mm	1.5mm	6 metros	Tipo-304
W-20146	2 1/2"	63.5mm	1.5mm	6 metros	Tipo-304
W-20147	3"	76.2mm	2.0mm	6 metros	Tipo-304
W-20148	4"	101.60mm	2.0mm	6 metros	Tipo-304

Anexo G

Tuberías cedula 40

TABLA F.1 Calibre 40.

Tamaño nominal de la tubería (pulgadas)	Diámetro exterior		Grosor de la pared		Diámetro interior			Área de flujo	
	(pulg)	(mm)	(pulg)	(mm)	(pulg)	(pie)	(mm)	(pie ²)	(m ²)
1/8	0.405	10.3	0.068	1.73	0.269	0.0224	6.8	0.000 394	3.660 × 10 ⁻⁵
1/4	0.540	13.7	0.088	2.24	0.364	0.0303	9.2	0.000 723	6.717 × 10 ⁻⁵
3/8	0.675	17.1	0.091	2.31	0.493	0.0411	12.5	0.001 33	1.236 × 10 ⁻⁴
1/2	0.840	21.3	0.109	2.77	0.622	0.0518	15.8	0.002 11	1.960 × 10 ⁻⁴
3/4	1.050	26.7	0.113	2.87	0.824	0.0687	20.9	0.003 70	3.437 × 10 ⁻⁴
1	1.315	33.4	0.133	3.38	1.049	0.0874	26.6	0.006 00	5.574 × 10 ⁻⁴
1 1/4	1.660	42.2	0.140	3.56	1.380	0.1150	35.1	0.010 39	9.653 × 10 ⁻⁴
1 1/2	1.900	48.3	0.145	3.68	1.610	0.1342	40.9	0.014 14	1.314 × 10 ⁻³
2	2.375	60.3	0.154	3.91	2.067	0.1723	52.5	0.023 33	2.168 × 10 ⁻³
2 1/2	2.875	73.0	0.203	5.16	2.469	0.2058	62.7	0.033 26	3.090 × 10 ⁻³
3	3.500	88.9	0.216	5.49	3.068	0.2557	77.9	0.051 32	4.768 × 10 ⁻³
3 1/2	4.000	101.6	0.226	5.74	3.548	0.2957	90.1	0.068 68	6.381 × 10 ⁻³
4	4.500	114.3	0.237	6.02	4.026	0.3355	102.3	0.088 40	8.213 × 10 ⁻³
5	5.563	141.3	0.258	6.55	5.047	0.4206	128.2	0.139 0	1.291 × 10 ⁻²
6	6.625	168.3	0.280	7.11	6.065	0.5054	154.1	0.200 6	1.864 × 10 ⁻²
8	8.625	219.1	0.322	8.18	7.981	0.6651	202.7	0.347 2	3.226 × 10 ⁻²
10	10.750	273.1	0.365	9.27	10.020	0.8350	254.5	0.547 9	5.090 × 10 ⁻²
12	12.750	323.9	0.406	10.31	11.938	0.9948	303.2	0.777 1	7.219 × 10 ⁻²
14	14.000	355.6	0.437	11.10	13.126	1.094	333.4	0.939 6	8.729 × 10 ⁻²
16	16.000	406.4	0.500	12.70	15.000	1.250	381.0	1.227	0.1140
18	18.000	457.2	0.562	14.27	16.876	1.406	428.7	1.553	0.1443
20	20.000	508.0	0.593	15.06	18.814	1.568	477.9	1.931	0.1794
24	24.000	609.6	0.687	17.45	22.626	1.886	574.7	2.792	0.2594

Anexo H

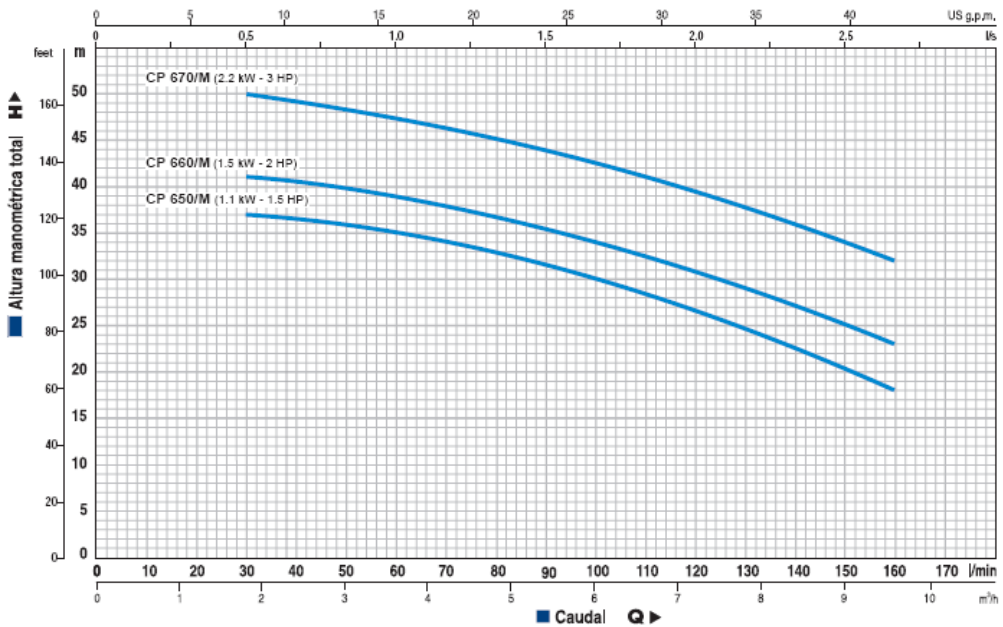
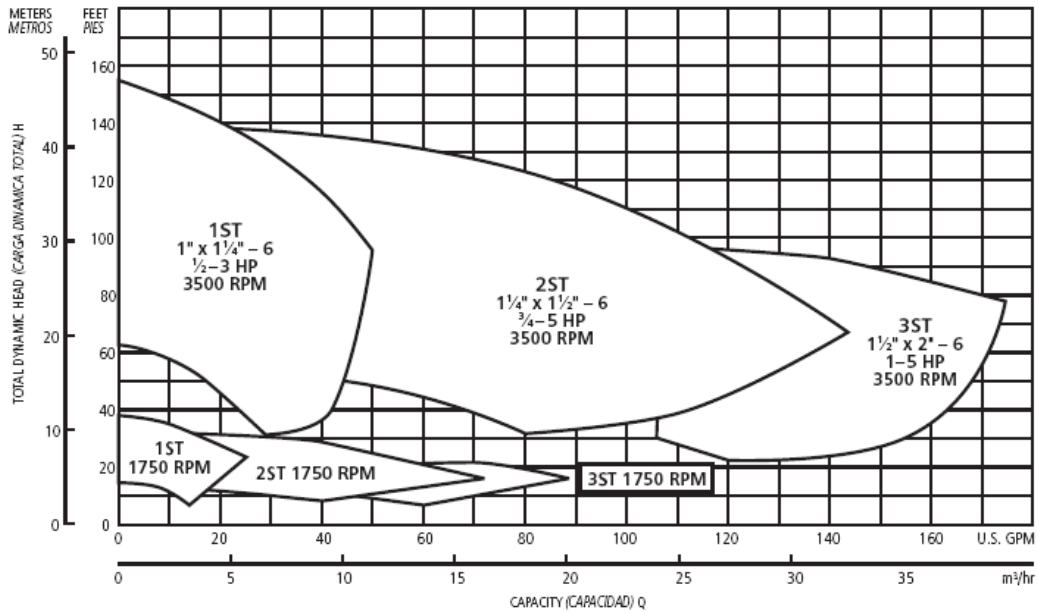
Coefficientes K en pérdidas por accesorios

VALORES DEL COEFICIENTE K EN PÉRDIDAS POR ACCESORIOS		
Accidente	K	L/D
Válvula esférica (totalmente abierta)	10	350
Válvula en ángulo recto (totalmente abierta)	5	175
Válvula de seguridad (totalmente abierta)	2,5	-
Válvula de retención (totalmente abierta)	2	135
Válvula de compuerta (totalmente abierta)	0,2	13
Válvula de compuerta (abierta 3/4)	1,15	35
Válvula de compuerta (abierta 1/2)	5,6	160
Válvula de compuerta (abierta 1/4)	24	900
Válvula de mariposa (totalmente abierta)	-	40
T por salida lateral	1,80	67
Codo a 90° de radio corto (con bridas)	0,90	32
Codo a 90° de radio normal (con bridas)	0,75	27
Codo a 90° de radio grande (con bridas)	0,60	20
Codo a 45° de radio corto (con bridas)	0,45	-
Codo a 45° de radio normal (con bridas)	0,40	-
Codo a 45° de radio grande (con bridas)	0,35	-

Anexo I

Curvas de selección de bombas

Performance Coverage (60 Hz)
Alcance de Funcionamiento (60 Hz)



DATOS DE FUNCIONAMIENTO A n=3450 1/min

MODELO BOMBA	POTENCIA	Q		Q											
		3 ~	~	m³/h	l/s	l/min	0	1,8	2,4	3,6	4,8	6,0	7,2	8,4	9,6
CP 650/M	1.1	1.5	H	39	37	36.5	35	33	30	26.5	22.5	18			
CP 660/M	1.5	2		43	41	40.5	39	36.5	34	31	27	23			
CP 670/M	2.2	3		51	50	49.5	47.5	45	42.5	39.5	36	32			

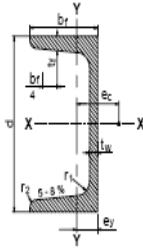
H = ALTURA MANOMETRICA TOTAL EN METROS. Q = CAUDAL

Anexo J

Características del perfil UPN

UPN según
IRAM-IAS
U 500-509-2

Para U ≤ 300 pend.=8%
Para U > 300 pend.=5%



Ag = Área bruta de la sección transversal.
I = Momento de Inercia de la sección.

respecto de los ejes principales.

$r = \sqrt{I/A}$ Radio de giro.

S = Módulo resistente elástico de la sección.

Q = Momento estático de media sección.

Z = Módulo plástico de la sección.

$e_y = \bar{x}$ Distancia al centro gravedad.

e_c = Distancia al centro de corte.

Designación	Dimensiones						Relaciones		Ag	Peso	X - X					Y - Y					Distancias		Agujeros en el ala		Distancia agujero al borde		Espesor	
	h	bf	tf-r ₁	hw	tw	r ₁	bf/tf	hw/tw			I _x	S _x	r _x	Q _x	Z _x	I _y	S _y	r _y	Q _y	1,5.S _y	Z _y	e _y	e _c	w ₁	d	w ₂	t ₁	t ₂
	mm	mm	mm	mm	mm	mm			cm ⁴	Kg/m	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ³	cm ³	cm	cm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
30x15	30	15	4,5	12	4	2	3,33	3,00	2,21	1,74	2,53	1,69	1,07	-	-	0,38	0,39	0,42	-	-	-	0,52	0,74	10	6,4	5	3,90	5,10
30	30	33	7	1	5	3,5	4,71	0,20	5,44	4,27	6,39	4,26	1,08	-	-	5,33	2,68	0,99	-	-	-	1,31	2,22	18	8,4	15	5,68	8,32
40x20	40	20	5,5	18	5	2,5	3,64	3,60	3,66	2,87	7,58	3,79	1,44	-	-	1,14	0,86	0,56	-	-	-	0,67	1,01	11	6,4	9	4,70	6,30
40	40	35	7	11	5	3,5	5,00	2,20	6,21	4,87	14,1	7,05	1,50	-	-	6,68	3,08	1,04	-	-	-	1,33	2,32	18	11	17	5,60	8,40
50x25	50	25	6	25	5	3	4,17	5,00	4,92	3,86	16,8	6,73	1,85	-	-	2,49	1,48	0,71	-	-	-	0,81	1,34	16	8,4	9	5,00	7,00
50	50	38	7	20	5	3,5	5,43	4,00	7,12	5,59	26,4	10,6	1,92	-	-	3,12	3,75	1,13	-	-	-	1,37	2,47	20	11	18	5,48	8,52
60	60	30	6	35	6	3	5,00	5,83	6,46	5,07	31,6	10,5	2,21	-	-	4,51	2,16	0,84	-	-	-	0,91	1,50	18	8,4	12	4,80	7,20
65	65	42	7,5	33	5,5	4	5,60	6,00	9,03	7,09	57,5	17,7	2,52	-	-	14,1	5,07	1,25	-	-	-	1,42	2,60	25	11	17	5,82	9,18

Anexo K

Fotografías del sistema de enfriamiento de placas (Estudio).





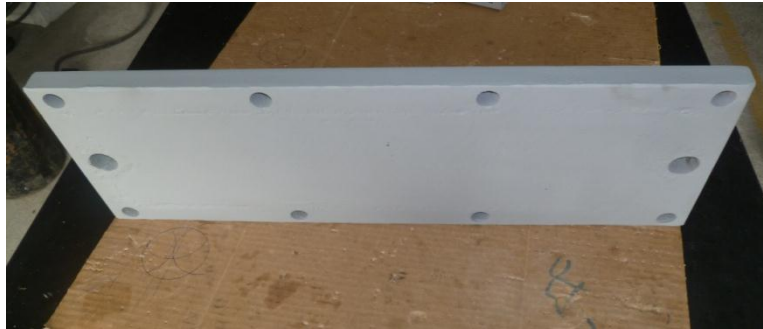
Anexo L

Fotografías del sistema de enfriamiento de tubos concéntricos (Estudio).



Anexo M

Fotografías del ensamble del intercambiador de calor de tipo placas (propuesta).

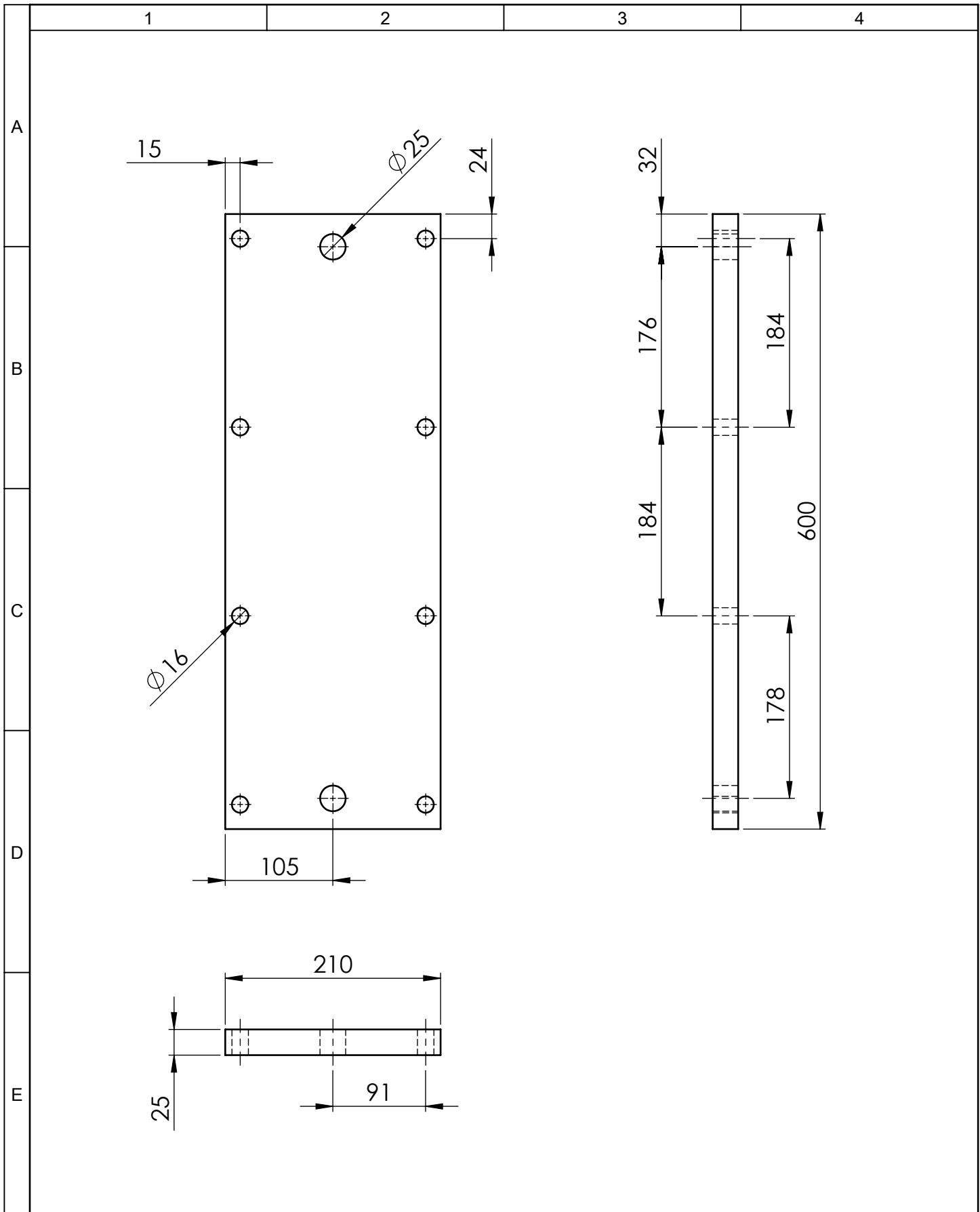




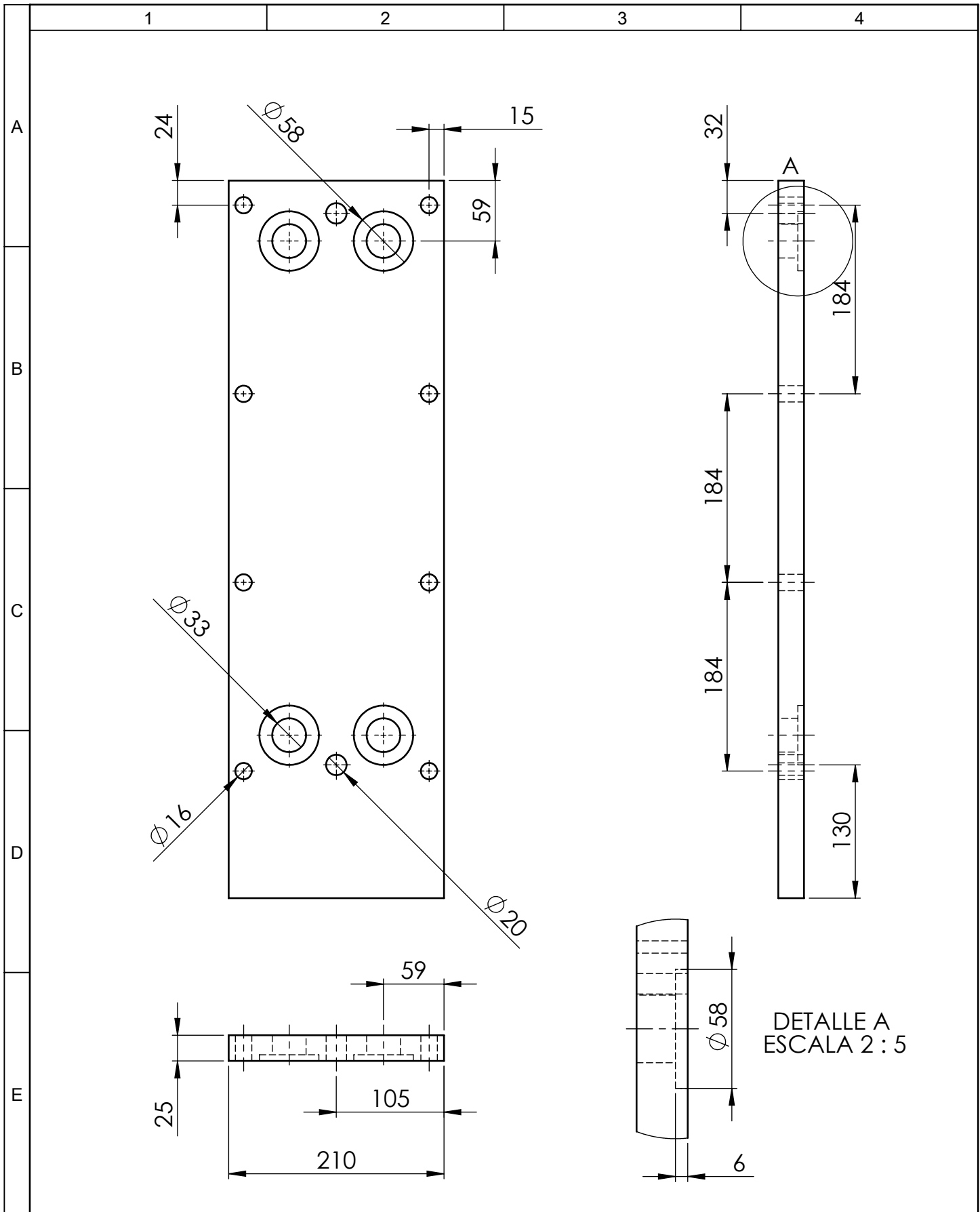




PLANOS

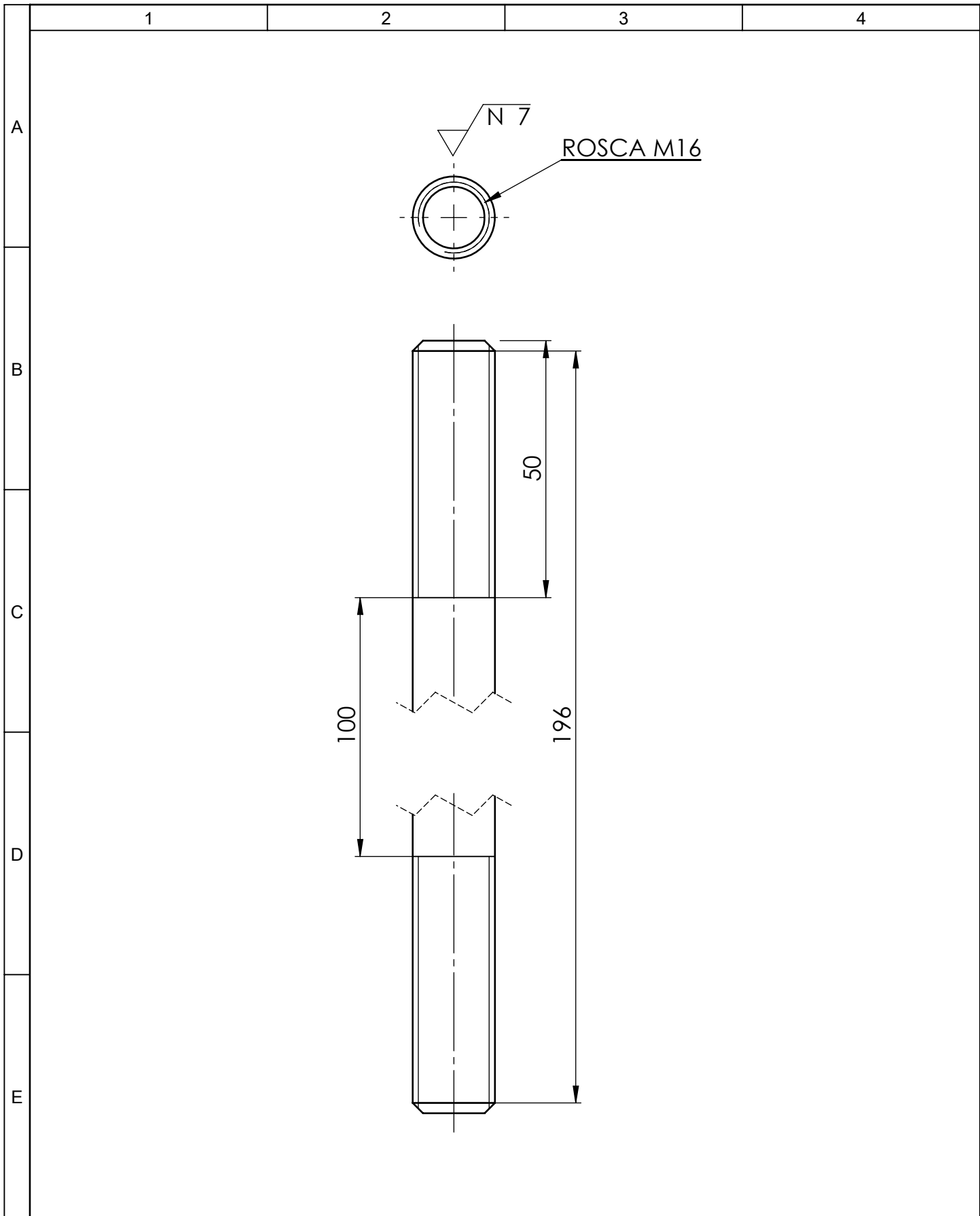


				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO ASTM A36	
				±0,1	24.3 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: TAPA	Escala: 1:5
			Dib.	26/06/2012	Egdo. Pablo Garzón		
			Rev.	26/06/2012	Ing. Luis Escobar.		
				Apro.	26/06/2012	Ing. Luis Escobar.	
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 1-7	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

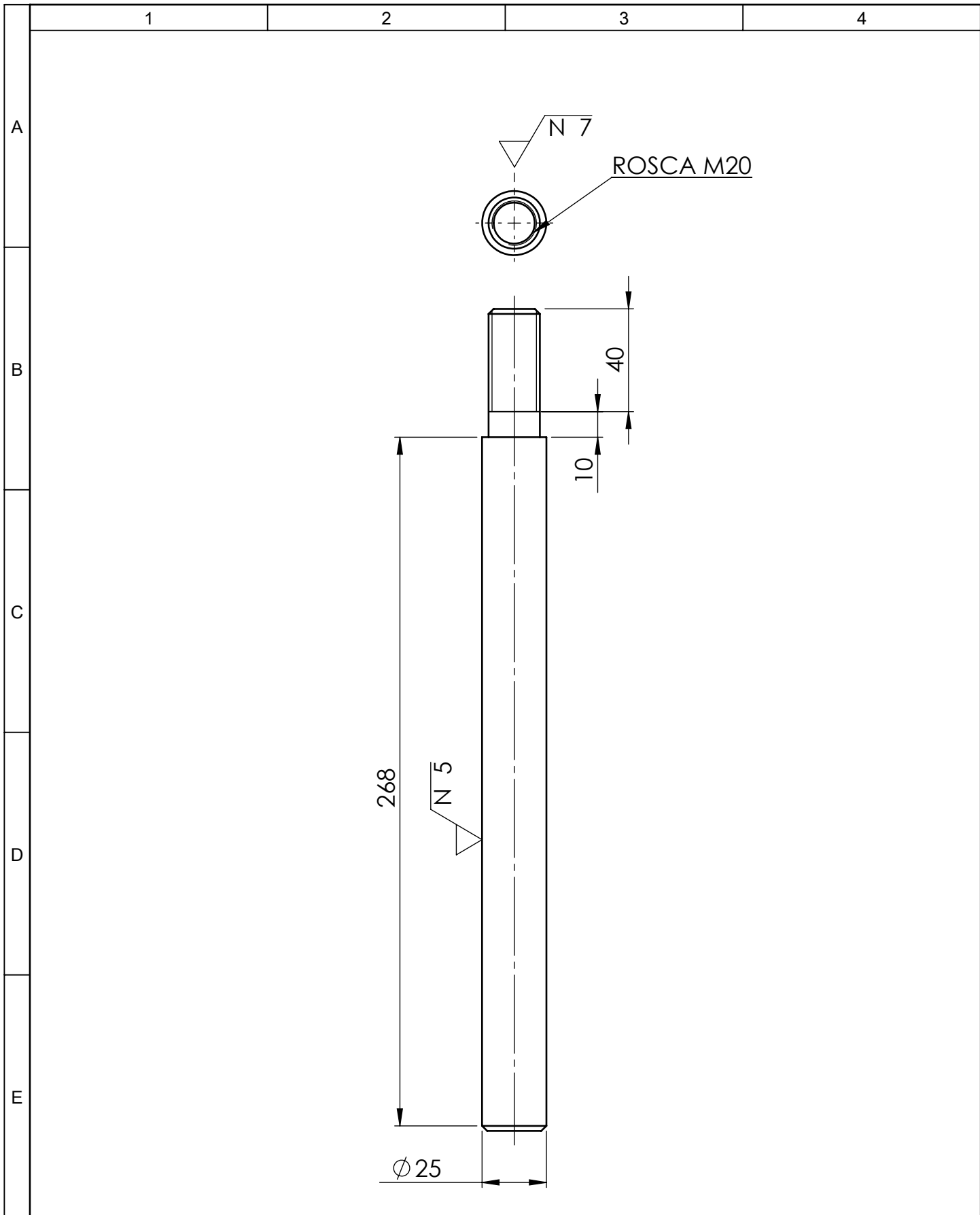


DETALLE A
ESCALA 2 : 5

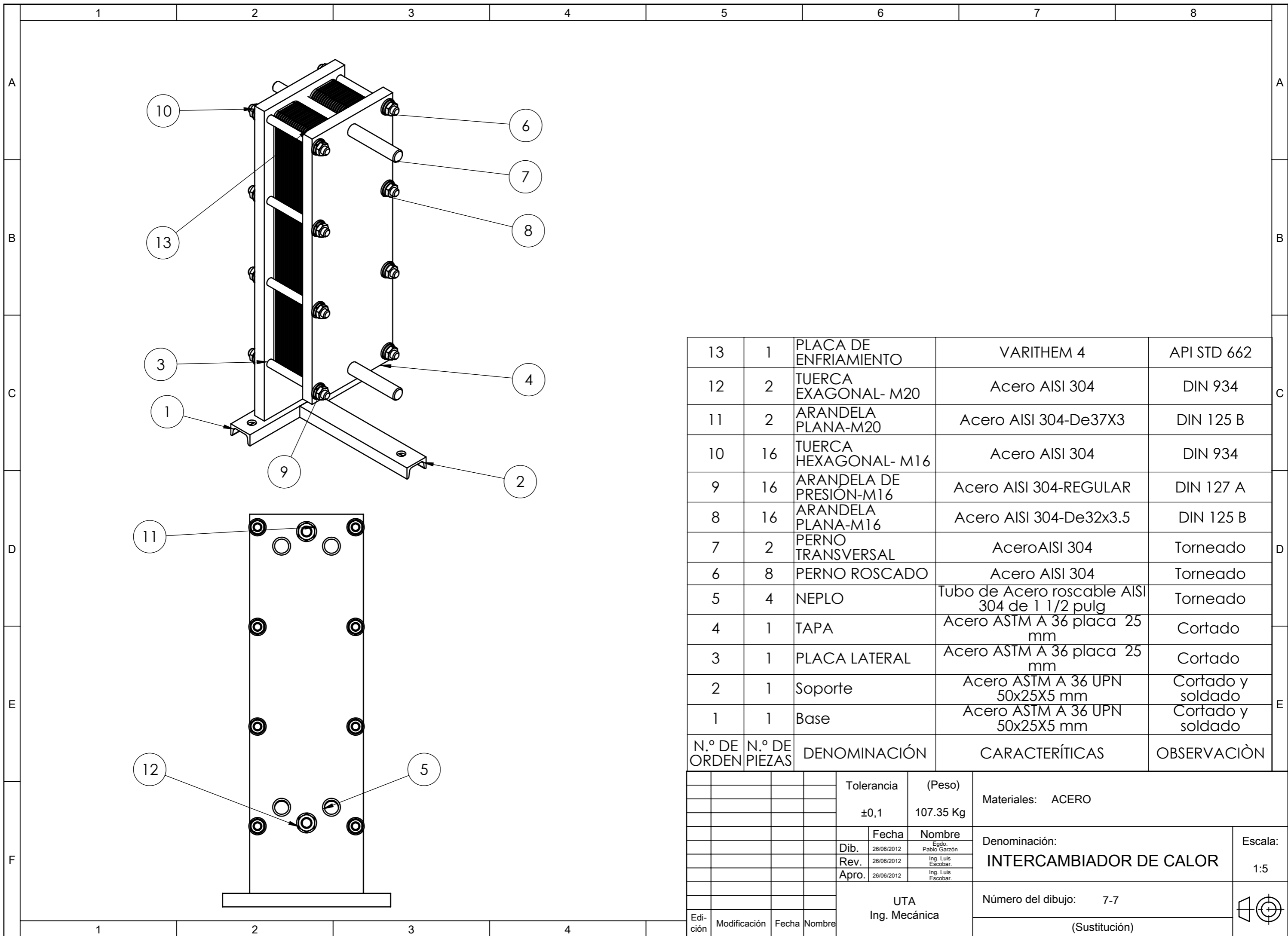
				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO ASTM A36
				$\pm 0,1$	27.4 Kg	
				Fecha	Nombre	Denominación: PLACA LATERAL
			Dib.	26/06/2012	Egdo. Pablo Garzón	
			Rev.	26/06/2012	Ing. Luis Escobar.	
				Apro.	26/06/2012	Ing. Luis Escobar.
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 2-7 (Sustitución)
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			
						Escala: 1:5



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO INOXIDABLE AISI 304	
				±0,1	0.312 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: PERNO ROSCADO	Escala: 1:1
			Dib.	26/06/2012	Egdo. Pablo Garzón		
			Rev.	26/06/2012	Ing. Luis Escobar.		
				Apro.	26/06/2012	Ing. Luis Escobar.	
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 3-7	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

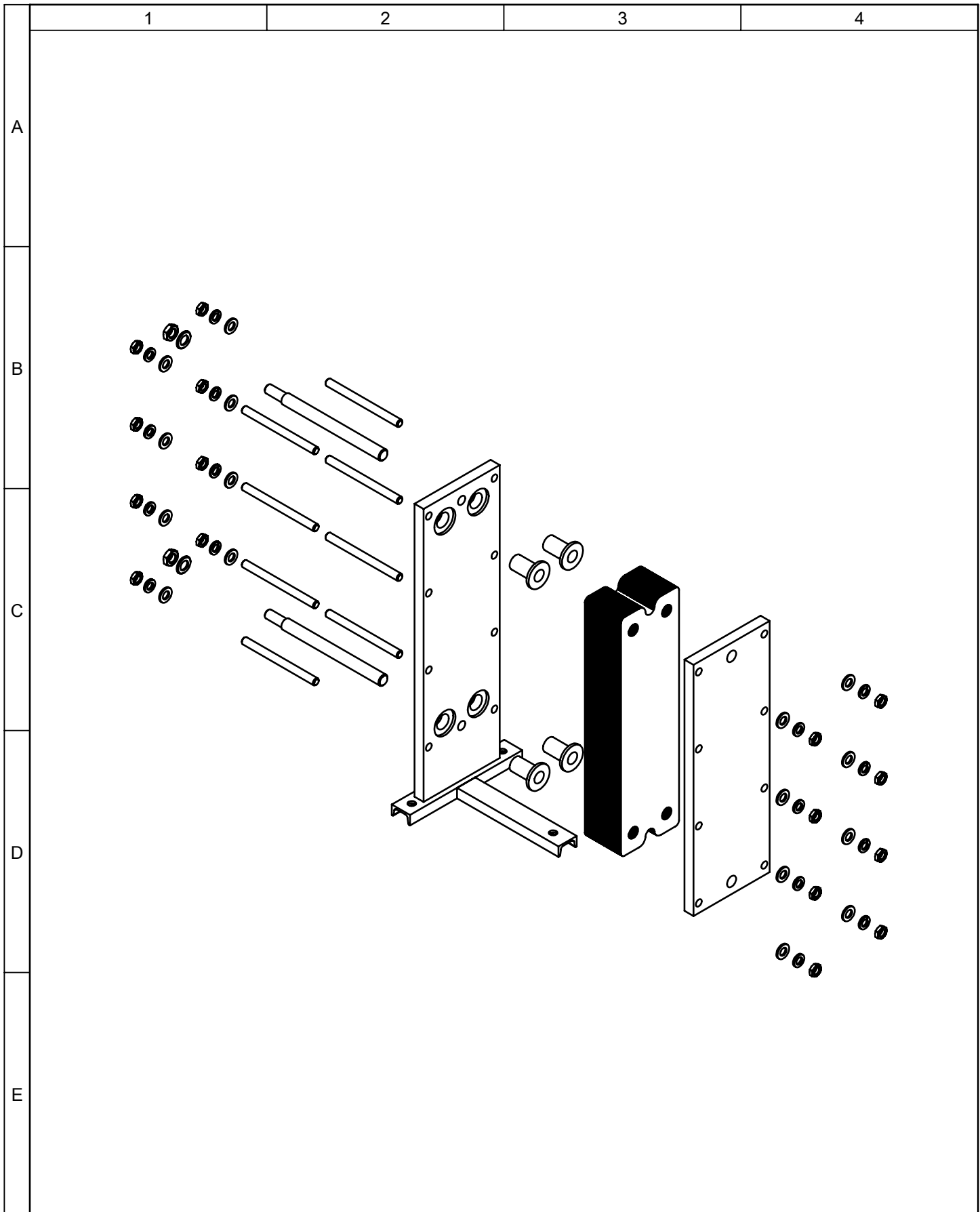


				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO INOXIDABLE AISI 304	
				±0,1	1.185 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: PERNO TRANSVERSAL	Escala: 1:2
			Dib.	26/06/2012	Egdo. Pablo Garzón		
			Rev.	26/06/2012	Ing. Luis Escobar.		
				Apro.	26/06/2012	Ing. Luis Escobar.	
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 4-7	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



13	1	PLACA DE ENFRIAMIENTO	VARITHEM 4	API STD 662
12	2	TUERCA EXAGONAL- M20	Acero AISI 304	DIN 934
11	2	ARANDELA PLANA-M20	Acero AISI 304-De37X3	DIN 125 B
10	16	TUERCA HEXAGONAL- M16	Acero AISI 304	DIN 934
9	16	ARANDELA DE PRESION-M16	Acero AISI 304-REGULAR	DIN 127 A
8	16	ARANDELA PLANA-M16	Acero AISI 304-De32x3.5	DIN 125 B
7	2	PERNO TRANSVERSAL	Acero AISI 304	Torneado
6	8	PERNO ROSCADO	Acero AISI 304	Torneado
5	4	NEPLO	Tubo de Acero roscable AISI 304 de 1 1/2 pulg	Torneado
4	1	TAPA	Acero ASTM A 36 placa 25 mm	Cortado
3	1	PLACA LATERAL	Acero ASTM A 36 placa 25 mm	Cortado
2	1	Soporte	Acero ASTM A 36 UPN 50x25X5 mm	Cortado y soldado
1	1	Base	Acero ASTM A 36 UPN 50x25X5 mm	Cortado y soldado
N.º DE ORDEN	N.º DE PIEZAS	DENOMINACIÓN	CARACTERÍSTICAS	OBSERVACIÓN

				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO	
				±0,1	107.35 Kg		
					Fecha	Nombre	Denominación: INTERCAMBIADOR DE CALOR
				Dib.	26/06/2012	Egdo. Pablo Garzón	
				Rev.	26/06/2012	Ing. Luis Escobar	
				Apro.	26/06/2012	Ing. Luis Escobar	
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 7-7	Escala: 1:5
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: VARIOS	
				±0,1	107.35 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: DESPIECE	Escala: 1:10
			Dib.	26/06/2012	Egdo. Pablo Garzón		
			Rev.	26/06/2012	Ing. Luis Escobar.		
				Apro.	26/06/2012	Ing. Luis Escobar.	
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 6-7	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	