

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA
PARA PASTEURIZAR LECHE UTILIZANDO FLUIDOS
GEOTÉRMICOS DE BAJA ENTALPÍA**

PRESENTADO POR:

ALEXANDER MANUEL DE LEÓN OLIVARES

WILLIAM DANIEL ROBLES PAZ

RODRIGO WILFREDO ROMERO HERNÁNDEZ

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, ABRIL DE 2019

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

M.Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL :

M.Sc. CRISTÓBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR :

ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO MECÁNICO

Título

:

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA
PARA PASTEURIZAR LECHE UTILIZANDO FLUIDOS
GEOTÉRMICOS DE BAJA ENTALPÍA**

Presentado por

:

ALEXANDER MANUEL DE LEÓN OLIVARES

WILLIAM DANIEL ROBLES PAZ

RODRIGO WILFREDO ROMERO HERNÁNDEZ

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Asesores

:

ING. ALBERTO ANTONIO ROSA LUE

ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES

ING. SARA ELISABETH ORELLANA BERRÍOS

San Salvador, abril de 2019

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Asesores :

ING. ALBERTO ANTONIO ROSA LUE

ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES

ING. SARA ELISABETH ORELLANA BERRÍOS

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	II
ABREVIATURAS	III
INTRODUCCIÓN	IV
OBJETIVOS	V
CAPÍTULO I. PROBLEMÁTICA DE LA PASTEURIZACIÓN EN LAS COMUNIDADES CERCANAS EN BERLÍN, USULUTÁN	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Propuestas de solución	2
CAPÍTULO II. GENERALIDADES SOBRE LA LECHE Y EL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN	7
2.1 Historia de la pasteurización	7
2.2 Definición de pasteurización	9
2.3 Tipos de pasteurización	11
2.3.1 Proceso VAT	11
2.3.2 Proceso HTST.....	20
2.3.3 Proceso UHT.....	28
2.4 Organismos afectados en el proceso	30
2.5 Diferencia entre pasteurización y esterilización	31
2.6 Parámetros de una buena pasteurización	31
2.7 Proceso térmico seleccionado para la pasteurización de la leche	33
2.8 Métodos de limpieza y desinfección de equipos en la industria de lácteos	36
2.8.1 Limpieza y Desinfección	36
2.8.2 Detergentes y desinfectantes utilizados en el proceso de limpieza	39
2.8.3 Limpieza manual.....	40

2.8.4 Método de verificación de limpieza	41
CAPÍTULO III. FUNDAMENTOS DE INTERCAMBIADORES DE CALOR...42	
3.1 Definición de Intercambiador de Calor.....	42
3.2 Clasificación de los intercambiadores de calor	42
3.3 Descripción de los Intercambiadores de Calor	44
3.3.1 Intercambiadores de calor indirectos	44
3.3.2 Intercambiadores de calor tubulares	45
3.3.3 Intercambiadores de calor de tubo liso	45
3.3.4 Intercambiadores de calor de superficie rascada.....	47
3.4 Guía para la selección del mejor tipo de intercambiador.....	49
CAPÍTULO IV. PROCESO DE DISEÑO TÉRMICO DEL SISTEMA PROTOTIPO PASTEURIZADOR DE LECHE..... 56	
4.1 Mecanismo de extracción de calor de la tubería de reinyección.....	57
4.1.1 Propiedades de la leche.....	58
4.1.2 Determinación de la energía necesaria para el proceso de pasteurización	59
4.1.3 Propiedades del material de la cuba	60
4.1.4 Determinación del flujo calorífico necesario para la pasteurización de la leche	60
4.1.5 Determinación del flujo másico del fluido de trabajo	61
4.1.6 Mecanismo de extracción de calor de la tubería de reinyección	62
4.2 Mecanismo de calentamiento de la leche.....	73
4.2.1 Determinación de la capacidad del sistema	74
4.2.2 Estimación del tiempo para el proceso de pasteurización ..	75
4.2.3 Temperaturas de entrada y salida del agua en la cuba	76
4.2.4 Mecanismo de calentamiento de la leche	76

	Pág.
4.2.5 Mecanismo de agitación de la leche	82
4.2.5.1 Selección del motor agitador	86
4.3 Mecanismo de enfriamiento de la leche	87
4.3.1 Determinación de la cantidad de masa de hielo.....	90
4.4 Sistema de bombeo	93
CAPÍTULO V. PROCESO DE DISEÑO MECÁNICO DEL SISTEMA PROTOTIPO PASTEURIZADOR DE LECHE.....	101
5.1 Selección de materiales.....	101
5.1.1 Tuberías.....	101
5.1.2 Cubas de calentamiento y enfriamiento	103
5.1.3 Cuerpo estructural del prototipo	104
5.1.4 Estructura de soporte del tanque de almacenamiento de agua	105
5.2 Dispositivos de control, medición y regulación	106
5.2.1 Válvulas	106
5.2.2 Conexiones	108
5.2.3 Soportes para tubería	108
5.2.4 Accesorios.....	109
5.3 Instalación eléctrica y sistema de control de temperatura del sistema prototipo	111
5.3.1 Elementos para el control de temperatura	113
CAPÍTULO VI. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA PROTOTIPO	117
6.1 Descripción del proceso de construcción del sistema	117
6.2 Construcción de la cuba calefactora y enfriadora	117
6.2.1 Acabado superficial de las cubas.....	123
6.3 Construcción de la estructura techada	127

6.4 Construcción e instalación de la base de la cuba calefactora y el sistema de agitación	128
6.5 Construcción del tanque de enfriamiento	130
6.6 Construcción del sistema de bombeo e instalación del intercambiador de calor en la tubería de fluido geotérmico.....	132
6.7 Instalación del sistema eléctrico y de control.....	134
6.8 Modificaciones en el proceso de fabricación respecto al plan de diseño.....	134
CAPÍTULO VII. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA PROTOTIPO	137
7.1 Pruebas de funcionamiento preliminares del sistema prototipo.....	137
7.2 pruebas de funcionamiento del sistema prototipo.....	141
7.3 Pruebas de calidad aplicada en la pasteurización de la leche.....	147
7.3.1 Pruebas a la leche antes y después de la pasteurización.	147
7.3.1.1 Pruebas de Plataforma a la leche.....	149
7.3.1.2 Prueba Post-Pasteurización	155
7.3.2 Toma de muestra	156
7.4 Conclusiones sobre el sistema prototipo pasteurizador de leche	157
7.5 Procesamiento Lácteo	159
7.5.1 Elaboración artesanal de quesos	160
7.5.2 Proceso de envasado	166
CAPÍTULO VIII. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO	170
8.1 Ingeniería del proyecto	170
8.2. Costos de fabricación del sistema prototipo	170
8.3. Costos de mantenimiento y operación.....	171
CONCLUSIONES	172
RECOMENDACIONES.....	176
GLOSARIO.....	178

	Pág.
BIBLIOGRAFÍA.....	182
ANEXOS.....	184
A1. Tabla de ecuaciones	184
A2. Manual de usuario.....	186
A3. Propiedades de metales solidos.....	194
A4. Propiedades del agua saturada (tabla de temperaturas)	196
A5. Propiedades del agua saturada.....	197
A6. Tubería de acero al carbono API 5I / ASTM A53 / A106	198
A7. Tubería de cobre	199
A8. Tubería de acero inoxidable sin soldadura.....	199
A9. Curva característica de la moto bomba.....	200
A10. Requisitos físicos y químicos de la leche RTCA 67.04.66:12.....	201
A11. Planos constructivos	201

Índice de figuras

Pág.

Figura 1. Propuesta 1: Sistema de pasteurización con válvula reguladora de caudal.	3
Figura 2. Propuesta 2: Sistema de pasteurización por tanque de gravedad... 5	5
Figura 3. Propuesta final del sistema pasteurizador de leche..... 6	6
Figura 4. Efecto letal sobre las bacterias según tiempo y temperatura.Fuente: http://movimientodeenergia.blogspot.com/2011/09/procesos-en-la-industria-lactea.html	9
Figura 5. Calefacción de aire. Fuente: INTI: cuadernillo sobre pasteurizadores de leche/ Diseño, uso y mantenimiento	14
Figura 6. Esquemas de una correcta distribución de temperatura en las proximidades de la válvula de salida del material lácteo. Fuente: INTI: cuadernillo sobre pasteurizadores de leche/ Diseño, uso y mantenimiento.. 17	17
Figura 7. Esquema intercambiador de placas, pasteurización HTST. Fuente: http://www.portalechero.com/innovaportal/v/725/1/innova.front/proceso_de_pasteurización_.html	21
Figura 8. Esquema de un equipo de pasteurización con intercambiador de placas. Fuente: https://tecnoedu.com/Armfield/FT75A.php	23
Figura 9. Planta de Pasteurización. Fuente: INTI, Pasteurizadores de leche/ Principios básicos para su correcto diseño, uso y mantenimiento.	26
Figura 10. Planta de ultra pasteurización. Fuente: Tesis: tratamiento para la conservación de la leche, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.	28
Figura 11. Planta Ultra Pasteurización. Fuente: Gemina.es/UHT tratamiento indirecto.	30
Figura 12. Clasificación de los intercambiadores de calor. Fuente: Singh y Heldman, 1998.....	43
Figura 13. Clasificación de los intercambiadores de calor indirectos. Fuente: Amigo, 2000.....	43
Figura 14. Intercambiador de calor de haces tubulares. Fuente: Amigo, 2000	46

Figura 15. Intercambiador de calor de serpentín: (a) serpentín y (b) cámara frigorífica sobre carrito, mientras se inserta el serpentín en un tanque de fermentación. Fuente: Amigo,2000	47
Figura 16. Depósito con camisa. Fuente: Amigo, 2000	48
Figura 17. Intercambiador de calor de superficie rascada de tipo vertical. Fuente: Richardson,2000.....	49
Figura 18. Propuesta final del sistema prototipo pasteurizador de leche utilizando fluidos geotérmicos.	56
Figura 19. Esquema del intercambiador de calor tipo Serpentín instalado en la tubería de reinyección del fluido Geotérmico.....	62
Figura 20. Longitud ocupada y diámetro de hélice del serpentín.....	64
Figura 21. Esquema de intercambiadores de calor de flujo cruzado. Fuente: Transferencia de calor de CENGEL-GHAJAR 4 ^{ta} edición.....	69
Figura 22. Vista transversal del area de contacto de la tubería de cobre.	72
Figura 23. Area de contacto del serpentín en la tubería de FG.....	73
Figura 24. Diseño de la cuba para el proceso de pasteurización.....	74
Figura 25. Temperaturas de entrada y salida para la transferencia de calor de ambos fluidos. Fuente: Transferencia de calor de CENGEL-GHAJAR 4 ^{ta} edición.	76
Figura 26. Cuba de calentamiento de la leche con enchaquetamiento.....	77
Figura 27. Hélice. Fuente: Tecnológico Nacional de México/ Guía de trabajo: Unidad 2: Agitación y mezclado.....	82
Figura 28. Agitador tipo turbina. Fuente: Tecnológico Nacional de México/ Guía de trabajo: Unidad 2: Agitación y mezclado.....	83
Figura 29. Agitador de alta eficiencia. Fuente: Tecnológico Nacional de México/ Guía de trabajo: Unidad 2: Agitación y mezclado	83
Figura 30. Trayectoria circular alrededor de un eje creando un vórtice. Fuente: Tecnológico Nacional de México/ Guía de trabajo: Unidad 2: Agitación y mezclado	84

Figura 31. Prevención de vórtices en mezclas agitadas. Fuente: Tecnológico Nacional de México/ Guía de trabajo: Unidad 2: Agitación y mezclado.	85
Figura 32. Esquema del diseño de los agitadores de turbinas. Fuente: Tecnológico Nacional de México/ Guía de trabajo: Unidad 2: Agitación y mezclado.	86
Figura 33. Sistema de agitación del sistema prototipo pasteurizador de leche (a) Motor agitador (b) Agitador tipo hélice.....	87
Figura 34. Sistema de enfriamiento del sistema prototipo, tipo baño María..	88
Figura 35. Tanque de enfriamiento del pasteurizador.....	89
Figura 36. Cuba de enfriamiento del pasteurizador.	89
Figura 37. Regulación de la válvula de globo reguladora de caudal.....	93
Figura 38. Puntos de análisis para realizar Bernoulli en el sistema prototipo.	94
Figura 39. Tubería de acero inoxidable/proporcionada por el proveedor Fuente: https://www.vidri.com.sv	101
Figura 40. Tubería de hierro galvanizado / proporcionada por el proveedor. Fuente: Vidri.com.sv	102
Figura 41. Rollo de cobre flexible tipo L/proporcionada por el proveedor. Fuente: www.frioaire.com	102
Figura 42. Lámina de acero inoxidable AISI 304 con acabado 2B / proporcionada por el proveedor. Fuente: vidri.com.sv	103
Figura 43. Sistema de enfriamiento y estructura techada de acero inoxidable AISI 304	104
Figura 44. Base de soporte de acero A36 para el tanque de almacenamiento de agua.....	105
Figura 45. Válvula de asiento. Fuente: http://www.valvias.com/tipo-valvula-de-globo.php	106
Figura 46. Válvula solenoide/proporcionada por el proveedor Fuente: https://www.vidri.com.sv	107

Figura 47. Soportes de tubería. /proporcionada por el proveedor, Fuente: https://www.vidri.com.sv	108
Figura 48. Termómetro de espiga/proporcionada por el proveedor Fuente: https://www.vidri.com.sv	109
Figura 49. RTD PT100 con tabla de valores resistivos/proporcionada por el proveedor Fuente: https://www.vidri.com.sv	110
Figura 50. Controlador de temperatura / marca Honeywell. Fuente: ergiocontroles.com	111
Figura 51. Diagrama del sistema de control de temperatura del sistema prototipo.....	112
Figura 52. Diagrama P&ID del sistema prototipo pasteurizador de leche con el sistema de control de temperatura.....	113
Figura 53. Sensor de temperatura RTD PT100/ proporcionado por el proveedor. Fuente: Omega.com	114
Figura 54. Contactor Allen de 110V a 60 Hz / proporcionado por el proveedor Fuente: rscomponents.com	114
Figura 55 Controlador de temperatura HoneyWell, serie DC1010, 110V a 60 Hz / proporcionado por el proveedor. Fuente: http://ergiocontroles.com	115
Figura 56. Guarda motor Schneider para la bomba, 110V/60 Hz / proporcionado por el proveedor Fuente: https://www.schneider-electric.com.sv/es/	115
Figura 57. Guarda motor Schneider Telemecanique para moto agitador, 110V/60 Hz/ proporcionado por el proveedor. Fuente: https://www.schneider-electric.com.sv/es/	116
Figura 58. Cicut Breaker marca Schneider, 110V/60 Hz / proporcionado por el proveedor. Fuente: https://www.schneider-electric.com.sv/es/	116
Figura 59. Corte de las láminas de acero inoxidable 304 con acabado 2B que formarían los cuerpos de las cubas.	118
Figura 60. Rolado de las láminas de acero inoxidable que conformaran las cubas.	119
Figura 61. Cordones de soldadura por método TIG de las cubas.....	120

	Pág.
Figura 62. Fondo cónico exagonal de la cuba calefactora.....	120
Figura 63. Soldadura por método TIG del fondo de la cuba enfriadora.	121
Figura 64. Manecillas con tubing de acero inoxidable.	121
Figura 65. Rolado de la lámina que formara la chaqueta conjunto a los cortes de los anillos superiores e inferiores.....	122
Figura 66. Finalización de la tapadera de la cuba enfriadora.	122
Figura 67. Finalización de cuba calefactora. (a) Soldadura de las manecillas y bisagras (b) Soldadura de los soportes al cuerpo de la cuba.	123
Figura 68. Pasta decapante para acero inoxidable, presentación de 1.25 kg / proporcionado por el proveedor. Fuente: https://acerosmaprima.com/	125
Figura 69. Aplicación de la pasta decapante en las superficies de acero inoxidable. Fuente: https://codinsa.cl/productos/accesorios/decapante-inox	126
Figura 70. Construcción de la estructura techada.....	127
Figura 71. Esmerilado y pintado de las superficies de la estructura techada.	128
Figura 72. Proceso de esmerilado de los tubos cuadrados.	129
Figura 73. Elaboracion de la base de la cuba calefactora.	129
Figura 74. Soporte del motor agitador.	130
Figura 75. Modificacion del tanque de enfriamiento con equipo de plasma.	131
Figura 76. Aplicación de la capa de aqualock en los vertices del tanque de enfriamiento.	132
Figura 77. Instalación de los rollos de cobre sobre la tubería de fluido geotérmico.	133
Figura 78. Conexión de tuberías entre el sistema de extraccion de calor y el sistema de enchaquetamiento de la cuba.....	133
Figura 79 Vista frontal de la caja del sistema de control del sistema prototipo.	134

Figura 80. Grafica de la primera prueba preliminar, realizada con agua en fecha 01/11/2018.	138
Figura 81. Grafica de la segunda prueba preliminar, realizada con agua en fecha 09/11/2018.	140
Figura 82. Toma de medición de la temperatura del agua de salida del serpentín.	141
Figura 83. Recibimiento de leche para el posterior proceso de pasteurización.	142
Figura 84. Grafica de la primera prueba con leche, realizada en fecha 12/11/2018.	143
Figura 85. Descarga de la leche para el choque térmico y posterior procesado.	144
Figura 86. Limpieza de la cuba y pasteurización de la leche.	145
Figura 87. Grafica de la segunda prueba con leche, realizada en fecha 22/11/2018.	145
Figura 88. Descarga de la leche de la segunda prueba para la etapa de enfriamiento.	146
Figura 89. Grafica de temperaturas y tiempos de pasteurización de leche.	157
Figura 90. Cuajo liquido Qualact.	161
Figura 91. Coagulado de la cuajada.	161
Figura 92. Quebrado de la cuajada.	162
Figura 93. Proceso de desuerado con ayuda de coladores.	163
Figura 94. Proceso de prensado y salado de la cuajada.	164
Figura 95. Empacado de los quesos.	164
Figura 96. Flujo de elaboracion de quesos.	165
Figura 97. Elaboracion de queso y crema	166
Figura 98. Equipo pasteurizador de leche con fluidos geotérmicos de baja entalpía.	167

	Pág.
Figura 99. Proceso de envasado de la leche pasteurizada.	167
Figura 100. Almacenamiento de la leche pasteurizada.	168
Figura 101. Flujo del proceso de envasado.	169
Figura 102. Prototipo de un sistema pasteurizador de leche utilizando fluidos de baja entalpía.	186
Figura 103. Componentes del sistema de control del temperatura, del motor agitador y de la bomba.	190
Figura 104. Controlador de temperatura instalado en la caja de control del sistema eléctrico del pasteurizador.	191
Figura 105. Válvula de descarga del agua del enchaquetado.	192
Figura 106. Enjuague y lavado de la cuba.	193

Índice de tablas

Pág.

Tabla 1. Principales categorías de tratamientos térmicos en la industria láctea. Fuente: http://movimientodeenergia.blogspot.com/2011/09/procesos-en-la-industria-lactea.html	10
Tabla 2. Tabla comparativa entre los métodos de pasteurización.	34
Tabla 3. Principales bacterias causantes de alteraciones de la leche. Fuente: Antonio Callejo, Virginia Díaz EUIT Agrícola UPM	38
Tabla 4. Características de los intercambiadores de calor. Fuente: Guía intercambiadores de calor: tipos generales y aplicaciones, Profesora Dosinda Gonzáles-Mendizábal, Universidad Simón Bolívar,2002.	51
Tabla 5. Intervalos de operación para los intercambiadores más comunes. Fuente: Guía intercambiadores de calor: tipos generales y aplicaciones, Profesora Dosinda Gonzáles-Mendizabal, Universidad Simón Bolívar,2002.	53
Tabla 6. Comparación entre los intercambiadores de calor más comunes. Fuente: Guía intercambiadores de calor: tipos generales y aplicaciones, Profesora Dosinda Gonzáles-Mendizabal, Universidad Simón Bolívar,2002.	54
Tabla 7. Datos a utilizar para el diseño del sistema de bombeo.	96
Tabla 8. Tabla Resumen de las pérdidas primarias del sistema pasteurizador.	99
Tabla 9. Tabla resumen de las pérdidas secundarias del sistema pasteurizador.	99
Tabla 10. Tiempo de decoloración del azul de metileno. Fuente: Manual de procesamiento Lacteo INPYME/JICA	153
Tabla 11. Calidad microbiológica de la leche con la prueba de resazurina. Fuente: Manual de procesamiento Lacteo INPYME/JICA	154
Tabla 12. Características físicas y químicas tomadas a la leche después del proceso de pasteurización.	156
Tabla 13. Combinaciones tiempo-temperatura de pasteurización. Fuente: Food and Drug Administration. (2003).	158
Tabla 14. Salarios del personal involucrado en el desarrollo del proyecto.	170
Tabla 15. Costos de fabricación del sistema prototipo pasteurizador de leche.	171
Tabla 16. Costos de mantenimiento y operación del prototipo.	171

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA PARA PASTEURIZAR LECHE UTILIZANDO FLUIDOS GEOTÉRMICOS DE BAJA ENTALPÍA

Estudiantes: Alexander M. de León O.^{1*}, William D. Robles P.^{2*} y Rodrigo W. Romero H.^{3*}

Docentes Asesores: Ing. Alberto A. Rosa L.^{4*}, Ing. Francisco A. de León T.^{5*} e Ing. Sara E. Orellana B.^{6**}

* Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador

** Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador

RESUMEN

Se realizó el diseño y construcción de un prototipo de sistema pasteurizador de leche que aprovecha el calor proveniente de los fluidos geotérmicos de baja entalpía, para realizar dicho tratamiento térmico, que tiene como objetivo reducir la presencia de agentes patógenos que pueden estar presentes en la leche cruda, y de esta manera obtener un producto que sea apto para el consumo humano, además de aumentar su vida útil en refrigeración, o que pueda ser destinada de manera segura al procesamiento lácteo, alterando lo menos posible su estructura física, sus componentes químicos y sus propiedades organolépticas. A partir de esto, se realizó la selección de los materiales y elementos constituyentes del diseño del sistema pasteurizador de leche, aplicando lo referente al marco normativo que a esta aplicación específica concierne, por lo que fue necesario la recopilación de normas alimenticias teniendo en consideración el producto a manipular. Una vez construido el sistema prototipo, se realizaron pruebas en cuanto al funcionamiento del mismo, esto para garantizar que los parámetros establecidos en el proceso de diseño se alcanzaran.

¹ E-mail: alexander11dleon@gmail.com ⁴ E-mail: a.rosalve@hotmail.com

² E-mail: williamrobles21@hotmail.com ⁵ E-mail: fadete@yahoo.com

³ E-mail: rodrigowilfredo_rh@hotmail.com ⁶ E-mail: sara.orellana@ues.edu.sv

AGRADECIMIENTOS

A *Dios todopoderoso* por darme las fuerzas y capacidad de afrontar los retos que se me presentaron en el camino. A mi madre, Sonia: quien ha sido la persona que me ha apoyado en todos los momentos difíciles que se me presentaron en el transcurso de la carrera y por ser mi más grande fuente de inspiración, este logro es más “*suyo*” que mío, gracias por estar siempre a mi lado por todas esas palabras de aliento que me dio en los momentos cuando el camino se ponía difícil, por todo el amor que siempre me ha dado, por haberme acostumbrado al éxito y enseñarme el camino a seguir. A mi abuelo Salvador, que fue mi padre, y que se, que desde el cielo ha estado pendiente de mí, apoyándome y guiándome en mis decisiones.

A mis tíos Oscar y Marta Sonia, darles las gracias por siempre estar pendientes de mí, por todo el apoyo que me han brindado y a mi tío por ser ese padre dándome consejos de vida para ser una mejor persona, por ese cariño que siempre me ha demostrado, porque se, que, sin él, esto también no hubiese sido posible, gracias por: “*siempre estar allí*” y ser parte de este logro que “*también es suyo*”.

A Carlos Aguilar, por el apoyo que me ha mostrado en el transcurso de mi carrera, los consejos que siempre me da y por el cariño demostrado.
¡Gracias!

A la Universidad de El Salvador y la Facultad de Ingeniería y Arquitectura por haberme preparado académicamente. A mis asesores de tesis, por guiarme en este proceso y por todos sus consejos.

A todos los compañeros que conocí en el transcurso de mi carrera y compañeros de tesis, por su amistad y los momentos inolvidables vividos. También al Ing. Jaime Chavarría por su apoyo y consejos, a LaGeo por confiar y apoyarnos en el desarrollo de nuestro proyecto.

Alexander Manuel de León Olivares

A Dios, primeramente, por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría, fe, amor y esperanza.

A mi madre Yaneth García, por siempre apoyarme, escucharme y siempre estar pendiente de mí.

A mi Abuelo Bernabé Robles, por toda la ayuda que me ha dado sin pensarlo, y siempre estar pendiente de mí.

A mi tío Juan Robles, por su apoyo incondicional en todo este proceso, y por confiar en mí. A mi padre William Remberto Robles, por ayudarme siempre.

Al Ingeniero Jaime Chavarría, por haberme aconsejado de sus experiencias de vida y darme de su confianza, y por apoyarnos, guiarnos y estar siempre pendiente de mí y de mis compañeros de tesis. A mis compañeros de tesis, por haberme enseñado de sus habilidades y destrezas, y hacer trabajo en equipo.

A nuestros asesores de tesis, por dar de su tiempo y apoyo, a la realización exitosa del trabajo de graduación.

A la Licenciada Yesi Martínez de Guzmán, por haberme enseñado y hacer de mí, un líder en cualquier ámbito que se me presente, y siempre darme su confianza y cariño.

A la Unidad de Estudios Socioeconómicos (UESE), por haberme permitido ser parte de una incondicional familia becaria, en donde siempre tuve apoyo a todo lo largo de toda mi carrera universitaria.

A la Universidad de El Salvador, por haberme dado el apoyo y conocimiento, y hacer de mi un profesional en la vida.

“A todos muchas gracias.”

William Daniel Robles Paz

A Dios gracias.

A mi abuela María Félix por acompañarme siempre y ser fundamental en este proceso de vida, en la vida. A mi abuela Rosa Emperatriz, por haber influido en el gusto por el aprendizaje.

A mis padres, Wilfredo y Ana, por su esfuerzo y empeño en cumplir con la responsabilidad de hacer de mí una mejor persona en la vida. A mis hermanos, Javier y Jessica, por acompañarme.

A todas mis tías, tíos y primos con los que he convivido relativamente poco pero que desde siempre han estado conmigo apoyándome de una y otra manera. *¡GRACIAS!*

A los profesores de bachillerato, Bertha Dinora Vega de Perdomo y Leopoldo Salvador Chávez, que sembraron como semilla entusiasmo, conocimiento y consejos para el inicio de un gran reto.

Al Ing. Gustavo Salomón Torres Ríos Lazo, por compartir consejos y abonar al crecimiento humano. A mis compañeros de tesis por haberme enseñado a tener paciencia y tolerancia con personas con las cuales se difiere en acción, comportamiento y pensamiento.

A nuestros asesores de tesis, por disponer de su tiempo con nosotros en este trabajo que es la culminación de la carrera universitaria.

A los compañeros y amigos de las carreras de mecánica y civil, con los que todo este camino de 7 años se hizo mucho más divertido.

A Sandra, que confía siempre que puedo lograrlo todo. *Love you.* A Xiomara, por siempre dar aliento.

Sin duda alguna los agradecimientos siempre se quedarán cortos porque no es posible mencionar a todas las personas que han sido parte del desarrollo de la formación de un hombre; aun así, los llevo a todos en el pensamiento y el recuerdo.

Rodrigo Wilfredo Romero Hernández

ABREVIATURAS

ρ_{leche}	Densidad de la leche
C_{leche}	Calor específico de la leche
h_{Leche}	Coeficiente convectivo de la leche
T_{EL}	Temperatura de entrada de la leche
T_{PL}	Temperatura de pasteurización de la leche
ρ_{inox}	Densidad del acero inoxidable
C_{inox}	Calor específico del acero inoxidable
V_{inox}	Volumen de acero inoxidable
ρ_a	Densidad del agua
V_{Agua}	Volumen del agua
V_L	Volumen de leche
V_{cuba}	Volumen total de la cuba
t_p	Tiempo de pasteurización
Δt	Delta de tiempo
T_{IC}	Temperatura de inicio de la cuba
T_{FC}	Temperatura final de la cuba
Q_S	Energía para el calentamiento de la leche
T_{IH}	Temperatura inicial del hielo
T_{CU}	Temperatura de cuajado
T_{RFL}	Temperatura de refrigeración de la leche
\dot{Q}_S	Potencia requerida para el calentamiento
T_{EA}	Temperatura de entrada del agua en la cuba
T_{SA}	Temperatura de salida del agua en la cuba
T_m	Temperatura media
$\dot{m}_{agua,N}$	Flujo másico de agua nominal
\dot{m}_{agua}	Flujo másico del agua
\dot{Q}_{agua}	Potencia requerida para el calentamiento del agua
v_A	Velocidad promedio del agua
v_{FG}	Velocidad promedio del fluido geotérmico
\dot{m}_{FG}	Flujo másico del fluido geotérmico

T_{EFG}	Temperatura de entrada del fluido geotérmico
T_{SFG}	Temperatura de salida del fluido geotérmico
T_{EAS}	Temperatura de entrada del agua en el serpentín de extracción de calor
T_{SAS}	Temperatura de salida del agua en el serpentín de extracción de calor
P	Presión
$\Delta T_{Dism,FG}$	Delta de temperatura de disminución del fluido geotérmico
$D_{in,s}$	Diámetro interno de la tubería del serpentín
$D_{ext,s}$	Diámetro externo de la tubería del serpentín
D_{ms}	Diámetro medio de la tubería del serpentín
$D_{in,FG}$	Diámetro interno de la tubería del fluido geotérmico
$D_{ext,FG}$	Diámetro externo de la tubería del fluido geotérmico
$D_{int,cu}$	Diámetro interno de la cuba
$D_{ext,cu}$	Diámetro externo de la cuba
$D_{int,cha}$	Diámetro interno de la chaqueta de la cuba
$D_{ext,cha}$	Diámetro externo de la chaqueta de la cuba
$D_{int,galv}$	Diámetro interno de la tubería de acero galvanizado
$D_{ext,galv}$	Diámetro externo de la tubería de acero galvanizado
D_{IC}	Diámetro interior de la cuba
D_{EC}	Diámetro exterior de la cuba
D_h	Diámetro hidráulico
L_s	Longitud del serpentín de extracción de calor
L_{cha}	Altura del enchaquetado
R_s	Radio de curvatura del serpentín extractor de calor
r_s	Radio de la tubería del serpentín extractor de calor
L_{ocup}	Longitud ocupada por el serpentín enrollado
N	Número de espiras del serpentín
N	Revoluciones del agitador
e	Espacio entre espiras adyacentes del serpentín
A_i	Área interior
A_o	Área exterior
A_s	Área de la tubería del serpentín

A_{FG}	Área de la tubería del fluido geotérmico
h	Entalpía
$h_{agua,cha}$	Coeficiente convectivo del agua en el enchaquetado
A_e	Área exterior
ΔT	Delta de temperaturas
$T_{h.ent}$	Temperatura de entrada del fluido caliente
$T_{h.sal}$	Temperatura de salida del fluido caliente
$T_{c.ent}$	Temperatura de entrada del fluido frío
$T_{c.sal}$	Temperatura de salida del fluido frío
ΔT_{ml}	Temperatura media logarítmica
$R_{tér}$	Resistencia térmica
R_{pared}	Resistencia de pared de los materiales de las tuberías
h_i	Coeficiente convectivo del fluido geotérmico
h_o	Coeficiente convectivo del agua en el serpentín
v	Velocidad
Re	Número de Reynolds
Nu	Número de Nusselt
k	Conductividad térmica
$k_{acero 1010}$	Conductividad térmica del acero AISI 1010
μ	Viscosidad dinámica
μ_ω	Viscosidad dinámica del agua
Pr	Número de Prandtl
f	Factor de fricción
K	Coeficiente de pérdida en accesorios
h_{EFG}	Coeficiente convectivo de entrada del fluido geotérmico
h_{SFG}	Coeficiente convectivo de salida del fluido geotérmico
\dot{Q}_{agua}	Potencia para calentar el agua en el serpentín
h_{Serp}	Coeficiente convectivo del serpentín de extracción de calor
h_{serpC}	Coeficiente convectivo corregido del serpentín de extracción de calor
d_C	Diámetro de hélice
U	Coeficiente global de transferencia de calor
m_h	Masa de hielo

h_v	Calor latente de vaporización
h_f	Entalpía de líquido
L_{fg}	Calor latente de fusión del hielo
Δp	Caída de presión
ε	Rugosidad de la tubería
γ	Peso específico del agua
g	Gravedad de la tierra
Z	Altura Geodésica
H_p	Pérdidas primarias
H_s	Pérdidas secundarias
H_{bomba}	Carga a vencer por la bomba.
Q	Caudal

INTRODUCCIÓN

Dentro de las aplicaciones como usos directos de la geotermia o también conocidas como de baja entalpía, varias aplicaciones ya se han investigado y desarrollado en diversos países del mundo. En su mayoría las aplicaciones en Europa y Estados Unidos son las de calefacción, invernaderos, deshidratado de frutas, pescados y vegetales.

La investigación se ha llevado a cabo por varios meses y el diseño ha pasado por varios escenarios, hasta dar con uno que reúne las consideraciones teóricas y de materiales para llevar a cabo la construcción.

Debido a la aplicación a la que está orientado el trabajo de graduación, en la investigación se ha recurrido a la recopilación de normas alimenticias, conocimiento de pruebas de laboratorio para eliminar las bacterias de la leche, métodos de pasteurización, aprendizaje de elaboración de quesos y cremas, tipo de acero inoxidable para consideraciones alimenticias, transferencias de calor, diseño de un sistema de bombeo, uso de un controlador y medición de temperatura RTD, etc.

Finalmente, el prototipo de sistema fue probado en varias corridas utilizando un batch de 30 litros de leche recién ordeñadas, obteniendo resultados satisfactorios en cuanto al funcionamiento del equipo.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un sistema prototipo para la pasteurización de leche que permita aprovechar el calor de baja entalpía de un campo geotérmico.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Proponer un sistema prototipo de pasteurización de leche utilizando el recurso geotérmico, ajustado a los controles sanitarios correspondientes.
- ✓ Dimensionar los componentes involucrados en el sistema prototipo.
- ✓ Construir y seleccionar los elementos del sistema prototipo.
- ✓ Ejecutar el montaje del sistema prototipo para la pasteurización de leche.
- ✓ Desarrollar pruebas de funcionamiento del prototipo y pruebas de calidad de pasteurización de la leche clasificando los resultados obtenidos.
- ✓ Elaborar una guía para el correcto uso y mantenimiento del sistema prototipo.

CAPÍTULO I. PROBLEMÁTICA DE LA PASTEURIZACIÓN EN LAS COMUNIDADES CERCANAS EN BERLÍN, USULUTÁN

1.1 Planteamiento del problema

Los municipios y comunidades aledañas a Berlín, Usulután se caracterizan por zonas potencialmente agrícolas y ganaderas, que dedican sus actividades al cultivo y a la crianza de animales. Sin embargo, es muy bien conocido que las buenas prácticas y la inocuidad para la obtención de los productos provenientes de estos rubros no es aplicada en sí, por lo que estas comunidades están expuestas a enfermedades que pueden ser provocadas por la mala manipulación de estos alimentos.

Específicamente, uno de los muchos procesos que no ha sido aplicado y que se ha obviado por mucho tiempo es la pasteurización de la leche que se produce. Se ha detectado que muchas familias de estas comunidades poseen ganado y obtienen productos como leche o quesos con un contenido microbiano alto, de manera que se procesan y se comercializan, sin pasteurizar, a los consumidores. Por lo que se identificó la necesidad de poder realizar un sistema que permita la disminución de este problema que, consecuentemente también se reducirán las probabilidades que estas personas se enfermen.

En términos generales a nivel centroamericano, los salvadoreños constituyen el segundo país que más leche consume en el Istmo. Entre enero y septiembre del año 2018 el comercio de leche y productos lácteos entre los países de la región centroamericana sumó \$240 millones, y más del 75% fue comprado por empresas en El Salvador y Guatemala ^a.

Por lo tanto, se tiene que los productos lácteos constituyen una amplia gama de bienes importantes para el consumo humano.

^a Datos recopilados de CentralAmericaData.com / información de mercados en Centroamérica. Publicación Marzo/2019. Fuente: https://www.centralamericadata.com/es/article/home/Lcteos_en_Centroamrica_Mercado_de_240_millones

Esto a la vez contribuyen al desarrollo de actividades locales ligadas a procesos de extracción y procesamiento lácteo.

Dado que la leche proviene de los animales domésticos de las áreas rurales y directamente de la ubre del animal, en consecuencia, el contenido microbiano procede de la ubre del mismo y de la contaminación que se incorpora a la leche durante el proceso de ordeño y la manipulación posterior a esto.

Con base en lo anterior y considerando que el consumo de la leche cruda es un riesgo para la salud de los consumidores, al no ser procesada adecuadamente, por la carencia de prácticas sanitarias es urgente la incorporación adecuada de éstas, especialmente el tratamiento de pasteurización. Adicionalmente es conveniente considerar el uso de energéticos de un menor costo y accesibles en el lugar donde se encuentra ubicada la planta de procesamiento, preferentemente una fuente renovable de energía.

1.2 Propuestas de solución

Se realizó el estudio de los diferentes métodos que pueden ser aplicados para generar la energía necesaria para implementar en el sistema, que permita poder llevar a cabo el proceso de pasteurización de la leche.

Por lo tanto, se realizaron las propuestas tomando en consideración distintos procedimientos y elementos que aseguren la mejor eficiencia y aprovechamiento tanto energético como económico del equipo.

Sin embargo, el funcionamiento del sistema en las distintas opciones se fundamentan en el mismo concepto, en el que; se calienta agua por medio de la transferencia de calor de la tubería de reinyección para que, posteriormente este fluido sea el que le ceda el calor a la leche que será pasteurizada y depositada en un autoclave.

✓ Propuesta 1

En primer lugar es necesario un reservorio de agua que alimente el sistema, para lo cual se consideró un tanque que funcione por gravedad pero el inconveniente que presenta es que el caudal varía con el nivel del agua, por lo que es necesario una válvula reguladora de caudal para mantenerlo constante.

El agua fluye del tanque, es regulado por la válvula y llega al serpentín uno donde su temperatura es elevada hasta $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, de aquí se dirige al serpentín dos que transfiere calor a la leche que se encuentra en la cuba (calentandola hasta $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ y manteniendola a esa temperatura durante 30 min), la cual es agitada por dos motivos: homogenizar la leche y aumentar la transferencia de calor al incrementar el coeficiente convectivo de la leche. Al abandonar el serpentín dos el agua se dirige al tanque de recuperación de donde será bombeada de nuevo al tanque superior.

Una vez finalizado el proceso de pasteurización la leche se descargará en otro recipiente que será introducido en un contenedor con hielo para ser enfriada.

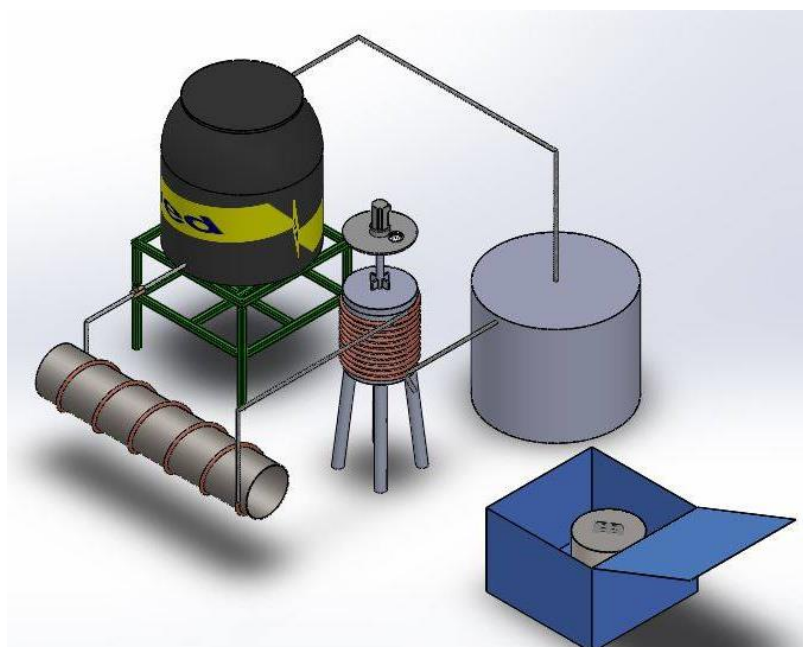


Figura 1. Propuesta 1: Sistema de pasteurización con válvula reguladora de caudal.

✓ **Propuesta 2**

Para la segunda propuesta, se comenzara primero con hacer circular en todo el sistema agua a temperatura ambiente proveniente de un tanque, en el cual su función es mantener el caudal constante requerido en el sistema pasteurizador. A diferencia de la propuesta anterior, se suprime la válvula reguladora de flujo.

Al habilitar el paso de agua con una válvula de bola, del tanque al intercambiador tipo serpentín instalado alrededor de una tubería de fluido geotérmico, el agua conforme pase a lo largo del serpentín se producira una transferencia de calor, conllevando a un aumento en la temperatura del agua, hasta alcanzar 80 °C.

El agua una vez salga del serpentín de calentamiento, se dirigirá al intercambiador de calor tipo serpentín instalado en la cuba de pasteurización, por lo cual existira una transferencia de calor del agua caliente proveniente del primer serpentín a una temperatura de 80 °C, a la leche que se encuentra depositada en la cuba, por lo que la leche aumentara su temperatura de la cual se encuentre (4 °C o 25 °C) hasta los 65 °C (temperatura de pasteurización) y manteniendo a esa temperatura durante 30 minutos, la cual es agitada de la misma forma descrita en la propuesta anterior.

Con el agua saliendo del serpentín de la cuba, esta se dirigirá al tanque de recuperación de donde sera bombeada de nuevo al tanque regulador de caudal.

Una vez finalizado el proceso de pasteurización la leche se descargará en otro recipiente, que será introducido en un contenedor con hielo para ser enfriada a la temperatura que se requiera.

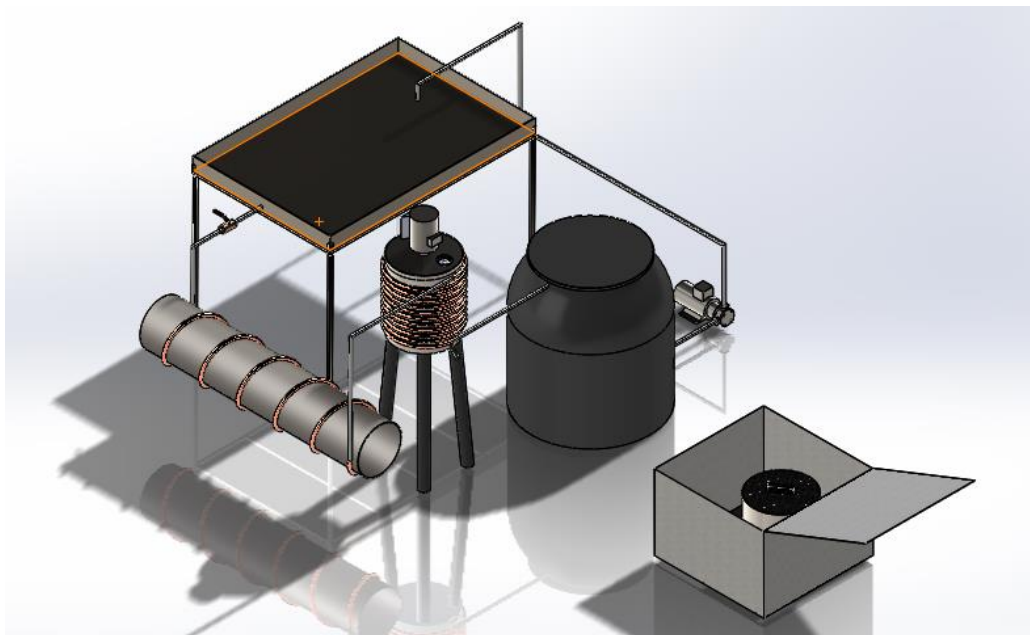


Figura 2. Propuesta 2: Sistema de pasteurización por tanque de gravedad.

1.3 Selección del sistema pasteurizador a diseñar y construcción del prototipo

Como propuesta final, se utilizará un sistema de bombeo para hacer circular el fluido de trabajo en toda la galería del sistema prototipo, en el cual se comienza primero por una bomba de agua, esta bomba succionará agua de un tanque de almacenamiento, y después será bombeada al intercambiador de calor tipo serpentín que será instalado en la tubería de acarreo de fluido geotérmico, para elevar la temperatura del agua que se encuentra a temperatura ambiente a una temperatura de 80 °C, siendo esta después circulada al segundo intercambiador de calor (doble tubo), que está instalado en la cuba de pasteurización.

De esto, existirá una transferencia de calor del agua caliente proveniente del serpentín a una temperatura de 80 °C, a la leche que se encuentra depositada en la cuba, por lo que la leche aumentará su temperatura de la cual se encuentre (4 °C o 25 °C) hasta los 63 °C (temperatura de pasteurización) y manteniendo esa temperatura durante 30 minutos, la cual es agitada para homogenizar la leche así como la de aumentar la transferencia de calor.

Una vez el agua sale del intercambiador de calor de doble tubo instalado en la cuba, se dirigirá al tanque de almacenamiento de donde será de nuevo succionada por la bomba de agua.

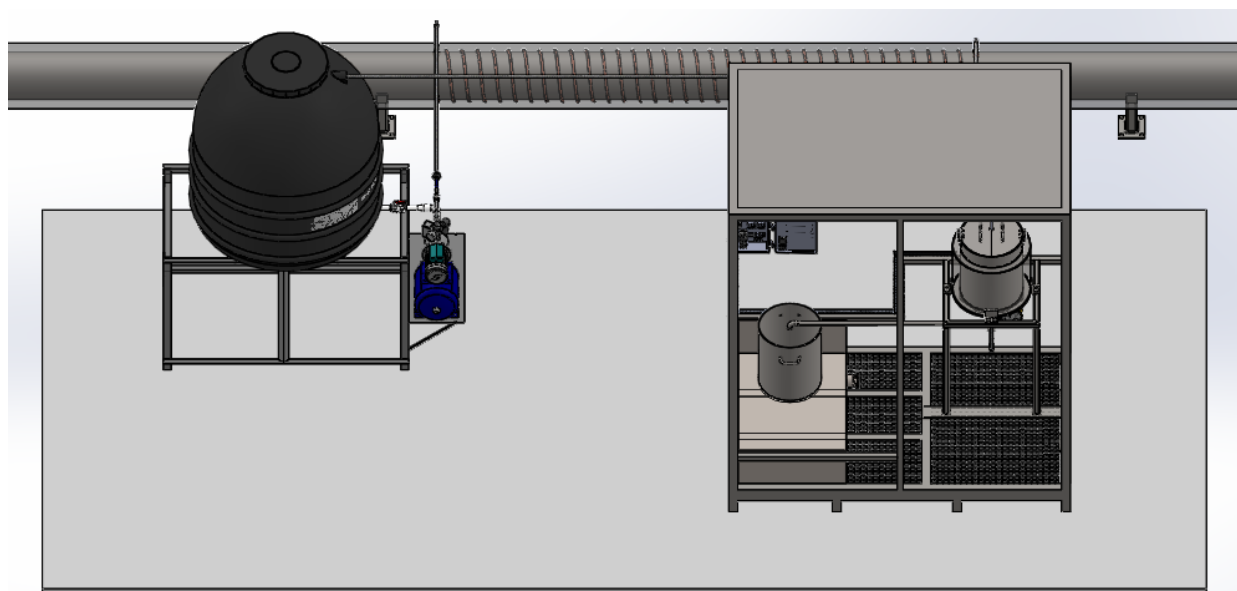


Figura 3. Propuesta final del sistema pasteurizador de leche.

CAPÍTULO II. GENERALIDADES SOBRE LA LECHE Y EL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN

2.1 Historia de la pasteurización

Al final del siglo XIX, el tratamiento térmico de la leche era ya algo habitual, de tal forma que la mayoría de las industrias lácteas realizaban el calentamiento de la leche por una u otra razón, por ejemplo, para fabricar queso y mantequilla.

Antes de la introducción del tratamiento térmico, la leche era una fuente de infecciones, ya que es un medio perfecto para los microorganismos. Algunas enfermedades como la tuberculosis y el tifus eran muchas veces transmitidas por la leche.

El término pasteurización conmemora a Louis Pasteur, quien a mediados del siglo XIX realizó estudios sobre los fundamentos del efecto letal del calor sobre los microorganismos y el uso del tratamiento térmico como técnica de conservación.

La pasteurización de la leche es un tipo especial de tratamiento térmico que se define como *“cualquier tratamiento térmico de la leche que asegura la destrucción del bacilo de la tuberculosis (B.T.) sin afectar de manera importante las propiedades físicas y químicas”*.

Si se considera la historia de la pasteurización hay que decir que, aunque los científicos en todas partes estaban de acuerdo que era necesario en cierto grado un tratamiento térmico, este tratamiento fue deficientemente controlado en la práctica comercial durante largo tiempo. La leche era normalmente sobrecalentada o no se calentaba del todo. De esta forma la leche presentaba con cierta frecuencia problemas de sabor o contenía Bacilos de Tuberculosis viables.

A mediados de los años 1930 Kay y Graham anunciaron la detección de la enzima fosfatasa.

Esta enzima está presente siempre en la leche cruda y se destruye mediante una combinación tiempo-temperatura que es la adecuada para conseguir una pasteurización eficiente. Además, su presencia o ausencia se determina fácilmente mediante el test de la fosfatasa de Scharer, la ausencia de la fosfatasa indica que se ha tratado correctamente la leche.

Afortunadamente todos los organismos patógenos comunes en la leche son destruidos mediante un tratamiento térmico no muy intenso que tendrá un efecto muy bajo sobre las propiedades físicas y químicas de la leche.

El organismo más resistente es el bacilo de la tuberculosis (B.T.), que se puede destruir mediante calentamiento de la leche a 63 °C durante 8 min.

El B.T es considerado el organismo de referencia en la pasteurización, así: *“Cualquier tratamiento térmico que destruya al B.T. se supone que destruye a los demás patógenos de la leche”*

Un fin secundario que se consigue con la pasteurización es la destrucción de tantos organismos como sea posible, así como de los sistemas enzimáticos con objeto de salvaguardar la calidad de los productos.

Los tiempos más prolongados entre entregas, a pesar de las modernas técnicas de enfriamiento, hacen que los microorganismos dispongan de mayor tiempo para multiplicarse y desarrollar sus sistemas enzimáticos. Además, los componentes de la leche son degradados, baja el pH, etc. Para superar todos estos problemas, el tratamiento térmico debe aplicarse lo más rápidamente posible después que la leche ha llegado a la central lechera.

En la figura 4, se muestra las curvas de tratamiento térmico con efectos letales sobre las bacterias, por ejemplo, los bacilos de tuberculosis necesitan un tiempo de mantención de 20 segundos a una temperatura de 70 °C o unos cuatro minutos a 65 °C para asegurar su total destrucción.

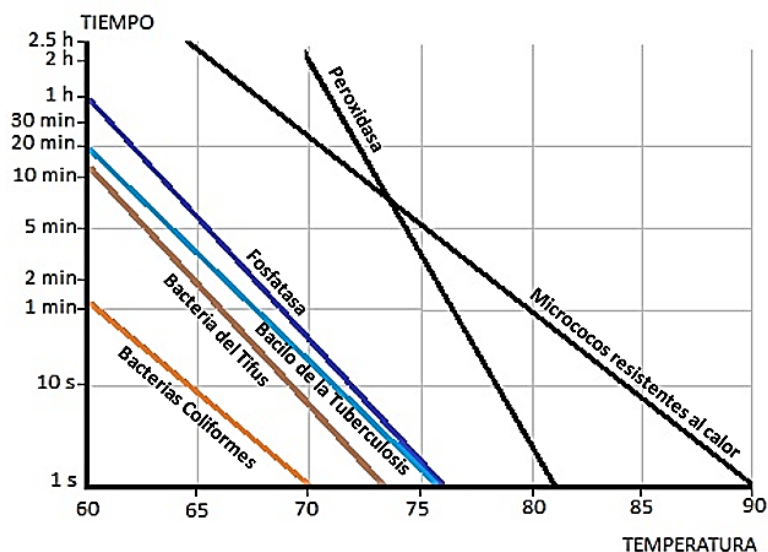


Figura 4. Efecto letal sobre las bacterias según tiempo y temperatura. Fuente: <http://movimientodeenergia.blogspot.com/2011/09/procesos-en-la-industria-lactea.html>

2.2 Definición de pasteurización

Es el proceso térmico realizado a líquidos (generalmente alimentos) con el fin de reducir los agentes patógenos que puedan tener: bacterias, protozoos, mohos y levaduras, etc. Unos de los objetivos del tratamiento térmico es la esterilización parcial de los alimentos líquidos, alterando lo menos posible la estructura física, los componentes químicos y las propiedades organolépticas de estos.

- **Proceso**

La pasteurización es un proceso térmico aplicado a los alimentos, los procesos térmicos se pueden realizar con la intención de disminuir las poblaciones patógenas de microorganismos o para desactivar las enzimas que modifican los sabores de ciertos alimentos.

Se emplean temperaturas por debajo del punto de ebullición, ya que en la mayoría de los casos las temperaturas superiores a este valor afectan irreversiblemente ciertas características físicas y químicas del producto alimenticio.

Como anteriormente se ha mencionado es deseable una alta temperatura desde el punto de vista microbiológico, sin embargo, ello supone aumentar el riesgo de aparición de defectos en el sabor, valor nutritivo y apariencia de la leche. En la tabla 1 se presentan los principales tratamientos térmicos, temperatura y tiempo de mantención.

Tabla 1. Principales categorías de tratamientos térmicos en la industria láctea. Fuente: <http://movimientodeenergia.blogspot.com/2011/09/procesos-en-la-industria-lactea.html>

Proceso	Temperatura	Tiempo
Terminación	63-65 °C	15 s
Pasteurización LTLT	63 °C	30 min
Pasteurización HTST de la leche	72-75 °C	15 – 20 s
Pasteurización HTST de la nata, etc.	<80 °C	1 – 5 s
Ultra pasteurización	125-138 °C	2 – 4 s
Esterilización UHT	135-140 °C	Unos pocos segundos
Esterilización en el envase	115-120 °C	20 – 30 min

2.3 Tipos de pasteurización

Existen tres tipos de procesos bien diferenciados: pasteurización VAT o lenta (LTLT), pasteurización a altas temperaturas durante un breve periodo (HSTS – High Temperature / Short Time) y el proceso a ultra-altas temperaturas (UHT – Ultra High Temperature).

2.3.1 Proceso VAT

Este fue el primer método de pasteurización, aunque se ha ido renovando por sistemas más eficaces. Este proceso consiste en calentar grandes volúmenes de leche en un recipiente hermético a 63° C durante 30 minutos, para luego dejar enfriar lentamente. Luego debe pasar mucho tiempo para continuar con el proceso de envasado del producto, a veces más de 24 horas.

La pasteurización por este método se realiza en una cuba enchaquetada en la cual se lleva a cabo una de las operaciones a continuación descritas:

- a.** El material lácteo se calienta en la cuba hasta la temperatura deseada mezclándose adecuadamente. La agitación deberá mantenerse durante el proceso completo, es decir, durante el calentamiento y el tiempo de retención requerido.
- b.** El material lácteo puede ser parcialmente calentado por una fuente de calor externa y luego elevar su temperatura en la cuba hasta llegar a la temperatura de pasteurización final, la cual se mantiene durante el tiempo de retención requerido.

- c. El material lácteo se calienta a la temperatura de pasteurización en una fuente de calor externa antes de entrar en la cuba donde se mantiene durante el tiempo de retención requerido.
- d. El material lácteo, ya a la temperatura de pasteurización, puede circular entre la cuba y una fuente de calor externa. El material lácteo puede seguir circulando a través de la fuente de calor externa durante todo el período de retención para garantizar que su temperatura no sea menor a la temperatura de pasteurización.

En cualquiera de los métodos anteriormente mencionados, luego de cumplido el tiempo de retención, el material lácteo puede ser parcial o totalmente enfriado en la cuba desconectando el medio de calentamiento y conectando agua fría o helada al intercambiador de calor, o ser retirado a la temperatura de pasteurización.

El uso de la pasteurización lenta es adecuado para procesar pequeñas cantidades de leche hasta aproximadamente 2,000 litros diarios, de lo contrario no es aconsejable.

Requisitos generales para pasteurización VAT

Como es de adelantarse, en cada proceso es necesario cumplir con ciertas condiciones o características para el buen uso de determinado equipo, así como para lograr las especificaciones deseadas finales de un producto.

En esta vía se plantean algunos requisitos de manera general que son de vital importancia cumplir tanto para el cuidado y la longevidad del equipo, como para obtener una buena calidad del producto en proceso.

Dentro de los cuales se mencionan:

- **Calentamiento/enfriamiento**

El suministro de agua de enfriamiento deberá estar físicamente desconectado del intercambiador de calor durante los ciclos de calentamiento y retención.

Esta condicionante hace referencia a sistemas en los que se incluye el sistema de enfriamiento, el cual no es necesario para este método de pasteurización, ya que, puede dejarse enfriar en la misma cuba por medio de convección natural; el objetivo de incluir un sistema de enfriamiento adyacente al de calentamiento es poder efectuar una mayor cantidad de veces el proceso de pasteurizado en un tiempo determinado, es decir, con el sistema de enfriamiento lo que se busca es agilizar el proceso.

- **Altura y ubicación de la cuba**

El pasteurizador puede ser instalado sobre una losa o sobre patas. Estas patas deben ser lisas con los bordes redondeados y no presentar rosca expuesta.

- **Cuba enchaquetada**

Si la cuba no posee camisa calefactora, entonces deberá estar completamente aislada. Cuando se utiliza una camisa calefactora o serpentín de calefacción, el medio de calefacción se mantendrá a una temperatura igual o superior a la de pasteurización durante todo el ciclo de retención.

- **Agitación**

El método de agitación debe garantizar que la diferencia de temperatura del material lácteo entre la zona más caliente y la zona más fría no exceda 0.5 °C durante el ciclo de retención.

- **Calefacción del aire**

En la formación de espuma o burbujas en el material lácteo, la temperatura de la espuma puede ser muy inferior a la temperatura de pasteurización, puesto que actúa como aislante.

El aire que se encuentra sobre el material lácteo deberá ser calefaccionado por medios auxiliares para garantizar que su temperatura, durante la etapa de retención, sea 3 °C superior a la de pasteurización.

No es necesario calentar el aire cuando la cuba se utilice exclusivamente para la pasteurización de material lácteo a una temperatura superior a la mínima de pasteurización, produciendo una temperatura del espacio aéreo que supere como mínimo en 3 °C a la temperatura mínima de pasteurización.

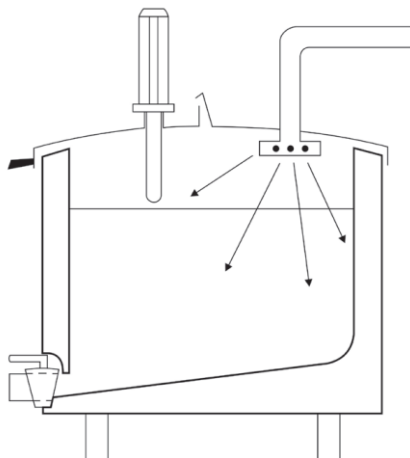


Figura 5. Calefacción de aire.
Fuente: INTI: cuadernillo sobre pasteurizadores de leche/ Diseño, uso y mantenimiento de leche/ Diseño, uso y mantenimiento.

- **Tapa**

La tapa debe ser construida para prevenir la entrada de contaminantes a la cuba.

Estas deben ser lo suficientemente rígidas para evitar pandeo y auto drenajes cuando se encuentren en posición cerrada. Deberán además estar provistas de manijas de diseño higiénico convenientemente ubicadas y soldadas a la tapa.

El diseño deberá impedir que, al levantar la tapa, el líquido acumulado en su parte superior ingrese en el pasteurizador. Cuando la tapa esté en la posición totalmente abierta, las gotas de condensado formadas en la parte inferior de la misma, no caerán en el interior del pasteurizador.

- **Accesorios**

No debe haber roscas en contacto con material lácteo. Aunque la rosca puede ser desmontada para la limpieza manual, no se aconsejan roscas debido a su dificultad para ser higienizadas.

En lugar de roscas, pueden utilizarse sujetadores a presión o dispositivos similares de fácil remoción.

La camisa del sensor de temperatura debe estar montada sobre la cuba de forma higiénica, y debe permitir la extracción del sensor de temperatura para su calibración.

El material de los accesorios involucrados en proceso, deben garantizar niveles altos de higiene y ser de fácil limpieza. Por lo tanto, estos deben de seleccionarse según el nivel de inocuidad establecido en proceso.

Prevención de mezcla entre producto crudo y pasteurizado

Requisitos:

- Deberá asegurarse que la válvula de salida de producto pasteurizado esté cerrada antes del llenado de la cuba. De esta forma no pasará producto hacia delante (antes de la pasteurización).
- La línea de producto crudo deberá estar totalmente separada de la línea de producto pasteurizado.
- Cuando el pasteurizador se encuentra en la etapa de calentamiento o retención, no deberá pasar producto hacia adelante.
- La línea de entrada debe ser desconectada de la cuba para asegurar que no entre producto crudo al pasteurizador durante la pasteurización.
- Válvula de entrada: La válvula debe permanecer cerrada durante las etapas de retención y vaciado.
- Válvula de salida: La válvula de salida debe estar cerrada durante las etapas de llenado, calentamiento y retención. Esta se diseñará de forma que se evite la acumulación de producto no pasteurizado en la cañería de salida cuando la válvula se encuentra cerrada.

Los esquemas representados en la figura 6 garantizan una correcta distribución de temperatura en las proximidades de la válvula de salida posterior a la pasteurización.

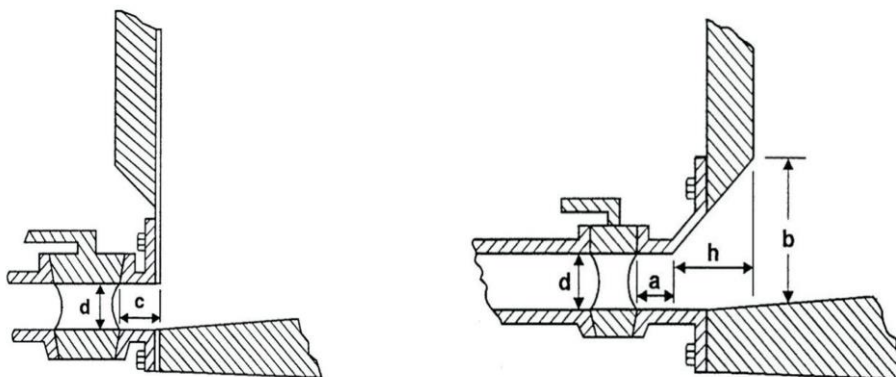


Figura 6. Esquemas de una correcta distribución de temperatura en las proximidades de la válvula de salida del material lácteo. Fuente: INTI: cuadernillo sobre pasteurizadores de leche/ Diseño, uso y mantenimiento.

Requisitos de diseño que cumplen con una buena ubicación de las válvulas de salida son:

- (c) debe ser menor a (d)
- (b) debe ser mayor a (h+d)
- (a) deber ser menor a (d)

De lo anterior se toma en consideración los ángulos de salida que se encuentran continuo a la válvula de salida, esto para evitar la retención de material lácteo al momento de descarga del mismo.

Sistemas de control y medición

Cuando la temperatura del material lácteo o la temperatura del espacio aéreo disminuyen a un valor inferior al mínimo especificado antes del cumplimiento del tiempo de retención requerido, se considerará que no se ha cumplido la pasteurización.

Las temperaturas del material lácteo y del espacio aéreo se elevarán por encima del mínimo y la medición de tiempo de retención deberá iniciarse nuevamente. No es permitido realizar un tratamiento térmico parcial al material lácteo que ha recibido un tratamiento incompleto.

Medición de temperatura

Todos los termómetros deben poseer las siguientes características metrológicas:

- a. Resolución de lectura igual o menor a 0.1 °C.
- b. Error máximo tolerado: ± 0.5 °C en el rango comprendido en un entorno de ± 3 °C respecto a la temperatura establecida de pasteurización, espacio aéreo o enfriamiento, según corresponda.
- c. Deben soportar temperaturas de hasta 100 °C.
- d. Los sensores deben ser fácilmente desmontables para su calibración y cuando sea necesario deben poseer protección mecánica.

Temperatura de pasteurización

La temperatura del material lácteo debe ser medida y registrada durante la pasteurización.

Deberá realizarse un control cruzado entre el registrador de temperatura y el indicador de temperatura. La lectura del registrador de temperatura debe compararse diariamente con la lectura del termómetro indicador.

Si no se posee un registrador de temperatura, se deberá contar con dos termómetros de indicación ubicados lo más próximo posible entre sí y se registrará manualmente los valores de temperatura indicados a períodos no superiores a los 5 minutos.

La diferencia máxima admitida entre las dos indicaciones no debe superar 1 °C. En caso de que esta diferencia sea superada, se deberán recalibrar ambos termómetros.

Temperatura de espacio aéreo

De ser necesario, debe instalarse un termómetro que mida la temperatura del espacio aéreo.

Esta indicación debe ser observada y se debe verificar que su valor sea superior al mínimo exigido. Se debe registrar periódicamente de forma manual o automática la indicación de la temperatura para cada lote de material lácteo pasteurizado, es decir, durante cada proceso debe estarse verificando el cumplimiento de esta temperatura.

Temperatura de salida de producto frío

Si es relevante para la inocuidad del producto, debe medirse la temperatura de salida.

Ubicación de los sensores de temperatura

Los sensores de temperatura del sistema de registro y de indicación deben estar ubicados en la cuba de manera tal que midan una temperatura representativa del material lácteo. Por ejemplo, si la cuba está equipada con una camisa de calefacción, la ubicación de los sensores deberá eliminar cualquier influencia térmica directa del medio de calentamiento.

Los termómetros de registro y de indicación se colocarán lo más cerca posible el uno del otro.

Sistema de registro

Durante la pasteurización deben registrarse mínimamente los siguientes datos:

- Fecha y hora (cuando el registro es automatizado deben tener protección a cambios y/o modificaciones).
- Número de lote (en caso de haber varios autoclaves o cubas).
- Tiempo de retención.
- Temperatura de pasteurización desde el inicio de la operación hasta la finalización incluyendo la temperatura y la duración de los ciclos de limpieza.
- Temperatura de salida del producto cuando es crítica para la inocuidad del producto.
- Ciclo de limpieza.

2.3.2 Proceso HTST

Este método es empleado en los líquidos a granel, como la leche, los zumos de fruta, cerveza, etc. Por regla general es el más conveniente, ya que expone al alimento a grandes temperaturas durante un periodo breve y además se necesita poco equipamiento industrial para realizar este proceso.

Existen dos métodos distintos bajo la categoría de pasteurización HTST:

- Proceso “batch”: una gran cantidad de leche se calienta en un recipiente hermético (autoclave).
- Proceso de “flujo continuo”: el alimento se mantiene entre dos placas de metal, también denominadas intercambiador de calor de placas (PHE) o un intercambiador de calor de forma tubular.

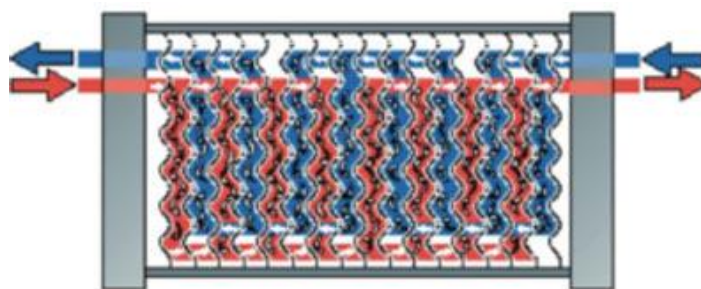


Figura 7. Esquema intercambiador de placas, pasteurización HTST. Fuente: http://www.portalechero.com/innovapor tal/v/725/1/innova.front/proceso_de_pasteurización_.html

Esta pasteurización se realiza en intercambiadores de calor de placas, el recorrido que hace la leche en este proceso es el siguiente:

- La leche llega al equipo intercambiador a 4 °C aproximadamente, proveniente de un tanque regulador; en el primer tramo se calienta por regeneración.
- En esta sección de regeneración o precalentamiento, la leche cruda se calienta a 58 °C aproximadamente por medio de la leche ya pasteurizada cuya temperatura se aprovecha en esta zona de regeneración.

- Al salir de la sección de regeneración, la leche pasa a través de un filtro que elimina impurezas que pueda obtener, luego la leche pasa a los intercambiadores de calor de la zona donde se la calienta hasta la temperatura de pasteurización, esta es 72 – 75 °C por medio de agua caliente.
- Alcanzada esta temperatura la leche pasa a la sección de retención de temperatura; esta sección puede estar constituida por un tubo externo o un retardador incluido en el propio intercambiador; el más común es el tubo de retención; en donde el tiempo que la leche es retenida es de 15 a 20 segundos.
- A la salida de la zona de retención, la leche pasa por una válvula de desviación; en esta válvula, si la leche no alcanza la temperatura de 72 – 75 °C, automáticamente la hace regresar al tanque regulador para ser luego reprocesada, pero si la leche alcanza la temperatura de 72 – 75 °C, pasa entonces a la zona de regeneración o precalentamiento, donde es enfriada por la leche cruda hasta los 18 °C.
- De aquí la leche pasa a la sección de enfriamiento en donde se distinguen dos zonas: una por donde se hace circular agua fresca y la otra en donde circula agua helada, para terminar de esta manera el recorrido de la leche, saliendo del intercambiador a una temperatura de 4 °C.

Equipo de pasteurización

Una instalación de pasteurización se compone de un equipo de calentamiento y un equipo de refrigeración. El conjunto puede completarse con un cambiador- recuperador de calor y una sección de mantenimiento.

Estos equipos pueden estar montados separadamente o constituir un solo bloque. A veces, un solo elemento permite efectuar sucesivamente el calentamiento y la refrigeración, como sucede en la pasteurización baja.

En todos los tipos de equipos, el calentamiento o la refrigeración se efectúan por intercambio de calor, a través de una pared metálica, entre la mezcla a pasteurizar, por una parte, y un fluido refrigerante o calefactor por otra. Los tipos de pasteurizadores se distinguen esencialmente por la extensión, la forma y la disposición de las superficies a través de las que tiene lugar el intercambio de calor. La cantidad de calor transmitida por la pared metálica está en función del coeficiente de transmisión de esta pared, de su superficie y de la diferencia de temperatura entre el mix y el fluido. El coeficiente de transmisión de la pared depende también de su grado de limpieza.

La figura 8, muestra un ejemplo de pasteurizador de placas completo con todo su equipo de funcionamiento, supervisión y control del proceso.

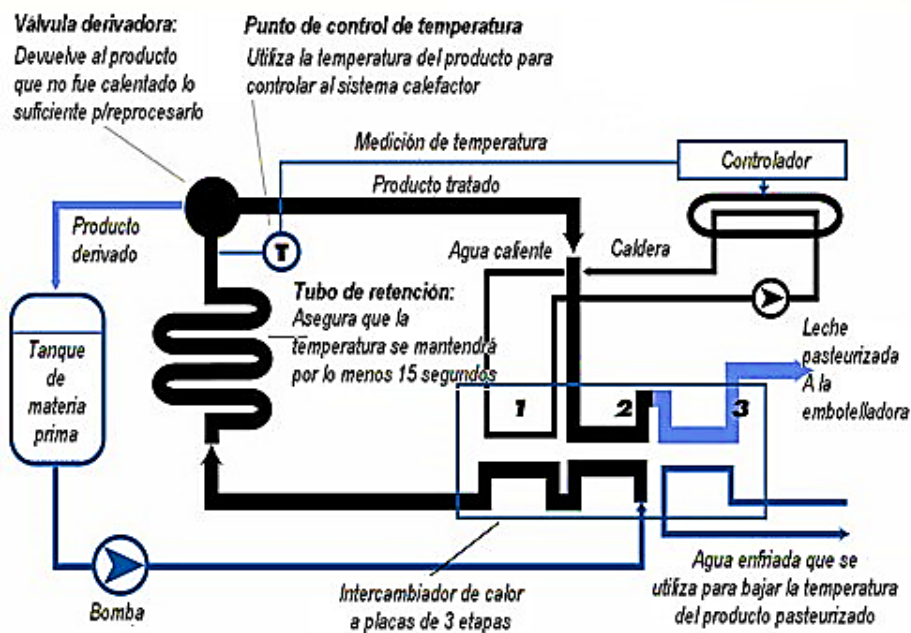


Figura 8. Esquema de un equipo de pasteurización con intercambiador de placas. Fuente: <https://tecnoedu.com/Armfield/FT75A.php>

De la figura 8 se pueden identificar los siguientes sistemas:

➤ **Tanque de materia prima**

En este depósito, una válvula de flotador colocada a su entrada regula el caudal de mezcla y mantiene constante su nivel. Su funcionamiento es sencillo: cuando baja el nivel de mezcla se abre parcialmente la válvula de entrada comandada por el flotante.

Por el contrario, al subir el nivel, esta válvula se cierra también por efecto del flotante logrando de este modo que el caudal de mix de alimentación al pasteurizador no varíe.

➤ **Bomba**

Esta bomba toma la mezcla del tanque de materia prima y alimenta al pasteurizador con un caudal constante. Para el caso de líquido o mezclas viscosas (caso del mix) suele utilizarse bombas centrífugas, pero debe tenerse la precaución de instalar una válvula de seguridad, que, ante una obstrucción y aumento de la presión interna, detiene la bomba evitando de este modo daños graves a la instalación.

➤ **Controlador de caudal**

El controlador de caudal mantiene el flujo del producto a través del pasteurizador al nivel deseado. Esto garantiza un control estable de la temperatura y un tiempo de mantenimiento constante para conseguir el efecto de pasteurización buscado.

➤ **Pre calentamiento regenerativo**

La mezcla sin tratar continúa desde la bomba hasta la primera sección del pasteurizador, Etapa 2: sección de pre calentamiento. Aquí se calienta en contracorriente con la mezcla pasteurizada, que a su vez se enfría.

➤ **Pasteurización**

El calentamiento final hasta la temperatura de pasterización con agua caliente o vapor al vacío tiene lugar en la sección de calentamiento del pasteurizador, descrito en la figura 8 como Etapa 1.

➤ **Desviación del flujo**

Cuando en el proceso de pasteurización no se alcanza la temperatura de trabajo, esta válvula instalada en la salida de la etapa de retención permanece abierta, enviando la mezcla nuevamente al tanque de materia prima impidiendo de este modo la contaminación de la mezcla pasteurizada con la mezcla “cruda”. Esta válvula es automática y está comandada por un sensor de temperatura colocado después de la sección de mantenimiento que transmite una señal al monitor de temperatura.

➤ **Enfriamiento**

Inmediatamente después del calentamiento, la mezcla vuelve a la sección o secciones regenerativas (Etapa 2) para su posterior enfriamiento (Etapa 3). En esta última etapa, la mezcla pasteurizada que sale del equipo se enfría con agua helada, o bien con una solución glicolada u otro tipo de refrigerante, dependiendo de la temperatura.

Descripción del proceso de pasteurización

Una planta completa de pasteurización dispone de los siguientes elementos:

- Depósito regulador de entrada.
- Bomba de impulsión de la mezcla.
- Pasteurizador de placas.
- Equipo de calentamiento.
- Válvula de DDF (Desviación De Flujo).
- Panel y elementos de control.
- Tuberías y accesorios de unión entre todos los componentes de la planta.

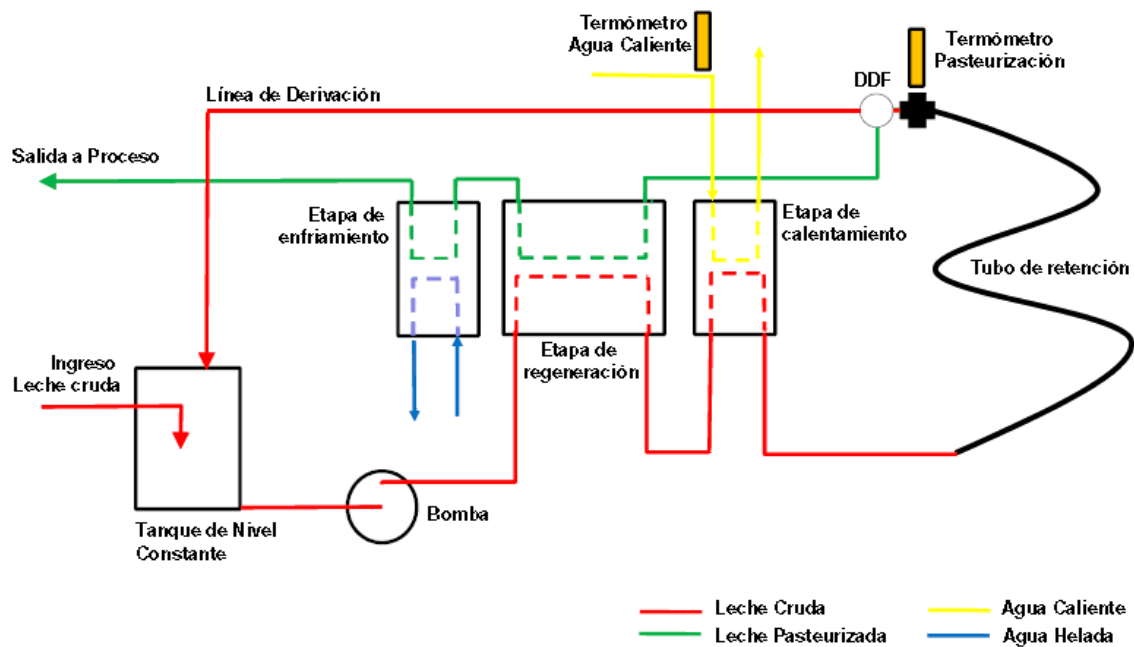


Figura 9. Planta de Pasteurización. Fuente: INTI, Pasteurizadores de leche/ Principios básicos para su correcto diseño, uso y mantenimiento.

La mezcla llega al depósito regulador y una bomba la envía a la sección regenerativa del pasteurizador donde a una temperatura aproximada de 57 °C en contracorriente con la mezcla ya calentada hasta 74 °C y que se enfría hasta 60 °C. Una vez a 57 °C pasa a la sección de calentamiento donde es elevada su temperatura a 74 °C en contracorriente con agua a 80 °C. Esta agua caliente está en continua recirculación por una bomba

El intercambiador de placas se mantiene durante 15-20 segundos normalmente, la temperatura de 74 °C, lo que es suficiente para la destrucción de los microorganismos patógenos. Luego la mezcla pasteurizada se envía nuevamente a la sección regenerativa para que ceda calor a la entrante y se enfríe hasta unos 60 °C.

En la primera sección de enfriamiento, la mezcla pasa de 57 a 28 °C en contracorriente con agua entre 18-22 °C. En la segunda sección de enfriamiento, la mezcla pasa de 28 a 4 °C, en contracorriente con agua helada de 2-3 °C.

Una vez calentada la mezcla hasta 57 °C, y antes de su pasteurización final, se envía a un homogeneizador y vuelve, lo que no afecta al funcionamiento de la instalación.

A la salida de la mezcla a 74 °C de la sección de mantención, ésta pasa por una válvula DDF antes de volver a la sección regenerativa. La misión de esa válvula es recircular el producto al depósito inicial en caso de no haberse alcanzado la temperatura de pasteurización deseada. De este modo se asegura de forma automática que ninguna porción de la mezcla sale sin el tratamiento debido.

La incorporación de esta sección regenerativa, donde la mezcla entrante es calentada por la que sale, supone un ahorro energético muy fuerte (80-90 %), lo que disminuye considerablemente los costos de funcionamiento

2.3.3 Proceso UHT

El fundamento de la ultra pasteurización (UHT: Ultra High Temperature), o temperatura ultra-alta, es la esterilización del alimento antes de empacar, es de flujo continuo y mantiene la leche a una temperatura superior más alta que la empleada en el proceso de HTST, y puede rondar los 138 °C durante un periodo de al menos 2 o 5 segundos. Debido a este periodo de exposición, aunque breve, se produce, una mínima degradación del alimento. La leche cuando se etiqueta como “PASTEURIZADA” generalmente se ha tratado con el proceso HTST, mientras que para la leche etiquetada como “ULTRAPASTEURIZADA” o simplemente “UHT”, se debe entender que ha sido tratada por el método “UHT”.

Este método es empleado en productos líquidos como leches, jugos, cremas, yogurt, vinos, aderezos, alimentos con partículas discretas, alimentos para bebe, derivados del tomate, jugos de fruta, verduras y sopas.



Figura 10. Planta de ultra pasteurización.
Fuente: Tesis: tratamiento para la conservación de la leche, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

Estas plantas de tratamiento de producto trabajan de acuerdo a calentamiento indirecto. Su gran beneficio provee una alta seguridad de producción. Este tipo de tecnología ha sido utilizada de manera exitosa por muchos años.

Las plantas UHT poseen condiciones optimizadas de flujo que producen un producto de buena calidad y un proceso de alta eficiencia, con una recuperación del calor de hasta 90%.

Equipo utilizado en la ultra pasteurización UHT

En este proceso de pasteurización, debido a que este método es bastante industrializado, ya se hacen plantas industriales pre fabricadas, aclarando que cada uno de estos tendrá distintos procesos y equipos. A continuación, se presenta una planta de ultra pasteurizado de la empresa Germina:

Principio de Funcionamiento:

El principio de funcionamiento se describe en las siguientes fases:

Pre esterilización: Antes de que comience la producción la planta debe estar esterilizada para evitar infecciones en el producto a tratar. La pre-esterilización implica:

- Esterilización por agua caliente a la misma temperatura a la que va a circular el producto. Este ciclo tiene una duración mínima de 30 minutos desde el momento en que la temperatura ha alcanzado las condiciones asépticas necesarias.
- Enfriar la planta a las condiciones requeridas para la producción.

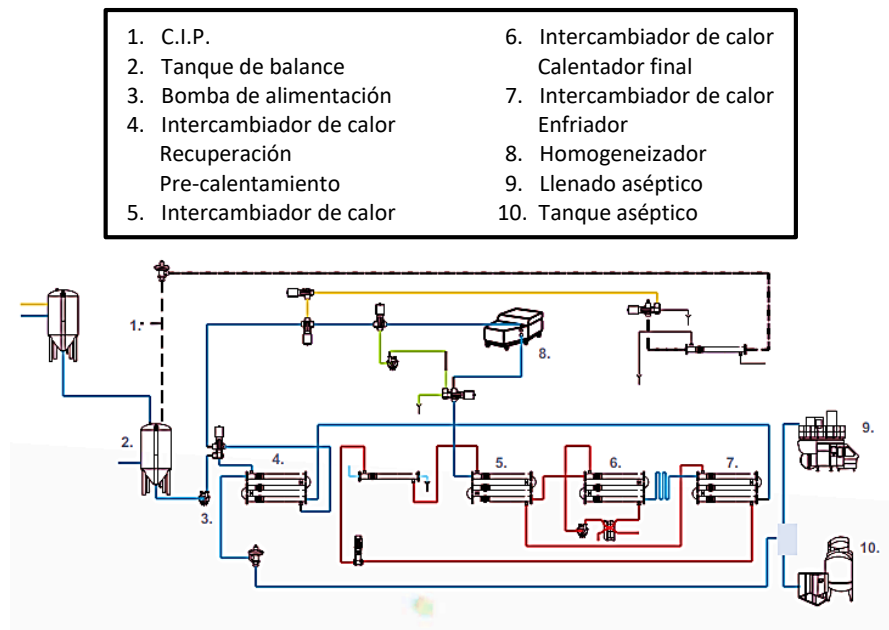


Figura 11. Planta Ultra Pasteurización. Fuente: Gemina.es/UHT tratamiento indirecto.

2.4 Organismos afectados en el proceso

Entre los organismos cuyas poblaciones se pueden disminuir considerablemente con la pasteurización en la leche y otros líquidos son los siguientes:

- Brucella abortus
- Campylobacter jejuni
- Escherichia coli
- Coxiella burnetti
- Listeria monocytogenes
- Mycobacterium tuberculosis
- Mycobacterium bovis
- Salmonella enterica serotypes
- Streptococcus pyogenes
- Yersinia enterocolitica

2.5 Diferencia entre pasteurización y esterilización

Uno de los objetivos del tratamiento térmico es la esterilización parcial de los alimentos líquidos, alterando lo menos posible la estructura física, los componentes químicos y las propiedades organolépticas de estos. Tras la operación de pasteurización, los productos tratados se enfrían rápidamente y se sellan herméticamente con fines de seguridad alimentaria; por esta razón, es básico en la pasteurización el conocimiento de los mecanismos de la transferencia de calor en los alimentos.

En la pasteurización, el objetivo primordial no es la “eliminación completa de los agentes patógenos” sino la disminución sensible de sus poblaciones, alcanzando niveles que no causen intoxicaciones alimentarias a los humanos (suponiendo que el producto pasteurizado se haya refrigerado correctamente y que se consuma antes de la fecha de caducidad indicada).

A diferencia de la esterilización, la pasteurización no destruye las esporas de los microorganismos, ni elimina todas las células de microorganismos termofílicos. La pasteurización se lleva a cabo durante un tiempo prolongado a temperaturas menores de los 100 °C y destruye a los microorganismos susceptibles de calor y sus esporas, mientras que en la esterilización se realiza a una temperatura mayor a los 100 °C la cual “mata a todos los microorganismos”.

2.6 Parámetros de una buena pasteurización

Para saber si la pasteurización de un alimento ha sido correcta, se realizan pruebas como por ejemplo en el caso de la leche, comprobar si una enzima, la fosfatasa alcalina, tiene actividad en el alimento o ha sido destruida.

Como la fosfatasa alcalina tiene una resistencia similar, pero algo superior a los microorganismos que interesan destruir en la leche, se asume que, si no hay actividad de fosfatasa alcalina en la leche, se habrán destruido los microorganismos que interesaban eliminar. Estas pruebas se describen con mayor detalle en el apartado 7.2.

Acidez del alimento

La acidez determina el grado de supervivencia de un organismo bacteriano. La principal clave para averiguar este parámetro es el pH; cabe decir que históricamente los alimentos se han considerado ácidos o pocos ácidos.

Hay que considerar que la mayoría de las bacterias tóxicas como la *Clostridium botulinum* ya no están activas por debajo de un valor de 4.5. Los alimentos se pueden considerar como ácidos si están por debajo de este valor de pH (la mayoría de las frutas se encuentran en este rango, sobre todo los cítricos).

Enfermedades que pueden ocasionarse por una mala pasteurización

Consumir leche cruda de animales, con una mala pasteurización o sin pasteurizar, expone a ciertos riesgos de contacto con organismos y bacterias causantes de enfermedades. En algunos países se ha llegado a prohibir la venta del producto. Algunas de las enfermedades evitadas con la pasteurización de la leche son:

- Tuberculosis
- Difteria
- Polio
- Salmonelosis
- Fiebre escarlata
- Tifoideas

Algunos organismos y bacterias cultivados en los alimentos son resistentes a la pasteurización si no se lleva de manera adecuada. Como el *Bacillus cereus* (pudiendo llegar a prosperar cultivos de este bacilo incluso a bajas temperaturas), el *Bacillus stearothermophilus*, etc.

No obstante, la resistencia a la eliminación térmica depende en gran medida de pH, actividad acuosa, o simplemente de la composición química de los alimentos, la facilidad o probabilidad de volver a ser contaminados (en lo que se denomina en inglés postprocessing contamination, o PPC).

2.7 Proceso térmico seleccionado para la pasteurización de la leche

Como se describió en los apartados anteriores, para el proceso de pasteurización existen tres métodos: VAT, HTST y UHT. Estos tres métodos como se estableció anteriormente, tienen como objetivo principal el de eliminar los agentes patógenos que pueden estar presentes en la leche y que podrían generar enfermedades al consumo humano.

Estos métodos vienen intrínsecamente relacionados a las variables de tiempo y temperatura, a partir de las cuales se han clasificado dichos mecanismos.

Por lo tanto, para la selección del método a utilizar en el proyecto de pasteurización, se analizaron los diferentes factores involucrados, de lo cual se realizó una tabla comparativa entre las ventajas y desventajas de cada uno de los métodos de pasteurización de leche.

Tabla 2. Tabla comparativa entre los métodos de pasteurización.

PROCESO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
VAT	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo utilizado es de bajo costo • La temperatura de pasteurización es relativamente baja • Conserva mejor el valor nutritivo de la leche. 	<ul style="list-style-type: none"> • El tiempo de producción es alto. • El enfriamiento es lento • No es adecuado para pasteurizar grandes cantidades de leche.
HTST	<ul style="list-style-type: none"> • Pueden procesarse en forma continua grandes volúmenes de leche • Expone al alimento a temperaturas altas durante un breve periodo, lo que produce una mínima degradación de la leche. • La automatización del proceso asegura una mejor pasteurización. • Por ser de sistema cerrado se evitan contaminantes. • El tiempo de enfriamiento es bajo. 	<ul style="list-style-type: none"> • No se pueden procesar pequeñas cantidades de leche. • Los equipos utilizados, requieren una inversión significativa. • Necesita de personal altamente calificado para la realización del proceso térmico. • La temperatura de pasteurización es relativamente alta, lo que podría afectar el rendimiento de la tubería de acarreo.
UHT	<ul style="list-style-type: none"> • La vida del producto en estante es más larga. • Empaquetamientos más baratos. • Debido a los cortos periodos de exposición utilizados, se produce una mínima degradación de la leche. • Poseen condiciones optimizadas y de alta eficiencia. • Se manejan volúmenes grandes en tiempos cortos. 	<ul style="list-style-type: none"> • La temperatura de pasteurización es alta. • Se necesita de equipos complejos y una planta para empaque aséptico. • Se necesitan operarios más experimentados. • Los equipos utilizados requieren una alta inversión. • Debe homogeneizarse, ya que en caso contrario puede aparecer dos fases

De la tabla comparativa anterior, se tienen que resaltar cuatro factores principales a tomar en cuenta para la selección del método de pasteurización en cuenta al desarrollo del proyecto:

- 1. Factor económico:** Se puede destacar que en los procesos HTST y UHT, los equipos normalmente utilizados son de alto costo y necesitan personal experimentado tanto para la operación y el mantenimiento del equipo.
- 2. Capacidad del sistema:** Los métodos HTST y UHT, son de flujo continuo, lo que significa que estos no se pueden adaptar al manejo de pequeñas cantidades de leche.
- 3. Temperatura de pasteurización:** Para el método UHT, la temperatura de pasteurización es muy alta, superando los 100 °C, lo que podría ocasionar una disminución significativa de la temperatura del fluido geotérmico que consecuentemente afectaría el rendimiento de la misma.
- 4. Energía de extracción de la tubería de acarreo:** En cuanto al proceso UHT se tiene que, a mayor temperatura de pasteurización, se necesitaría extraer una mayor cantidad de energía de la tubería de acarreo lo que representaría intervenir en el rendimiento de esta.

De lo anterior, el método que se acopla más al proyecto, es el **método VAT**, debido a que la temperatura de pasteurización es relativamente baja, de modo que, no se afectaría el rendimiento de la tubería de acarreo de fluido geotérmico.

Además, el equipo que se utiliza es de bajo costo, fácil mantenimiento y no necesita de operarios experimentados para el proceso. De igual forma, este método conserva mejor el valor nutritivo de la leche y es utilizado para manejar pequeñas cantidades de leche (menor que 2000 litros diarios).

Sin embargo, los tiempos de producción de este método, son altos y el tiempo de enfriamiento es lento, no obstante, estos no son factores de suma relevancia en cuanto al desarrollo del proyecto, ya que no se pretende realizar una producción masiva de leche.

2.8 Métodos de limpieza y desinfección de equipos en la industria de lácteos

2.8.1 Limpieza y Desinfección

Todas las empresas del sector alimentario establecen rigurosos programas de limpieza y desinfección. La industria láctea no es la excepción y con especial cuidado por la naturaleza del producto que se maneja; el cual es altamente perecedero y susceptible de contaminación. Estos procedimientos de limpieza y desinfección de los equipos deben seleccionarse dependiendo del área de trabajo y los materiales que se tengan en planta.

En ese sentido, se tiene que en estos sistemas hay sitios en donde la suciedad es fácilmente acumulable o de difícil acceso como esquinas, rincones, tanques abiertos, pero de gran dimensión, equipos desarmables como las descremadoras, tuberías, uniones, codos, abrazaderas y circuitos cerrados.

Por eso, es importante garantizar que la limpieza se realice en todas las superficies de los equipos usados en la producción de leche, ya que una mal limpieza puede estropear la producción de un día entero.

Entre las causas que pueden afectar la calidad del producto, la principal es la contaminación de origen microbiano, asociada a problemas en las instalaciones de ordeño y principalmente a rutinas de lavado de equipos inadecuadas, por eso siempre es oportuno repasar los puntos claves en el lavado y mantenimiento de los equipos.

Por eso es necesario realizar la limpieza y desinfección de los equipos involucrados en el proceso. Para la desinfección de estos se utilizan compuestos químicos de distinto origen llamados con el nombre genérico de “desinfectantes”.

Los materiales que se tienen en la panta son de diversos tipos, pero en especial el que predomina es el acero inoxidable; sin descartar el vidrio, plástico, goma y caucho. Es así que cada uno de estos materiales actúa diferente frente a los agentes de limpieza y desinfección. Al respecto, el vidrio, plástico, goma pueden ser afectados por los productos químicos y no resistir altas temperaturas. Los metales en cambio, son resistentes a los químicos y a las altas temperaturas; pero, en algunas ocasiones pueden ser atacados por la corrosión. En ese sentido, los metales a excepción del acero inoxidable son bastante susceptibles de sufrir corrosión cuando entran en contacto con ácidos o bases fuertes.

En el medio lácteo los desinfectantes más comunes son los Clorados formulados a base de hipoclorito de sodio, los formulados a base de ácido peracético y en menor medida, utilizados sobre todo para sistemas de desinfección manual, los formulados a partir de compuestos yodados.

Los desinfectantes se denominan también sanitizantes. Cuando se combinan con un detergente, la sanitización es el proceso que deja las superficies y equipos aceptablemente limpios y libres de microorganismos.

Se usan en general, dos métodos para remover impurezas, los cuales se detallan a continuación:

- **CIP (Cleaning In Place - limpieza in situ o limpieza sin desmontar):**
Limpieza de partes completas de una planta o de circuitos de tuberías, realizada sin desmontar o abrir el equipo y con poca o ninguna intervención manual del operador.
- **COP (Cleaning Out of Place - limpieza fuera de posición):** Los artículos a limpiar se colocan en una máquina lavadora, o se dejan "en posición" y se bombean detergentes y agentes de limpieza a través de los mismos.

A continuación, se muestran las principales bacterias causantes de las alteraciones en la leche.

Tabla 3. Principales bacterias causantes de alteraciones de la leche. Fuente: Antonio Callejo, Virginia Díaz EUIT Agrícola UPM

CARACTERÍSTICA	DENOMINACIÓN	ALTERACIONES ES EN EL PRODUCTO
Resistentes al frío (Psychophiles)	Pseudomonas	<ul style="list-style-type: none"> • Sabor • Cuajada de quesos
	Flavobacterium	<ul style="list-style-type: none"> • Leche viscosa • Caducidad corta • Trazas de enzimas
Adaptadas a la temperatura corporal (Mesophiles)	Staphylococcus	<ul style="list-style-type: none"> • Caducidad corta
	E-coli	<ul style="list-style-type: none"> • Acidificación y formación de gases
Resistentes al calor	Bacillus	<ul style="list-style-type: none"> • Formación de esporas • Pueden sobrevivir la pasteurización
	Streptococcus	<ul style="list-style-type: none"> • Caducidad corta • Trazas de toxinas

2.8.2 Detergentes y desinfectantes utilizados en el proceso de limpieza

Se puede establecer una clasificación de los detergentes para la industria de alimentos en función de su composición, y, por tanto, de su adecuación a la industria concreta o proceso:

- **Detergentes clorados:** los detergentes clorados se usan habitualmente en las tareas de limpieza en todo tipo de industrias. Se caracterizan por su capacidad para eliminar restos de materia orgánica, actuando enérgicamente sobre la suciedad adherida.
- **Detergentes ácidos:** son detergentes destinados a eliminar los depósitos minerales e inorgánicos de instalaciones industriales. Este tipo de detergentes se emplea extensivamente en la industria láctea, específicamente en los ciclos ácidos de lecherías, queserías y yogurteras.
- **Detergentes alcalinos:** se trata de detergentes con un alto poder desengrasante. Pueden ser ligeramente espumantes, para aumentar la fijación del producto y su capacidad de arrastre.

Una vez la superficie se encuentre limpia, se puede proceder a las tareas de desinfección. Se puede establecer la siguiente clasificación sobre qué desinfectantes se utilizan en la industria de alimentos:

- **Desinfectantes de amplio espectro:** dentro de los cuales encontramos los desinfectantes compuestos por Glutaraldehído y Cloruro de Didecil Dimetil Amonio. Estos compuestos tienen una gran capacidad de penetración aseguran una acción desinfectante inmediata e intensa.

- **Desinfectantes sin aldehídos:** como los detergentes compuestos por cloruro de didecil dimetil amonio. Este amonio cuaternario, es el único capaz de eliminar virus no encapsulados. Se trata de un producto con un espectro total de eficacia y muy cómodo de usar, ya que es inodoro.

2.8.3 Limpieza manual

Los métodos anteriormente descritos son clasificados como limpiezas químicas, sin embargo, la limpieza manual todavía es una parte grande e importante de las rutinas diarias de la industria alimentaria. Deben tomarse medidas para facilitar esta parte de la operación, así como incorporar el tiempo necesario en la planificación de la producción. El resultado de la limpieza manual depende principalmente de dos factores, ejecución y equipo.

- **Ejecución:** La forma en que se realice la limpieza depende de la motivación y de la competencia, ambas pueden influirse sólo a través de entrenamiento e información. Son necesarias instrucciones claras, incluyendo descripciones del trabajo, tipo de agentes de limpieza a usar, intervalos entre limpiezas, manejo de equipos, etc.
- **Equipo:** Es esencial un buen equipamiento, apropiado para el trabajo, así como buenos medios para almacenarlo cuando no se use.

Consideraciones especiales

En la limpieza del sistema prototipo, se realizaron distintas consideraciones para la limpieza de los equipos, esto debido a que la limpieza química no se pudo llevar a cabo en consecuencia a la dificultad que representa la obtención de los químicos necesarios para poder llevar a cabo dicha limpieza.

Sin embargo, se realizó la protección de la superficie de los recipientes, esto con el objetivo de evitar la degradación de los equipos. Posterior a esto, también se realizó el enjuague de los equipos involucrados en el proceso.

2.8.4 Método de verificación de limpieza

La verificación de la efectividad de la limpieza debe ser considerada como una parte esencial de las operaciones de limpieza. Puede adoptar tres formas: inspección visual, inspección bacteriológica y ensayos de hisopado directo. Debido a los avances de la automatización, las líneas de procesamiento hoy en día son raramente accesibles a la inspección visual. La inspección visual debe de ser reemplazada por una inspección bacteriológica, concentrándose en un cierto número de puntos estratégicos en la línea producción.

Los resultados del CIP (Cleaning In Place) se controlan habitualmente mediante cultivos de bacterias coliformes. Si se hace un ensayo de hisopado sobre una superficie, el criterio es encontrar “*menos que una bacteria coliforme por cada 100 cm²*” de la superficie controlada.

El resultado es inaceptable si el recuento es mayor. Estos controles pueden hacerse sobre las superficies del equipo tras finalizar el programa de CIP. Esto se aplica a tanques y tuberías, especialmente cuando se detectan recuentos excesivamente altos de bacterias en los productos.

A menudo se toman muestras del agua de enjuagado final o del primer producto que pasa por la línea tras la limpieza. Debe verificarse la calidad bacteriológica de todos los productos en sus envases para lograr un control de calidad completo del proceso de fabricación. El programa de control de calidad completo incluye, además del ensayo de coliformes, la determinación del recuento total de microorganismos y un control organoléptico del producto.

CAPÍTULO III. FUNDAMENTOS DE INTERCAMBIADORES DE CALOR

3.1 Definición de Intercambiador de Calor

Según Shah y Sekulic (1998), un intercambiador de calor es un equipo empleado para transferir energía térmica entre 2 o más fluidos, entre una superficie sólida y un fluido, o entre partículas sólidas y un fluido, a temperaturas diferentes y en contacto térmico, usualmente sin calentamiento externo ni interacciones de trabajo. Otros autores, como Amigo (2000) y Çengel (2007), definen los intercambiadores de calor como aparatos que facilitan el intercambio de calor entre 2 fluidos que se encuentran a temperaturas diferentes y evitan al mismo tiempo que se mezclen entre sí.

3.2 Clasificación de los intercambiadores de calor

Singh y Heldman (1998), clasifican a los intercambiadores de calor según el tipo de contacto que poseen con el alimento que calientan o enfrían, en intercambiadores de contacto directo y de contacto indirecto, tal y como se puede observar en la Fig. 12. A su vez, en la Fig. 13, se esquematiza una clasificación de los intercambiadores de calor indirectos, según Amigo (2000).

Por su parte, Rodríguez (1999), ha establecido la siguiente clasificación para los intercambiadores de calor:

- **Regeneradores:** en estos, un fluido caliente y un fluido frío circulan alternativamente. Cuando circula el fluido caliente, este se enfría en su paso a través del regenerador, acumulándose la energía en el último; a continuación, circula el fluido frío, que aumenta su temperatura al recuperar la energía que previamente se había almacenado en el regenerador.

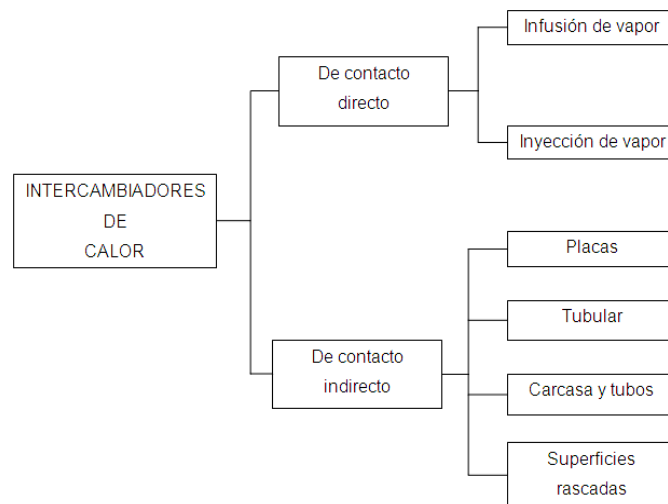


Figura 12. Clasificación de los intercambiadores de calor. Fuente: Singh y Heldman, 1998.

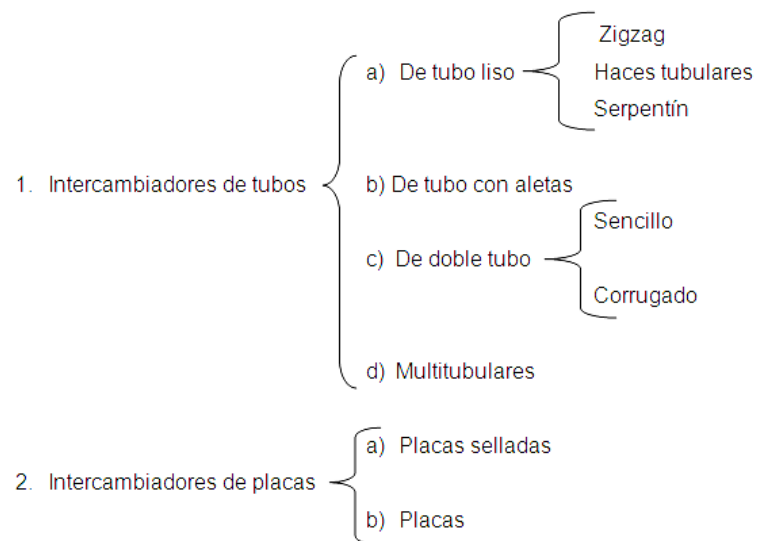


Figura 13. Clasificación de los intercambiadores de calor indirectos. Fuente: Amigo, 2000.

- **Intercambiadores cerrados:** en estos equipos, los fluidos circulan simultáneamente intercambiando calor, manteniéndose separados por una pared metálica.

- **Intercambiadores abiertos:** donde los fluidos intercambian calor al entrar en contacto directo entre ellos.

3.3 Descripción de los Intercambiadores de Calor

De acuerdo con la clasificación establecida por Singh y Heldman (1998), a continuación, se hace una breve descripción de diferentes intercambiadores de calor tomando en consideración el material de fabricación, su funcionamiento, su mínima o máxima capacidad de operación en función de la presión, el volumen o la temperatura, así como los alimentos que pueden ser procesados en cada uno de ellos, entre otras características.

De igual forma, se mencionan las propiedades de determinados intercambiadores de calor diseñados y comercializados por algunos fabricantes a nivel mundial.

3.3.1 Intercambiadores de calor indirectos

Los intercambiadores de calor de contacto indirecto, son aquellos que facilitan el intercambio de calor entre 2 fluidos que se encuentran a temperaturas diferentes, evitando al mismo tiempo que se mezclen entre sí (Çengel, 2007). Entre los fluidos que intervienen se encuentran el producto alimenticio y el agente calefactor o el agente refrigerante, estando estos separados mediante una pared metálica (Singh y Heldman, 1998).

Atendiendo a las direcciones del flujo de ambos fluidos en el interior del equipo, los intercambiadores de calor pueden ser: de flujo paralelo o en serie y de flujo cruzado.

El flujo paralelo es aquel que se da cuando los fluidos mantienen direcciones paralelas, bien sea en el mismo sentido (equicorriente) o en sentido opuesto (contracorriente); mientras que el flujo cruzado es el que ocurre cuando las corrientes mantienen direcciones que se cruzan, formando un ángulo, generalmente perpendicular (Amigo, 2000; Hermida, 2000).

Los intercambiadores de calor de contacto indirecto incluyen a los intercambiadores tubulares, intercambiadores de superficies rascadas o raspadas, intercambiadores de carcasa y tubos y a los intercambiadores de placas.

3.3.2 Intercambiadores de calor tubulares

Bajo este nombre se agrupan todos los intercambiadores de calor en los que la superficie de intercambio está formada por tubos, cualquiera que sea su disposición. Estos equipos, después de los intercambiadores de calor de placas, son los más comunes en la industria de los alimentos (Sannervik y otros, 1996).

3.3.3 Intercambiadores de calor de tubo liso

Según Amigo (2000), los intercambiadores de calor tubulares más sencillos que se pueden encontrar en la industria del procesado de alimentos son los de tubo liso o tubo único. Dentro de ellos circula el agente calefactor o el refrigerante y su parte externa entra en contacto con el alimento.

Las variantes más comunes de estos intercambiadores se describen a continuación:

- Intercambiador de calor de haces tubulares

Consta de varios tubos paralelos que van soldados por sus extremos, a otros, un poco más gruesos, denominados colectores, tal y como se muestra en la Fig. 14.

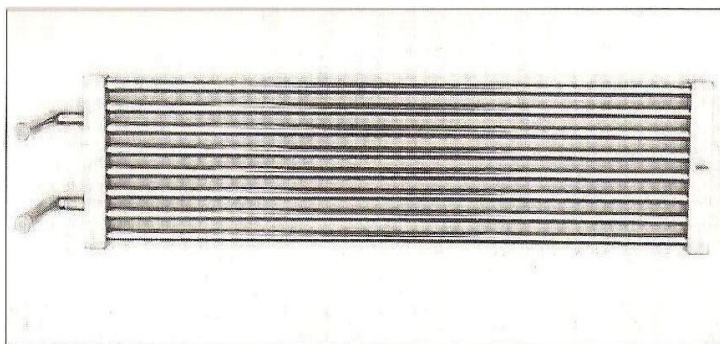


Figura 14. Intercambiador de calor de haces tubulares.
Fuente: Amigo, 2000

- Intercambiador de calor de serpentín

Consiste en un tubo liso enrollado en espiral, para evitar el empleo de codos y colectores. Este se encuentra diseñado en forma de carrito sobre el cual se soporta una máquina frigorífica, como se muestra en la Fig. 15. El diseño que posee este equipo, permite fácilmente su traslado.

Los citados equipos son frecuentemente empleados en enología para el control de la temperatura de fermentación de los mostos, en instalaciones técnicamente poco actualizadas. En los últimos años, los intercambiadores de calor de serpentín han evolucionado para dar lugar a los depósitos con camisas, en los cuales el serpentín se ha sustituido por una doble pared, que envuelve la parte superior externa del depósito, como puede apreciarse en la Fig. 16.

- Intercambiadores de calor de tubos coaxiales

Los intercambiadores de calor de tubos coaxiales son también llamados de tubos concéntricos o de tubo doble. Estos constan de 2 tubos de diámetro diferente, encontrándose el de menor diámetro en el interior del otro tubo.

Por el interior de los mismos circulan paralelamente los fluidos, ya sea en el mismo sentido o en sentido contrario, como se indicó anteriormente, siendo el producto alimenticio el que generalmente fluye por el espacio central, mientras que el fluido térmico fluye por el espacio anular que queda libre entre los 2 tubos.

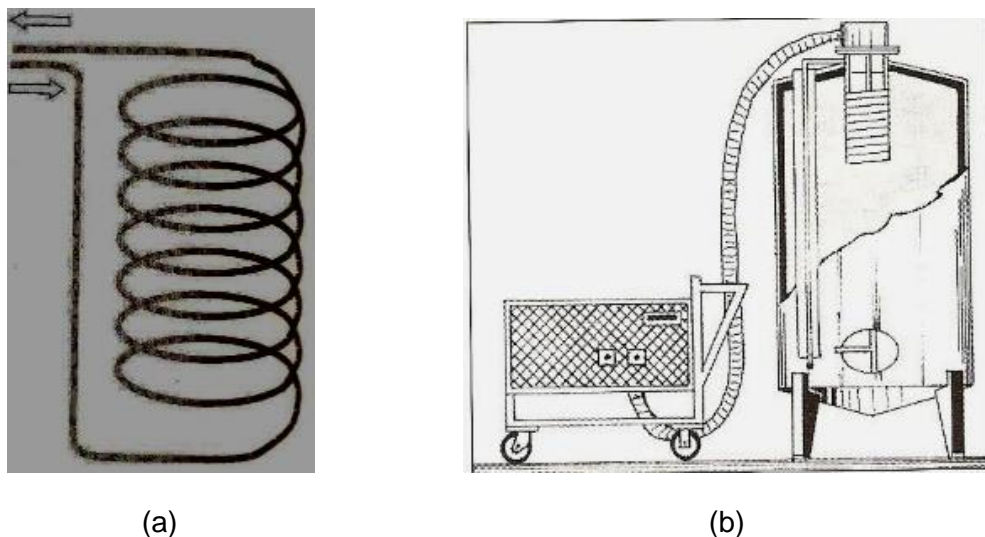


Figura 15. Intercambiador de calor de serpentín: (a) serpentín y (b) cámara frigorífica sobre carrito, mientras se inserta el serpentín en un tanque de fermentación. Fuente: Amigo,2000

3.3.4 Intercambiadores de calor de superficie rascada

Un diseño más complejo que el intercambiador de calor de placas o tubular, el intercambiador de calor de superficie rascada ofrece una forma de procesado de productos altamente viscosos conteniendo partículas que tradicionalmente han sido procesadas mediante operaciones en discontinuo más lentas y permite que se produzca un producto de alta calidad repetible.

El diseño básico consiste en un tubo grande (similar a los monotubos simples) con el medio de calentamiento o enfriamiento en la carcasa exterior. El tubo central de procesamiento contiene un eje que está conectado a un motor y está soportado por cojinetes en ambos extremos.

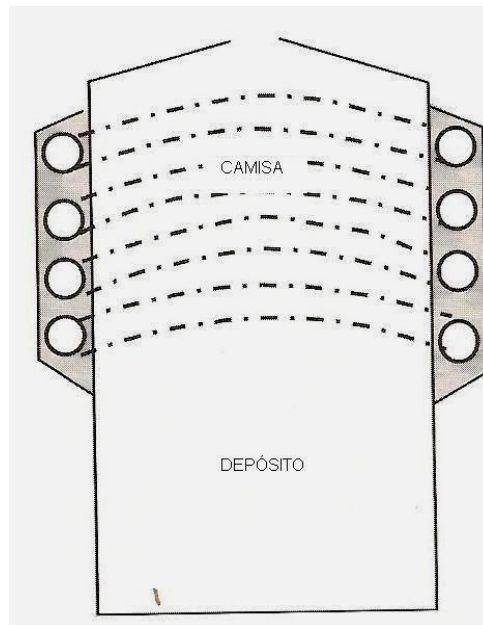


Figura 16. Depósito con camisa.
Fuente: Amigo, 2000

La carcasa del tubo de calentamiento puede ser de níquel chapado en cromo (debido a la alta conductividad térmica que ofrecen), de acero inoxidable, bimetálica o de acero inoxidable cromado, dependiendo de la aplicación para la cual se va a utilizar.

Usualmente, la carcasa es de un diámetro normalizado y los fabricantes ofrecen una gama de ejes centrales (o rotores) para un conjunto específico de condiciones para optimizar el proceso.

Un rotor de diámetro más pequeño dará un espacio libre más grande dentro de la cámara de calentamiento, permitiendo por lo tanto el procesado de productos con partículas más grandes y permiten también un tiempo de residencia más grande en la unidad de calentamiento.

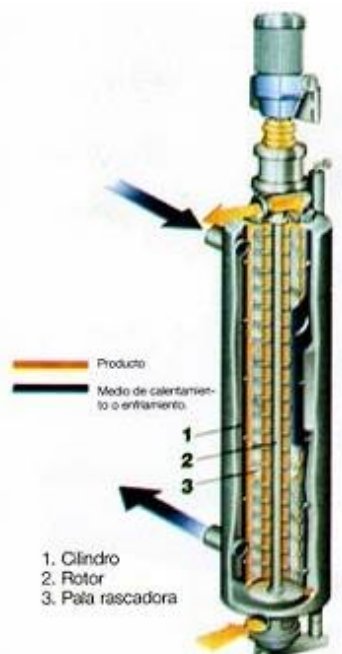


Figura 17. Intercambiador de calor de superficie rascada de tipo vertical.
Fuente: Richardson,2000

3.4 Guía para la selección del mejor tipo de intercambiador

La mejor guía para la selección del tipo de intercambiador de calor a usar, es la experiencia basándose en equipos similares operando en condiciones semejantes. No obstante, si no se posee experiencia previa, deben ser tomados en cuenta si la presión de operación está por debajo de 30 bar y la temperatura de operación por debajo de 200 °C.

A altas temperaturas y presiones, la elección debe estar entre uno de tubo y carcasa, de placas no empacadas y de doble tubo. En la Tabla 4 se muestra un resumen de los diferentes tipos de intercambiadores de calor tratados. En la Tabla 5 y en la Tabla 6 se comparan los intercambiadores más comunes, mostrando las ventajas y desventajas de cada uno.

Tabla 4. Características de los intercambiadores de calor. Fuente: Guía intercambiadores de calor: tipos generales y aplicaciones, Profesora Dosinda Gonzáles-Mendizábal, Universidad Simón Bolívar, 2002.

Tipo	Características constructivas	Aplicaciones
Tubo y Carcasa	Haz de tubos dentro de una carcasa cilíndrica, con presencia de deflectores para generar turbulencia y soportar los tubos.	Multiuso. Prácticamente se amolda a cualquier servicio, por lo general es el primer intercambiador que se considera en una determinada aplicación
Enfriadores con Aire y Radiadores	Haces de tubos soportados por una estructura sobre los que sopla aire en forma cruzada. Los tubos pueden ser lisos o poseer aletas	Se emplean mucho cuando el costo del agua es elevado o cuando se requiere de una torre de enfriamiento para el agua. Condensación o enfriamiento de fluidos, sistemas de enfriamiento de vehículos.
Doble Tubo	Dos tubos concéntricos en forma de "U" u horquilla. El tubo interno puede ser liso o poseer aletas	Se utilizan cuando se requieren áreas de transferencia de calor pequeñas (100 a 200 ft ²). Son muy útiles en operaciones a altas presiones.
Láminas empacas: PHE con empacaduras	Serie de láminas corrugadas separadas entre sí por empacaduras.	Muy utilizado en la industria alimenticia, sobre todo con fluidos viscosos. Cuando se requieren condiciones sanitarias extremas.
Láminas empacas: PHE sin empacaduras	Serie de láminas corrugadas separadas entre sí y soldadas en sus bordes.	Manejo de fluidos viscosos y sobre todo peligrosos o a altas presiones.
Espiral	Láminas metálicas enrolladas una sobre la otra en forma de espiral	No presentan problemas de expansión diferencial. Muy empleados en servicios criogénicos y cuando se manejan fluidos muy viscosos, lodos o líquidos con sólidos en suspensión (industria del papel).

(Continuación)

Tipo	Características constructivas	Aplicaciones
Láminas soldadas	Paquete de láminas separadas por aletas corrugadas.	Intercambio gas-gas o gas-líquido. El fluido que va por la parte de las aletas debe ser limpio y poco corrosivo.
Superficie raspadora	Tubos concéntricos, provistos de cuchillas raspadoras rotatorias ubicadas en la pared externa del tubo interno, las cuales sirven para limpiar la superficie de transferencia de calor.	Muy utilizada cuando se opera con fluidos que se solidifican o cristalizan al enfriarse.
Bayoneta	Dos tubos concéntricos. El tubo interno se utiliza para suplir de fluido al ánulo localizado entre el tubo externo y el interno.	Se emplea, generalmente, cuando hay una diferencia de temperatura entre el fluido de los tubos y el del ánulo, sumamente elevada.
Enfriadores de película descendente	Consisten en tubos verticales por dentro de los cuales desciende agua en forma de película	Enfriamientos especiales
Enfriadores de serpentín	Serpentines metálicos sumergidos en un recipiente con agua	Enfriamientos de emergencia
Condensadores barométricos	Torres donde se produce el contacto directo entre agua y vapor	Se emplean cuando no se mezclan el agua y el fluido de proceso a enfriar
Enfriadores de cascada	Se rocía agua sobre una serie de tubos que contienen el fluido de proceso	Para enfriar fluidos de proceso muy corrosivos
Grafito impermeable	Equipos construidos con grafito	Se emplean en servicios altamente corrosivos

Tabla 5. Intervalos de operación para los intercambiadores más comunes. Fuente: Guía intercambiadores de calor: tipos generales y aplicaciones, Profesora Dosinda Gonzáles-Mendizabal, Universidad Simón Bolívar, 2002.

Tipo de intercambiador	Temperatura máxima de operación (°C)	Presión máxima de operación (kPa)	Superficie de intercambio de calor (m ²)	Observaciones
Tubo y carcasa	-200 a 700	35.000	5 a 1000	Versátil. Se usa para casi cualquier aplicación, independientemente de la tarea a realizar, temperatura y presión. Limitaciones de tipo metalúrgico.
PHE con empacaduras	-40 a 180	3.000	1 a 1.200	Alta eficiencia térmica, flexible, bajo ensuciamiento, compacto, bajo peso, sin vibración, fácil mantenimiento. Usualmente es la unidad más barata para unas condiciones de operación dadas.
PHE sin empacaduras	-200 a 980 (dependiendo del tipo)	35.000	hasta 10.000	Es una alternativa a los intercambiadores de tubo y coraza y los PHE sin empacaduras, siempre y cuando se pueda realizar una limpieza química sin dificultad. Su uso está limitado por la diferencia de presión entre los dos fluidos (entre 4.000-8.000 kPa, dependiendo del tipo del fluido)
SHE	400	20	0.5 a 350	Alta eficiencia térmica, bajo ensuciamiento, fácil mantenimiento. Puede manejar suspensiones, barros y líquidos fibrosos.

Tabla 6. Comparación entre los intercambiadores de calor más comunes. Fuente: Guía intercambiadores de calor: tipos generales y aplicaciones, Profesora Dosinda González-Mendizabal, Universidad Simón Bolívar, 2002.

Aspecto a comparar	Tubo y coraza	PHE	SHE
Respuesta en operaciones líquido-líquido	Altos coeficientes globales de transferencia de calor para $Re > 2.100$.	Altos coeficientes globales de transferencia de calor para $Re > 10$.	
Resistencia	Alta	Baja	Media
Área de transferencia de calor	Grande	Muy grande	Mediana
Costos básicos	Altos	Bajos	Altos
Mantenimiento	Difícil de inspeccionar, limpieza química muy buena por la carcasa y aceptable o pobre por los tubos. Limpieza mecánica prácticamente imposible. Reparaciones aceptables.	Completamente accesible para inspección, limpieza química y manual. Fácil reemplazo de todas sus partes.	La inspección varía de buena a pobre. Limpieza química muy buena. Limpieza mecánica varía de buena a pobre. Reparación pobre.
Limitaciones de espacio y peso (para la misma operación)	Requiere de un espacio considerable y además un espacio amplio para mantenimiento.	Ligeras y ocupan poco espacio. No requieren de espacio adicional para mantenimiento.	Ligeras y ocupan menos espacio que tubo y carcasa.
Diferencia de temperatura mínima entre los fluidos	Hasta 5 °C.	Hasta 1 °C.	No especificado.

(Continuación)

Aspecto a comparar	Tubo y coraza	PHE	SHE
Temperatura de operación	No tiene restricciones específicas.	32 a 66 °C usando empaaduras de caucho. -40 a 127 °C usando empaaduras de asbesto comprimido.	No tiene restricciones específicas.
Caída de presión (a velocidad promedio y longitud de flujo comparables)	Baja.	Alta (hasta 100 veces mayor que la de tubo y carcasa).	Media.
Niveles de presión	Dependiendo del diseño.	Generalmente de 0.1 a 1.6 MPa, pudiendo llegar hasta 2.5 MPa.	Alrededor de 2 MPa.
Aplicaciones	Intercambio de calor líquido-líquido. Calentamiento de vapores. Condensación. Re hervidores de baja a media viscosidad y bajo ensuciamiento.	Intercambio de calor líquido-líquido. Calentamiento de vapores a baja presión (menores a 450 kPa). Plantas de enfriamiento en corrientes de procesos. Operación con fluidos muy corrosivos, de cualquier viscosidad o con ensuciamiento medio. Para expansiones programadas.	Intercambio de calor en gases a altas temperaturas. Re hervidores. Condensadores. Bajas presiones (menos de 1.100 kPa). Opera con fluidos de cualquier viscosidad y fluidos muy sucios.

CAPÍTULO IV. PROCESO DE DISEÑO TÉRMICO DEL SISTEMA PROTOTIPO PASTEURIZADOR DE LECHE

A continuación, se describirán los componentes que conforman el sistema prototipo pasteurizador de leche, en el cual se ha realizado el diseño de cada uno de los elementos constituyentes.

Por lo cual, el capítulo se dividió en los siguientes apartados:

- 4.1. Mecanismo de extracción de calor de la tubería de reinyección
- 4.2 Mecanismo de calentamiento de la leche
- 4.3 Mecanismo de enfriamiento de la leche
- 4.4 Sistema de bombeo

A continuación, se presenta un esquema de todo el circuito y los elementos que conforman el sistema como tal:

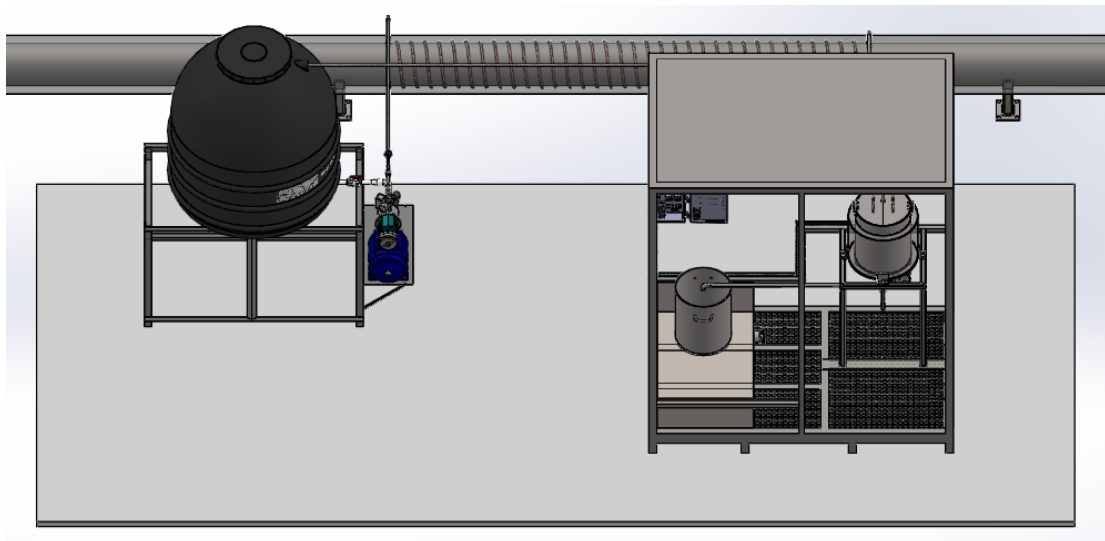


Figura 18. Propuesta final del sistema prototipo pasteurizador de leche utilizando fluidos geotérmicos de baja entalpía.

Destacar que la imagen anterior fue desarrollada como una propuesta, en la que, se han realizados las debidas correcciones y modificaciones al sistema, para asegurar el funcionamiento óptimo del mismo.

4.1 Mecanismo de extracción de calor de la tubería de reinyección

El sistema se fundamenta en la ley cero de la termodinámica, en la que se establece que, si dos cuerpos se encuentran en equilibrio térmico con un tercero, están en equilibrio térmico entre sí.

Esta es una de las leyes fundamentales de la termodinámica, sin la que no sería posible concluir las otras leyes, además de que sirve como base para la validez de la medición de la temperatura. De modo que, si el tercer cuerpo se sustituye por un termómetro, la ley cero se puede volver a expresar como dos cuerpos están en equilibrio térmico si ambos tienen la misma lectura de temperatura incluso si no están en contacto.

En el sistema, el fluido geotérmico será el transmisor de energía hacia otro fluido, que en este caso será agua, siendo este último el que le transferirá la energía a la leche.

Para realizar el análisis y diseño del mecanismo de extracción de energía de la tubería de acarreo, será necesario definir las propiedades de los fluidos que intervienen en el sistema, las propiedades de los materiales involucrados y la energía necesaria para poder llevar a cabo dicho proceso. Lo anterior se describe en los siguientes apartados.

4.1.1 Propiedades de la leche

Inicialmente, hay que calcular el calor necesario para elevar la temperatura de los elementos del sistema, a saber, la leche y el acero inoxidable de la cuba.

A continuación, se muestra el valor de la densidad y del calor específico para la leche entera (Los valores de densidad se obtuvieron del libro de Tecnología de la leche, Procesamiento, manufactura y análisis, Aurelio Revilla, 2^{da} edición y el valor del calor específico de la tabla A-7, del libro de transferencia de calor y masa, CENGEL-GHAJAR, 4 edición).

$$\rho_{leche} = 1032 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_{leche} = 3.89 \frac{kJ}{kg K}$$

Ahora se muestra el valor de la temperatura de entrada de la leche considerando que ha sido refrigerada, cuyo valor fue tomando en base al Manual de industrias lácteas, Tetra Pack, Capítulo 1, página 7:

$$T_{EL\ 1} = 4\ ^\circ C$$

Y también dado el caso en que la leche puede ser recibida en condiciones ambientales:

$$T_{EL\ 2} = 25\ ^\circ C$$

Donde el termino T_{EL} se refiere a la temperatura de entrada de la leche, antes de ser pasteurizada, y donde el subíndice 1 y 2 indica las dos situaciones descritas anteriormente.

4.1.2 Determinación de la energía necesaria para el proceso de pasteurización

Para la determinación de la energía que se necesitara para llevar a cabo el proceso de pasteurización, viene dado por los elementos a los cuales es necesario elevar su temperatura. Para el sistema prototipo, se consideró una capacidad máxima de leche a ser pasteurizada de 50 litros.

Así la energía necesaria para realizar el calentamiento considerando aislado todo el sistema se encuentra en la siguiente ecuación:

$$Q = (mC\Delta T)_{leche} + (mC\Delta T)_{inox} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

- $\Delta T_{leche} = (T_{Final,leche} - T_{Inicial,leche})$
- $\Delta T_{inox} = (T_{Final,acero\ inox} - T_{Inicial,acero\ inox})$

Para la masa:

$$m = \rho V \quad (\text{Ecuación 2})$$

A continuación, se analizarán las dos situaciones explicadas anteriormente:

1. La leche es recibida a una temperatura de 4 °C
2. La leche es recibida a una temperatura de 25 °C

Considerando ambas situaciones y realizando el cálculo respectivo con la ecuación 1, se tiene:

Situación 1. Temperatura inicial de la leche 4 °C.

$$Q_{s1} = \left(1032 \frac{kg}{m^3}\right) (0.05 m^3) \left(3.89 \frac{kJ}{kg K}\right) (63 \text{ °C} - 4 \text{ °C}) + (7900 \frac{kg}{m^3}) (2.225 \times 10^{-3} m^3) (0.477 \frac{kJ}{kg K}) (63 \text{ °C} - 25 \text{ °C})$$

Obteniendo así:

$$Q_{S1} = 12,161 \text{ kJ}$$

Situación 2. Temperatura inicial de la leche 25 °C.

$$Q_{S2} = \left(1032 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) (0.05 \text{ m}^3) \left(3.89 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}\right) (63 \text{ °C} - 25 \text{ °C}) + (7900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) (2.225 \times 10^{-3} \text{ m}^3) (0.477 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}) (63 \text{ °C} - 25 \text{ °C})$$

$$Q_{S2} = 7946.12 \text{ kJ}$$

De la investigación realizada, en el apartado 2.3.1 se define que, la temperatura para la pasteurización de tipo VAT o lenta es de 63 °C. Por lo tanto, a partir de esto se establece la temperatura de pasteurización de:

$$T_{PL} = 63 \text{ °C}$$

4.1.3 Propiedades del material de la cuba

Datos del acero inoxidable (tomados de la tabla A-3, del libro de transferencia de calor y masa, CENGEL-GHAJAR, 4 edición):

$$\rho_{inox} = 7900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$C_{inox} = 0.477 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

4.1.4 Determinación del flujo calorífico necesario para la pasteurización de la leche

Por lo tanto, se tiene que la potencia para pasteurizar en ambas situaciones se describe con la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_s = \frac{Q_s}{\Delta t} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Situación 1. Temperatura inicial de la leche 4 °C

$$\dot{Q}_{s1} = \frac{12,161 \text{ kJ}}{5400 \text{ s}} = 2.25 \text{ kW}$$

Situación 2. Temperatura inicial de la leche 25 °C

$$\dot{Q}_{s2} = \frac{Q}{t} = \frac{7946.12 \text{ kJ}}{5400 \text{ s}} = 1.47 \text{ kW}$$

4.1.5 Determinación del flujo másico del fluido de trabajo

Para la circulación del fluido encargado de calentar la leche, que en este caso es agua, se utilizará una bomba, que será la encargada de impulsar el fluido a través de todo el circuito del prototipo.

La bomba, como tal, tiene doble función, la primera: impulsar el fluido a través de todo el sistema como se describió anteriormente, y la segunda: mantener un caudal constante del fluido calefactor.

La bomba a utilizar en el prototipo tiene una potencia de $\frac{3}{4}$ y voltaje de 110 V, con un caudal de 50 l/min (3 m³/h), y un flujo másico de 0.83 kg/s.

$$\dot{m}_{\text{agua},N} = 0.83 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Sin embargo, los valores anteriormente mencionados son los datos de placa nominales de la bomba, por lo tanto, cabe destacar que se ha colocado una válvula de bola, con la que se pretende regular el caudal que estará circulando por toda la galería del sistema. De tal forma que se obtiene un caudal de trabajo de 3.65 l/min.

$$\dot{m}_{agua} = 3.65 \frac{l}{min} = 0.0608 \frac{kg}{s}$$

4.1.6 Mecanismo de extracción de calor de la tubería de reinyección

El flujo de agua que circulará en el sistema se realizará de una manera forzada debido a un sistema hidroneumático, por lo que se tendrá que determinar la longitud de tubería a utilizar en el intercambiador de calor tipo serpentín, que estará instalado en la tubería de reinyección del fluido geotérmico.

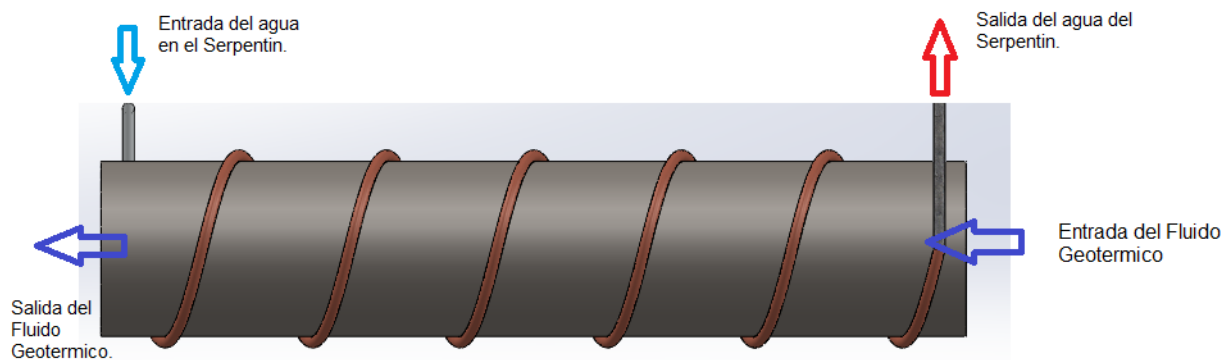


Figura 19. Esquema del intercambiador de calor tipo Serpentín instalado en la tubería de reinyección del fluido Geotérmico.

A continuación, se presentan los datos a utilizar y el respectivo cálculo de la longitud de tubería de cobre.

Agua en el serpentín		
Dato	Entrada	Salida
Temperatura (T)	$T_{EAS}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{SAS}=80\text{ }^{\circ}\text{C}$
Entalpía (h)	83.915 kJ/kg	335.02 kJ/kg
Flujo másico (\dot{m}_{Agua})	0.0608 kg/s	

Donde:

- T_{EAS} : Temperatura de entrada del agua en el serpentín de extracción de calor.
- T_{SAS} : Temperatura de salida del agua en el serpentín de extracción de calor.

Tubería del Serpentin	
Material	Cobre
Diámetro nominal	½ pulg
Diámetro interno ($D_{in,s}$)	0.545 pulg (0.0138 m)
Diámetro externo ($D_{ext,s}$)	0.625 pulg (0.0158 m)

Fluido Geotérmico (Agua)		
Dato	Entrada	Salida
Temperatura (T)	$T_{EFG}=183\text{ °C}$	$T_{SFG}= X$
Entalpía (h)	776.33 kJ/kg	¿?
Flujo másico (\dot{m}_{FG})	57.4 kg/s	

Donde:

- T_{EFG} : Temperatura de entrada del fluido geotérmico
- T_{SFG} : Temperatura de salida del fluido geotérmico.

Tubería del fluido Geotérmico.	
Material	Acero A-53 grado B
Diámetro interno ($D_{in,FG}$)	0.30476 m
Diámetro externo ($D_{ext,FG}$)	0.3238 m

Considerando un flujo másico del fluido geotérmico en la tubería de reinyección de:

$$\dot{m}_{FG} = 57.4 \frac{kg}{s}$$

Teniendo las propiedades geométricas del serpentín como se muestra en la figura 20:

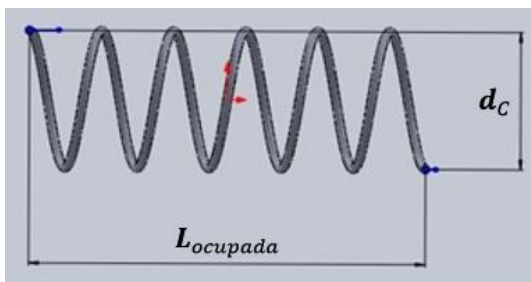


Figura 20. Longitud ocupada y diámetro de hélice del serpentín.

Cálculo de los flujos de calor para el agua a la entrada del serpentín

Usando la ecuación 4, se tiene:

$$\dot{Q}_{agua} = \dot{m}_{Agua} * (h_2 - h_1)$$

Donde:

- h_2 : Entalpía de salida del agua en el serpentín
- h_1 : Entalpía de entrada del agua en el serpentín.

Sustituyendo los datos se llega a:

$$\dot{Q}_{agua} = \left(0.0608 \frac{kg}{s}\right) \left(335.02 \frac{kJ}{kg} - 83.915 \frac{kJ}{kg}\right)$$

$$\dot{Q}_{agua} = 15.26 kW$$

Cálculo de la temperatura de salida de agua geotérmica

Asumiendo un calor constante a través de la tubería de acarreo tendremos una temperatura al final en el tramo de:

$$h_{SFG} = \frac{\dot{m}_{FG} h_{EFG} - \dot{Q}_{agua}}{\dot{m}_{FG}} = \frac{57.4 (776.33) - 125.55}{57.4} = 774.14 \frac{kJ}{kg}$$

Teniendo que:

- h_{SFG} : Entalpía de salida del fluido geotérmico.
- \dot{m}_{FG} : Flujo másico del fluido geotérmico.
- h_{EFG} : Entalpía de salida del fluido geotérmico

Interpolando de la tabla A-4 del libro de Termodinámica, YUNES A. CENGEL- MICHAEL A. BOLES, 4 edición, se tiene:

Temperatura (°C)	Entalpía del líquido h_f (kJ/kg)
180	763.05
X	774.14
185	785.19

Obteniendo una temperatura al final del tramo de la tubería de acarreo de fluido geotérmico igual a:

$$x = T_{SFG} = 182.50 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Así, el delta de disminución de temperatura del fluido geotérmico será de:

$$\Delta T_{Dis,FG} = T_{EFG} - T_{SFG} = 183 - 182.5 = 0.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Cálculo de los coeficientes convectivos para el agua del serpentín

Calculando la temperatura media del agua para las propiedades de esta se llega a:

$$T_m = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{20 + 80}{2} = 50 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Calculando las propiedades de la tabla A-9 del libro de transferencia de calor y masa, CENGEL-GHAJAR, 4 edición, y realizando la interpolación se tiene:

ρ (kg/m ³)	C_p (kJ/kg K)	K (W/m K)	μ (kg/ m s)	Pr
988.1	4.181	0.644	0.547×10^{-3}	3.55

Con la ecuación 5 se encontrará la velocidad del agua como sigue:

$$v_A = \frac{\dot{m}_{agua}}{\rho A_s} = \frac{0.0608}{(988.1) \left(\frac{\pi}{4}\right) (0.0138)^2} = 0.407 \frac{m}{s}$$

Calculando Reynolds con la ecuación 6:

$$Re = \frac{\rho v_A D_h}{\mu} = \frac{(988.1)(0.407)(0.0138)}{0.547 \times 10^{-3}} = 10145.82$$

Debido a que este número de Reynolds es mayor que 2300, se caracteriza como fluido turbulento, pero este número está dentro del rango de $3000 < Re < 5 \times 10^6$ por lo que según la condición anterior se utilizara la ecuación 7, para el posterior cálculo del número de Nusselt:

$$Nu = 0.125 f Re Pr^{\frac{1}{3}}$$

Donde f es el factor de fricción que se calcula con la ecuación 8:

$$f = (0.790 \ln Re - 1.64)^{-2}$$

Sustituyendo Reynolds se tiene:

$$f = (0.790 \ln(10145.82) - 1.64)^{-2}$$

Obteniendo un valor de $f=0.03135$, así Nusselt será:

$$Nu = 0.125(0.03135)(10145.82)(3.55)^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 60.65$$

Así, para el coeficiente convectivo con la ecuación 9:

$$Nu = \frac{h D_h}{k}$$

Despejando h :

$$h_{serp} = \frac{(0.644)(60.65)}{0.0138} = 2830.33 \frac{W}{m^2K}$$

El valor anterior fue obtenido mediante ecuaciones para cálculo de tubo recto, pero este no es el caso, por lo tanto, se ocupará la ecuación 10:

$$h_{serpC} = h_{serp} \left(1 + 3.5 \frac{D_{in,s}}{dc} \right)$$

Donde $D_{in,s}$ es el diámetro interior del serpentín y dc es el diámetro de la hélice; obteniendo así:

$$h_{serpC} = 2830.33 \left(1 + 3.5 \frac{0.0138}{0.3238} \right) = 3252.52 \frac{W}{m^2K}$$

Cálculo del coeficiente convectivo para el fluido geotérmico

Datos del fluido geotérmico (considerando el fluido geotérmico como agua):

\dot{m}_{FG}	57.4 kg/s
T_{EFG}	183 °C
P	11 bares

Calculando la temperatura media del agua para las propiedades de esta se llega a:

$$T_m = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{183 + 182.5}{2} = 182.75 \text{ °C}$$

Calculando las propiedades de la tabla A-9 del libro de transferencia de calor y masa, CENGEL-GHAJAR, 4 edición y realizando las interpolaciones correspondientes se obtiene:

ρ (kg/m ³)	C_p (kJ/kg K)	K (W/m K)	μ (kg/ m s)	Pr
884.30	4.424	0.6719	0.148×10^{-3}	0.973

Determinando la velocidad del fluido geotérmico utilizando de nuevo la ecuación 5.

$$v_{FG} = \frac{\dot{m}_{FG}}{\rho A_{FG}} = \frac{\dot{m}_{FG}}{\rho \times \frac{\pi}{4} \times D_{in,FG}^2} = \frac{57.4 \frac{kg}{s}}{884.30 \frac{kg}{m^3} \times \frac{\pi}{4} \times (0.30476m)^2}$$

$$v_{FG} = 0.89 \frac{m}{s}$$

Calculando Re con la ecuación 6:

$$Re = \frac{\rho v_{FG} D_{in,FG}}{\mu} = \frac{(884.30 \frac{kg}{m^3})(0.89 \frac{m}{s})(0.30476m)}{0.148 \times 10^{-3} \frac{kg}{m s}}$$

$$Re = 1.62 \times 10^6$$

Ya que Re es mayor que 10,000 es un flujo turbulento completamente desarrollado por tanto se usara la ecuación 11 de Colburn que es aplicable a $Re > 10000$ y $0.7 \leq Pr \leq 160$ para calcular el número de Nusselt.

Donde $n=0.4$ calentamiento y $n=0.3$ enfriamiento del fluido que es transportando en el interior del tubo.

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^n = (0.023)(1.62 \times 10^6)^{0.8} (0.973)^{0.3} = 2117.25$$

Luego, calculando h_i con la ecuación 9

$$h_i = \frac{kNu}{D_h} = \frac{(0.6719 \frac{W}{m K})(2117.25)}{0.30476m} = 4667.9 \frac{W}{m^2 K}$$

Cálculo de la temperatura media logarítmica

Para el cálculo de la temperatura media logarítmica, se utilizará el siguiente esquema:

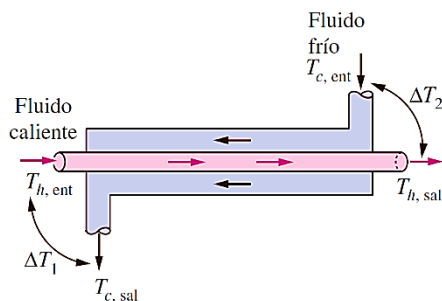


Figura 21. Esquema de intercambiadores de calor de flujo cruzado. Fuente: Transferencia de calor de CENGEL-GHAJAR 4ta edición.

De la figura anterior se tienen las siguientes ecuaciones:

$$\Delta T_1 = T_{h,ent} - T_{c,sal} = T_{EFG} - T_{SAS}$$

$$\Delta T_2 = T_{h,sal} - T_{c,ent} = T_{SFG} - T_{EAS}$$

Calculando la temperatura media logarítmica utilizando la ecuación 12, se tiene:

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

Para el caso de contraflujo, utilizando las ecuaciones anteriormente descritas, se tiene:

$$\Delta T_1 = 183 \text{ °C} - 80 \text{ °C} = 103 \text{ °C}$$

$$\Delta T_2 = 182.5 \text{ °C} - 20 \text{ °C} = 162.5 \text{ °C}$$

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} = \frac{103\text{ °C} - 162.5\text{ °C}}{\ln\left(\frac{103}{162.5}\right)} = 130.5\text{ °C}$$

Cálculo de la longitud a utilizar de tubería de cobre

Calculando el tramo de tubería de cobre necesaria para enrollarla en la tubería de reinyección, teniendo en cuenta que se depreciarán las resistencias de la tubería de acero y cobre, se tiene con la ecuación 13:

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R} = UA_s \Delta T$$

Luego, con la ecuación 14 se tiene:

$$\frac{1}{UA_s} = \frac{1}{h_i A_i} + R_{pared} + \frac{1}{h_o A_o}$$

Cuando la pared del tubo es pequeña y la conductividad térmica del material del mismo es alta, como suele ser el caso, la resistencia térmica de dicho tubo es despreciable ($R_{pared} \approx 0$) y debido a que las superficies interior y exterior del mismo son semejantes ($A_i \approx A_o \approx A_s$) estas se eliminan. Así, la ecuación anterior para el coeficiente de transferencia de calor total se simplifica, quedando la ecuación 15:

$$\frac{1}{U} \approx \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}$$

Donde:

- h_i : Coeficiente convectivo para el fluido geotérmico
- h_o : Coeficiente convectivo del agua en el serpentín

Sustituyendo

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{serpC}} + \frac{1}{h_i}} = \frac{1}{\frac{1}{3252.52 \frac{W}{m^2K}} + \frac{1}{4667.9 \frac{W}{m^2K}}} = 1916.87 \frac{W}{m^2\text{°C}}$$

Con la ecuación de flujo calorífico se determina la longitud de la tubería del serpentín de calentamiento, se colocará un factor de 0.02 que representa que solo el 2% del tubo de cobre estará en contacto con la tubería de transporte de agua geotérmica, este valor se ha asumido debido a la configuración geométrica del intercambiador de calor.

$$\dot{Q}_{agua} = 0.02\pi D_{ext,s} L_s U \Delta T_{ml}$$

Calculando la longitud se tiene:

$$L_s = \frac{\dot{Q}_{agua}}{0.02\pi D_{ext,s} U \Delta T_{ml}} = \frac{15.26 \times 10^3 W}{(0.02)(\pi)(0.0158 m) \left(1916.87 \frac{W}{m^2\text{°C}}\right) (130.5 \text{ °C})}$$

$$L_s = \mathbf{61.2 m}$$

Cálculo de las espiras del serpentín se tiene:

$$N = \frac{L_s}{\pi D_{ext,FG}} = \frac{61.2}{\pi \times 0.3238} = \mathbf{60.2 vueltas}$$

Según la literatura para diseño de intercambiadores de calor tipo serpentín, la separación entre espiras adyacentes “e”, por lo general varía entre $2D_{ext,s}$ y $4D_{ext,s}$, donde “ $D_{ext,s}$ ” es el diámetro externo de la tubería del serpentín. Para efecto de diseño, se tomará una separación entre espiras de:

$$e = (3)(D_{ext,s}) = 3 \times 0.0158 m = 0.0474 m \cong 5 \text{ cm}$$

Por lo que tenemos una longitud total ocupada por serpentín en la tubería de fluido geotérmico dada la ecuación siguiente obtenida de la literatura para intercambiadores de calor tipo serpentín:

$$L_{ocup} = e(N - 1) = 0.05 \times (60.2 - 1) = 2.96 \text{ m} \cong \mathbf{3 \text{ m}}$$

Justificación factor del 2%

Es de notar que un factor crucial en la ecuación de flujo calorífico es el porcentaje de tubería de cobre que está en contacto con la tubería de fluido geotérmico. En un análisis previo que se realizó, se consideró que el porcentaje de tubería de cobre que se encontraría en contacto con la tubería de fluido geotérmico era del 20%, habiendo un error bastante significativo.

Lo anterior se hizo considerando que tanto el cobre como la tubería de fluido geotérmico entraban en contacto aproximadamente 72° de los 360° (ángulo de contacto entre tubería de cobre y tubería de acarreo) de la tubería de cobre, cuando la realidad es diferente.

Nos acercaremos a una vuelta de cobre para comprender de mejor manera esta explicación.

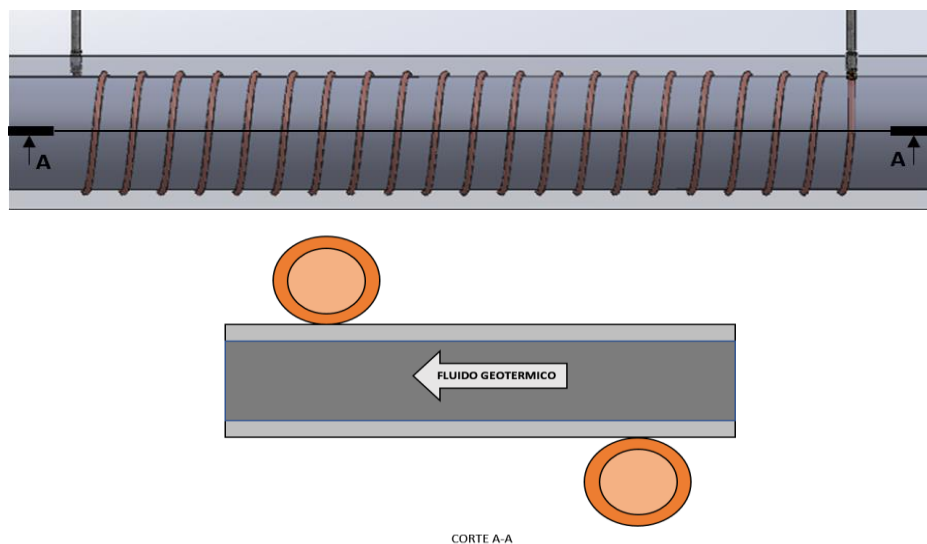


Figura 22. Vista transversal del área de contacto de la tubería de cobre.

Como se observa en la figura 22, la tubería de cobre entra en contacto con la tubería de fluido geotérmico, solamente en un punto, y considerando la longitud de la tubería de cobre, podemos decir que entra en contacto solamente una línea.

Es por esta razón que se utilizó que el 2% entra en contacto en la ecuación del flujo calorífico, es decir aproximadamente 7° de ángulo de la circunferencia de la tubería de cobre.

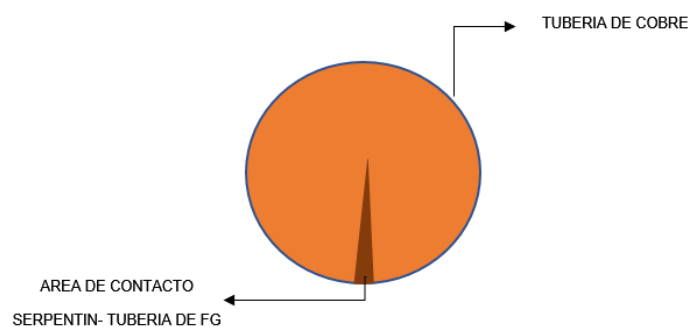


Figura 23. Area de contacto del serpentín en la tubería de FG.

4.2 Mecanismo de calentamiento de la leche

Una vez definido el sistema de extracción de energía, es necesario proceder al diseño del mecanismo de calentamiento de leche, en el que el agua ya calentada por la tubería de acarreo le transferirá la energía al fluido que será pasteurizado, en este caso, la leche.

Por lo tanto, a continuación, se definen los sistemas involucrados y las consideraciones pertinentes del mismo.

4.2.1 Determinación de la capacidad del sistema

Para obtener el volumen de este recipiente se realizó considerando la cuba como un cilindro el cual será construido con chapa de 2.0 mm, de 0.4 metros de diámetro interno y de 0.5 metros de altura, como se muestra en la siguiente figura:

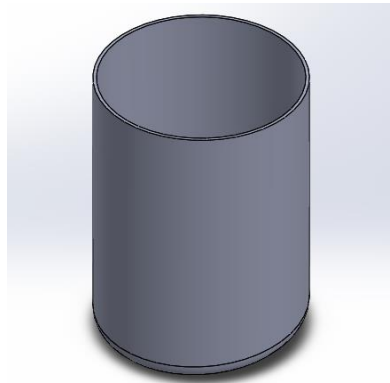


Figura 24. Diseño de la cuba para el proceso de pasteurización.

Ahora determinando el volumen total de la cuba se tiene:

$$V_{cuba} = \left(\frac{\pi}{4}\right) (D_{ext,cuba}^2 - D_{int,cuba}^2)(h) + 2 \left(\frac{\pi}{4}\right) (D_{tapa}^2)(h)$$

$$V_{cuba} = \frac{\pi}{4} ((0.405 \text{ m})^2 - (0.4 \text{ m})^2)(0.5 \text{ m}) + 2 \left(\frac{\pi}{4}\right) (0.405 \text{ m})^2 (2.5 \times 10^{-3} \text{ m})$$

$$= 2.225 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Donde:

- $D_{ext,cuba}$: Diámetro exterior de la cuba
- $D_{int,cuba}$: Diámetro interior de la cuba
- D_{tapa} : Diámetro de la tapadera de la cuba
- h : Altura de la cuba

Donde el primer término corresponde al cuerpo de la cuba considerando un tubo y el segundo término representa la base y la tapa de la cuba.

El volumen de leche establecido para el prototipo se consideró una producción de 10 botellas de leche tomado de 7 vacas productoras, como también se tomó en cuenta el alto precio del acero inoxidable, así como la capacidad máxima, por lo que tendríamos:

$$V_{inox} = 50 \text{ lt} = 0.05 \text{ m}^3$$

Las temperaturas al inicio y final para el proceso de pasteurización en la cuba respectivamente, se tiene:

$$T_{IC} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{FC} = 63 \text{ }^\circ\text{C}$$

4.2.2 Estimación del tiempo para el proceso de pasteurización

De las prácticas realizadas del proceso VAT en el laboratorio de Ingeniería en alimentos de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, el cual se realiza mediante calentamiento directo en una autoclave de acero inoxidable con la combustión de gas propano se determinó que para calentar 67.5 litros de agua desde 22 °C a 68 °C se llevó un tiempo de 1 hora con 22 minutos y 45 segundos.

Por lo que, para el proyecto que son 50 litros cuya diferencia de temperatura es mayor se tomó un tiempo estimado de:

$$t_p = 1.5 \text{ horas} = 5400 \text{ s}$$

Esto con la finalidad de extraer la menor cantidad de flujo calorífico de la tubería de reinyección y además de cálculos se demostró que menor tiempo representa mayor costo.

4.2.3 Temperaturas de entrada y salida del agua en la cuba

La temperatura a la entrada del agua debe ser considerablemente mayor que la temperatura de pasteurización, pues de la teoría se sabe que la máxima temperatura que podría alcanzar la leche sería la temperatura a la entrada del agua en la cuba, por tanto, el valor de Temperatura a la entrada es de 80 °C.

La temperatura a la salida se definió a partir de cálculos realizados cambiando el delta de temperatura en la cuba, tomando en cuenta variables como tiempo, eficiencia del sistema y costos, por lo que se concluyó que la mejor opción es trabajar con un delta de temperatura de 17 °C.

Así la temperatura a la salida es de aproximadamente:

$$T_{SA} = 80^{\circ}\text{C} - 17^{\circ}\text{C} = 63^{\circ}\text{C}.$$

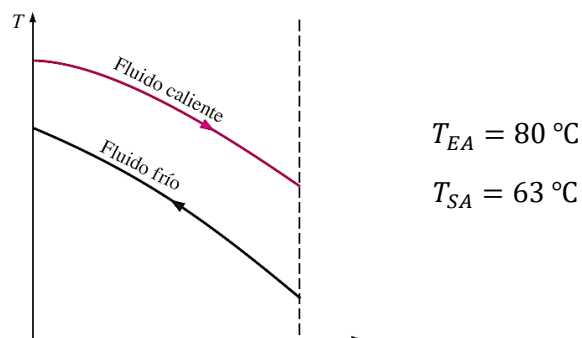


Figura 25. Temperaturas de entrada y salida para la transferencia de calor de ambos fluidos. Fuente: Transferencia de calor de CENGEL-GHAJAR 4^{ta} edición.

4.2.4 Mecanismo de calentamiento de la leche

De la literatura consultada se establece que para calentar la leche los métodos más usados son mediante enchaquetado y serpentín interior.

Para el caso de calentamiento de la leche usando un serpentín interior se descartó porque el material del serpentín debe ser tubería de acero inoxidable AISI 304 y por su alto precio y maleabilidad encarecería el sistema por lo que se descarta.

Por tanto, se propone para calentar la cuba por medio de enchaquetamiento, haciendo el análisis de transferencia de calor de un intercambiador de calor de doble tubo a contra flujo, por lo que tenemos lo siguiente:



Figura 26. Cuba de calentamiento de la leche con enchaquetamiento.

Para el cálculo se tienen los siguientes datos:

Flujos máxicos de agua	$\dot{m}_{agua} = 0.0608 \frac{kg}{s}$
Diámetros de la cuba	$D_{int,cu} = 0.4 m$ $D_{ext,cu} = 0.404 m$
Diámetros de enchaquetamiento	$D_{int,cha} = 0.404 m$ $D_{ext,cha} = 0.504 m$

Se trabaja con el flujo másico \dot{m}_{agua} y una temperatura inicial de la leche de 4 °C, con lo que se tienen los coeficientes convectivos para el agua en el interior de la chaqueta así:

$$T_m = \frac{80 + 63}{2} = 71.5 \text{ °C}$$

De la tabla A-9, del libro de transferencia de calor y masa de CENGEL se tiene:

ρ (kg/m ³)	C_p (kJ/kg K)	K (W/m K)	μ (kg/ m s)	Pr
976.7	4.191	0.664	0.396×10^{-3}	2.5

$$V_A = \frac{\dot{m}_{Agua}}{\rho A} = \frac{\dot{m}_{Agua}}{\rho \left[(D_{ext,cu})^2 - (D_{int,cu})^2 \right]} = \frac{0.0608}{(976.7) \left(\frac{\pi}{4} \right) \left((0.404)^2 - (0.400)^2 \right)}$$

$$V_A = 0.0246 \frac{m}{s}$$

Así el número de Reynolds será:

$$Re = \frac{\rho V_{prom} D_h}{\mu} = \frac{(976.7)(0.0246)(0.004)}{0.396 \times 10^{-3}} = 242.70$$

Donde D_h es el diámetro hidráulico, calculado a continuación:

$$D_h = D_{ext,cu} - D_{int,cu} = 0.404 - 0.4 = 0.004 \text{ m}$$

Debido a que este número de Reynolds es menor que 2300, se caracteriza como fluido laminar.

De la tabla 11-3 del libro de transferencia de calor y masa de CENGEL, se procede a determinar el número de Nusselt para flujo laminar completamente desarrollado en una corona circular.

Realizando las interpolaciones respectivas, se tiene:

$\frac{D_{int}}{D_{ext}}$	Nusselt
0.50	5.74
0.99	Nu
1.00	4.86

Donde:

$$\frac{D_{int}}{D_{ext}} = \frac{0.4}{0.404} = 0.99$$

Interpolando de la tabla anterior tenemos:

$$Nu = 4.877$$

Luego:

$$Nu = \frac{hD_h}{k}$$

$$h_{agua,cha} = \frac{(4.88)(0.664)}{0.004} = 810.08 \frac{W}{m^2K}$$

Ahora se procede a determinar el coeficiente convectivo de la leche agitada con la ecuación 16 se tiene:

$$\frac{hD_h}{k} = 0.36 \left(\frac{L^2 N \rho}{\mu} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{C_p \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu}{\mu_\omega} \right)^{0.14}$$

Donde L es la longitud del agitador y N las revoluciones en rps, cuyos valores se obtienen de las siguientes condiciones (Fuente: Procesos de transferencia de calor, Donald Q. Kern):

$$L > 0.3 D_i \text{ y } N = 1,750 \text{ rpm (29.2 rps).}$$

Donde:

- **Di**: Diámetro interior del recipiente del líquido=0.4 m.

Por lo que tenemos:

$$L = 0.3 \times 0.4m = 0.12 m$$

Como la condición para diseño de agitadores de aspas localizados centralmente señala que el valor de $L > 0.3Di$, se tiene como criterio de diseño:

$$L = 13 cm$$

Ahora, el termino $\left(\frac{\mu}{\mu_{\omega}}\right)^{0.14}$ se depreciará debido a que se idealizará como

agua. Teniendo:

$$\frac{hD_h}{k} = 0.36 \left(\frac{(0.13^2)(29.2)(1032)}{2.2 \times 10^{-3}} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{(3890)(2.2 \times 10^{-3})}{0.580} \right)^{\frac{1}{3}} = 3328.9$$

$$h_{Leche} = \frac{(0.580)(3328.9)}{0.4} = 4826.905 \frac{W}{m^2K}$$

Calculando la temperatura media logarítmica a contraflujo ocupando la ecuación 12:

$$\Delta T_1 = 80^{\circ}\text{C} - 63^{\circ}\text{C} = 17^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_2 = 63^{\circ}\text{C} - 4^{\circ}\text{C} = 59^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} = \frac{17^{\circ}\text{C} - 59^{\circ}\text{C}}{\ln\left(\frac{17^{\circ}\text{C}}{59^{\circ}\text{C}}\right)} = 33.75^{\circ}\text{C}$$

Calculando el coeficiente global de transferencia, teniendo la misma situación descrita en el apartado anterior, se utilizará la ecuación 15:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{agua,cha}} + \frac{1}{h_{leche}}} = \frac{1}{\frac{1}{810.08} + \frac{1}{4826.905}} = 693.67 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Ahora con la ecuación 13, se determina el flujo de calor que se da del agua caliente que circula dentro de la chaqueta y la leche en el interior de la cuba, teniendo ya establecido una altura de chaqueta de 0.4 m, y los coeficientes convectivos del agua y la leche:

$$Q = UA_S \Delta T_{ml} = \pi D_{ext} L_{cha} U \Delta T_{ml}$$

Sustituyendo los datos en la ecuación tenemos:

$$\dot{Q} = UA_S \Delta T_{ml} = \pi D_{ext} L U \Delta T_{ml} = \pi (0.404) (0.4) (693.67) (33.75)$$

$$\dot{Q} = 11.9 \text{ kW}$$

Ahora se procede a determinar el tiempo para elevar la temperatura de la leche a la temperatura de pasteurización (63 °C) en dos situaciones:

Situación 1. Temperatura inicial de la leche 4 °C

$$t = \frac{Q}{\dot{Q}_{S1}} = \frac{12,161 \text{ kJ}}{11.9 \text{ kW}} = 1021.93 \text{ s} = 17 \text{ min}$$

Situación 2. Temperatura inicial de la leche 25 °C

$$t = \frac{Q}{\dot{Q}_{S2}} = \frac{7946.12 \text{ kJ}}{11.9 \text{ kW}} = 667.74 \text{ s} = 11 \text{ min}$$

Al inicio del cálculo se había planteado que en un tiempo de 1.5 horas para elevar la temperatura de la leche a la temperatura de pasteurización, pero al enchaquetar la cuba, se obtienen menores tiempos para alcanzar la temperatura de pasteurización al volumen de leche con el que se está trabajando.

4.2.5 Mecanismo de agitación de la leche

Los agitadores de impulsor o rodete se dividen en dos clases. Los que generan corrientes paralelas al eje del impulsor se llaman impulsores de flujo axial; y aquellos que generan corrientes en dirección radial o tangencial se llaman impulsores de flujo radial.

Los tres principales tipos de impulsores para líquidos de baja a moderada viscosidad son las hélices, turbinas e impulsores de alta eficiencia.

- **Hélices**

Una hélice es un impulsor de flujo axial y alta velocidad que se utiliza para líquidos de baja viscosidad. Las hélices pequeñas giran con la misma velocidad que el motor, ya sea a 1150 o 1750 rpm.



Figura 27. Hélice. Fuente: Tecnológico Nacional de México/ Guía de trabajo: Unidad 2: Agitación y mezclado.

- **Turbinas**

La turbina empuja al líquido en forma radial y tangencial, casi sin movimiento vertical al agitador. Las corrientes que genera se desplazan hacia fuera hasta la pared del tanque y entonces fluyen hacia arriba o hacia abajo.

Tales agitadores son llamados a veces paletas. En los tanques de proceso, los agitadores industriales típicos de paletas giran a velocidades comprendidas entre 20 y 150 rpm.

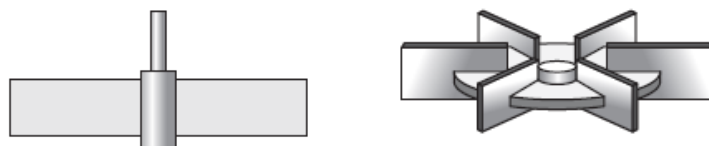


Figura 28. Agitador tipo turbina. Fuente: Tecnológico Nacional de México/ Guía de trabajo: Unidad 2: Agitación y mezclado

- **Impulsores de alta eficiencia**

Estos impulsores o agitadores son ampliamente usados para mezclar líquidos de baja o moderada viscosidad, pero no se recomiendan para líquidos muy viscosos o para dispersar gases.

Se han desarrollado variantes de las turbinas de aspas inclinadas para proporcionar un flujo axial más uniforme y un mejor mezclado, además de reducir la potencia requerida para determinado flujo.



Figura 29. Agitador de alta eficiencia. Fuente: Tecnológico Nacional de México/ Guía de trabajo: Unidad 2: Agitación y mezclado

Patrones de flujo

La forma en que se mueve un líquido en un tanque agitado depende de muchas cosas: del tipo de impulsor, de las características del líquido, especialmente su viscosidad; así como del tamaño y las proporciones del tanque, deflectores y el agitador.

Cuando el eje es vertical y se localiza al centro del tanque, el componente tangencial es generalmente desventajoso para la mezcla. El flujo tangencial sigue una trayectoria circular alrededor del eje y crea un vórtice en el líquido, como se ilustra a continuación para una turbina de palas planas. Exactamente el mismo patrón de flujo se observa con un agitador o turbina de pala inclinada.

Si están presentes partículas sólidas, las corrientes circulatorias tienden a lanzar las partículas contra la pared del tanque, debido a la fuerza centrífuga; desde ahí caen acumulándose en la parte central del fondo del tanque.

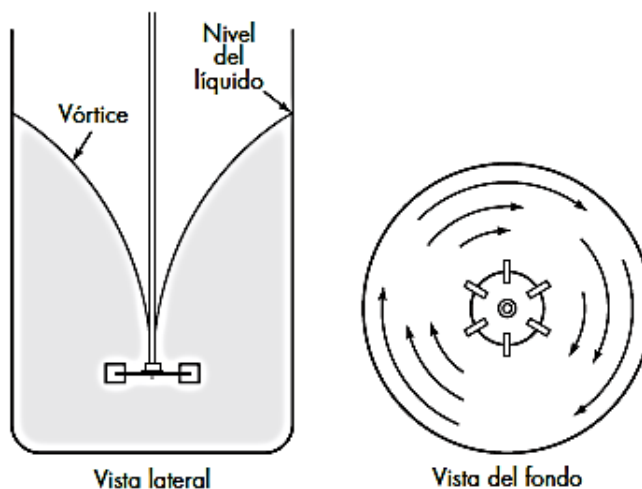


Figura 30. Trayectoria circular alrededor de un eje creando un vórtice. Fuente: Tecnológico Nacional de México/ Guía de trabajo: Unidad 2: Agitación y mezclado

- **Prevención del vórtice**

El flujo circulatorio y el vórtice pueden prevenirse, En tanques de pequeño tamaño, se dispone el impulsor separado del centro del tanque, como se indica en la figura 31.

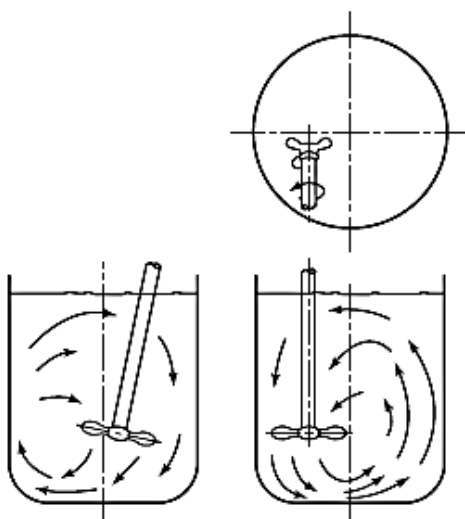
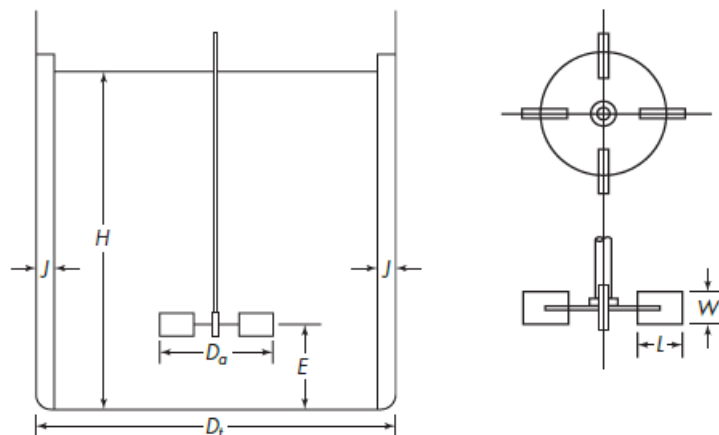


Figura 31. Prevención de vórtices en mezclas agitadas. Fuente: Tecnológico Nacional de México/ Guía de trabajo: Unidad 2: Agitación y mezclado.

En el caso del proyecto de pasteurización de leche, cualquiera de estos tres elementos agitadores puede utilizarse, ya sea un impulsor de hélice, de turbina o uno de alta eficiencia, sin embargo, por la facilidad de construcción se tomará la decisión en torno a un impulsor de hélice o uno de turbina.

De los cuales con lo que respecta a los impulsores de hélice, se encuentran ya diseñados y sus dimensiones son las mismas independientemente del tamaño del recipiente, ya que debido a la alta velocidad a la que giran (la misma del motor), tienen la capacidad para realizar la mezcla en todo el recipiente.

Por otra parte, los impulsores de turbina si son diseñados de acuerdo con el tamaño del recipiente en el que van a estar ubicados, se obtienen las dimensiones de este tipo de agitadores tomando en cuenta relaciones estándar para turbinas.



$$\frac{D_o}{D_t} = \frac{1}{3}$$

$$\frac{H}{D_t} = 1$$

$$\frac{E}{D_t} = \frac{1}{3}$$

$$\frac{W}{D_o} = \frac{1}{5}$$

$$\frac{L}{D_o} = \frac{1}{4}$$

Figura 32. Esquema del diseño de los agitadores de turbinas. Fuente: Tecnológico Nacional de México/ Guía de trabajo: Unidad 2: Agitación y mezclado.

4.2.5.1 Selección del motor agitador

Situaciones especiales pueden, por supuesto, considerar proporciones diferentes de las que se acaban de indicar; por ejemplo, quizá resulte ventajoso colocar el agitador más alto o más bajo en el tanque, o tal vez sea necesario utilizar un tanque más profundo para lograr el resultado deseado.

No obstante, las proporciones “estándar” listadas anteriormente, son ampliamente aceptadas y son la base de muchas correlaciones publicadas sobre el funcionamiento de los agitadores.

Para el caso del proyecto de pasteurización de leche, se utilizará un moto agitador de propela (Helice), esto debido a la disponibilidad en planta, ya que se cuenta con un agitador de este tipo.

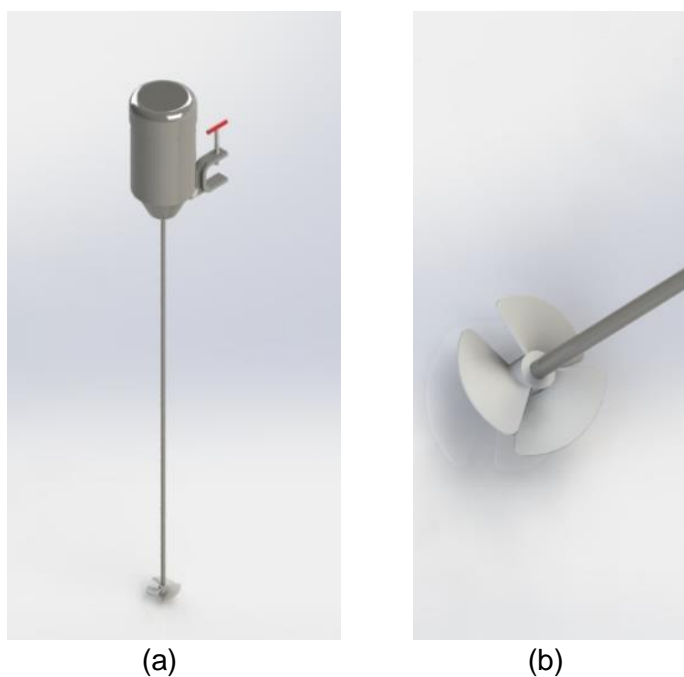


Figura 33. Sistema de agitación del sistema prototipo pasteurizador de leche (a) Motor agitador (b) Agitador tipo hélice.

4.3 Mecanismo de enfriamiento de la leche

Ya una vez llevando a cabo la pasteurización en la leche, esta se enfriará por el método de agua fría, o comúnmente llamada baño María, en el cual se efectuará en un recipiente de acero inoxidable AISI 304 que contendrá la leche pasteurizada recién salida de la cuba, y siendo después sumergido en agua a temperatura ambiente con hielo.

Dependiendo la cantidad de hielo a utilizar según a la temperatura que se desea tener en la leche, si se utilizara leche para hacer queso, se llevaría la leche a la temperatura de cuajado que son 30 °C (según Manual de industrias lácteas, Tetra Pak Procesan Systems AB, 1996. Madrid, España. A. MADRID VICENTE, EDICIONES.), o a la temperatura de 10 °C (según La refrigeración de la leche, José Ml. Hernández Benedi., Madrid, Ministerio de Agricultura.) Los componentes a utilizar para la refrigeración de la leche:

1. Tanque de enfriamiento.
2. Bidón de acero inoxidable.

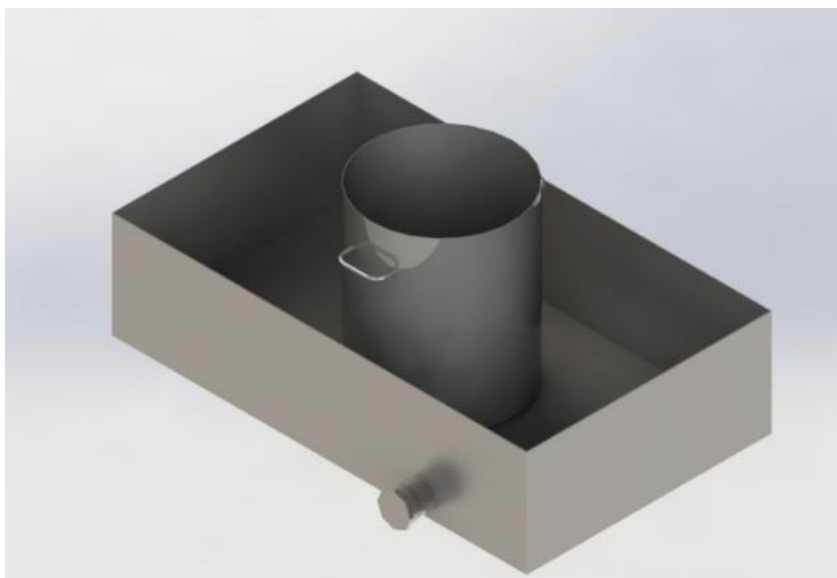


Figura 34. Sistema de enfriamiento del sistema prototipo, tipo baño María.

A continuación, se muestra el siguiente esquema de los componentes de la refrigeración de la leche pasteurizada.

1. Tanque de enfriamiento:

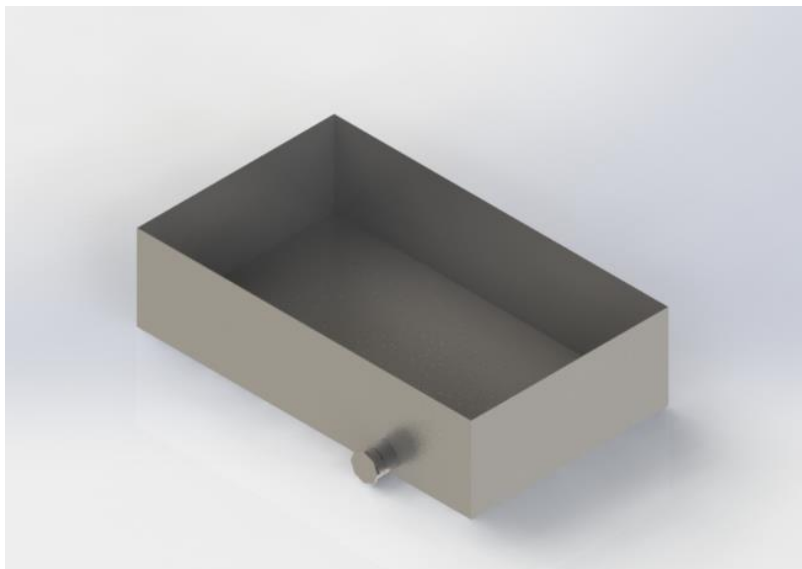


Figura 35. Tanque de enfriamiento del pasteurizador.

2. Bidón o recipiente de acero inoxidable AISI 304:



Figura 36. Cuba de enfriamiento del pasteurizador.

4.3.1 Determinación de la cantidad de masa de hielo

Datos utilizar:

Recipiente de acero inoxidable:

- Densidad: $\rho_{inox} = 7900 \text{ kg/m}^3$.
- Volumen del recipiente: $V_{inox} = 2.225 * 10^{-3} \text{ m}^3$.
- Calor específico: $Cp = 477 \text{ J/kg.K}$
- Temperatura inicial: $T_{IC} = 63 \text{ }^\circ\text{C}$

Leche pasteurizada:

- Densidad: $\rho_{leche} = 1032 \text{ kg/m}^3$.
- Volumen del recipiente: $V_L = 0.05 \text{ m}^3$
- Calor específico: $Cp = 3890 \text{ J/kg.K}$
- Temperatura inicial: $T_{PL} = 63 \text{ }^\circ\text{C}$

Agua a temperatura ambiente:

- Densidad del agua a $25 \text{ }^\circ\text{C}$: $\rho_a = 997 \text{ kg/m}^3$.
- Volumen de agua: $V_{Agua} = 0.176 \text{ m}^3$ (Mitad del volumen del tanque de enfriamiento).
- Calor específico: $Cp = 4190 \text{ J/kg.K}$

Hielo:

- Calor específico: $Cp = 4190 \text{ J/kg.K}$
- Temperatura inicial: $T_{IH} = -4 \text{ }^\circ\text{C}$

A continuación, se muestra el cálculo de la cantidad de hielo a utilizar según a la temperatura que se quiera tener en la leche:

Situación 1. Leche a la temperatura de cuajado ($T_{CU} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$).

Para el cálculo de la cantidad de masa de hielo utilizar para llevar la leche a la temperatura de cuajado, se usará el principio de la conservación de la energía descrito en el libro de termodinámica de Cengel, octava edición, el cual dice que:

$$\begin{aligned} & (E \text{ entrada} - E \text{ salida}) \\ & = (Q \text{ entrada} - Q \text{ salida}) + (W \text{ entrada} - W \text{ salida}) \\ & + (E_{\text{masa, entrada}} - E_{\text{masa, salida}}) = \Delta E_{\text{sistema}} \end{aligned}$$

(Ecuación 17)

Siendo que el sistema es un volumen de control, y considerando que el sistema leche + recipiente de enfriamiento + agua a temperatura ambiente + hielo, y que estará aislado el tanque de enfriamiento de agua.

Por lo tanto, la suma algebraica de las transferencias caloríficas internas que ocurren debe ser cero, se reduce a la siguiente ecuación:

$$Q \text{ entrada} + Q \text{ salida} = 0 ; \text{ "Ecuacion del principio de calorimetria."}$$

En los elementos que habrá pérdidas de energía térmica será en la leche pasteurizada y en el recipiente de la leche, y en donde habrá ganancia de energía térmica será en el agua a temperatura ambiente contenida en tanque de enfriamiento y en la masa de hielo a agregar:

Sustituyendo en la ecuación de calorimetría tenemos:

$$\begin{aligned} & (mC\Delta T)_{\text{leche}} + (mC\Delta T)_{\text{acero}} + (mC\Delta T)_{\text{agua}} + (mC\Delta T)_{\text{hielo}} + (mLfg)_{\text{hielo}} \\ & + (mC\Delta T)_{\text{agua de hielo}} = 0 \end{aligned}$$

Sustituyendo los datos:

$$\begin{aligned} & \left[1032 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0.05 \text{m}^3 \times 3890 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \times (30 \text{ }^\circ\text{C} - 63 \text{ }^\circ\text{C}) \right] + \left[7900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 2.225 * \right. \\ & \left. 10^{-3} \text{m}^3 \times 477 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \times (30 \text{ }^\circ\text{C} - 63 \text{ }^\circ\text{C}) \right] + \left[0.176 \text{m}^3 \times 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 4180 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \times \right. \\ & \left. (30 \text{ }^\circ\text{C} - 25 \text{ }^\circ\text{C}) \right] + \left[m_h \times 2090 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \times (0 \text{ }^\circ\text{C} - (-4 \text{ }^\circ\text{C})) \right] + \left[m_h \times \left(334 \times \right. \right. \\ & \left. \left. 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \right) \right] + \left[m_h \times 4190 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \times (30 \text{ }^\circ\text{C} - 0 \text{ }^\circ\text{C}) \right] = 0 \end{aligned}$$

Despejando la masa de hielo en la ecuación, y resolviendo se obtiene un valor de:

$$m_h = 6.90 \text{ kg} \cong 7 \text{ kg}$$

Situación 2. Leche a la temperatura de refrigeración ($T_{RFL}=10 \text{ }^\circ\text{C}$).

Para el cálculo de la cantidad de masa de hielo utilizar para llevar la leche a la temperatura de refrigeración de $10 \text{ }^\circ\text{C}$, se usará la ecuación de calorimetría:

$$Q \text{ entrada} + Q \text{ salida} = 0$$

Sustituyendo en la ecuación de calorimetría tenemos:

$$\begin{aligned} & (mC\Delta T)_{\text{leche}} + (mC\Delta T)_{\text{acero}} + (mC\Delta T)_{\text{agua}} + (mC\Delta T)_{\text{hielo}} + (mL_{fg})_{\text{hielo}} \\ & + (mC\Delta T)_{\text{agua de hielo}} = 0 \end{aligned}$$

Sustituyendo los datos tenemos:

$$\begin{aligned} & \left[1032 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0.05 \text{m}^3 \times 3890 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \times (30 \text{ }^\circ\text{C} - 63 \text{ }^\circ\text{C}) \right] + \left[7900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 2.225 * 10^{-3} \text{m}^3 \times \right. \\ & \left. 477 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \times (30 \text{ }^\circ\text{C} - 63 \text{ }^\circ\text{C}) \right] + \left[0.176 \text{m}^3 \times 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 4180 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \times (30 \text{ }^\circ\text{C} - 25 \text{ }^\circ\text{C}) \right] + \\ & \left[m_h \times 2090 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \times (0 \text{ }^\circ\text{C} - (-4 \text{ }^\circ\text{C})) \right] + \left[m_h \times \left(334 \times 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \right) \right] + \left[m_h \times 4190 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \times \right. \\ & \left. (30 \text{ }^\circ\text{C} - 0 \text{ }^\circ\text{C}) \right] = 0 \end{aligned}$$

Despejando la masa de hielo en la ecuación, y resolviendo se obtiene un valor de:

$$m_h = 57.47 \text{ kg} \cong 58 \text{ kg}$$

4.4 Sistema de bombeo

Para el diseño del sistema de bombeo, se dispondrá de una bomba de agua de $\frac{3}{4}$ de potencia, con un caudal nominal de 50 l/min.

Sin embargo, se regulará este caudal con una válvula de globo que estará abierta a un 25%, lo que significa que, por toda la galería del sistema estará circulando un caudal de 3.65 litros por minuto, por lo tanto, se analizara primero si la bomba es capaz de hacer circular el agua en todo el sistema.

A continuación, se tiene:

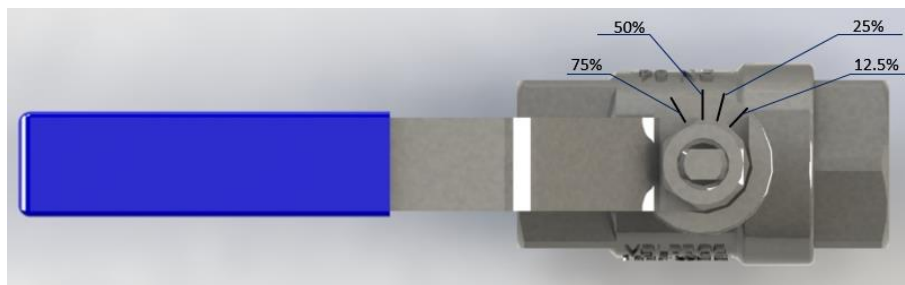


Figura 37. Regulación de la válvula de globo reguladora de caudal.

En la figura anterior, se muestra la regulación de la válvula de globo, que se encuentra instalada a la salida de la impulsión de la bomba en la que la segunda línea representa el 25% de apertura.

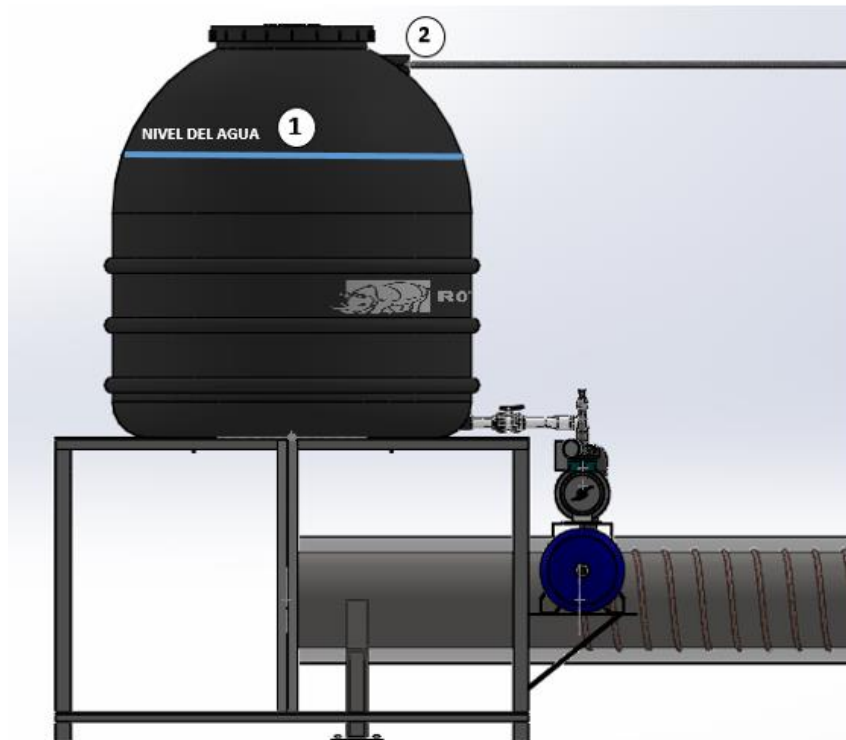


Figura 38. Puntos de análisis para realizar Bernoulli en el sistema prototipo.

De la figura anterior se muestran los puntos para realizar Bernoulli en el que el punto uno pertenece al nivel máximo de agua en el tanque de recuperación, el punto dos es a la salida del agua de la tubería procedente del encaquetado de la cuba.

Realizando un análisis con la ecuación de Bernoulli para determinar si la bomba seleccionada de $\frac{3}{4}$ de potencia pueda hacer circular el agua en la galería del sistema prototipo, debido a las pérdidas por fricción que se tendrán.

Así, se tiene:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + H_{bomba} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + H_{fp} + H_{fs}$$

Donde:

$\frac{P_1}{\gamma}$: es la carga de presión que se tiene en el nivel de agua en el tanque reservorio.

$\frac{P_2}{\gamma}$: es la carga de presión a la entrada del tanque reservorio.

$\frac{V_1^2}{2g}$: carga de velocidad en la superficie del tanque reservorio.

$\frac{V_2^2}{2g}$: carga de velocidad a la entrada del tanque superior.

Z_1 : altura del nivel de agua del tanque reservorio con respecto al suelo.

Z_2 : altura de entrada del agua en el tanque reservorio.

H_{bomba} : carga a vencer por la bomba.

H_{pp} : pérdidas primarias

H_{ps} : pérdidas secundarias

Reordenando la ecuación de Bernoulli resultante y eliminando los datos equivalentes a cero se tiene:

$$H_{bomba} = \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 - Z_1 + H_{pp} + H_{ps}$$

Ecuación que tiene intrínsecas las siguientes:

$$\frac{V_2^2}{2g} = \frac{16Q^2}{2\pi^2 g D^4}$$

$$H_{pp} = f \frac{V^2 L}{2gD}$$

$$H_{ps} = k \frac{V^2}{2g}$$

A continuación, se presenta los datos a utilizar para determinar las pérdidas en el sistema pasteurizador:

Tabla 7. Datos a utilizar para el diseño del sistema de bombeo.

Datos a utilizar		
Dato	Valor	Unidades
Caudal de agua	0.000061	m ³ /s
Velocidad del agua en el hierro galvanizado	0.311	m/s
Velocidad del agua en la tubería de cobre	0.408	m/s
Propiedades del Agua		
Densidad	1000	kg/m ³
Viscosidad dinámica	0.000891	kg/ms
Tubería de cobre		
Diámetro interno ($D_{in,s}$)	0.0138	m
Diámetro externo ($D_{ext,s}$)	0.021336	m
Diámetro medio (D_{ms})	0.018568	m
Serpentín de cobre en la tubería de fluido geotérmico		
Longitud de la tubería (L_s)	60	m
Radio de curvatura (R_s)	0.17259	m
Radio de tubo (r_s)	0.009284	m
Coefficiente de fricción (f)	0.021393	-
Alturas geodésicas de agua en el sistema		
Altura del agua en el tanque (Z_1)	2.02	m
Altura del agua en la descarga (Z_2)	2.27	m
Rugosidades		
Acero galvanizado (K)	0.0002	-
Diámetro interno ($D_{int,galv}$)	0.0158	m
Diámetro externo ($D_{ext,galv}$)	0.0213	m
Acero Inoxidable	0.000002	-

Enchaquetado		
Diámetro interno ($D_{int,cha}$)	0.404	m
Diámetro externo ($D_{ext,cha}$)	0.504	m

Tenemos las siguientes ecuaciones a utilizar en el análisis de pérdidas:

Número de Reynolds	Caída de presión primaria
$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$	$\Delta P = f \frac{\rho V^2 L}{2D}$
(Ecuación 6)	(Ecuación 18)

Valor Re hierro Galvanizado	5514.92
valor Re tubería cobre	6319.2
Valor Re enchaquetado	95.4

Pérdidas primarias (h_p)	Caída de presión secundaria
$h_p = f \frac{V^2 L}{2gD}$	$\Delta P = k \frac{\rho v^2}{2}$
(Ecuación 19)	(Ecuación 20)

Pérdidas Secundarias (h_s)	Termino $\frac{v^2}{2g}$	
$h_s = k \frac{v^2}{2g}$	0.004929	Galvanizado
	0.008484	Cobre
(Ecuación 21)	2×10^{-8}	Enchaquetado

Coeficientes de pérdidas por fricción primarias (f)		
Tubo Recto	Elemento	Valor
$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1.8 \log\left(\left(\frac{\varepsilon/D}{3.7}\right)^{1.11} + \frac{6.9}{Re}\right)$ <p>(Ecuación 22)</p>	Tramo de tubería	0.042264907
Serpentín	Elemento	Valor
$f = \frac{64}{Re} \left(\frac{Re}{(R/r)^2} \right)^{1/20}$ <p>(Ecuación 23)</p>	1	0.001591964
	2	0.001558699
Enchaquetado	Elemento	Valor
$f = \frac{64}{Re}$ <p>(Ecuación 24)</p>	1	0.6709

Al aplicar las ecuaciones en una hoja de cálculo, se hizo un cuadro donde se tienen los resultados para las pérdidas primarias presentes en cada tramo de las tuberías de hierro galvanizado, en el serpentín de cobre y en el enchaquetamiento que se analizó como tubo concéntrico, y también las pérdidas secundarias que son debidas a los accesorios, por lo que se muestra a continuación:

Tabla 8. Tabla Resumen de las pérdidas primarias del sistema pasteurizador.

Pérdidas primarias en el sistema pasteurizador de la leche					
Tubería de hierro Galvanizado	Longitud (m)	Diámetro (m)	Velocidad (m/s)	Pérdidas primarias hp (m)	Pérdidas de presión Δp (Pa)
1	1.5	0.0158	0.3111	0.0229	224.913
2	0.18	0.0158	0.3111	0.0028	26.990
3	0.96	0.0158	0.3111	0.0147	143.944
4	0.39	0.0158	0.3111	0.0060	58.477
5	0.64	0.0158	0.3111	0.0098	95.963
6	0.24	0.0158	0.3111	0.0037	35.986
7	0.47	0.0158	0.3111	0.0072	70.473
8	0.75	0.0158	0.3111	0.0115	112.456
9	3.5	0.0158	0.3111	0.0535	524.797
Serpentín	41	0.0138	0.4078	0.2950	2893.742
Enchaquetado	0.4	0.504	0.0009	1.9855×10^{-08}	0.000194
Total				0.4269	4187.741

Tabla 9. Tabla resumen de las pérdidas secundarias del sistema pasteurizador.

Pérdidas secundarias en el sistema pasteurizador de la leche					
Accesorio	Cantidad	Velocidad (m/s)	k	Pérdidas secundarias	Pérdidas de presión
Codo a 90° de 1/2 pulg	8	0.3111	0.16	0.006315	15.487
Salida del tanque	1	0.2140	0.5	0.001167	11.451
Válvula de bola (abierta 25%)	1	0.3111	4	0.019734	193.588
Te	1	0.3111	2.4	0.011840	116.154
Válvula solenoide	2	0.3111	3	0.029601	145.192
Válvula Check	1	0.3111	2.7	0.013320	130.673
Entrada Enchaquetado	1	0.3111	1	0.004933	48.397
Salida Enchaquetado	1	0.3111	0.5	0.002467	24.199
Total				0.027216	685.141

Sustituyendo los valores totales de pérdidas primarias y secundarias obtenidas en la hoja de cálculo, las alturas de nivel del punto 1 y 2 del Bernoulli, y la correspondiente carga de velocidad que se tiene a la entrada del agua en el tanque reservorio, tenemos que la carga a manejar por la bomba es:

$$H_{bomba} = \frac{16Q^2}{2\pi^2 g D^4} + (Z_2 - Z_1) + H_p + H_s$$

$$H_{bomba} = \frac{16(0.000061)^2}{2\pi^2 * 9.81 * 0.0138^4} + (2.27 - 2.02) + 0.4268 + 0.027$$

$$\mathbf{H_{bomba} = 0.71 m}$$

Del resultado anterior se puede concluir que las pérdidas en el sistema pueden ser despreciadas comparándolas con la altura disponible por la bomba.

Esto se puede explicar debido a que el caudal que está circulando por la galería del sistema es bastante bajo (3.65 l/min), con lo que la velocidad con la cual circula el agua en el sistema es relativamente baja siendo las pérdidas despreciables.

CAPÍTULO V. PROCESO DE DISEÑO MECÁNICO DEL SISTEMA PROTOTIPO PASTEURIZADOR DE LECHE

Para el sistema prototipo, es necesario seleccionar los materiales que estarán involucrados en el proceso de pasteurización, como también los elementos de control, medición y regulación que intervienen en el proceso de pasteurización.

5.1 Selección de materiales

La selección de materiales se realiza tomando en cuenta diferentes factores, como la criticidad de la especificación, es decir, aquellos materiales que no se podían sustituir por la exigencia de inocuidad de la leche; la disponibilidad en el mercado, el precio de adquisición y la facilidad de instalación.

5.1.1 Tuberías

- **Tubería de transporte de material lácteo**

La leche o cualquier producto lácteo líquido fluye entre los distintos componentes de la planta de proceso gracias al sistema de tuberías. Todos los componentes en contacto con producto lácteo que se transportan están contruidos de acero inoxidable AISI 304, esto debido a que el acero inoxidable cuenta con un alto contenido en cromo, así como mantenerse limpio en cualquier ambiente o temperatura, y en consecuencia, no contaminar el material lácteo.



Figura 39. Tubería de acero inoxidable/proporcionada por el proveedor Fuente: <https://www.vidri.com.sv>

- **Tubería para el calentamiento del fluido**

Para el caso de las tuberías que transportaran el fluido que será el encargado de calentar la leche, se utilizará hierro galvanizado, este material fue seleccionado considerando la disponibilidad y el bajo costo que se tiene, y ya que el fluido de trabajo será agua, no existe requerimiento alguno en cuanto a la inocuidad.



Figura 40. Tubería de hierro galvanizado / proporcionada por el proveedor. Fuente: Vidri.com.sv

Destacar que para el caso del intercambiador de calor tipo serpentín que se instaló en la tubería de reinyección se hizo la selección de cobre tipo L, debido a su alta conductividad térmica y maleabilidad.

Sin embargo, ya que este fluido no estará en contacto con la leche, no hay inconvenientes de que la tubería sea de otro material. Cabe recalcar, que todo accesorio que se encuentre en contacto con la leche debe de ser de acero inoxidable AISI 304, a fin de evitar la contaminación de la leche.



Figura 41. Rollo de cobre flexible tipo L/proporcionada por el proveedor. Fuente: www.frioaire.com

5.1.2 Cubas de calentamiento y enfriamiento

El acero inoxidable está presente en una de las industrias de mayor importancia, como es la de los alimentos, específicamente hablando en la industria láctea, los beneficios que este brinda en todo el proceso son muy importantes para la producción.

Este material es utilizado comúnmente en la industria láctea porque es higiénico al presentar las siguientes características:

- a. Impide la contaminación de las materias primas por la acción de microorganismos.
- b. No aporta partículas por desprendimiento.
- c. Previene el crecimiento de bacterias por medio de la disminución o aumento de la temperatura.
- d. Favorece el desarrollo de microorganismos específicos inofensivos y antagonistas a los perjudiciales (Ej.: fermentación, siembra.).
- e. Óptima capacidad de limpieza y, en consecuencia, elevado grado de eliminación de bacterias.

A Partir de lo anterior, para la fabricación de las cubas tanto calefactoras con su respectivo enchaquetado y la cuba de enfriamiento, se utilizó acero inoxidable AISI 304, con acabado 2B laminado en frío.

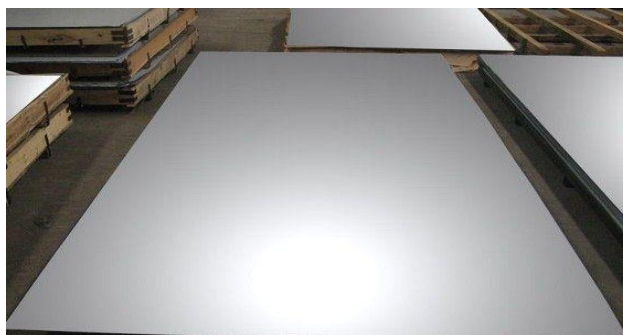


Figura 42. Lámina de acero inoxidable AISI 304 con acabado 2B / proporcionada por el proveedor. Fuente: vidri.com.sv

5.1.3 Cuerpo estructural del prototipo

La ubicación donde se da la pasteurización tiene un cuerpo independiente de donde se encuentra el fluido de trabajo y separado de la fuente de energía, esta estructura tiene como objetivo sostener la cuba calefactora y proporcionar protección al sistema. De igual forma, el sistema de enfriamiento se encuentra ensamblado en dicha estructura, el cual se fabricó del mismo material que el de la estructura.

Se seleccionó como tal, acero inoxidable AISI 304, considerando también que la cuba calefactora es de acero inoxidable debido a la exigencia que se atribuye al hecho de la manipulación de alimentos, es decir, no puede seleccionarse otro material como, por ejemplo, un acero con bajo contenido de carbono, debido a que podría provocar la propagación de corrosión al recipiente contenedor de leche, lo cual afectaría el objetivo del proyecto.

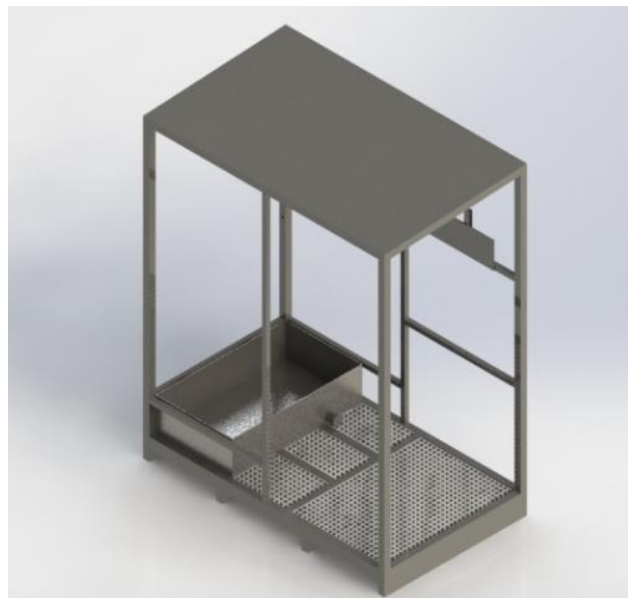


Figura 43. Sistema de enfriamiento y estructura techada de acero inoxidable AISI 304

5.1.4 Estructura de soporte del tanque de almacenamiento de agua

- Acero ASTM A-36

Este es un acero estructural al carbono, utilizado en construcción de estructuras metálicas, puentes, torres de energía, torres para comunicación y edificaciones remachadas, atornilladas o soldadas, herrajes eléctricos y señalización. Este tipo de acero se produce en una amplia variedad de formas, que incluyen: Planchas, Perfiles estructurales, Tubos, Láminas, platinas y ángulos.

Dado que esta estructura forma parte del sistema como un elemento que estará estrictamente sujeto a una carga vertical hacia abajo, la cual será ejercida por el agua contenida en el tanque donde se reserva el agua, se decide trabajar con un acero con un bajo porcentaje de carbono, para que su costo sea menor, de este modo, se realizó el diseño de esta estructura en un programa CAD.



Figura 44. Base de soporte de acero A36 para el tanque de almacenamiento de agua

5.2 Dispositivos de control, medición y regulación

5.2.1 Válvulas

En la red de tuberías existen muchos puntos donde debe ser posible detener el flujo o bien dirigirlo hacia otra dirección. Estas funciones son realizadas por válvulas.

Para el sistema prototipo serán fundamentales el uso de algunas de estas, ya sea para restringir o dar paso. Algunas de estas se describen a continuación:

- **Válvulas de globo**

Las válvulas de globo son llamadas así por la forma esférica de su cuerpo. Si bien actualmente algunos diseños ya no son tan esféricos, conservan el nombre por el tipo de mecanismo.

Es un tipo de válvula que posee un tapón obturador en forma de cono sujeto y accionado por un vástago para abrir, cerrar o regular el flujo del líquido o gas que pasa por el orificio de paso que se encuentra en el cuerpo de la válvula.

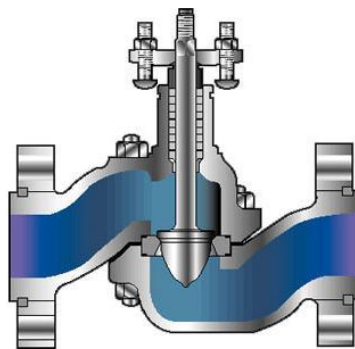


Figura 45. Válvula de asiento. Fuente: <http://www.valvias.com/tipo-valvula-de-globo.php>

- **Válvula Solenoide**

Una válvula solenoide es una válvula eléctrica utilizada para controlar el paso de gas (sistemas neumáticos) o fluidos (sistemas hidráulicos). La apertura o cierre de la válvula se basa en impulsos electromagnéticos de un solenoide (un electroimán) que trabaja junto a un muelle diseñado para devolver a la válvula a su posición neutral cuándo el solenoide se desactiva.

Las válvulas solenoides ofrecen funciones de apertura o cierre total y no se pueden utilizar para la regulación del flujo de gas o fluido. Existen válvulas solenoides que pueden trabajar con corriente alterna (AC) o con corriente continua (DC) y utilizar diferentes voltajes y duraciones de ciclo de funcionamiento. Estas pueden ser normalmente cerradas (NC) en las que el impulso electromagnético las abre, o pueden ser normalmente abiertas (NA) en las que el impulso electromagnético las cierra.

Esta se utilizará para permitir la circulación de agua caliente que será la encargada de elevar la temperatura de la leche para realizar la pasteurización y para mantener la temperatura constante en esta.



Figura 46. Válvula solenoide/proporcionada por el proveedor Fuente: <https://www.vidri.com.sv>

5.2.2 Conexiones

Cuando se desea poder desmontar las uniones estas se han resolver por medio de uniones desmontables con adecuado diseño higiénico, que consta de un extremo macho y una tuerca con una junta anular en el otro. En los distintos países existen diferentes normas que hacen referencia a las uniones en tuberías como la SMS, DIN, BS y la ISO.

Para la construcción del prototipo se utilizarán conexiones de hierro galvanizado. Destacar, que en este caso no habrá circulación de leche en redes de tuberías, a excepción de la de descarga hacia el recipiente de enfriamiento.

5.2.3 Soportes para tubería

Las líneas de las tuberías deben tener una ligera inclinación con objeto de conseguir un efecto de auto drenaje. Estas deben estar firmemente sujetas, aunque no tan fijas que no puedan tener un ligero movimiento.

Durante los tratamientos dichas tuberías se expanden considerablemente, en especial cuando las temperaturas de los productos son altas y durante la limpieza, por lo que se debe prever la absorción del correspondiente aumento de las fuerzas longitudinales y de torsión en los codos y en los equipos.

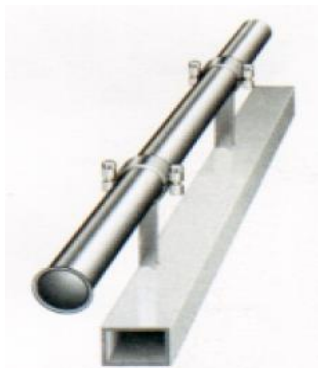


Figura 47. Soportes de tubería. /proporcionada por el proveedor, Fuente: <https://www.vidri.com.sv>

5.2.4 Accesorios

Para el desarrollo del prototipo, se emplearán distintos tipos de accesorios, que tienen distintas funciones, a continuación, se presentan algunos accesorios que será importante tomar en cuenta para la construcción del prototipo:

- **Termómetros**

La función primordial de este es la medición de la temperatura, esto es de uso vital para el desarrollo del proyecto, ya que este será el encargado de indicar el momento de alcanzar la temperatura de pasteurización, así como también el de mantener el control en cada una de las etapas del proceso.



Figura 48. Termómetro de espiga/proporcionada por el proveedor Fuente: <https://www.vidri.com.sv>

- **Sensor RTD**

El RTD es un sensor que se utiliza para medir la temperatura, normalmente está compuesto por un alambre fino el cual tiene una relación temperatura-resistencia, al aumentar la temperatura incrementa su resistencia.

Como su respuesta es lineal se puede conocer el nivel de calor utilizando una tabla que ilustra los valores resistivos que se generan en cada grado centígrado o Fahrenheit.

Esta será utilizada para el sistema de control de apertura y cierre de las válvulas solenoides, que son las encargadas de dar paso al agua caliente proveniente del serpentín de extracción de calor hacia el enchaquetamiento.



Temperatura °C	Resistencia Ω
0	100
10	103.9
20	107.79
30	111.67
40	115.54
50	119.4
60	123.24
70	127.08

Figura 49. RTD PT100 con tabla de valores resistivos/proporcionada por el proveedor Fuente: <https://www.vidri.com.sv>

- **Controlador de temperatura**

Para regular con precisión la temperatura del proceso sin la participación continua del operador, un sistema de control de temperatura se basa en un regulador, el cual acepta un sensor de temperatura tal como un termopar o RTD (del inglés: Resistance Temperatura Detector) como entrada. Se compara la temperatura real a la temperatura de control deseada, o punto de ajuste, y proporciona una salida a un elemento de control. El regulador de temperatura solo es una parte del sistema de control, y todo el sistema debe ser analizado para elegir un controlador adecuado.

Este será el encargado de enviar la señal a las electroválvulas, que le indicará el momento de apertura o cierre, según sea la situación.



Figura 50. Controlador de temperatura / marca Honeywell.
Fuente:ergiocontroles.com

5.3 Instalación eléctrica y sistema de control de temperatura del sistema prototipo

En el sistema prototipo para pasteurizar leche, se necesita llevar a cabo un control en la temperatura de pasteurización, que son 63 °C en un tiempo de 30 minutos, por lo que se necesita un sistema que controle el suministro de agua caliente a 80 °C que ingresa al enchaquetado de la cuba calefactora.

Una vez alcanzada esta temperatura de 63 °C en la leche, se debe cortar el suministro de agua caliente en la cuba, por medio de una válvula solenoide, para que la temperatura en la leche no siga aumentando, y una vez la temperatura de la leche descienda de los 63 °C , se vuelva a permitir el paso de agua caliente al enchaquetado de la cuba. Así, el control de la temperatura del sistema se realizara de la siguiente manera:

Por medio de una RTD PT100 se registrara la temperatura de la leche, y este le envia una señal de voltaje a un controlador de temperatura, el cual sera programado para que a una temperatura determinada , que son los 63 °C, mande una señal de voltaje al contactor, para que este cierre el circuito y asi activar la válvula solenoide instalada en la entrada del enchaquetado.

Esto con el fin de cortar el paso de agua caliente que se encuentra ingresando en la chaqueta de la cuba, para que asi la temperatura en la leche no sobrepase los 63 °C que se necesitan para el pasteurizado.

Luego, una vez descienda la temperatura de la leche de los 63 °C, el controlador de temperatura desactive la señal de voltaje, desernegizando el contactor que paralelamente abra el circuito y las valvulas solenoides regresaran a su posicion normal para que asi, esta vuelva a permitir el paso de agua al sistema pasteurizador de leche, para que la temperatura de pasteurización se encuentre en el intervalo requerido para obtener una buena pasteurización.

Asi mismo, se instalaron las respectivas protecciones para el sistema de agitacion del sistema y de la moto bomba, por lo que se colocaron los respectivos guardamotores de estos.

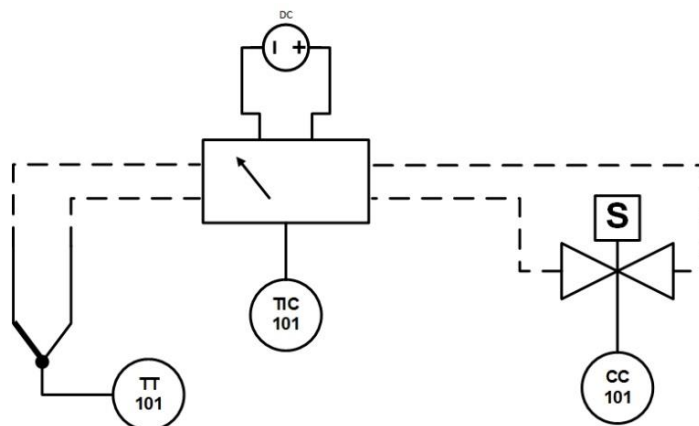


Figura 51. Diagrama del sistema de control de temperatura del sistema prototipo.

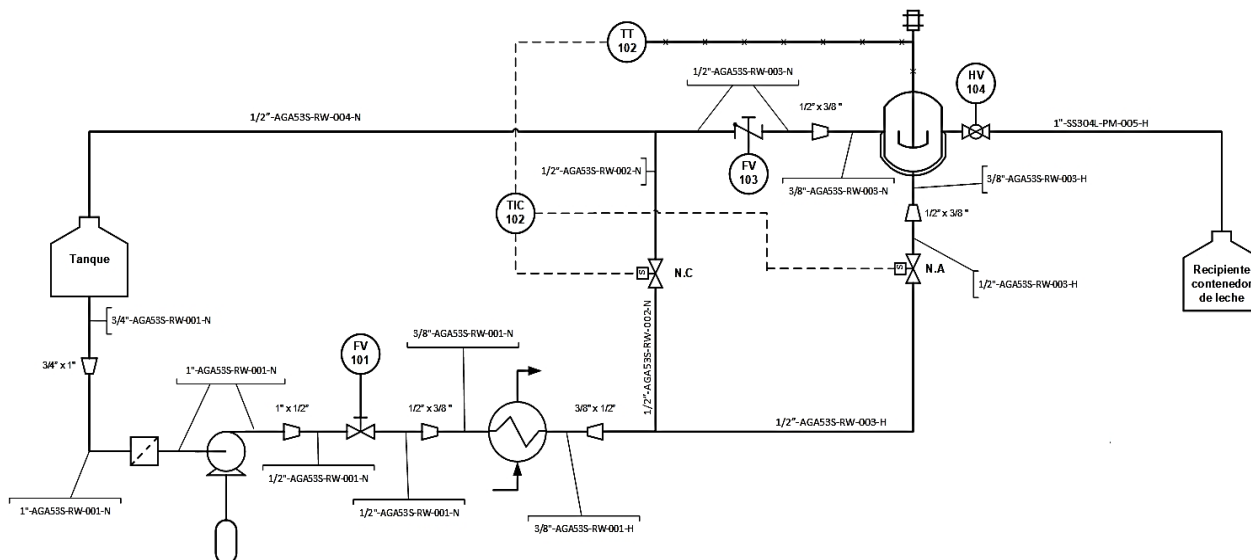


Figura 52. Diagrama P&ID del sistema prototipo pasteurizador de leche con el sistema de control de temperatura.

5.3.1 Elementos para el control de temperatura

El proceso de control de temperatura, descrito anteriormente, se llevará a cabo mediante la regulación de flujo de agua caliente que estará ingresando a la chaqueta. Para esto, se manejarán 2 posiciones, el de apertura y el de cierre.

Para ello, se necesitan los 3 siguientes elementos fundamentales: Medición, Procesador de señales y actuador, que se describen a continuación.

- **Medición:** es el elemento que estará funcionando como sensor, el cual tiene como objetivo el de medir la temperatura a la que se encuentra en este caso, la leche.
- **Procesador de señales:** Es el encargado de recibir las señales y de convertirlas a un impulso eléctrico que energizaran los actuadores para cambiar la variable del proceso medido al valor deseado.
- **Actuador:** es el elemento que recibe las instrucciones del procesador de señales para regular las variables del proceso hasta los valores deseados.

Estos elementos que serán utilizados en el proceso de control de temperatura se muestran a continuación:

- Sensor RTD PT100



Figura 53. Sensor de temperatura RTD PT100/ proporcionado por el proveedor. Fuente: Omega.com

- Contactor Allen Bradley 100 series.



Figura 54. Contactor Allen de 110V a 60 Hz / proporcionado por el proveedor Fuente: rcomponents.com.

- Controlador de temperatura Honeywell DC1010



Figura 55 Controlador de temperatura HoneyWell, serie DC1010, 110V a 60 Hz / proporcionado por el proveedor. Fuente: <http://ergiocontroles.com>

- Guarda motor Schneider Electric GV2ME14.



Figura 56. Guarda motor Schneider para la bomba, 110V/60 Hz / proporcionado por el proveedor Fuente: <https://www.schneider-electric.com/sv/es/>

- Guardamotor Telemecanique GV2-M16



Figura 57. Guarda motor Schneider Telemecanique para moto agitador, 110V/60 Hz/ proporcionado por el proveedor. Fuente: <https://www.schneider-electric.com/sv/es/>

- Cortacircuitos (del inglés: CircuitBreaker) Schneider Series C60H



Figura 58. Circuit Breaker marca Schneider, 110V/60 Hz / proporcionado por el proveedor. Fuente: <https://www.schneider-electric.com/sv/es/>

CAPÍTULO VI. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA PROTOTIPO

6.1 Descripción del proceso de construcción del sistema

Para la construcción del sistema prototipo, inicialmente se realizaron las respectivas compras de los materiales involucrados en el proceso. Por lo tanto, se realizó la compra de las láminas de acero inoxidable para conformar las cubas calefactoras y enfriadoras respectivamente, como también las tapaderas y fondos de las mismas.

Para esto se hizo la compra de dos pliegos de láminas AISI 304 en dimensiones de 4x8 pies con un espesor de 2 milímetros con acabado 2B, laminado en frío.

También se compró la bomba con una potencia de $\frac{3}{4}$ que será la encargada de impulsar el fluido por la galería del sistema como los accesorios que contendrá toda la red de tuberías.

El sistema de construcción se dividió en la construcción de los siguientes sistemas, sin antes destacar que algunos se realizaron de forma paralela.

6.2 Construcción de la cuba calefactora y enfriadora

De acuerdo con los planos y medidas estipuladas, se realizó los cortes de las láminas de acero inoxidable 304 que formarían el cuerpo de las cubas tanto calefactoras como enfriadoras. Para esto se ocupó el equipo de plasma cuyo proceso consiste en un chorro de alta velocidad de gas ionizado que se envía desde un orificio de constricción. La alta velocidad del gas ionizado, que es el plasma, conduce la electricidad desde la antorcha de plasma a la pieza de trabajo. El plasma calienta la pieza de trabajo, fundiendo el material.

El flujo de alta velocidad del gas ionizado sopla mecánicamente el metal fundido, rompiendo el material.

Metales como el aluminio y el acero inoxidable forman un óxido que inhibe la oxidación adicional por lo que el corte por oxigas es imposible. El corte por plasma, sin embargo, no se basa en la oxidación para trabajar, y por tanto puede cortar aluminio, acero y cualquier otro material conductor.

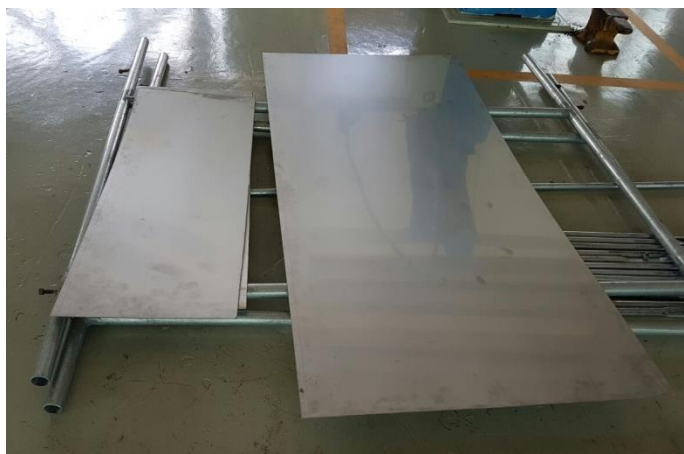


Figura 59. Corte de las láminas de acero inoxidable 304 con acabado 2B que formarían los cuerpos de las cubas.

Para enrollar la lámina se utilizó una máquina roladora asimétrica, Su concepto se basa en tres rodillos: un solo rodillo superior y dos laterales inferiores. Es la más popular de las roladoras y representa la gran mayoría de las existentes.

Por lo tanto, se hizo el rolado de las dos láminas de acero inoxidable que iban a conformar los cuerpos de las cubas para formar los cilindros que posteriormente se les realizaría el respectivo cordón de soldadura.



Figura 60. Rolado de las láminas de acero inoxidable AISI 304 que conformaran las cubas.

Para la soldadura se ocupó el método TIG que es una de las técnicas de soldadura más utilizada para acero inoxidable de pequeños espesores, ya que, aunque tiene menor rendimiento que la MIG no produce temperaturas tan altas del material y, así, evita deformaciones.

El electrodo de tungsteno, habitualmente puro, puede contener pequeñas cantidades de zirconio o torio en porcentajes inferiores al 2%. Si es necesario el aporte de metal a la soldadura, se realiza de forma externa mediante una varilla que en este caso fue de acero inoxidable.

Los gases más utilizados para la protección del arco son helio o argón, o una mezcla de ambos, aportados a través de una tobera en la antorcha o pistola de soldadura.

Una vez roladas ambas láminas, se procedió a realizar los respectivos cordones de soldadura para formar el cuerpo cilíndrico.



Figura 61. Cordones de soldadura por método TIG de las cubas.

Por el mismo método se procedió a realizar el fondo de la cuba calefactora el cual se hizo de forma cónica hexagonal ya que debe de facilitar la descarga de la leche una vez esta este pasteurizada.

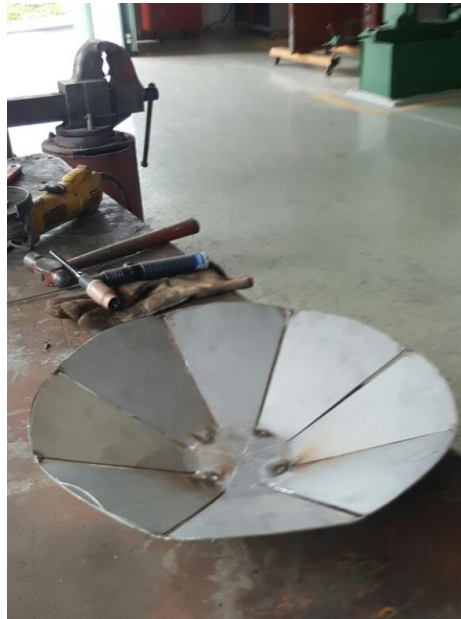


Figura 62. Fondo cónico exagonal de la cuba calefactora.

Ya con el fondo cónico, se realizó la perforación en este, al que se le soldó un niple de acero inoxidable 304 de 1", en el que ira roscada la válvula de acero inoxidable de la misma medida, que dará el paso a la descarga de la leche pasteurizada.

Se realizaron también las manecillas con tubing de acero inoxidable de 1" que serían soldadas a las tapaderas.



Figura 63. Soldadura por método TIG del fondo de la cuba enfriadora.

Trabajando en la cuba enfriadora se realizó la soldadura del fondo de esta para posteriormente esmerilar la soldadura para un mejor acabado estético.



Figura 64. Manecillas con tubing de acero inoxidable.

Empezando con el trabajo de la cuba calefactora, se hizo el rolado de la lámina que formaría el enchaquetado de la cuba, como también se hicieron los cortes de los anillos superiores e inferiores que se soldaran al cuerpo de la cuba y la chaqueta.



Figura 65. Rolado de la lámina que formara la chaqueta conjunto a los cortes de los anillos superiores e inferiores.

Se hizo la soldadura del cincho que iría en la tapadera de la cuba enfriadora, que sería la encargada de realizar la hermeticidad. También se realizó la soldadura de las manecillas en la superficie de la tapadera y las manecillas laterales de esta, finalizando así la construcción de la cuba enfriadora.



Figura 66. Finalización de la tapadera de la cuba enfriadora.

Para la finalización de la cuba calefactora, se hizo la soldadura del fondo hexagonal al cuerpo de la cuba, como también la del enchaquetado. Luego se procedió a realizar la soldadura de las bisagras de las tapaderas como sus respectivas manecillas para la apertura y cierre de las mismas, finalizando con el cortado y doblado de una platina para elaborar los soportes de la cuba, con los cuales se fijaría a la estructura.



(a)



(b)

Figura 67. Finalización de cuba calefactora. (a) Soldadura de las manecillas y bisagras (b) Soldadura de los soportes al cuerpo de la cuba.

6.2.1 Acabado superficial de las cubas

La resistencia a la corrosión de un acero inoxidable es función de la presencia de una capa superficial protectora de óxido de cromo, la que es invisible al ojo humano y se forma por un proceso de oxidación natural o artificial.

Actividades tales como el conformado, la soldadura, el desbastado, el empleo de herramientas de acero al carbono pueden dañar esta capa pasiva que le otorga la calidad de inoxidable y que evita que el acero sufra corrosión.

En el proceso de construcción del sistema prototipo se pudo observar manchas en los cordones de soldadura. Esto debido a que, por efecto del calor aportado, que produce la oxidación de algunos de los elementos del acero, se pueden producir las denominadas manchas térmicas.

Cuando la termo coloración es visible sobre la superficie, se ocasiona una disminución de la resistencia a la corrosión, con lo que se hace necesario realizar la limpieza de los cordones de soldadura.

Existen actualmente sistemas de limpieza de cordones de soldadura que son capaces de eliminar las manchas producidas en los puntos de soldadura. Los equipos disponibles suelen funcionar con un sistema electrolítico que utiliza un agente de limpieza capaz de eliminar los óxidos formados y de conseguir el pasivado de la superficie.

Existen compuestos como los decapantes que se utilizan para restituirle a la superficie del acero inoxidable su resistencia original a la corrosión. El decapado produce mejores resultados que otros tratamientos superficiales tales como el pulido, lijado o desbastado.

El decapado o limpieza ácida, elimina cualquier contaminante de la superficie, tales como grasa, suciedad y óxidos superficiales o si ha sido expuesta a la inclusión de partículas en el acero.

Pasta Decapante

Como se describió con anterioridad, al observar estas manchas en el sistema prototipo se realizó la aplicación de la pasta decapante con el objetivo de remover las manchas en los cordones de soldadura debido al tratamiento térmico como también el de devolver la capa protectora del acero inoxidable, garantizando la protección contra la corrosión del sistema.

El tiempo de contacto entre el decapante y la superficie a decapar debe ser definido previamente para evitar ataque excesivo y dependerá de cada caso en particular.



Figura 68. Pasta decapante para acero inoxidable, presentación de 1.25 kg / proporcionado por el proveedor. Fuente: <https://acerosmaprima.com/>

Después de aplicar el decapante se espera el tiempo necesario para la limpieza exigida, posteriormente se lava la superficie con bastante agua ayudándose con un cepillo de alambre de acero inoxidable para retirar los residuos que quedan. El proceso de aplicación se repetirá cuando los residuos sean excesivos.

Después del decapado y lavado con agua es recomendable utilizar neutralizante para eliminar todos los residuos ácidos de la superficie, posteriormente lavar con abundante agua y luego secar.

Cabe resaltar que, al momento de la aplicación del ácido a las cubas de acero inoxidable, ya una vez finalizado el proceso de decapado, se realizaron 3 enjuagues al sistema, esto para garantizar la completa remoción de cualquier residuo que hubiese quedado en las cubas y que como consecuencia pudiera generar contacto con la leche y el deterioro de la misma.



Figura 69. Aplicación de la pasta decapante en las superficies de acero inoxidable. Fuente: <https://codinsa.cl/productos/accesorios/decapante-inox>

- **Precauciones del decapante**

El Decapante para acero inoxidable emite leves vapores ácidos, se debe evitar respirarlos. Al utilizar este gel decapante, el operador se debe proteger las manos y ojos con guantes de goma y careta facial además debe usar indumentaria a prueba de ácidos. En caso de contacto accidental del gel con la piel, se debe lavar la zona afectada con abundante agua.

El envase deberá mantenerse cerrado después de su uso y almacenado en un lugar seguro y bien ventilado, lejos del alcance de los niños.

6.3 Construcción de la estructura techada

Se observó la necesidad de proporcionar al sistema protección contra la lluvia y el sol, que pueden llegar a ocasionar el deterioro del sistema en el transcurso del tiempo.

Así mismo, este proporcionaría protección a los operadores del sistema, por esto, se realizó una estructura techada que brindaran los aspectos descritos anteriormente y que garantizara el funcionamiento óptimo del mismo.

Se decidió elaborar la estructura de acero inoxidable, debido a las propiedades que presenta este, ya que aparte de ser un metal resistente a la corrosión, presenta cualidades como: resistencia al calor, fácil fabricación y limpieza, biológicamente neutro, buena resistencia al desgaste y proporciona buena estética.



Figura 70. Construcción de la estructura techada.

Para la construcción de la estructura techada se utilizó soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido de acero inoxidable. También se esmeriló las columnas de la estructura y limpieza de estas.



Figura 71. Esmerilado y pintado de las superficies de la estructura techada.

6.4 Construcción e instalación de la base de la cuba calefactora y el sistema de agitación

Se realizaron los respectivos planos para la construcción de la base en la que estaría la cuba calefactora, la cual sería la encargada de soportar el peso de la columna de agua en el enchaquetado como la leche depositada dentro de la cuba. Para eso se utilizó tubo cuadrado de acero inoxidable de 1 ½ pulgadas.

Continuo a esto, se realizó el corte del tubo cuadrado que serviría de soporte del motor agitador, que, en consecuencia, iría soldado a la estructura techada.

Para esto, se realizaron los respectivos cortes y esmerilado de los tubos cuadrados, este último para dejar a escuadra los tubos que serían unidos por medio de soldadura eléctrica, con electrodo de acero inoxidable.



Figura 72. Proceso de esmerilado de los tubos cuadrados.

Luego se procedió a realizar los agujeros en los tubos cuadrados, en donde se colocarían los pernos que mantendrían a la cuba sujeta a esta.



Figura 73. Elaboracion de la base de la cuba calefactora.

Soporte Moto-Agitador

Para la instalación del soporte del agitador, se utilizó tubo cuadrado de acero inoxidable de 1 ½ pulgadas. Con lo que, se hizo el respectivo corte de un tramo de tubo cuadrado de aproximadamente 30 cm que se soldó con electrodo de acero inoxidable a la estructura techada donde se colocaría el moto-agitador.

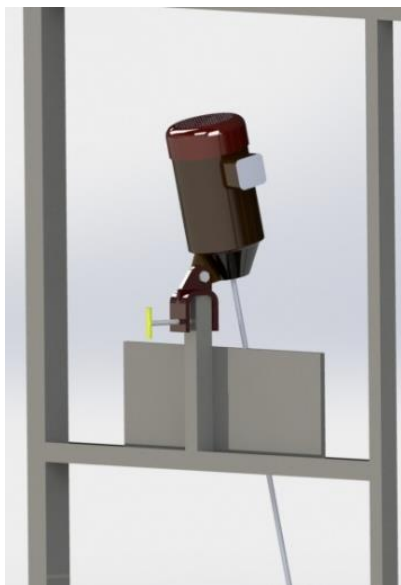


Figura 74. Soporte del motor agitador.

En el funcionamiento del agitador se pudo observar cierta vibración, esto debido a que el agitador se encuentra sostenido prácticamente en un punto, por lo tanto, para evitar esto se recomienda evaluar la sustitución o mejoramiento del soporte para asegurar la completa fijación del mismo.

6.5 Construcción del tanque de enfriamiento

En la construcción del sistema de enfriamiento se siguieron las medidas de los planos que se mostraron con anterioridad. Para esto se utilizó láminas de acero inoxidable AISI 304, con un espesor de 2.5 mm.

Sin embargo, cabe destacar que se encontró una caja rectangular ya fabricada, por lo que únicamente se procedió a modificarla de acuerdo a los planos.

Para los cortes de las láminas, se utilizó el equipo de plasma, debido a su versatilidad ya que también se consiguen cortes de alta calidad y muy buen acabado.



Figura 75. Modificación del tanque de enfriamiento con equipo de plasma.

Una vez cortada la lámina, se procedió a realizar el cordón de soldadura para unirla con el resto del cuerpo del tanque, para posteriormente fijarlo a la estructura techada. Esto se hizo por soldadura de arco eléctrico, con electrodos de acero inoxidable.

También se aplicó una capa de Aqualock en los vértices del tanque, esto para sellar posibles poros que hubiesen quedado en el cordón de soldadura.

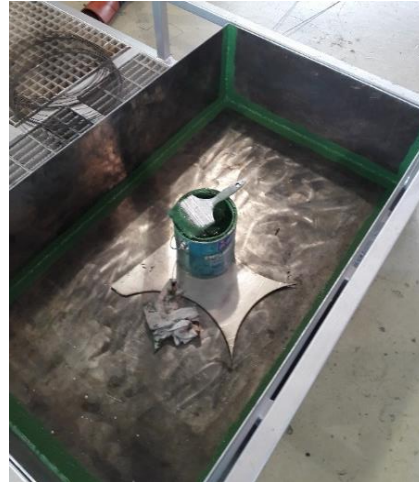


Figura 76. Aplicación de la capa de aqualock en los vertices del tanque de enfriamiento.

6.6 Construcción del sistema de bombeo e instalación del intercambiador de calor en la tubería de fluido geotérmico

Para la instalación del sistema de bombeo, se dividió la construcción en 2 etapas. La primera etapa consistía en realizar la construcción de la base donde iría montado el tanque de agua, como también la bomba.

Posterior a esto se hizo la instalación de las tuberías de impulsión del fluido que serían conectadas al serpentín extractor de calor. Inicialmente se realizaron pruebas de temperatura, esto con el fin de verificar la longitud a ocupar de tubería de cobre hasta alcanzar la temperatura de diseño de 80 °C.

Se instalaron 4 rollos de cobre que conformarían el serpentín con un total de 60 metros. Luego se sujetó al interior de la tubería de acarreo con fibra de vidrio como se muestra en la siguiente figura:



Figura 77. Instalación de los rollos de cobre sobre la tubería de fluido geotérmico.

Con la temperatura de diseño alcanzada, se procedió a realizar las conexiones de las tuberías que conectaran la salida del agua del serpentín con el sistema de enchaquetamiento de la cuba. Para esto, también se instalaron las válvulas solenoides que, como se explicó en el apartado 5.3, estas serán las encargadas de permitir el paso del agua caliente a la cuba.



Figura 78. Conexión de tuberías entre el sistema de extracción de calor y el sistema de enchaquetamiento de la cuba.

Posterior a la conexión de las tuberías del sistema de bombeo, se procedió a realizar pruebas, esto con dos propósitos: el primero verificar si no había fugas, en la que se hicieron los ajustes respectivos, y el segundo propósito, verificar si la bomba era capaz de hacer circular agua por toda la galería del sistema y retornarla al tanque.

6.7 Instalación del sistema eléctrico y de control

Con los diseños y diagramas ya establecidos en el apartado 4.4, se procedió a realizar las respectivas conexiones y el cableado de los componentes que conformarían el sistema de control.

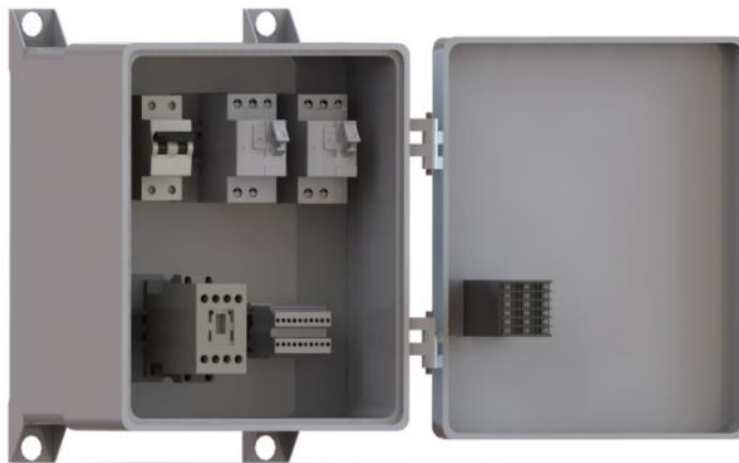


Figura 79 Vista frontal de la caja del sistema de control del sistema prototipo.

6.8 Modificaciones en el proceso de fabricación respecto al plan de diseño

En la etapa de construcción, se realizaron las respectivas modificaciones al plan de diseño que se tenía inicialmente, caracterizando los resultados obtenidos en cada una de las etapas que se detallan a continuación:

- **Mecanismo de extracción de calor de la tubería de reinyección**

Durante el proceso de fabricación del intercambiador de calor que se instaló en la tubería de reinyección se efectuaron algunas modificaciones en cuanto al tamaño del mismo. Esto debido a que a la salida del intercambiador no se alcanzó, en un principio, la temperatura deseada para cumplir con el proceso de pasteurización; debido a esto se realizaron los cambios pertinentes respecto al diseño establecido a partir del análisis matemático.

En cuanto al tipo de intercambiador de calor seleccionado, no se realizaron cambios, ya que se habían planteado a un principio las condiciones sobre las cuales se trabajaría en la tubería de reinyección.

- **Mecanismo de calentamiento de la leche**

En este intercambiador de calor se realizaron cambios en cuanto al tipo de intercambiador, esto debido a que en primera instancia se pretendía instalar un serpentín similar al instalado en la tubería de acarreo, de modo que, se procedió a realizar los cálculos matemáticos para verificar la viabilidad del mismo, sin embargo, se pudo concluir que este método no era el adecuado, por lo que, se rediseñó el mecanismo de calentamiento de la leche considerando un recipiente enchaquetado para generar una mayor eficiencia en la transferencia de calor hacia la leche.

- **Mecanismo de enfriamiento de la leche**

Con respecto al diseño planteado en la etapa de análisis del sistema de enfriamiento, no se hicieron modificaciones, dado que el mecanismo que se utilizó sobresalía con considerable ventaja económica comparándolo con la otra opción que se sostenía, la cual era el enfriamiento de la leche mediante un equipo de refrigeración, de manera que el enfriamiento de la leche se llevó a la temperatura necesaria para el procesamiento de los productos derivados de la leche.

- **Sistema de control de la temperatura del sistema prototipo**

En esta etapa del prototipo, no se efectuó ninguna modificación en cuanto a lo planificado, ya que la manera en que se diseñó, permitió alcanzar la temperatura de pasteurización y mantenerla durante el tiempo que el proceso exige, utilizando dos válvulas solenoides y un controlador de temperatura se logró calentar la leche a la temperatura de pasteurización y posteriormente mantener esa temperatura durante el tiempo que asegura la eliminación de bacterias y microorganismos que el proceso busca eliminar.

- **Sistema de bombeo**

El sistema de bombeo fue construido según el diseño establecido, haciendo circular el fluido de trabajo tanto por el intercambiador de calor en la tubería de fluido geotérmico como por el recipiente enchaquetado para ceder calor a la leche, impulsando el fluido por toda la galería del sistema mediante la utilización de un sistema hidroneumático.

CAPÍTULO VII. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA PROTOTIPO

El funcionamiento del prototipo fue basado en los parámetros y variables definidas en el capítulo IV. Para determinar el correcto funcionamiento del equipo se tomó en cuenta las pruebas propiamente dichas del sistema como las pruebas de la calidad de pasteurización de la leche.

7.1 Pruebas de funcionamiento preliminares del sistema prototipo

Para llevar a cabo las pruebas de funcionamiento del equipo, se tomó en cuenta si la temperatura de salida de agua del serpentín extractor de calor que se encontraba instalado en la tubería de fluido geotérmica sería suficiente para llevar la temperatura de la leche depositada en la cuba a la temperatura de pasteurización.

Así, inicialmente se hicieron 2 pruebas preliminares con agua, esto se hizo con el cuidado de idealizarla como leche.

Esto, también tuvo como objetivo realizar las respectivas pruebas al sistema controlador de temperatura, verificando que el controlador enviara la señal a las válvulas solenoides en el momento preciso.

- **Primera prueba preliminar con agua (simulando leche)**

En el proceso, se registraron los valores de temperatura del agua en la entrada del enchaquetado como también se midió la temperatura del agua que se depositó (25 litros aproximadamente) dentro de la cuba. Los valores obtenidos se graficaron como sigue:

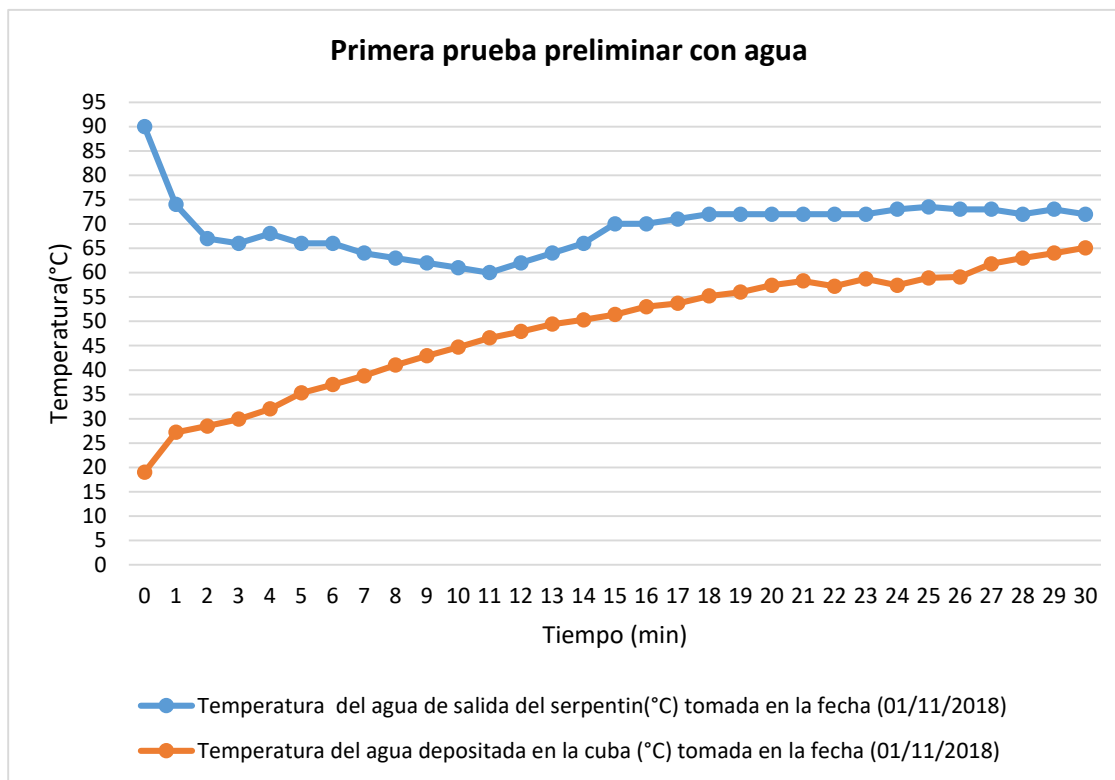


Figura 80. Grafica de la primera prueba preliminar, realizada con agua en fecha 01/11/2018.

El grafico anterior, muestra los valores registrados de temperatura del agua en la salida del serpentín con un termómetro análogo instalado en la tubería de entrada del enchaquetado, mientras que la temperatura del agua depositada en la cuba se registró con la RTD que se encontraba en la parte inferior de la cuba.

En este se puede observar que la temperatura de agua de salida del serpentín con un flujo másico de agua de 3.65 l/min se estabilizo en una temperatura promedio de 73 °C, mientras que la temperatura de 63 °C (temperatura de pasteurización) se alcanzó en un tiempo de aproximadamente 28 minutos.

Se alcanzó una temperatura de 65°C en media hora, teniendo en consideración que en dicha prueba solo tenía como fin el de verificar que la temperatura de pasteurización se alcanzaba, por lo que el proceso finalizó al momento de alcanzar dicha temperatura.

- **Segunda prueba preliminar con agua (simulando leche)**

Como se explicó anteriormente, la primera prueba piloto tenía como objetivo el verificar que la temperatura a la que salía el agua del serpentín, era suficiente para llevar la temperatura del agua que se encontraba depositada en la cuba a la temperatura de pasteurización, que son los 63 °C. De la primera prueba se demostró que esto se cumplía en su totalidad.

En el desarrollo de la segunda prueba preliminar, esta tenía como finalidad el realizar el proceso completo con agua (simulando leche) en la que se llevaría a la temperatura de pasteurización y que esta se mantendría por los 30 min que son los que requiere el proceso de pasteurización.

El tiempo del proceso se caracteriza con la siguiente ecuación.

$$\begin{array}{ccccccc}
 \textit{Tiempo del} & & \textit{Tiempo para} & & \textit{30 minutos de} & & \textit{Tiempo de la} \\
 \textit{Proceso de} & = & \textit{elevar la} & + & \textit{mantención de la} & + & \textit{etapa de} \\
 \textit{Pasteurización} & & \textit{temperatura de} & & \textit{leche a 63 °C} & & \textit{enfriamiento} \\
 & & \textit{la leche a 63 °C} & & \textit{(Pasteurización)} & &
 \end{array}$$

El tiempo de la etapa de enfriamiento de la leche pasteurizada, vendrá definido por la temperatura a la cual se desea llevar la leche posterior al proceso de pasteurización, ya que, como se desarrolló en el capítulo IV esta puede ser a temperatura de refrigeración (10 °C) o a temperatura de cuajado (30 °C)

Esta prueba se realizó con un volumen de agua de 30 litros de los que se obtuvo lo siguiente:

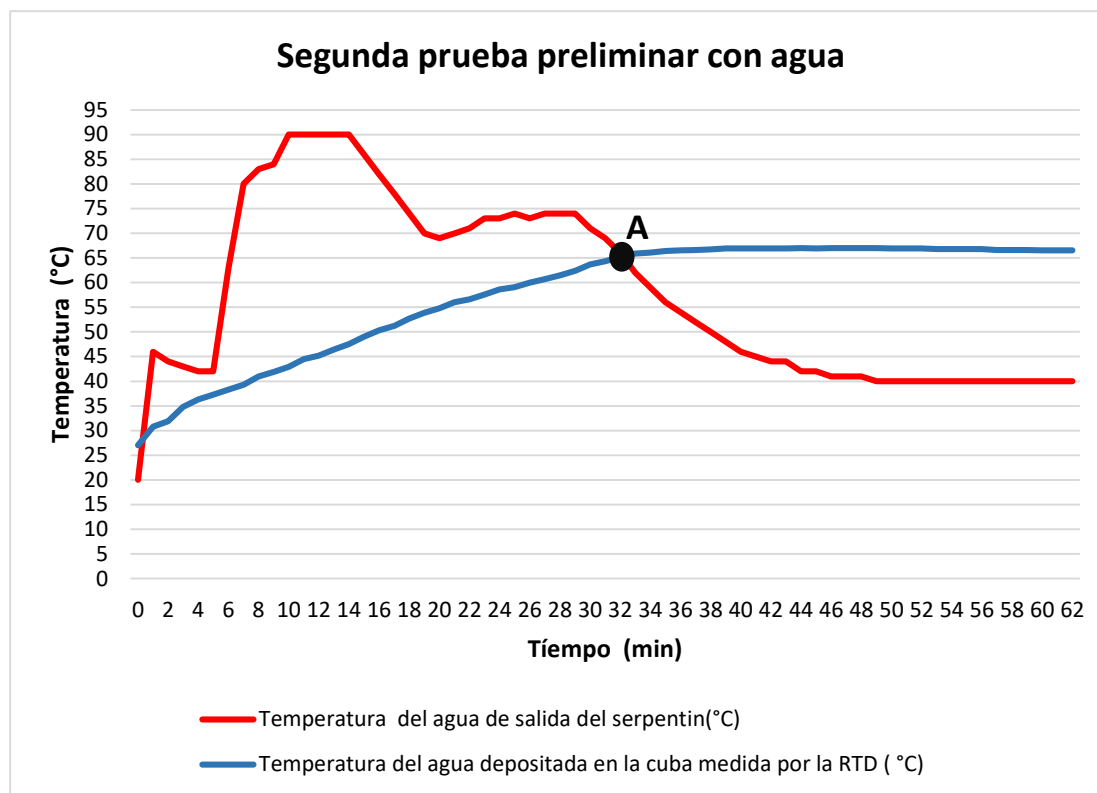


Figura 81. Grafica de la segunda prueba preliminar, realizada con agua en fecha 09/11/2018.

De los datos graficados anteriormente se observa que la temperatura de 63 °C, siendo esta la temperatura de pasteurización, se alcanzó en un tiempo de 30 minutos. El punto “A” denota el punto de intersección de las dos gráficas y el momento en el que el proceso de pasteurización comienza, logrando así, mantener la temperatura de 63 °C por el tiempo que requiere el proceso de pasteurización.

En la siguiente figura se muestra la toma de mediciones del agua de trabajo.



Figura 82. Toma de medición de la temperatura del agua de salida del serpentín.

Cabe destacar que la temperatura del agua de salida del serpentín, exactamente en el punto “A”, empieza a presentar un descenso, esto se justifica debido a que la válvula de globo reguladora de caudal se abrió por completo, asimismo, ya no está ingresando agua proveniente del intercambiador de calor hacia el recipiente enchaquetado.

Siendo así el paso de un flujo másico de 3.65 l/min (apertura de la válvula equivalente al 25%) a un flujo de 50 l/min (apertura de la válvula al 100%).

7.2 pruebas de funcionamiento del sistema prototipo

Las dos primeras pruebas, se realizaron con el fin de demostrar el funcionamiento del equipo, para tener la certeza de alcanzar la temperatura de pasteurización como el de mantenerla por los 30 minutos que es lo que el proceso exige. Una vez corroborado lo anterior, se procedió a realizar las pruebas con leche, con lo que se obtuvieron los siguientes resultados:

- **Primera prueba con leche**

Antes de iniciar el proceso, se realizó la limpieza y el enjuague del sistema, antes de colocar la leche dentro de la cuba, así se evitaría la contaminación de la leche por partículas residuales que hubiesen dentro de los depósitos que estarían en contacto con la leche y que pudiesen generar la contaminación de esta.



Figura 83. Recibimiento de leche para el posterior proceso de pasteurización.

En la cuba calefactora se depositaron 40 botellas de leche, que equivale a 30 litros. Recordando que el sistema tiene una capacidad máxima de 50 litros.

Por lo tanto, se procedió a realizar el registro de los datos de temperatura y tiempo en el proceso de pasteurización, graficando así los siguientes resultados:

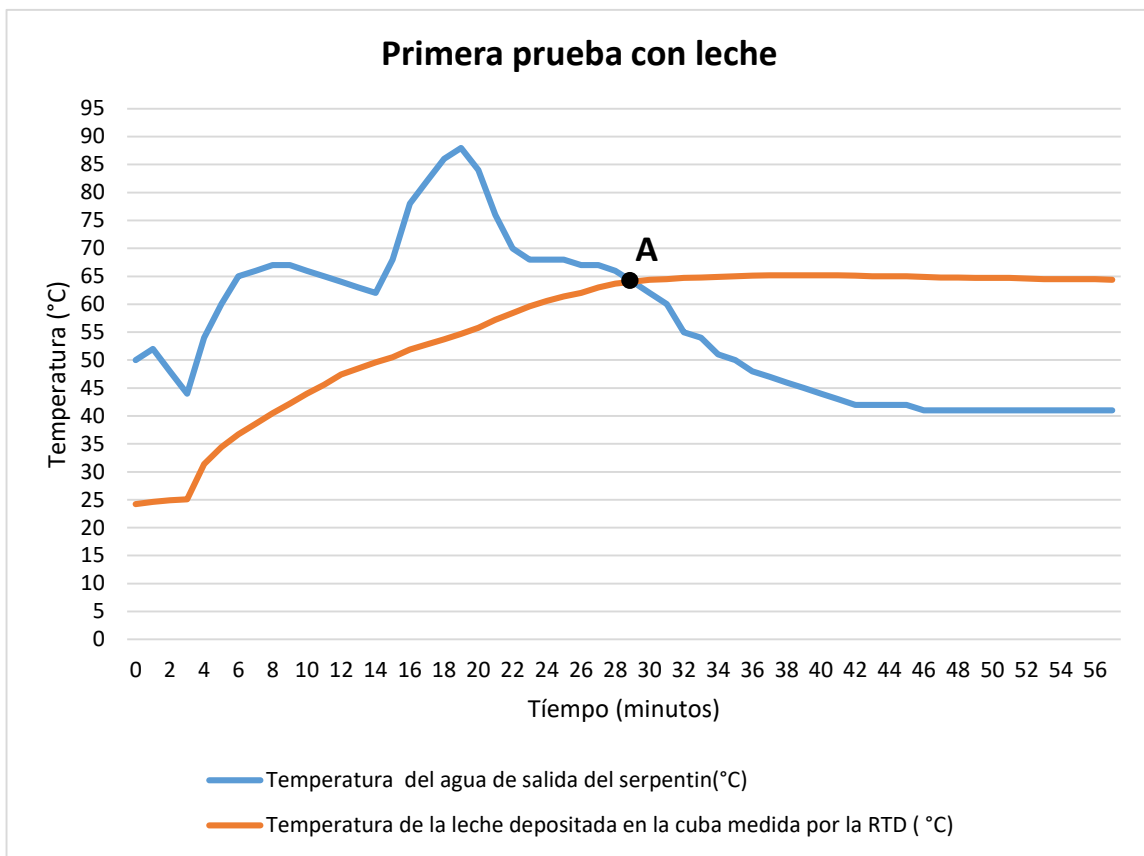


Figura 84. Gráfica de la primera prueba con leche, realizada en fecha 12/11/2018.

De los datos graficados en la segunda prueba con agua comparándola con la gráfica anterior, se puede destacar un punto en común, el punto “A”, como se observa, el tiempo empleado para elevar la temperatura de la leche de 25 °C (temperatura ambiente) hasta los 63 °C (temperatura de pasteurización), es de 30 minutos aproximadamente.

En la gráfica se puede notar que el comportamiento del agua de salida del serpentín a partir del punto A, presentó la misma tendencia que la figura 81, esto debido a la misma situación descrita.

Una vez alcanzado el punto "A" se activaron las electrovalvulas para enviar el agua de salida del serpentín directamente al tanque de agua, por lo que el agua encerrada en el enchaquetado fue capaz de mantener la temperatura de la leche por los 30 minutos de pasteurización.

Una vez completado los 30 minutos de mantención de la leche a los 63 °C, se procedió a realizar la descarga de esta para su posterior enfriamiento y procesado.



Figura 85. Descarga de la leche para el choque térmico y posterior procesado.

- **Segunda prueba con leche**

Para constatar el funcionamiento del equipo, se realizó una segunda prueba, esto como seguimiento propio del sistema. De esta forma, se realizó el mismo procedimiento que la prueba anterior.

Primero se hizo la respectiva limpieza del sistema y se procedió a verter la leche en la cuba calefactora.



Figura 86. Limpieza de la cuba y pasteurización de la leche.

La cantidad que se colocó en esta fue un lote de 30 litros graficando así los resultados obtenidos:

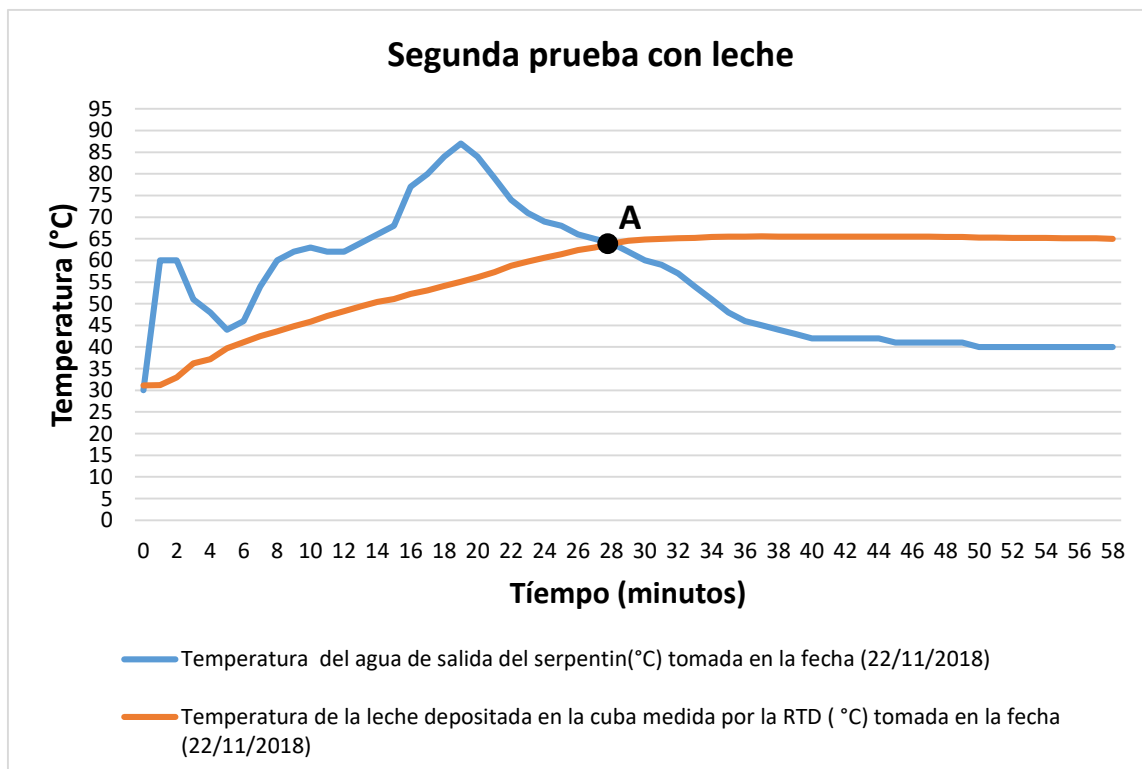


Figura 87. Grafica de la segunda prueba con leche, realizada en fecha 22/11/2018.

Una vez pasteurizada la leche se procedió a realizar la descarga de esta para realizar la etapa de enfriamiento.



Figura 88. Descarga de la leche de la segunda prueba para la etapa de enfriamiento.

De la segunda prueba con leche se observó el mismo patrón que las pruebas realizadas anteriormente. En esta, la temperatura de pasteurización se alcanzó a los 30 minutos nuevamente y luego se mantuvo por los 30 minutos requeridos.

Posterior a esto se abrió la válvula reguladora de caudal al 100% y las electroválvulas se activaron enviando así el agua de salida del serpentín directamente al reservorio de agua.

La razón del cambio de apertura de la válvula reguladora de flujo es debido a que una vez alcanzada la temperatura de 63 °C de la leche, el agua va directamente hacia el tanque, por lo que en ese punto la temperatura de salida del agua en el serpentín ya no es relevante.

Sin embargo, con esto se evita que la temperatura del agua en el tanque aumente, evitando así que la bomba succione agua a una temperatura mayor de la que puede manejar como también se evita que la bomba trabaje de manera forzada.

Los resultados de las pruebas de funcionamiento del equipo fueron satisfactorios, en vista que se cumplió con el tiempo y la temperatura requeridos en el proceso de la aplicación.

7.3 Pruebas de calidad aplicada en la pasteurización de la leche

7.3.1 Pruebas a la leche antes y después de la pasteurización

El control de calidad de la leche que es recibida involucra un conjunto de pruebas que permiten determinar si la leche es pura, limpia y apta para la fabricación de derivados lácteos y su envasado como tal.

Por tanto, es recomendable rechazar la leche de animales enfermos con Brucelosis, Tuberculosis, Mastitis, ya que podrían causar enfermedades como alergias, diarreas o auto resistencias a los antibióticos en los consumidores.

Es necesario que la leche no provenga de animales que están en tratamiento con antibióticos, puesto que una cantidad pequeña que se encuentre en el producto evitará que se desarrollen los microorganismos necesarios que intervienen en el procesamiento del producto.

La higiene de los alimentos comprende a todas las condiciones y medidas necesarias para asegurar la inocuidad y la aptitud de los alimentos en todas las fases de la cadena alimentaria, entendiendo por ésta a la producción primaria, elaboración, almacenamiento, distribución de un alimento hasta el consumo final.

La imposibilidad de asegurar la calidad de la leche como materia prima es una de las principales problemáticas que enfrenta el sector lácteo de nuestro país. Por tanto, es importante alcanzar el aseguramiento de la calidad de la misma, sin importar si obtiene la leche de su propio hato ganadero o bien de otros ganaderos.

La calidad higiénica satisfactoria depende, en primer lugar, de que se reduzca al mínimo la contaminación por microorganismos, lo cual se logra asegurando la mayor higiene en todo momento.

Por eso, para asegurar la calidad higiénica de la leche se debe de tener en cuenta:

- Buenas prácticas de ordeño
- Transporte de la leche
- Análisis de la calidad de la leche
- Buenas prácticas de manufactura (BPM)

Para el posterior análisis se consideró que, el grupo investigador realizará el sistema que pasteurice la leche, por lo que, la correcta manipulación de la misma después de dicho proceso queda a consideración de los usuarios del equipo.

Es importante destacar que el grupo investigador no realizó la correspondiente prueba de plataforma de recibimiento de la leche para asegurar que ésta fuese apta para desarrollar el proceso, esto debido a que en el campo no se contaba con las herramientas necesarias para poder hacerlo.

La calidad higiénica de la leche tiene una importancia fundamental para la producción de una leche y productos lácteos que sean inocuos e idóneos para los usos previstos.

Para lograr esta calidad, se han de aplicar buenas prácticas de higiene a lo largo de toda la cadena láctea.

Los productores de leche a pequeña escala encuentran dificultades para producir productos higiénicos por causas como la comercialización, manipulación y procesamiento informal y no reglamentada de los productos lácteos; la falta de incentivos financieros para introducir mejoras en la calidad, y el nivel insuficiente de conocimientos y competencias en materia de prácticas de higiene.

Las pruebas y el control de calidad de la leche deben realizarse en todas las fases de la cadena láctea. Así la leche puede someterse a pruebas de:

7.3.1.1 Pruebas de Plataforma a la leche

Las pruebas de plataforma específicamente en lácteos sirven como criterio en la determinación de la calidad de la leche y el resultado se traduce en una leche apta para el procesamiento.

Están son sumamente importantes debido a que sirven para decidir la aceptación o rechazo de la leche, dentro de las pruebas de plataforma tenemos:

- **Características generales**

La leche fresca de vaca debe presentar un aspecto normal, estar limpia y libre de calostro, antibióticos, colorantes, materias extrañas y sabores u olores extraños.

La leche debe de obtenerse de vacas sanas, es decir libres de enfermedades como tuberculosis y mastitis.

- **Detección de mastitis, California Mastitis Test (CMT)**

Este es un método para la determinación semicuantitativa del número de leucocitos en la leche, de cada uno de los cuartos mamarios.

Esta constituye una reacción inflamatoria de la glándula mamaria que puede ser ocasionada por factores físicos, químicos, mecánicos o infecciosos. El 80% de los casos de mastitis son ocasionados por la invasión de microorganismos patógenos específicos en los pezones y tejidos de la ubre.

El resto de los casos son resultado de lesiones traumáticas, con o sin invasión secundaria de microorganismos.

La importancia de la mastitis tanto por razones de salud humana como salud animal y los costos que este padecimiento representa en la economía del sistema de producción afectado.

Desde el punto de vista social constituye un riesgo potencial ya que la población pudiera estar expuesta al consumo de leche contaminada, cargada de agentes patógenos o sus toxinas si las normas higiénicas no se cumplieren.

- **Pruebas sensoriales**

La calidad sensorial u organoléptica está basada en la percepción de características de la leche a través de los sentidos. Apenas llegada la leche debe ser evaluada con los sentidos: vista, olfato, gusto e inclusive tacto.

La leche producida bajo condiciones adecuadas tiene un gusto ligeramente dulce, un sabor aromático y un color ligeramente blanco amarillento debido a la grasa y la caseína.

Sin embargo, la leche absorbe fácilmente olores del ambiente y la acción de microorganismos que pueden tener efectos en el sabor, olor y apariencia, por eso estas pruebas son fundamentales en el momento de manipular la leche cruda.

- **Prueba de alcohol**

En los centros de acopio de leche y en las industrias esta prueba es clave, y tiene la finalidad de detectar la estabilidad térmica de la leche cruda; es decir, si la leche tiene la capacidad de resistir altas temperaturas de procesamiento sin presentar coagulación visible.

La leche coagula en presencia de alcohol significa que no puede ser sometida a tratamiento térmico.

La coagulación de la leche en esta prueba puede ser debida a la presencia de calostro, de la leche ácida, leche de lactancia avanzada o leche con de desbalance de sales; por ello no se puede depender de esta prueba para aceptar o rechazar leche en una planta.

- **Determinación de la acidez**

La acidez de la leche, es un dato que nos indica la carga microbiana de la leche, el cuidado en cuanto a higiene y conservación. Esta prueba es probablemente uno de los parámetros más importantes, el cual controla la calidad en el proceso de la leche.

Una leche con alta acidez total se interpreta como un producto de mala calidad debido a que esta acidez es producto de la presencia de microorganismos.

La leche fresca tiene una acidez titulable entre 0.13 – 0.18. Por tanto, la leche con acidez mayor de 0,18 es rechazada, ya que la leche tiene mucha acidez, probablemente por tener demasiados microorganismos.

- **Determinación de la densidad**

La determinación de la densidad es una prueba completamente simple que nos permite conocer en primera instancia algún posible fraude, como la adulteración de la leche con agua.

El equipo que se utiliza es el lactodensímetro que tiene una escala graduada que comprende valores entre 20 y 40 que corresponden a las milésimas de densidad por encima de la unidad, es decir, que si el lactodensímetro marca 32, entonces indica la densidad 1,032.

La lectura correcta debe oscilar entre rangos de 1,028 a 1,033 g/ml. Si la lectura es menor a 1,028 g/ml se trata de leche adulterada con agua. Por otra parte, si la lectura está en el rango de 1,033 - 1,037 g/ml está en presencia de una leche descremada.

- **Prueba para determinar la adición de almidón o maizena**

Esta es una prueba que se basa en el hecho de que el yodo evidencia la presencia del almidón dando un color azul oscuro intenso. Por tanto, resultado una forma muy práctica para determinar si la leche se encuentra adulterada con almidón.

De forma tal que si la leche se pone color azul oscuro intenso significa que le agregaron almidón o Maizena y por tanto debe ser rechazada.

- **Prueba para determinar la adición de formalina**

Esta prueba permite determinar si se ha adulterado la leche con formalina. En la leche actúa como preservante y evita que se note la alteración para que no se agrie la leche, ya que la formalina inhibe el crecimiento de microorganismos. Sin embargo, tiene efectos nocivos para la salud. La aparición de color moradito bajo indicará la presencia de formalina.

- **Prueba de reductasa**

Esta prueba permite saber el grado de contaminación de microbios que tiene la leche con base en simples cambios de color de la misma al agregar azul de metileno.

Cuanto más rápido se ponga blanca, más “mala” es la leche. El azul de metileno es decolorado por algunos microorganismos presentes en la leche cruda, se ha relacionado el tiempo de decoloración con la carga microbiana y la calidad de la leche así:

Tabla 10. Tiempo de decoloración del azul de metileno. Fuente: Manual de procesamiento Lacteo INPYME/JICA

Tiempo de decoloración	Calidad de la leche
Mayor a 5 horas	Muy buena
3 a 5 horas	Buena
1 a 3 horas	Regular
1 hora	Mala
Menos de 30 minutos	Muy mala

- **Prueba de resazurina**

Esta prueba representa una modificación de la prueba de la reductasa, en que se substituye el azul de metileno por la resazurina.

Después de transcurrida la hora se pueden presentar los colores que se muestran a continuación, los cuáles se asocian con la calidad microbiológica de la leche de la siguiente manera:

Tabla 11. Calidad microbiológica de la leche con la prueba de resazurina.
Fuente: Manual de procesamiento Lacteo INPYME/JICA

Color de la reacción	Calidad microbiológica de la leche
Azul o lila	Aceptable
Rosa	Regular
Decolorado	Mala

- **Prueba de fermentación de la leche**

La prueba de lacto fermentación se emplea preferentemente combinada con la prueba de la reductasa.

Primero se determina el tiempo de decoloración del azul de metileno y luego se dejan los mismos tubos de fermentación en el baño maría a 38 °C hasta que se produzca la coagulación de la leche.

Si la leche no coagula y se retrasa la reducción se puede sospechar de la presencia de antibióticos en la leche, como consecuencia del tratamiento veterinario y en este caso obliga a considerar la leche como no apta para su procesamiento.

7.3.1.2 Prueba Post-Pasteurización

Para saber si una leche ha sido pasteurizada de forma correcta o no, se utiliza la prueba de la fosfatasa, la cual se describe a continuación:

- **Prueba de la fosfatasa**

La fosfatasa es una enzima normalmente presente en la leche cruda. En las condiciones ordinarias de pasteurización (lenta, rápida o ultrarrápida) la enzima se inactiva.

Se ha demostrado que esta enzima es más difícil de destruir que la mayoría de los organismos patogénicos termo resistentes que pudieran estar presentes en la leche, como por ejemplo el bacilo de la tuberculosis.

La prueba es de gran utilidad para decidir si la leche ha sido o no pasteurizada, si la leche pasteurizada se ha mezclado con leche cruda, o incluso si la pasteurización ha sido deficiente.

Para comprobar la existencia (mala pasteurización) de fosfatasa se usa un "método colorimétrico". La fosfatasa tiene la propiedad de desdoblar el fenilfosfato disódico en fenol y fosfato de sodio. También existen tiras indicadoras para esta prueba.

Este método pone de manifiesto la existencia de fenol mediante un indicador de color que reacciona con él formando un compuesto de color azul (existe fenol y por tanto fosfatasa por lo que no se ha pasteurizado correctamente). Si no existe fosfatasa (leche bien pasteurizada), no existe fenol y se forma un compuesto de color marrón.

7.3.2 Toma de muestra

- **Pruebas de plataforma**

Para el análisis de la calidad de la leche previo al proceso de pasteurización se debe destacar que, al momento del recibimiento, en vista de la falta de equipos disponibles y los materiales, no se realizó ningún tipo de prueba.

- **Post-Pasteurización**

Para ejecutar las pruebas post pasteurización, se pidió el apoyo de una empresa dedicada al rubro para llevar a cabo dichos análisis. Por lo cual, de parte de la misma se recibió el resultado de algunas pruebas que se le hicieron a la leche de las características básicas tomadas después de la pasteurización.

Sin embargo, resaltar que dichas pruebas no definen si la pasteurización ha sido realizada correctamente, debido a que la única prueba que indica dicho resultado es la prueba de fosfatasa.

No obstante, esta no se pudo efectuar debido a la falta de equipos y reactivos necesarios para dicha prueba

Tabla 12. Características físicas y químicas tomadas a la leche después del proceso de pasteurización.

Tipo de prueba	Resultado post-pasteurización	Valor normal ^b
pH	6.65	6.4 a 6.7
Antibióticos	Negativo	Negativo
Acidez, expresada como ácido láctico % m/m	0.16	0.13 a 0.17
Contenido de materia grasa (%)	2.7	≥ 3.0

^b Los valores normales citados han sido tomados del Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 67.04.66:12 (Ver Anexo 10)

7.4 Conclusiones sobre el sistema prototipo pasteurizador de leche

De las 4 pruebas realizadas al sistema prototipo, recordando que se realizaron dos pruebas con agua y dos con leche, se pudo notar que la variabilidad entre ambas pruebas fue mínima, esto como se mencionó, debido a que la composición de la leche el 80% es agua, mientras que lo restante son las proteínas, grasas, minerales, etc.

De las 4 graficas se toma como base lo siguiente:

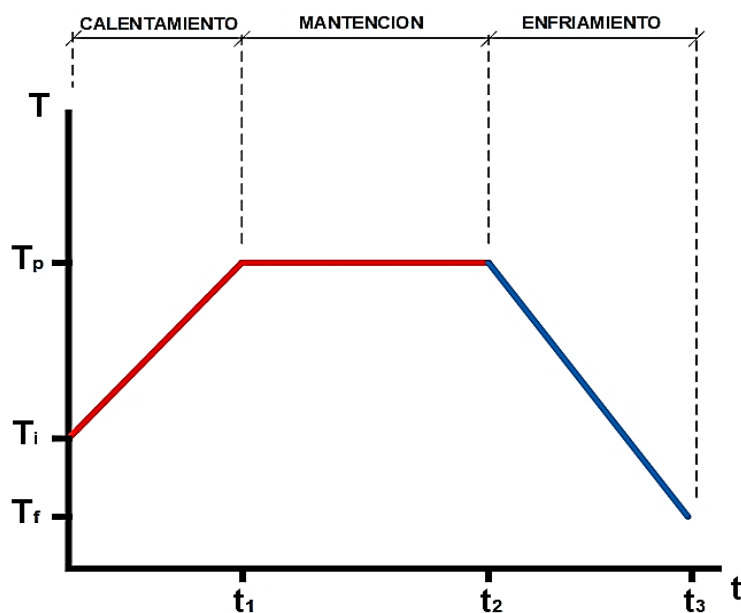


Figura 89. Grafica de temperaturas y tiempos de pasteurización de leche.

Como resumen, se puede destacar de la gráfica anterior lo siguiente:

- **Etapas de calentamiento:** Primera fase del sistema de pasteurización, en la que se lleva la temperatura de la leche a la temperatura de pasteurización.

- **Etapa de mantención:** Fase en la que se comienza el proceso de pasteurización, el tiempo de esta depende intrínsecamente de la temperatura de pasteurización establecida. Esto se muestra en la tabla 12.

Tabla 13. Combinaciones tiempo-temperatura de pasteurización. Fuente: Food and Drug Administration. (2003).

Temperatura (°C)	tiempo
63	30 minutos
72	15 s
89	1,0 s
90	0,5 s
94	0,1 s
96	0,05 s
100	0,01 s

- **Etapa de Enfriamiento:** Fase final del proceso de pasteurización, en la que se lleva la temperatura de la leche a la temperatura de procesamiento.
- **T_p:** Temperatura de pasteurización.
- **T_i:** Temperatura inicial de la leche.
- **T_f:** Temperatura final de la leche.
- **t₁:** Tiempo para elevar la temperatura de leche a la temperatura de pasteurización.
- **t₂:** Tiempo de mantención
- **t₃:** Tiempo final del proceso de pasteurización.

De lo anterior se concluye que:

- El tiempo de calentamiento invertido para elevar la temperatura a la que se recibió la leche a la temperatura de pasteurización fue de 30 minutos. Tomando en consideración que, en todas las pruebas citadas, la leche se recibió a la misma temperatura aproximadamente.
- Al momento de iniciar el proceso de pasteurización, en el t_1 , se energizaron las válvulas solenoides, esto para evitar el ingreso de agua caliente a la chaqueta de la cuba y así la temperatura de la leche no siguiese aumentando.
- La temperatura del agua que quedo encerrada en el enchaquetado fue suficiente para mantener la temperatura de pasteurización (63 °C) por los 30 minutos que necesita el proceso, por lo tanto, durante ese tiempo (etapa de mantención) no se ingresó más agua caliente a la chaqueta.
- El tiempo de enfriamiento dependerá de la masa de hielo que se ocupe para realizar dicha etapa, esto también vendrá dado por la cantidad de leche que se vaya a pasteurizar.

7.5 Procesamiento Lácteo

La recepción de la leche, el filtrado y el pasteurizado corresponde a las operaciones preliminares que se deben aplicar a la leche independientemente del tipo de producto que se quiera realizar.

Seguidamente se presentan los procesos correspondientes a los productos derivados de la leche que fueron elaborados.

7.5.1 Elaboración artesanal de quesos

Ya una vez pasteurizada la leche, esta se destinó para la elaboración de queso, que con ayuda de la Estación Experimental de la Universidad de El Salvador ubicada en San Luis Talpa, al cual se pidió el apoyo para realizar dicha práctica.

El queso es la forma más antigua de conservar los principales elementos nutricionales (proteína, minerales, grasa, calcio, fósforo y vitaminas) de la leche. Es una conserva obtenida por la coagulación de la leche y por la acidificación y deshidratación de la cuajada.

El queso es un producto que tiene muchas variantes para su fabricación. En dependencia del contenido de humedad, puede ser duro, semiduro y blando; varían por su estructura (textura, cuerpo), sabor y apariencia como consecuencia de la técnica en su elaboración.

Las etapas de elaboración del queso son las siguientes y se cumplen para todos los tipos de quesos. Estas etapas pueden variar en tiempos o en número de veces de acuerdo al tipo de queso, pero esencialmente son las etapas básicas.

Descremado: es el proceso de reducción de los niveles de grasa de la leche, la magnitud del descremado depende del tipo de queso a producir y de la característica que cada empresa desea darle a su producto. Sin embargo, debido a dificultades con el equipo de descremado de la estación experimental no se pudo realizar esta etapa.

Coagulación: Se aplica un agente fermentador (cuajo) para separar la caseína (principal proteína de la leche) del suero.

En el comercio, existe cuajo líquido, en pastillas o en polvo y con diferente fuerza o poder de cuajado, por tanto, el fabricante especifica la cantidad de cuajo que se deberá agregar según la cantidad de leche a cuajar.



Figura 90. Cuajo líquido Qualact

Después de agregar el cuajo, se deja reposar entre 30 – 45 minutos y se debe mantener la temperatura entre 32 – 35 °C, ya que si, durante la coagulación, la leche y la cuajada en formación se enfrían, los granos resultan de tamaño irregular y la humedad no será uniforme.



Figura 91. Coagulado de la cuajada.

Quebrado de la cuajada: esta operación comprende dos etapas:

1) El corte y el batido de la cuajada: El corte de la cuajada se realiza con una lira o con un cuchillo de hoja larga, con la finalidad de liberar el suero y obtener los granos de cuajada. Del tamaño de éstos depende el contenido de humedad en el queso. El corte de la cuajada comprende un corte vertical y un corte horizontal para formar cubitos.

En la práctica, una vez cortada la cuajada se deja reposar durante 5 minutos. Al término de este tiempo se apreciará que el grano empieza a soltar el suero.

2) El batido: tiene como finalidad darle consistencia al grano de cuajada, se realiza de forma suave para no pulverizar la cuajada y conforme avanza el batido se le aplica más fuerza, el grano disminuye de volumen y se torna más consistente, por la pérdida del suero.



Figura 92. Quebrado de la cuajada.

Desuerado: esta operación contempla la eliminación total o parcial del suero de acuerdo al tipo de queso que se esté elaborando.

En caso que el recipiente en donde se encuentra la cuajada no posee una salida para el suero, se puede separar con ayuda de un colador.



Figura 93. Proceso de desuerado con ayuda de coladores.

Salado: terminada la etapa de desuerado se inicia el salado, que favorece a la producción de ácido láctico, realza el aroma y contribuye a la preservación del queso y a su curación.

Previo a realizar el salado mismo, es necesario triturar la cuajada seca. La trituration se realiza en forma manual, procurando que queden trozos de cuajada de tamaño similar con el fin que la penetración de la sal sea homogénea.

La cantidad de sal que se agrega es aproximadamente el 0.3 % en relación a la cantidad de leche que se está trabajando.

Prensado: Para iniciar el prensado la cuajada es colocada dentro de moldes. El objetivo del prensado es eliminar algo más de suero, unir el grano haciendo la masa más compacta y dar definitivamente el formato deseado.

El tipo de queso determina la intensidad y la duración del prensado. Algunos quesos no reciben presión alguna y únicamente los moldes llenos se les dan vuelta con frecuencia, para que el propio peso de la cuajada vaya logrando la compactación necesaria.



Figura 94. Proceso de prensado y salado de la cuajada.

Empacado y almacenado: el queso debe ser empacado en envases o bolsas que no dañen su calidad ni afecten la inocuidad, y que además preserven sus propiedades organolépticas.

El producto terminado debe ser almacenado bajo refrigeración para evitar acidificación y sobre maduración.



Figura 95. Empacado de los quesos.

En resumen, la elaboración de quesos de forma general se sigue de acuerdo al siguiente flujo:

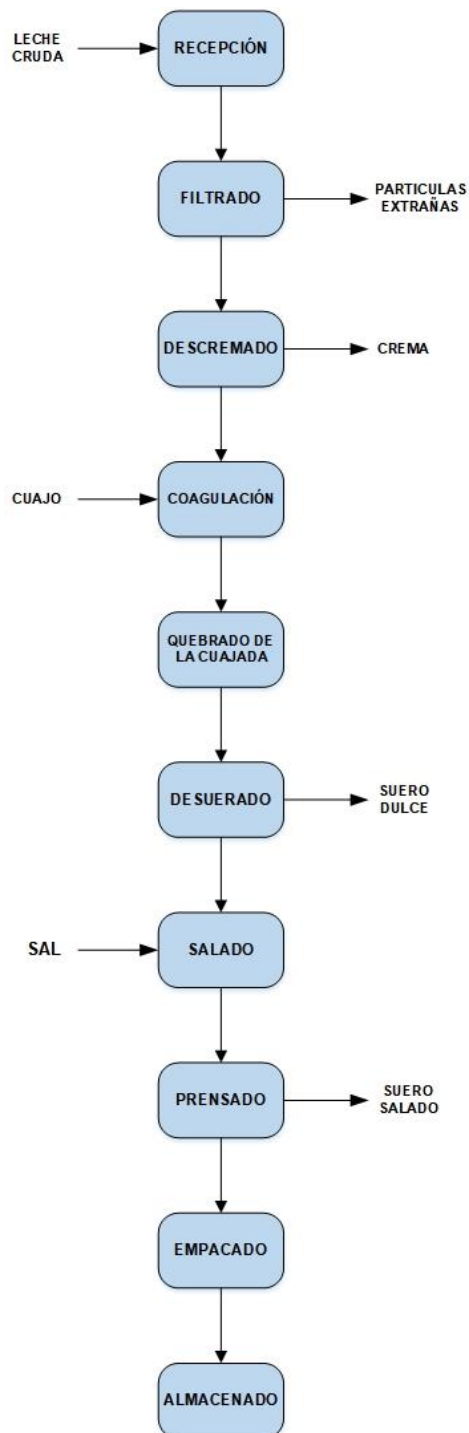


Figura 96. Flujo de elaboración de quesos.

El prototipo para pasteurizar puede ampliarse para que contemple en el mismo sitio de operación, las etapas de elaboración de quesos, cremas y leche que se muestra en la siguiente foto:



Figura 97. Elaboración de queso y crema

7.5.2 Proceso de envasado

Para el proceso de envasado, se sigue el mismo procedimiento que el anterior, sin embargo, se suprime la adición del cuajo, por lo que después del pasteurizado se realiza inmediatamente el enfriamiento a la temperatura de envasado de 4 °C y el posterior almacenado, cumpliendo la cadena de frío de la leche. Las etapas del proceso de envasado son las siguientes:

Filtrado: La operación consiste en hacer pasar el producto a través de una tela para eliminar pelos, pajas, polvo, insectos y otras suciedades que generalmente trae la leche, especialmente cuando el ordeño se realiza en forma manual.

Pasteurizado: Como se ha mostrado anteriormente, este proceso consiste en elevar la temperatura de la leche a una temperatura específica para destruir los microorganismos patógenos, es decir, aquellos que causan enfermedades al hombre.

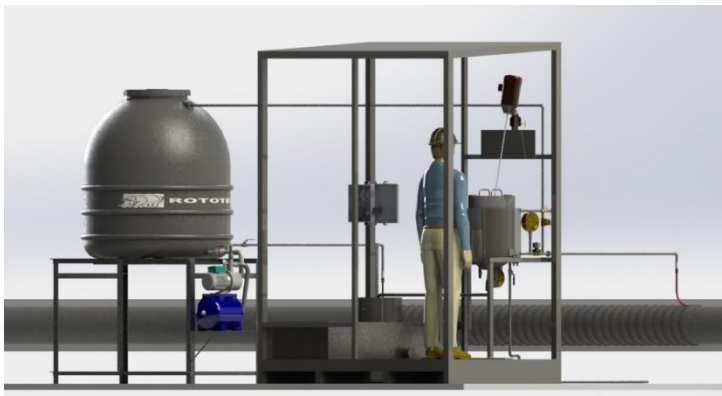


Figura 98. Equipo pasteurizador de leche con fluidos geotérmicos de baja entalpía.

Enfriamiento: Una vez pasteurizada la leche se debe de proceder a realizar inmediatamente la etapa de enfriamiento para llevar la temperatura de la leche a la temperatura de envasado, aproximadamente 10 °C.

Envasado: ya una vez alcanzada la temperatura de envasado de la leche, se procede a realizar el respectivo embotellado de esta.



Figura 99. Proceso de envasado de la leche pasteurizada.

Almacenado: Para el proceso de almacenado se recomienda enfriar la leche a una temperatura entre 3 y 4 °C para retardar el crecimiento de los gérmenes. Actualmente se recomienda en la mayoría de los países una temperatura de conservación de la leche de 4 °C como la más eficaz para controlar el crecimiento bacteriano.

Una temperatura inferior a 3 °C puede dar lugar a fenómenos de congelación que deben ser evitados, pues pueden alterar la composición y calidad de la leche.



Figura 100. Almacenamiento de la leche pasteurizada.

El proceso de envasado se sigue de acuerdo al siguiente flujo:

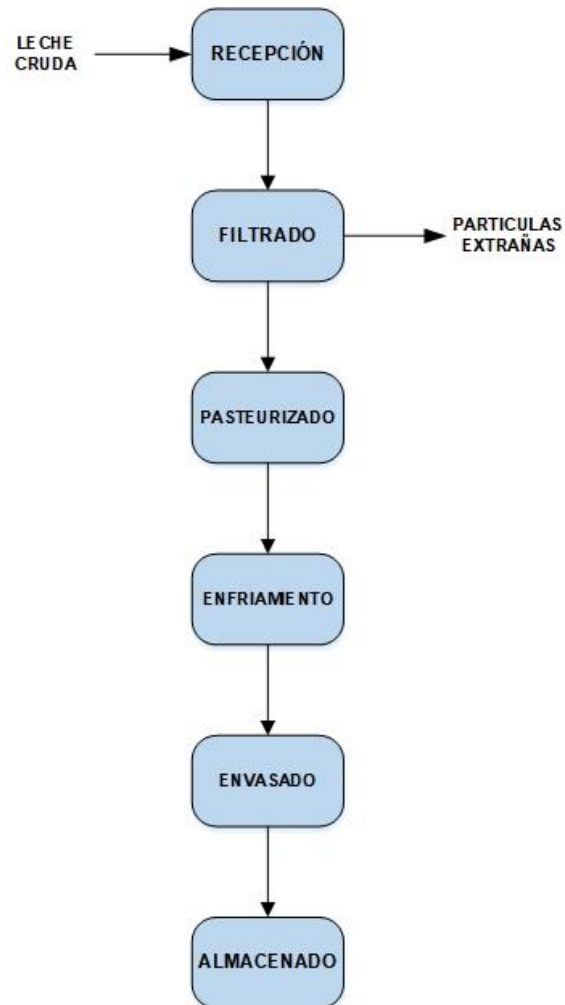


Figura 101. Flujo del proceso de envasado.

CAPÍTULO VIII. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO

8.1 Ingeniería del proyecto

Para el desarrollo del diseño y construcción del sistema prototipo, se llevó a cabo con la ayuda de tres personas, las cuales fueron las encargadas del desarrollo de la investigación, análisis, diseño y construcción del sistema; además se contó con la ayuda de tres coordinadores del trabajo, los cuales apoyaron en cada una de las etapas del proyecto.

En la tabla 13, se describe los salarios base de cada una de las personas involucradas en el desarrollo del proyecto.

Tabla 14. Salarios del personal involucrado en el desarrollo del proyecto.

Descripción	Número de personas	Salario base \$	Total \$
Coordinadores del proyecto	3	1,100	3,300
Investigadores, diseñadores y ejecutores del proyecto	3	1,400	4,200
Total	6		7,500

8.2. Costos de fabricación del sistema prototipo

En base a los planos constructivos se llevó a cabo la compra de la materia prima, los insumos y equipos necesarios para la construcción del prototipo como también se especifica la mano de obra involucrada en el proceso. En la tabla 14 se resumen estos costos:

Tabla 15. Costos de fabricación del sistema prototipo pasteurizador de leche.

Tipo de costos	Costo \$
Materiales y sistema eléctrico	2,000.00
Estructura de acero inox	1,500.00
Tanque de agua	250.00
Agitador	600.00
Losa	300.00
Knopy	900.00
Mano de obra	1,500.00
Total	7,050.00

8.3. Costos de mantenimiento y operación

Es necesario hacer un estimado de los montos involucrados para la operación del sistema, como también los incurridos en el mantenimiento del mismo. En la tabla 15 se muestra el resumen de estos, en los que se estimó únicamente el pago de un operario y el mantenimiento del equipo. Destacar que dichos costos fueron estimados mensualmente.

Tabla 16. Costos de mantenimiento y operación del prototipo.

Tipo de costo	Costo \$
Salario del operario	600.00
Costos de mantenimiento	150.00
Total	750.00

CONCLUSIONES

- ✓ En el proceso de pasteurización, se pretende destruir los microorganismos patógenos que pueden estar presentes en la leche para así, aumentar su vida útil en refrigeración, o que esta pueda ser apta para ser procesada, sin afectar negativamente las propiedades organolépticas de esta. Es por ello, que a partir de esta investigación, se identificó que las comunidades aledañas a Berlín, Usulután poseen ganado y obtienen productos como leche y quesos que pudieran tener un contenido microbiano alto, debido a que estas no realizan tratamiento alguno a la leche después del ordeño para eliminar los agentes patógenos, por lo tanto, se propuso un método que aproveche el calor geotérmico para pasteurizar leche y que elimine estos microorganismo que pueden ocasionar enfermedades a las personas que consumen leche sin el tratamiento térmico adecuado.
- ✓ Para la construcción del sistema prototipo, se realizaron distintos análisis respecto al dimensionamiento de los componentes, ya que se estimó una cantidad de pasteurización máxima de 50 litros, esto debido a la cantidad de calor que se tenía que suministrar, dado que a mayor volumen se necesitaría una mayor extracción de calor de la tubería de reinyección, afectando el rendimiento de la misma.
- ✓ Para el intercambiador de calor de extracción de energía de la tubería de acarreo, se estudiaron diferentes escenarios a fin de tener la temperatura de diseño requerida a la salida del mismo, como también el respectivo análisis del fluido de trabajo a utilizar. En lo anterior, se analizaron intercambiadores concéntricos, de tubos paralelos, de tubo y coraza y de serpentín, debido a los materiales a utilizar y la geometría implícita de cada

uno de estos, se determinó que el más adecuado era el de serpentín. Lo anterior debido a que por la geometría y costos de los demás, resultaba complicado la instalación de estos sobre la tubería de acarreo. Dentro de los fluidos estudiados se analizaron las propiedades físicas y químicas de cada uno, como también la accesibilidad hacia estos, dichos: agua y aire, se analizaron en cada uno de los intercambiadores, pero debido a la baja conductividad térmica que presentaba el aire, se descartó, pues presentaba valores altos en cuanto al dimensionamiento del intercambiador, seleccionando finalmente como fluido de trabajo, agua.

- ✓ Las máquinas y equipos utilizados en la industria láctea, deben garantizar niveles muy altos de higiene. Por lo tanto, con la recopilación de normas alimenticias, se procedió a seleccionar los materiales que se utilizarían para la construcción del sistema, especialmente aquellos que estarían en contacto directo con la leche, pues, estos no solo debían de ser higiénicos, sino que también resistentes a la corrosión y de fácil limpieza.
- ✓ Se desarrollaron las pruebas de funcionamiento del sistema prototipo, utilizando un batch de 30 litros en cada una de las pruebas, obteniendo resultados satisfactorios en cuanto al tiempo y temperatura de diseño estipulados. Sin embargo, debido a la falta de equipos y reactivos utilizados en las pruebas de la calidad de la leche, estas no se pudieron llevar a cabo.
- ✓ En el proceso, se pudo notar que el tiempo promedio de calentamiento de la leche para llevarla a la temperatura de pasteurización, es de 30 minutos, y que, una vez iniciado el proceso de pasteurización, se deja de ingresar agua caliente a la chaqueta, de lo cual, la temperatura a la que ingresa el

agua, es suficiente para mantener constante el batch de 30 litros de leche a la temperatura de pasteurización durante el tiempo requerido.

- ✓ El equipo pasteurizador fue diseñado con el objetivo de suministrar energía térmica a la leche si su temperatura disminuía en la etapa de pasteurización, sin embargo, la energía térmica adquirida del intercambio de calor del fluido geotérmico es sumamente estable, ya que, al verificar que el lote de leche se puede llevar a la temperatura de 63 °C y mantenerse durante los 30 minutos que el proceso exige, de lo que se concluyó que no había necesidad de alternar entre proporcionarle energía o cortar dicho suministro en esta etapa.

- ✓ Para el sistema de enfriamiento de la leche, se optó realizar un sistema económico y que proporcionará la temperatura adecuada según el proceso que posterior a la pasteurización se siguiese. Para esto, se estudió la viabilidad de instalar un sistema de refrigeración, sin embargo, debido a la accesibilidad de energía eléctrica en el sitio, el tipo de ambiente y los materiales involucrados, se descartó como opción, debido a que esta presentaba una alta inversión. Por lo tanto, se procedió a estudiar opciones que, de igual manera, proporcionará las condiciones de refrigeración establecidas y que también fuese económico, así, se propuso realizar el enfriamiento con agua helada o comúnmente llamado: baño María. Para lo anterior, se realizaron los respectivos cálculos para determinar la cantidad de hielo necesaria a utilizar para enfriar la leche según la temperatura de enfriamiento requerida.

- ✓ En el proceso de pasteurización, la temperatura y el tiempo de mantención de la misma son determinantes y garantizan que se eliminen los agentes patógenos. A partir de la investigación realizada, se determinó que la temperatura mínima a la cual se elimina el bacilo de tuberculosis, siendo este el organismo de referencia en la pasteurización, es de 63 °C, ya que cualquier tratamiento térmico que destruya al B.T. elimina a los demás patógenos de la leche.
- ✓ Para la correcta operación del sistema, se elaboró un manual de usuario, el cual contempla el uso, mantenimiento y precauciones que hay que tener en cuenta al momento de operar el sistema prototipo.

RECOMENDACIONES

- Es necesario colocar elementos de fijación en las tapaderas de la cuba calefactora, esto para lograr una mayor hermeticidad al momento de comenzar el proceso de pasteurización.
- Al momento de comenzar el proceso de calentamiento y pasteurización es recomendable no abrir las tapaderas, esto debido a que se pueden introducir partículas extrañas al momento del proceso.
- Para evitar las vibraciones, se recomienda colocar una válvula de purga de vapor.
- Se recomienda instalar un agitador de bajas revoluciones, para disminuir o evitar la generación de espuma.
- Para una mayor hermeticidad, se recomienda colocar empaque de goma o de cualquier otro material que asegure los términos de inocuidad establecidos en toda la orilla de la cuba
- La intensidad del proceso térmico varía según el producto. A su vez, los cambios que experimenta la leche dependen del tiempo y de la temperatura del proceso, de la composición y propiedades de la misma y del ambiente. Estos cambios provocados por el propio proceso y durante el almacenamiento ejercen un impacto sobre la calidad sensorial y nutritiva de la leche, por lo que se recomienda realizar trabajos de investigación que evalúen la relación entre estos factores.

- Se sugiere, mejorar el soporte para colocar el agitador.
- Al momento de iniciar la pasteurización de un lote, es necesario realizar la respectiva limpieza del sistema antes y después de cada proceso.
- Se recomienda colocar sobre el aislante de la cuba, una lámina de acero inoxidable o un recubrimiento más barato que asegure los parámetros de inocuidad establecidos.
- En el seguimiento del sistema prototipo, es importante verificar que todos los parámetros establecidos se cumplan en cada una de las etapas que el proceso de pasteurización implica. De las pruebas realizadas, se pudo verificar que dichos parámetros se relacionan con los establecidos, sin embargo, se recomienda realizar más pruebas de seguimiento del funcionamiento del equipo.

GLOSARIO

- **Propiedades Organolépticas:** son todas aquellas descripciones de las características físicas de los alimentos que tienen en general, según las pueden percibir los sentidos, como por ejemplo su sabor, textura, olor, color o temperatura.
- **Bacilo de tuberculosis (B.T):** responsable de la tuberculosis que es una enfermedad causada por *Mycobacterium tuberculosis*, una bacteria que casi siempre afecta a los pulmones. Es curable y prevenible.
- **Limpieza:** se define como la remoción o eliminación de suciedad u otros residuos. Generalmente se realiza mediante el lavado con agua a la que se le añade un detergente para aumentar su poder desengrasante. La limpieza elimina gran parte de las bacterias, no obstante, esto es evidente la posibilidad de crecimiento de cualquier resto bacteriano, lo que hace imprescindible eliminarlo o inhibirlo
- **Desinfección:** es el proceso que permite dejar en niveles aceptablemente bajos la presencia de microorganismos, de forma que no den lugar a ningún tipo de patologías o alteraciones en la materia prima.
- **Sobrecalentado:** Calentar una sustancia a una temperatura por encima de su punto de cambio de estado sin que este se produzca.
- **Patógeno:** Un patógeno o agente biológico patógeno es aquel elemento o medio capaz de producir algún tipo de enfermedad o daño en el cuerpo de un animal, un ser humano o un alimento.
- **Batch:** Se conoce como sistema por lotes (en inglés batch processing).

- **pH:** Se trata de una unidad de medida de alcalinidad o acidez de una solución, más específicamente el pH mide la cantidad de iones de hidrógeno que contiene una solución determinada, los significados de sus siglas son, potencial de hidrogeniones.
- **Enzima:** Una enzima es una molécula que se encuentra conformada principalmente por proteína que producen las células vivas, siendo su función destacada la de actuar como catalizador y regulador en los procesos químicos del organismo, es decir, cataliza las reacciones bioquímicas del metabolismo.
- **Convección natural:** es un mecanismo, o tipo de transporte de calor, en qué el movimiento fluido no es generado por cualquier fuente externa (como una bomba, ventilador, dispositivo de succión, etc.) pero sólo por diferencias de densidad en el fluido ocurriendo debido a gradientes de temperatura.'
- **Auto drenaje:** hace referencia a la acción y efecto de drenar. Este verbo, a su vez, significa asegurar la salida de líquidos o de la excesiva humedad por medio de cañerías, tubos o zanjas por si solos.
- **Empaque aséptico:** Se puede definir como el llenado de un producto alimenticio comercialmente estéril en un envase estéril, bajo condiciones asépticas y sellado hermético del contenedor para evitar re-infección.
- **Esporas:** Una espora es una célula reproductiva producida por las plantas (hongos, musgos, helechos) y por algunos protozoarios y bacterias portadoras de enfermedades. La espora a menudo se desarrolla completamente después de un estado de latencia o hibernación.

- **RTD:** (del inglés: Resistance Temperature Detector) es un detector de temperatura resistivo, es decir, un sensor de temperatura basado en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura.
- **Intercambiador de calor tipo serpentín:** Un intercambiador de serpentín es un simple tubo que se dobla en forma helicoidal y se sumerge o se hace pasar líquido a través de estos de forma natural o forzada. Suele ser de cobre, acero u otro material que conduzca el calor fácilmente.
- **Bimetálico:** El término bimetálico se refiere a un objeto que se componga de dos o más metales ensamblados juntos. En vez de ser una mezcla de dos o más metales, como en el caso de una aleación, los objetos bimetálicos consisten en capas de diversos metales.
- **Válvula solenoide:** es una válvula eléctrica utilizada para controlar el paso de gas (sistemas neumáticos) o fluidos (sistemas hidráulicos). La apertura o cierre de la válvula se basa en impulsos electromagnéticos de un solenoide (un electroimán) que trabaja junto a un muelle diseñado para devolver a la válvula a su posición neutral cuándo el solenoide se desactiva.
- **Rugosidad:** En mecánica la rugosidad es el conjunto de irregularidades que posee una superficie. La mayor o menor rugosidad de una superficie depende de su acabado superficial. La rugosidad de las paredes de los canales y tuberías es función del material con que están contruidos, el acabado de la construcción y el tiempo de uso.

- **Calostro:** El calostro es un fluido lechoso que proviene de las glándulas mamarias de los humanos, las vacas y otros mamíferos los primeros días después de dar a luz, antes de que aparezca la verdadera leche.
- **Leucocitos:** Los leucocitos son parte del sistema inmunitario del cuerpo. Estos ayudan al cuerpo a combatir infecciones y otras enfermedades.
- **Cuajo:** es una sustancia que tiene la propiedad de coagular la leche y se presenta corrientemente en polvo o líquida. El concepto alude a la coagulación de una proteína de la leche llamada caseína, un proceso que se lleva a cabo en el estómago de los animales mamíferos durante el periodo de lactancia a partir de la fermentación de la mucosa.
- **Tubería de acarreo:** Tuberías o ductos por donde circula al algún tipo de fluido para ser llevado a algún proceso productivo correspondiente:

BIBLIOGRAFÍA

- **Libros**

YUNUS A. CENGEL, AFSHIN J. GHAJAR (2011), Transferencia de calor y masa, fundamentos y aplicaciones. Cuarta edición. McGraw-Hill Interamericana Editores S.A. de C.V.

TETRA PAK PROCESSING SYSTEMA AB (1996), Manual de industrias lácteas, A, Madrid Vicente, Ediciones.

YUNUS A. CENGEL (2012), TERMODINÁMICA. Séptima edición. McGraw-Hill Interamericana Editores S.A. de C.V.

JM COULSON & JF RICHARDSON, Sixth Edition, Chemical Engineering, Fluid Flow, Heat transfer and mass transfer, Volume 1.

DONAL Q. Kern, Procesos de transferencia de calor, trigésima primera edición, México 1999, Compañía editorial continental S.A de C.V México.

CLAUDIO MATAIX, segunda edición, Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas, Ediciones del castillo S.A, Madrid (1986).

AMIGO, M. 2000. Termotecnia: aplicaciones agroindustriales. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.

SINGH, P. Y HELDMAN, D. 1998. Introducción a la ingeniería de los alimentos. 2da ed. Edit. Acribia. Zaragoza, España.

GEMINA. (s.f.). U.H.T. Tratamiento Indirecto. España, Valladolid: Machine Point, Food Technologies.

INDUSTRIAL, I. N. (2016). Pasteurizadores de leche: diseño, uso y mantnimiento. Argentina.

JUAN GONZALO ARDILA MARÍN, D. A. (2012). Intercambiadores de calor de tubo en espiral, Spiral tube heat exchangers. 11.

REVILLA, A. (1982). Tecnología de la leche: procesamiento, manufactura y análisis. San Jose, Costa Rica: IICA.

WARREN L. McCABE, J. C. (2007). Operaciones unitarias en ingeniería química. México: Mc Graw Hill.

MADRID, U. P. (s.f.). Tema 5. Refrigeración de la leche. Madrid.

- **Tesis**

Vargas Mendoza, Isabel Damaris (2004). Determinación de la variación de algunas propiedades de la leche cruda de las Regiones Octava, Novena y Décima (Tesis de grado). UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE, Valdivia Chile.

- **Sitios web**

CALLEJO, A. (s.f.). Portal Lechero. Obtenido de Limpieza y desinfección de equipos.: <https://www.portalechero.com/innovaportal/file/3663/1/limpieza-y-desinfeccion-de-equipos-eqsa-.pdf>

LÓPEZ, R. J. (10 de Marzo de 2016). Limpieza y desinfección de equipos en la industria lechera. Obtenido de <http://derivadoslacteos.com/calidad-de-la-leche/limpieza-y-desinfeccion-de-equipos-en-la-industria-lechera>

ZOTAL, L. (8 de Agosto de 2018). Desinfectantes que se utilizan en la industria de alimentos. Obtenido de <http://www.zotal.com/que-desinfectantes-se-utilizan-en-la-industria-de-alimentos/>

ANEXOS

A1. Tabla de ecuaciones

	Referencia
Ecuación 1	Ecuación 1-15 del libro de transferencia de calor y masa, Cengel-Ghajar, 4 edición.
Ecuación 2	Ecuación 1-4 del libro de Termodinámica, Yunes A. Cengel-Michael A. Boles, 4 edición
Ecuación 3	Ecuación 1-7 del libro de transferencia de calor y masa, Cengel-Ghajar, 4 edición.
Ecuación 4	Ecuación 4-18 del libro de Termodinámica, Yunes A. Cengel-Michael A. Boles, 4 edición
Ecuación 5	Ecuación 2-8 del libro de Termodinámica, Yunes A. Cengel-Michael A. Boles 4 edición
Ecuación 6	Ecuación 8-5 del libro de transferencia de calor y masa, Cengel-Ghajar, 4 edición.
Ecuación 7	Ecuación 8-66 del libro de transferencia de calor y masa, Cengel-Ghajar, 4 edición.
Ecuación 8	Ecuación 8-65 del libro de transferencia de calor y masa, Cengel-Ghajar, 4 edición.
Ecuación 9	Ecuación 6-5 del libro de transferencia de calor y masa, Cengel-Ghajar, 4 edición.
Ecuación 10	Ecuación 9.203 del libro de ingeniería química, Flujo de fluidos, transmisión de calor y transferencia de materia, Volumen 1, J.M. Coulson. 6 edición
Ecuación 11	Ecuación 8-68 del libro de transferencia de calor y masa, Cengel-Ghajar, 4 edición
Ecuación 12	Ecuación 11-25 del libro de Transferencia de calor y masa de Cengel-Ghajar, 4 edición
Ecuación 13	Ecuación 11-3 del libro de Transferencia de calor y masa de Cengel-Ghajar, 4 edición
Ecuación 14	Ecuación 11-4 del libro de Transferencia de calor y masa de Cengel-Ghajar, 4 edición.

- Ecuación 15** Ecuación 11-5 del libro de Transferencia de calor y masa de Cengel-Ghajar, 4 edición.
- Ecuación 16** Ecuación 20.1 del libro de procesos de transferencia de calor, Donald Kern
- Ecuación 17** Ecuación 2-34 del libro de Termodinámica, Yunes A. Cengel-Michael A. Boles 4 edición
- Ecuación 18** Ecuación 8-21 del libro de Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones, Cengel - Cimbala, 1ra Edición.
- Ecuación 19** Ecuación 8-24 del libro de Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones, Cengel - Cimbala, 1ra Edición.
- Ecuación 20** Ecuación 6.8.1 del libro de mecánica de fluidos, Víctor L. Streeter, Novena Edición.
- Ecuación 21** Ecuación 8-56 del libro de Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones, Cengel - Cimbala, 1ra Edición.
- Ecuación 22** Ecuación 8-75 del libro de Transferencia de calor y masa de Cengel-Ghajar, 4 edición
- Ecuación 23** Ecuación 22 de la revista Intercambiadores de calor de tubo en espiral por Juan Gonzalo Ardila y Diego Andrés Hincapié
- Ecuación 24** Ecuación 6.7.12 del libro de mecánica de fluidos, Victor L. Streeter, Novena Edición.

A2. Manual de usuario

Manual de Instrucciones, Uso y Mantenimiento

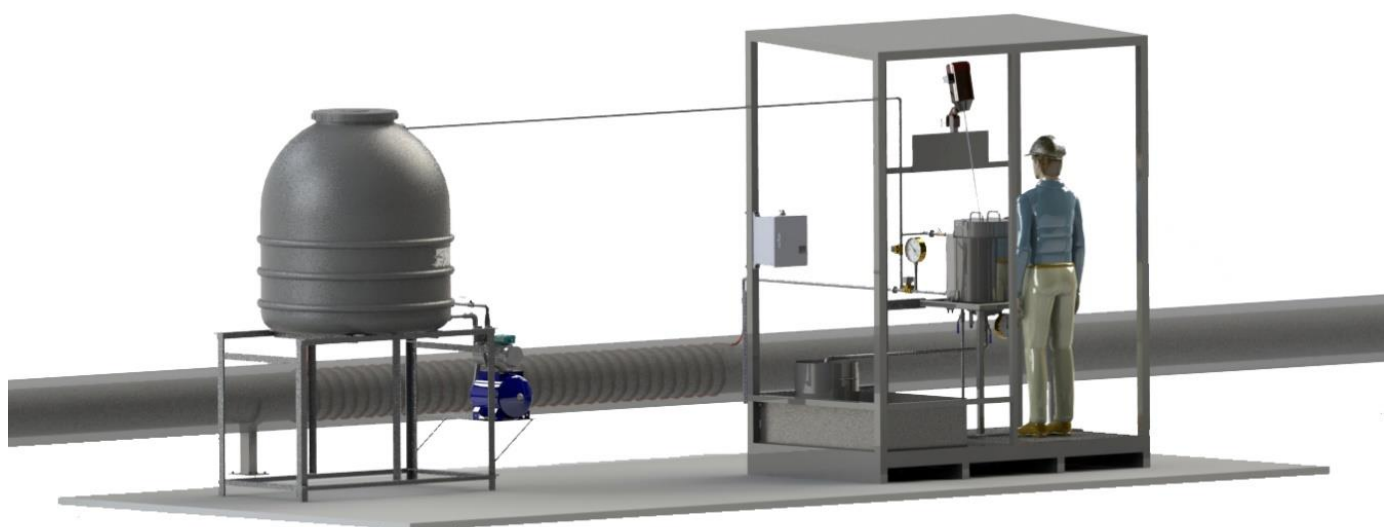


Figura 102. Prototipo de un sistema pasteurizador de leche utilizando fluidos geotérmicos de baja entalpía.

PASTEURIZADOR DE LECHE

Introducción

Con este manual se pretende proporcionar al cliente las pautas de operación, mantenimiento e instrucciones en el uso del presente prototipo suministrado por el grupo investigador.

SE RECOMIENDA AL USUARIO QUE LEA CUIDADOSAMENTE ESTE MANUAL Y QUE SIGA LAS INSTRUCCIONES GENERALES.

ESTE DOCUMENTO ES UNA HERRAMIENTA NECESARIA PARA EL CONOCIMIENTO PREVIO DEL PROTOTIPO QUE SE VA A UTILIZAR.

SU LECTURA Y ENTENDIMIENTO ES OBLIGATORIO ANTES DE HACER USO DEL PROTOTIPO, YA QUE ES NECESARIO CONOCER TODOS SUS ASPECTOS DE FUNCIONAMIENTO, REVISIÓN, MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD.



El buen funcionamiento del pasteurizador de leche vendrá determinado por su correcto uso.

Se aconseja que este Pasteurizador no sea utilizado por personas menores de 18 años sin la supervisión de personas adultas, quedando bajo su responsabilidad el posible mal uso o daños derivados del mismo.

Descripción general del prototipo

Se define pasteurizador de leche al equipo destinado al tratamiento térmico de la leche y sus derivados, que permite eliminar los microorganismos patógenos, mediante la aplicación de una elevada temperatura durante un periodo de tiempo.

El pasteurizador de leche está constituido, principalmente, por:

- Sistema de bombeo.
- Autoclave.
- Sistema de control de temperatura.
- Sistema eléctrico.
- Intercambiador de calor.
- Sistema de agitación.

El funcionamiento del sistema de prototipo es el siguiente:

1. Se arranca la bomba para hacer circular el fluido de trabajo en todo el sistema.
2. El agua es enviada a un serpentín para elevar la temperatura hasta 80 °C.
3. El agua transfiere calor en otro intercambiador de calor a la leche.
4. La temperatura de la leche se hace llegar a los 63 °C y se mantiene durante 30 minutos para lograr la pasteurización.
5. Una vez alcanzado el tiempo de pasteurización (30 min.) se procede a realizar la descarga de la leche a otro recipiente de acero inoxidable.
6. Con la leche descargada en el recipiente de acero inoxidable, se procede a colocar hielo alrededor de este para la etapa de enfriamiento.

Características generales:

Características generales del pasteurizador de leche	
Capacidad volumétrica de la autoclave y tanque de enfriamiento	50 L (67 botellas)
Capacidad volumétrica del tanque de agua	1300 L
Caudal inicial de trabajo	$Q_{Max} = 50 \text{ l/min}$ (100% de abertura de la válvula de bola)
Tiempo de pasteurización	30 minutos
Temperatura de pasteurización	63 °C - 65 °C
Suministro de corriente	120 V, 60 Hz ~

Descripción de la puesta en marcha

- Para el correcto funcionamiento del prototipo, se le debe suministrar la debida energía eléctrica, asegurándose de que su instalación puede cubrir el consumo de energía requerido por el equipo.
- Realizar antes y después una limpieza a la autoclave.
- Verificar si hay agua limpia en el tanque de agua, a la mitad de la capacidad del tanque como mínimo.
- Verificar que la válvula de bola de la descarga del agua del enchaquetado en el autoclave se encuentre cerrada.
- Verificar que la válvula de bola de descarga de la leche se encuentre cerrada.

Sistema de control / Programación

Para el correcto funcionamiento del equipo, es necesario entender el funcionamiento y puesta en marcha del mismo. Para esto, el sistema cuenta con un sistema de control que permite controlar tanto la temperatura de la leche por medio de un controlador de temperatura que se encuentra instalado en la caja del sistema de control, como también el de poder controlar la bomba y el motor agitador.

A continuación, en la siguiente imagen se muestra los componentes del sistema de control:

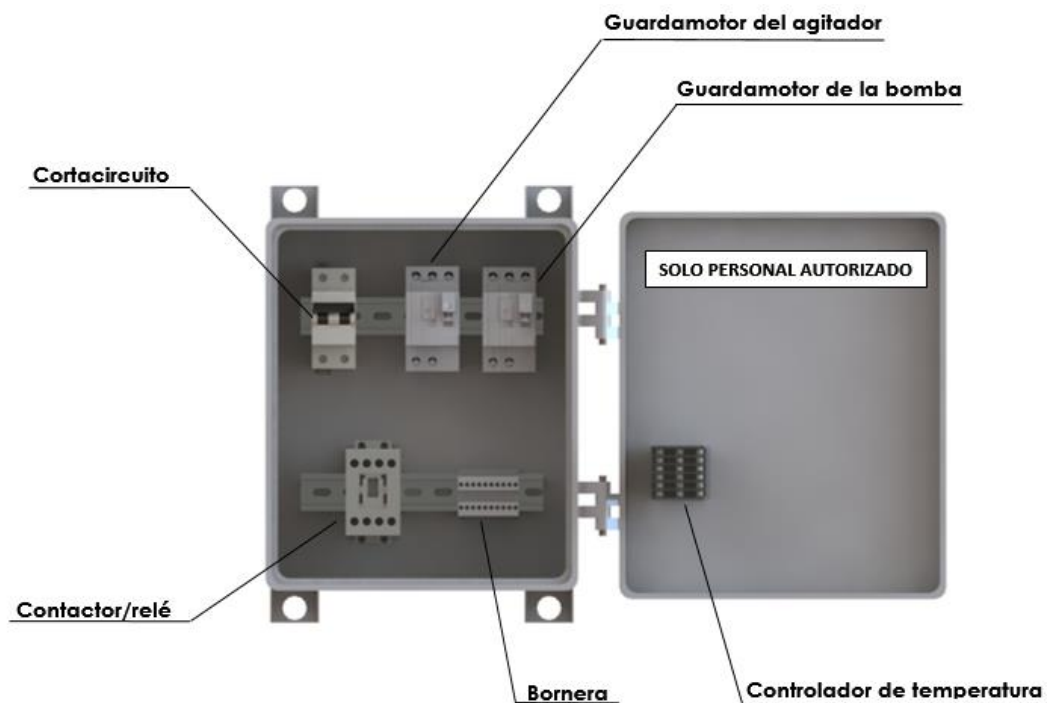


Figura 103. Componentes del sistema de control del temperatura, del motor agitador y de la bomba.

Puesta en marcha:

Para la puesta en marcha, es importante destacar que los únicos elementos que estarán involucrados en el proceso son: el cortacircuitos (en inglés: circuitbreaker), el guardamotor de la bomba y del agitador.



Se recomienda al usuario abstenerse de no mover, tocar o manipular ningún elemento que interviene en el proceso del mismo sin la supervisión del encargado.

Destacar que el sistema cuenta con las protecciones necesarias por cualquier inconveniente que durante el proceso pudiese surgir.

El inicio del prototipo es:

1. Depositar la leche que se desea pasteurizar a la autoclave.
2. Bajar la palanca del cortacircuitos para energizar el sistema.
3. Suministrar la energía eléctrica al sistema de bombeo con el interruptor de la bomba (guarda motor de la bomba).
4. Programar la temperatura de pasteurización en el controlador de temperatura.



Figura 104. Controlador de temperatura instalado en la caja de control del sistema eléctrico del pasteurizador.

5. Proceder a dar abertura total a las válvulas del tanque y de la bomba de agua, para que suministre al sistema de bombeo el caudal inicial de trabajo.
6. Con el interruptor del motor agitador, proceder a energizarlo.
7. Regular la abertura de la válvula de bola que se encuentra en la bomba de agua, para que suministre al sistema el caudal de trabajo.
8. Verificar que la temperatura de la entrada de agua a la autoclave, se encuentre en el rango óptimo de trabajo (70 °C - 85 °C).
9. Una vez alcance la temperatura de la leche a la temperatura de pasteurización, se procede a contar 30 minutos para realizar la efectiva pasteurización.
10. Una vez alcanzado el tiempo de pasteurización, proceder a desactivar el suministro de energía eléctrica.
11. Proceder a dar cierre a las válvulas de la bomba de agua y del tanque.



Figura 105. Válvula de descarga del agua del enchaquetado.

12. Proceder a realizar el drenaje de la leche pasteurizada a la cuba de enfriamiento.

Mantenimiento

Limpieza:

Para las tareas de limpieza de este equipo no se necesitan productos de limpieza especiales, pero no se podrán utilizar productos de limpieza agresivos ni tóxicos.

Para proceder a la limpieza, se dispondrá de agua potable y utilizará un jabón y un mascón para lavado de trastes, y se realizará el lavado interior y exterior de la autoclave.



Figura 106. Enjuague y lavado de la cuba.

Una vez lavado la autoclave se procederá a enjuagar con abundante agua, hasta que no quede ni un rastro de jabón.

Mantenimiento al sistema de bombeo

Verificar el nivel del agua en el tanque, si el nivel está por debajo a la mitad de la altura del tanque, proceder a llenar el tanque con una bomba de agua auxiliar.

Propiedades de metales solidos(Continuación)

Composición	Punto de fusión, K	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K), k(W/m · K), c _p (J/kg · K)					
		ρ kg/m ³	c_p J/kg · K	k W/m · K	$\alpha \times 10^6$ m ² /s	100	200	400	600	800	1 000
Al carbono-manganeso-silicio (1% < Mn < 1.65% 0.1% < Si < 0.6%)		8 131	434	41.0	11.6			42.2	39.7	35.0	27.6
								487	559	685	1 090
Aceros al cromo (bajo): $\frac{1}{2}$ Cr- $\frac{1}{2}$ Mo-Si (0.18% C, 0.65% Cr, 0.23% Mo, 0.6% Si)		7 822	444	37.7	10.9			38.2	36.7	33.3	26.9
1Cr- $\frac{1}{2}$ Mo (0.16% C, 1% Cr, 0.54% Mo, 0.39% Si)		7 858	442	42.3	12.2			492	575	688	969
1Cr-V (0.2% C, 1.02% Cr, 0.15% V)		7 836	443	48.9	14.1			42.0	39.1	34.5	27.4
								492	575	688	969
								46.8	42.1	36.3	28.2
								492	575	688	969
Aceros inoxidables:											
AISI 302		8 055	480	15.1	3.91			17.3	20.0	22.8	25.4
								512	559	585	606
AISI 304	1 670	7 900	477	14.9	3.95	9.2	12.6	16.6	19.8	22.6	25.4
						272	402	515	557	582	611
AISI 316		8 238	468	13.4	3.48			15.2	18.3	21.3	24.2
								504	550	576	602
AISI 347		7 978	480	14.2	3.71			15.8	18.9	21.9	24.7
								513	559	585	606
Plomo	601	11 340	129	35.3	24.1	39.7	36.7	34.0	31.4		
						118	125	132	142		
Magnesio	923	1 740	1 024	156	87.6	169	159	153	149	146	
						649	934	1 074	1 170	1 267	
Molibdeno	2 894	10 240	251	138	53.7	179	143	134	126	118	112
						141	224	261	275	285	295
Niquel:											
Puro	1 728	8 900	444	90.7	23.0	164	107	80.2	65.6	67.6	71.8
						232	383	485	592	530	562
Nicromo (80% Ni, 20% Cr)	1 672	8 400	420	12	3.4			14	16	21	
								480	525	545	
Inconel X-750 (73% Ni, 15% Cr, 6.7% Fe)	1 665	8 510	439	11.7	3.1	8.7	10.3	13.5	17.0	20.5	24.0
						—	372	473	510	546	626
Niobio	2 741	8 570	265	53.7	23.6	55.2	52.6	55.2	58.2	61.3	64.4
						188	249	274	283	292	301
Paladio	1 827	12 020	244	71.8	24.5	76.5	71.6	73.6	79.7	86.9	94.2
						168	227	251	261	271	281
Platino:											
Puro	2 045	21 450	133	71.6	25.1	77.5	72.6	71.8	73.2	75.6	78.7
						100	125	136	141	146	152
Aleación 60Pt-40Rh (60% Pt, 40% Rh)	1 800	16 630	162	47	17.4			52	59	65	69
						—	—	—	—	—	—
Renio	3 453	21 100	136	47.9	16.7	58.9	51.0	46.1	44.2	44.1	44.6
						97	127	139	145	151	156
Rodio	2 236	12 450	243	150	49.6	186	154	146	136	127	121
						147	220	253	274	293	311

A4. Propiedades del agua saturada (tabla de temperaturas)

Agua saturada. Tabla de temperaturas

Temp., T °C	Pres. sat., P_{sat} kPa	Volumen específico, m^3/kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, $kJ/kg \cdot K$		
		Liq. sat., v_f	Vapor sat., v_g	Liq. sat., u_f	Evap., u_{fg}	Vapor sat., u_g	Liq. sat., h_f	Evap., h_{fg}	Vapor sat., h_g	Liq. sat., s_f	Evap., s_{fg}	Vapor sat., s_g
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3542
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9319	7.2952
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8193	7.2382
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7092	7.1829
120	198.67	0.001060	0.89133	503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0	1.5279	5.6013	7.1292
125	232.23	0.001065	0.77012	524.83	2009.5	2534.3	525.07	2188.1	2713.1	1.5816	5.4956	7.0771
130	270.28	0.001070	0.66808	546.10	1993.4	2539.5	546.38	2173.7	2720.1	1.6346	5.3919	7.0265
135	313.22	0.001075	0.58179	567.41	1977.3	2544.7	567.75	2159.1	2726.9	1.6872	5.2901	6.9773
140	361.53	0.001080	0.50850	588.77	1960.9	2549.6	589.16	2144.3	2733.5	1.7392	5.1901	6.9294
145	415.68	0.001085	0.44600	610.19	1944.2	2554.4	610.64	2129.2	2739.8	1.7908	5.0919	6.8827
150	476.16	0.001091	0.39248	631.66	1927.4	2559.1	632.18	2113.8	2745.9	1.8418	4.9953	6.8371
155	543.49	0.001096	0.34648	653.19	1910.3	2563.5	653.79	2098.0	2751.8	1.8924	4.9002	6.7927
160	618.23	0.001102	0.30680	674.79	1893.0	2567.8	675.47	2082.0	2757.5	1.9426	4.8066	6.7492
165	700.93	0.001108	0.27244	696.46	1875.4	2571.9	697.24	2065.6	2762.8	1.9923	4.7143	6.7067
170	792.18	0.001114	0.24260	718.20	1857.5	2575.7	719.08	2048.8	2767.9	2.0417	4.6233	6.6650
175	892.60	0.001121	0.21659	740.02	1839.4	2579.4	741.02	2031.7	2772.7	2.0906	4.5335	6.6242
180	1002.8	0.001127	0.19384	761.92	1820.9	2582.8	763.05	2014.2	2777.2	2.1392	4.4448	6.5841
185	1123.5	0.001134	0.17390	783.91	1802.1	2586.0	785.19	1996.2	2781.4	2.1875	4.3572	6.5447
190	1255.2	0.001141	0.15636	806.00	1783.0	2589.0	807.43	1977.9	2785.3	2.2355	4.2705	6.5059
195	1398.8	0.001149	0.14089	828.18	1763.6	2591.7	829.78	1959.0	2788.8	2.2831	4.1847	6.4678
200	1554.9	0.001157	0.12721	850.46	1743.7	2594.2	852.26	1939.8	2792.0	2.3305	4.0997	6.4302

A5. Propiedades del agua saturada

Temp., T °C	Presión de saturación, P_{sat} , kPa	Densidad, ρ kg/m ³		Entalpia de vaporización, h_{fg} , kJ/kg	Calor específico, c_p , J/kg · K		Conductividad térmica, k W/m · K		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792×10^{-3}	0.922×10^{-5}	13.5	1.00	-0.068×10^{-3}
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519×10^{-3}	0.934×10^{-5}	11.2	1.00	0.015×10^{-3}
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862	0.580	0.0176	1.307×10^{-3}	0.946×10^{-5}	9.45	1.00	0.733×10^{-3}
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 186	1 863	0.589	0.0179	1.138×10^{-3}	0.959×10^{-5}	8.09	1.00	0.138×10^{-3}
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002×10^{-3}	0.973×10^{-5}	7.01	1.00	0.195×10^{-3}
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891×10^{-3}	0.987×10^{-5}	6.14	1.00	0.247×10^{-3}
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798×10^{-3}	1.001×10^{-5}	5.42	1.00	0.294×10^{-3}
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720×10^{-3}	1.016×10^{-5}	4.83	1.00	0.337×10^{-3}
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653×10^{-3}	1.031×10^{-5}	4.32	1.00	0.377×10^{-3}
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596×10^{-3}	1.046×10^{-5}	3.91	1.00	0.415×10^{-3}
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547×10^{-3}	1.062×10^{-5}	3.55	1.00	0.451×10^{-3}
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1 908	0.649	0.0208	0.504×10^{-3}	1.077×10^{-5}	3.25	1.00	0.484×10^{-3}
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1 916	0.654	0.0212	0.467×10^{-3}	1.093×10^{-5}	2.99	1.00	0.517×10^{-3}
65	25.03	980.4	0.1614	2 346	4 187	1 926	0.659	0.0216	0.433×10^{-3}	1.110×10^{-5}	2.75	1.00	0.548×10^{-3}
70	31.19	977.5	0.1983	2 334	4 190	1 936	0.663	0.0221	0.404×10^{-3}	1.126×10^{-5}	2.55	1.00	0.578×10^{-3}
75	38.58	974.7	0.2421	2 321	4 193	1 948	0.667	0.0225	0.378×10^{-3}	1.142×10^{-5}	2.38	1.00	0.607×10^{-3}
80	47.39	971.8	0.2935	2 309	4 197	1 962	0.670	0.0230	0.355×10^{-3}	1.159×10^{-5}	2.22	1.00	0.653×10^{-3}
85	57.83	968.1	0.3536	2 296	4 201	1 977	0.673	0.0235	0.333×10^{-3}	1.176×10^{-5}	2.08	1.00	0.670×10^{-3}
90	70.14	965.3	0.4235	2 283	4 206	1 993	0.675	0.0240	0.315×10^{-3}	1.193×10^{-5}	1.96	1.00	0.702×10^{-3}
95	84.55	961.5	0.5045	2 270	4 212	2 010	0.677	0.0246	0.297×10^{-3}	1.210×10^{-5}	1.85	1.00	0.716×10^{-3}
100	101.33	957.9	0.5978	2 257	4 217	2 029	0.679	0.0251	0.282×10^{-3}	1.227×10^{-5}	1.75	1.00	0.750×10^{-3}
110	143.27	950.6	0.8263	2 230	4 229	2 071	0.682	0.0262	0.255×10^{-3}	1.261×10^{-5}	1.58	1.00	0.798×10^{-3}
120	198.53	943.4	1.121	2 203	4 244	2 120	0.683	0.0275	0.232×10^{-3}	1.296×10^{-5}	1.44	1.00	0.858×10^{-3}
130	270.1	934.6	1.496	2 174	4 263	2 177	0.684	0.0288	0.213×10^{-3}	1.330×10^{-5}	1.33	1.01	0.913×10^{-3}
140	361.3	921.7	1.965	2 145	4 286	2 244	0.683	0.0301	0.197×10^{-3}	1.365×10^{-5}	1.24	1.02	0.970×10^{-3}
150	475.8	916.6	2.546	2 114	4 311	2 314	0.682	0.0316	0.183×10^{-3}	1.399×10^{-5}	1.16	1.02	1.025×10^{-3}
160	617.8	907.4	3.256	2 083	4 340	2 420	0.680	0.0331	0.170×10^{-3}	1.434×10^{-5}	1.09	1.05	1.145×10^{-3}
170	791.7	897.7	4.119	2 050	4 370	2 490	0.677	0.0347	0.160×10^{-3}	1.468×10^{-5}	1.03	1.05	1.178×10^{-3}
180	1 002.1	887.3	5.153	2 015	4 410	2 590	0.673	0.0364	0.150×10^{-3}	1.502×10^{-5}	0.983	1.07	1.210×10^{-3}
190	1 254.4	876.4	6.388	1 979	4 460	2 710	0.669	0.0382	0.142×10^{-3}	1.537×10^{-5}	0.947	1.09	1.280×10^{-3}
200	1 553.8	864.3	7.852	1 941	4 500	2 840	0.663	0.0401	0.134×10^{-3}	1.571×10^{-5}	0.910	1.11	1.350×10^{-3}
220	2 318	840.3	11.60	1 859	4 610	3 110	0.650	0.0442	0.122×10^{-3}	1.641×10^{-5}	0.865	1.15	1.520×10^{-3}
240	3 344	813.7	16.73	1 767	4 760	3 520	0.632	0.0487	0.111×10^{-3}	1.712×10^{-5}	0.836	1.24	1.720×10^{-3}
260	4 688	783.7	23.69	1 663	4 970	4 070	0.609	0.0540	0.102×10^{-3}	1.788×10^{-5}	0.832	1.35	2.000×10^{-3}
280	6 412	750.8	33.15	1 544	5 280	4 835	0.581	0.0605	0.094×10^{-3}	1.870×10^{-5}	0.854	1.49	2.380×10^{-3}
300	8 581	713.8	46.15	1 405	5 750	5 980	0.548	0.0695	0.086×10^{-3}	1.965×10^{-5}	0.902	1.69	2.950×10^{-3}
320	11 274	667.1	64.57	1 239	6 540	7 900	0.509	0.0836	0.078×10^{-3}	2.084×10^{-5}	1.00	1.97	—
340	14 586	610.5	92.62	1 028	8 240	11 870	0.469	0.110	0.070×10^{-3}	2.255×10^{-5}	1.23	2.43	—
360	18 651	528.3	144.0	720	14 690	25 800	0.427	0.178	0.060×10^{-3}	2.571×10^{-5}	2.06	3.73	—
374.14	22 090	317.0	317.0	0	∞	∞	∞	∞	0.043×10^{-3}	4.313×10^{-5}	—	—	—

Nota 1: La viscosidad cinemática ν y la difusividad térmica α se pueden calcular a partir de sus definiciones, $\nu = \mu/\rho$ y $\alpha = k/\rho c_p = \nu/Pr$. Las temperaturas de 0.01°C, 100°C y 374.14°C son las temperaturas de los puntos triple, de ebullición y crítico del agua, respectivamente. Las propiedades cuya lista se da arriba (excepto la densidad del vapor) se pueden usar a cualquier presión con error despreciable, excepto a temperaturas cercanas al valor del punto crítico.

Nota 2: La unidad kJ/kg · °C, para el calor específico, es equivalente a kJ/kg · K y la unidad W/m · °C, para la conductividad térmica es equivalente a W/m · K.

Fuente: Los datos de la viscosidad y la conductividad térmica se tomaron de J. V. Sengers y J. T. R. Watson, *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 15 (1986), págs. 291-1322. Los otros datos se obtuvieron de diversas fuentes o se calcularon.

A6. Tubería de acero al carbono API 5I / ASTM A53 / A106

Diámetro Nominal NPS		Diámetro Exterior Real		Espesor de Pared		Identificación		Peso del Tubo		ASTM A53 PRESION DE PRUEBA							
Pulgadas in.	Milímetros mm.	(in.)	mm.	Pulgadas (in.)	Milímetros (mm.)	Weight Class	Schedule	lb/pie	kg/m	Grado A		Grado B					
										psi	Kg/cm ²	psi	Kg/cm ²				
8	200	8.625	219,1	0.188	4.78	-	-	16.94	25.26	780	55	920	65				
				0.203	5.16	-	-	18.26	27.22	850	60	1000	70				
				0.219	5.56	-	-	19.66	29.28	910	64	1070	75				
				0.250	6.35	-	20	22.36	33.31	1040	73	1220	86				
				0.277	7.04	-	30	24.70	36.81	1160	82	1350	95				
				0.312	7.92	-	-	27.70	41.24	1300	91	1520	107				
				0.322	8.18	STD	40	28.55	42.55	1340	94	1570	110				
				0.344	8.74	-	-	30.42	45.34	1440	101	1680	118				
				0.375	9.52	-	-	33.04	49.20	1570	110	1830	129				
				0.406	10.31	-	60	35.64	53.08	1700	120	2000	141				
				0.438	11.13	-	-	38.30	57.08	1830	129	2130	150				
				0.500	12.70	XS	80	43.39	64.64	2090	147	2430	171				
				0.594	15.09	-	100	50.95	75.92	2500	176	2800	197				
				0.719	18.26	-	120	60.71	90.44	2800	197	2800	197				
				0.812	20.62	-	140	67.76	100.92	2800	197	2800	197				
				0.875	22.22	XXS	-	72.42	107.88	2800	197	2800	197				
				0.906	23.01	-	160	74.69	111.27	2800	197	2800	197				
10	250	10.750	273,0	0.188	4.78	-	-	21.21	31.62	630	44	730	51				
				0.203	5.16	-	-	22.87	34.08	680	48	800	56				
				0.219	5.56	-	-	24.63	36.67	730	51	860	60				
				0.250	6.35	-	20	28.04	41.75	840	59	980	69				
				0.279	7.09	-	-	31.20	46.49	930	65	1090	77				
				0.307	7.80	-	30	34.24	51.01	1030	72	1200	84				
				0.344	8.74	-	-	38.23	56.96	1150	81	1340	94				
				0.365	9.27	STD	40	40.48	60.29	1220	86	1430	101				
				0.438	11.13	-	-	48.19	71.87	1470	103	1710	120				
				0.500	12.70	XS	60	54.71	81.52	1670	117	1950	137				
				0.594	15.09	-	80	64.43	95.97	1990	140	2320	163				
				0.719	18.26	-	100	77.03	114.70	2410	169	2800	197				
				0.844	21.44	-	120	89.29	133.00	2800	197	2800	197				
				1.000	25.40	XXS	140	104.13	155.09	2800	197	2800	197				
				1.125	28.57	-	160	115.65	172.21	2800	197	2800	197				
				12	300	12.750	323,8	0.203	5.16	-	-	27.20	40.55	570	40	670	47
								0.219	5.56	-	-	29.31	43.63	620	44	720	51
0.250	6.35	-	20					33.38	49.71	710	50	820	58				
0.281	7.14	-	-					37.42	55.75	790	56	930	65				
0.312	7.92	-	-					41.45	61.69	880	62	1030	72				
0.330	8.38	-	30					43.77	65.18	930	65	1090	77				
0.344	8.74	-	-					45.58	67.90	970	68	1130	79				
0.375	9.52	STD	-					49.52	73.78	1060	75	1240	87				
0.406	10.31	-	40					53.52	79.70	1150	81	1340	94				
0.438	11.13	-	-					57.59	85.82	1240	87	1440	101				
0.500	12.70	XS	-					65.42	97.43	1410	99	1650	116				
0.562	14.27	-	60					73.15	108.92	1590	112	1850	130				
0.688	17.28	-	80					88.63	132.04	1940	136	2270	160				
0.844	21.44	-	100					107.32	159.86	2390	168	2780	195				
1.000	25.40	XXS	120					125.49	186.91	2800	197	2800	197				
1.125	28.57	-	140					139.68	208.00	2800	197	2800	197				
1.312	33.32	-	160					160.27	238.68	2800	197	2800	197				

A7. Tubería de cobre

Medida Nominal	Diámetro Exterior	Espesor de Pared			Peso por tramo			Presión Máxima		
		M	L	K	M	L	K	M	L	K
3/8"	0.375"	0.025"	0.030"		2.132 lb	2.524 lb		6.133 lb/pulg ²	7.200 lb/pulg ²	
6.35 mm	9.525 mm	0.635 mm	0.762 mm		0.968 kg	1.146 kg		431.15 kg/cm ²	506.16 kg/cm ²	
3/8"	0.500"	0.025"	0.035"	0.049"	2.903 lb	3.965 lb	5.385 lb	4.500 lb/pulg ²	6.300 lb/pulg ²	8.820 lb/pulg ²
9.50 mm	12.700 mm	0.635 mm	0.889 mm	1.245 mm	1.318 kg	1.800 kg	2.445 kg	316.35 kg/cm ²	442.89 kg/cm ²	620.04 kg/cm ²
1/2"	0.625"	0.028"	0.040"	0.049"	4.083 lb	5.705 lb	6.890 lb	4.032 lb/pulg ²	5.760 lb/pulg ²	7.056 lb/pulg ²
12.7 mm	15.875 mm	0.711 mm	1.016 mm	1.245 mm	1.854 kg	2.590 kg	3.128 kg	283.45 kg/cm ²	404.92 kg/cm ²	496.03 kg/cm ²
3/4"	0.875"	0.032"	0.045"	0.065"	6.566 lb	9.110 lb	12.813 lb	3.291 lb/pulg ²	4.632 lb/pulg ²	6.865 lb/pulg ²
19 mm	22.225 mm	0.812 mm	1.143 mm	1.651 mm	2.981 kg	4.136 kg	5.817 kg	231.35 kg/cm ²	325.62 kg/cm ²	469.95 kg/cm ²
1"	1.125"	0.035"	0.050"	0.065"	9.310 lb	13.114 lb	16.799 lb	2.800 lb/pulg ²	4.000 lb/pulg ²	5.200 lb/pulg ²
25 mm	28.575 mm	0.889 mm	1.270 mm	1.651 mm	4.227 kg	5.954 kg	7.627 kg	196.84 kg/cm ²	281.20 kg/cm ²	290.00 kg/cm ²
1 1/4"	1.375"	0.042"	0.055"	0.065"	13.656 lb	17.700 lb	20.824 lb	2.749 lb/pulg ²	3.600 lb/pulg ²	4.260 lb/pulg ²
32 mm	34.925 mm	1.067 mm	1.397 mm	1.651 mm	6.200 kg	8.036 kg	9.454 kg	193.25 kg/cm ²	253.08 kg/cm ²	299.47 kg/cm ²
1 1/2"	1.625"	0.049"	0.060"	0.072"	18.821 lb	22.826 lb	27.231 lb	2.713 lb/pulg ²	3.323 lb/pulg ²	3.988 lb/pulg ²
38 mm	41.275 mm	1.245 mm	1.524 mm	1.829 mm	8.545 kg	10.363 kg	12.363 kg	190.72 kg/cm ²	233.60 kg/cm ²	280.35 kg/cm ²
2"	2.125"	0.058"	0.070"	0.083"	29.233 lb	35.042 lb	41.249 lb	2.470 lb/pulg ²	2.965 lb/pulg ²	3.515 lb/pulg ²
51 mm	53.975 mm	1.473 mm	1.778 mm	2.108 mm	13.272 kg	15.909 kg	18.727 kg	173.65 kg/cm ²	208.43 kg/cm ²	247.10 kg/cm ²
2 1/2"	2.625"	0.065"	0.080"		40.647 lb	49.658 lb		2.228 lb/pulg ²	2.742 lb/pulg ²	
64 mm	66.675 mm	1.651 mm	2.032 mm		18.454 kg	22.545 kg		156.62 kg/cm ²	192.76 kg/cm ²	
3"	3.125"	0.072"	0.090"		53.663 lb	66.645 lb		2.073 lb/pulg ²	2.592 lb/pulg ²	
76 mm	79.375 mm	1.889 mm	2.286 mm		24.363 kg	30.257 kg		145.73 kg/cm ²	182.21 kg/cm ²	
4"	4.125"	0.095"	0.110"		93.310 lb	107.729 lb		2.072 lb/pulg ²	2.400 lb/pulg ²	
102 mm	104.775 mm	2.413 mm	2.794 mm		42.363 kg	48.909 kg		145.65 kg/cm ²	168.72 kg/cm ²	

A8. Tubería de acero inoxidable sin soldadura

TUBO SIN SOLDADURA

Peso teórico (Kg/m)

Calidad: AISI 304 - 304L - 321 -

316L - 316Ti - 310.

Normas: NFA 49 117 - ASTM A - 312.

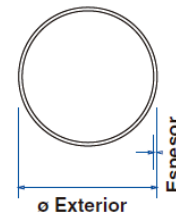
Largos: de 4 a 7 m.

ACCESÓRIOS

CODOS, TES Y STUB-ENDS

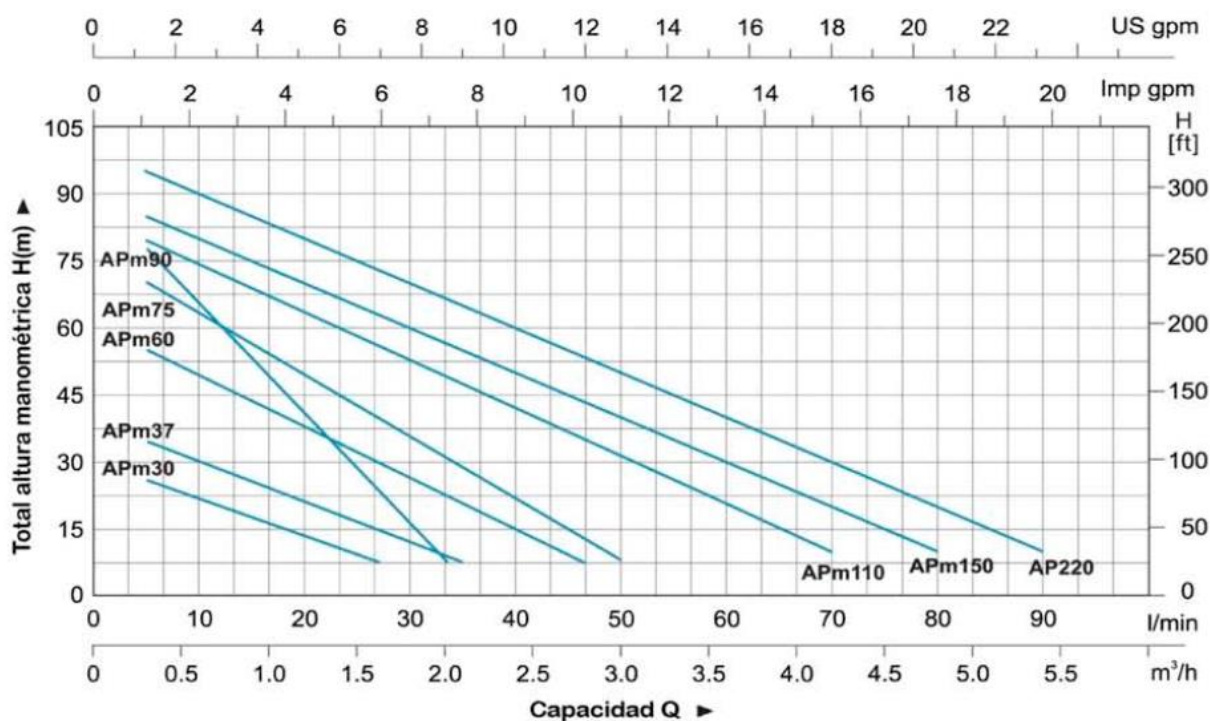
De las mismas medidas que el tubo.

Ø Nominal en pulgadas	Ø Exter mm	Espesor nominal pared			
		sch 5 S mm	sch 10 S mm	sch 40 S mm	sch 80 S mm
1/4"	13,72	1,24	1,65	2,24	3,02
3/8"	17,15		1,65	2,31	3,20
1/2"	21,34	1,65	2,11	2,77	3,73
3/4"	26,67	1,65	2,11	2,87	3,91
1"	33,40	1,65	2,77	3,38	4,55
1 1/4"	42,16	1,65	2,77	3,56	4,85
1 1/2"	48,26	1,65	2,77	6,68	5,08
2"	60,33	1,65	2,77	3,91	5,54
2 1/2"	73,03	2,11	3,05	5,16	7,01
3"	88,90	2,11	3,05	5,49	7,62
4"	114,30	2,11	3,05	6,02	8,56
5"	141,30	2,77	3,40	6,55	9,53
6"	168,28	2,77	3,40	7,11	10,97
8"	219,08	2,77	3,76	8,18	12,70



A9. Curva característica de la moto bomba

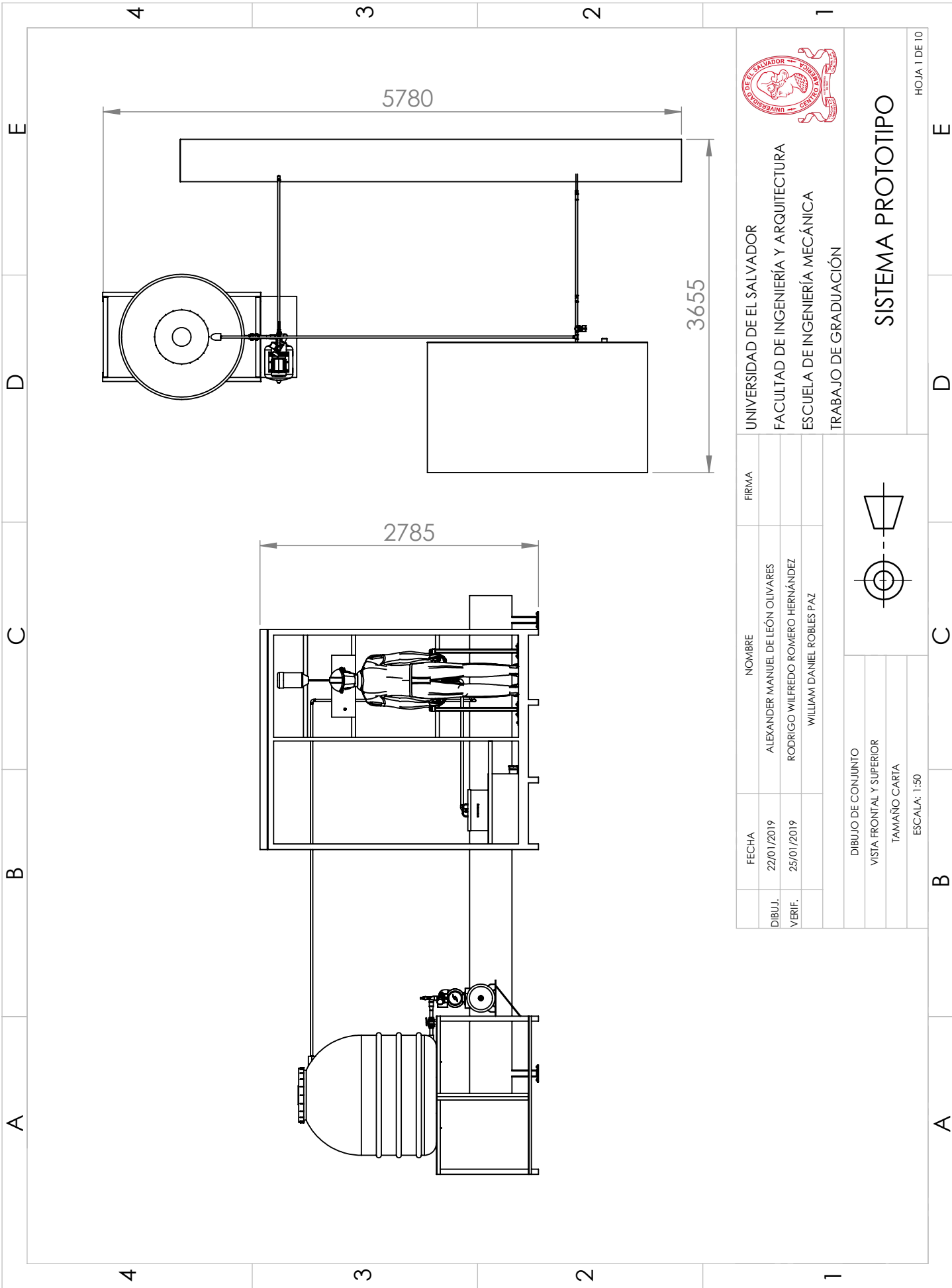
CODIGO	MODELO	HP	TEN.	BOCAS ASP x DESC	Q (m³/h)	Q (l/min)																		
						0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4					
B.AP.1.0005.M	APm37	0.5	MON	1" x 1"	H (m)	40	35	30	25	20	15	10	5	2										
B.AP.1.0007.M	APm60	0.8	MON	1" x 1"		60	55	50	40	35	30	25	20	10	5									
B.AP.1.0007.T	AP 60	0.8	TRI	1" x 1"		60	55	50	40	35	30	25	20	10	5									
B.AP.1.0010.M	APm75	1	MON	1" x 1"		75	70	60	50	45	35	28	22	15	5									
B.AP.1.0010.T	AP 75	1	TRI	1" x 1"		75	70	60	50	45	35	28	22	15	5									
B.AP.1.0015.M	APm110	1.5	MON	1" x 1"		85	80	70	65	60	55	50	45	40	30	18	10							
B.AP.1.0015.T	AP 110	1.5	TRI	1" x 1"		85	80	70	65	60	55	50	45	40	30	18	10							
B.AP.1.0020.M	APm150	2	MON	1" x 1"		90	86	80	75	70	65	60	55	50	40	30	20	10						
B.AP.1.0020.T	AP 150	2	TRI	1" x 1"		90	86	80	75	70	65	60	55	50	40	30	20	10						
B.AP.1.0030.T	AP 220	3	TRI	1" x 1"		100	96	90	85	80	75	70	65	60	50	40	30	20	10					



A10. Requisitos físicos y químicos de la leche RTCA 67.04.66:12

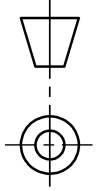
Parámetro	Entera	Semidescremada	Descremada
Contenido de materia grasa (%)	$\geq 3,0$	$\geq 0,5$ y < 3	$< 0,5$
Proteínas Nx6.38 (%)	$\geq 3,0$	$\geq 3,0$	$\geq 3,0$
Extracto seco lácteo no graso (%)	$\geq 8,2$	$\geq 8,2$	$\geq 8,2$
Acidez, expresada como ácido láctico (%)	$\geq 0,13$ y $\leq 0,17$	$\geq 0,13$ y $\leq 0,17$	$\geq 0,13$ y $\leq 0,17$
Punto de congelación (°C)	$\leq -0,53$	$\leq -0,53$	$\leq -0,53$

A11. Planos constructivos

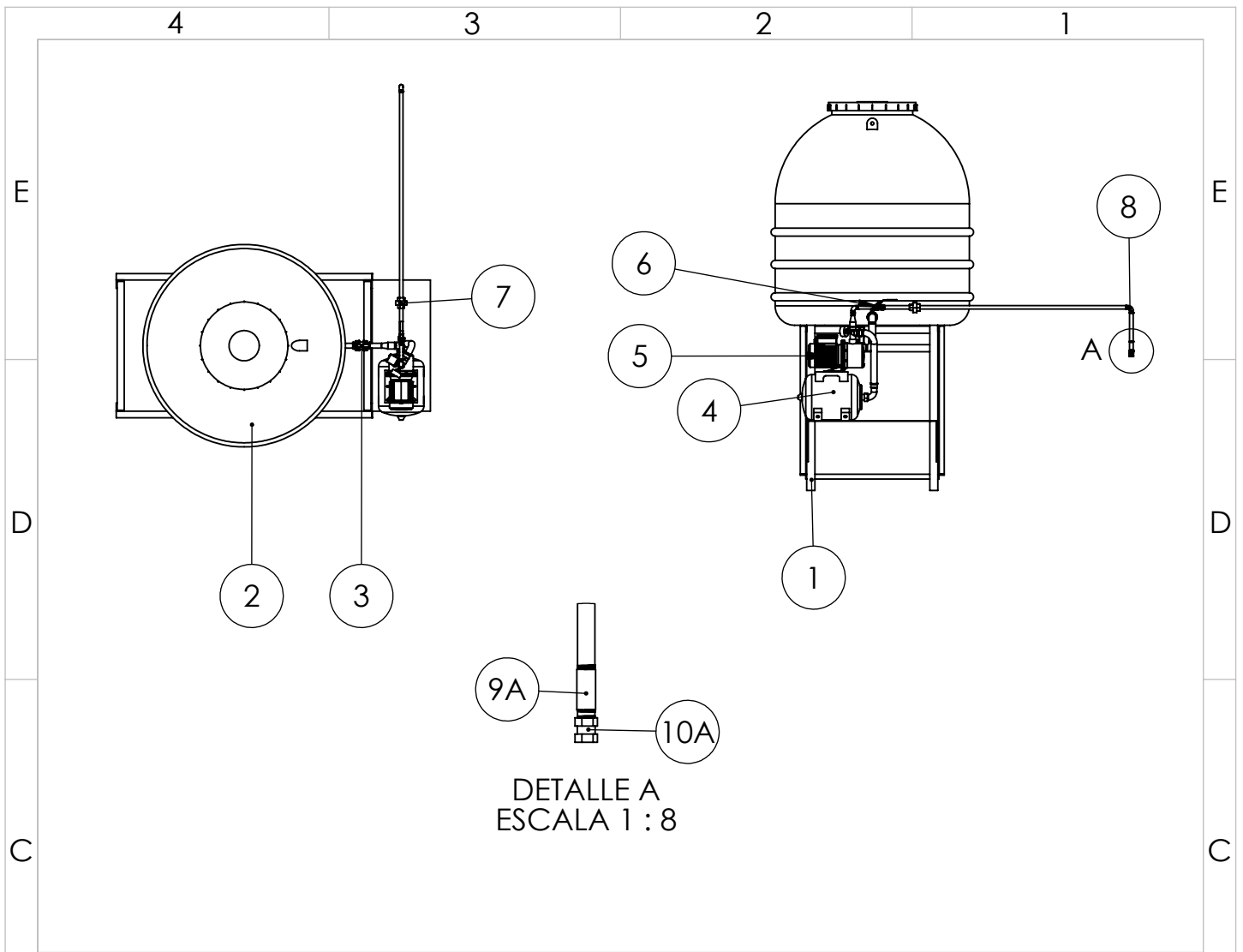


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
 TRABAJO DE GRADUACIÓN

FECHA	NOMBRE	FIRMA
DIBUJ. 22/01/2019	ALEXANDER MANUEL DE LEÓN OLIVARES	
VERIF. 25/01/2019	RODRIGO WILFREDO ROMERO HERNÁNDEZ WILLIAM DANIEL ROBLES PAZ	
DIBUJO DE CONJUNTO		
VISTA FRONTAL Y SUPERIOR		
TAMAÑO CARTA		
ESCALA: 1:50		



SISTEMA PROTOTIPO



10A	BUSHIN REDUCTOR	BRONCE DE 1/2" A 3/8"	1
9A	CAMISA	ACERO INOXIDABLE 304, 1/2"	1
8	CODO 90°	ACERO GALVANIZADO DE 1/2"	1
7	UNIÓN UNIVERSAL	ACERO GALVANIZADO DE 1/2"	1
6	VÁLVULA DE GLOBO	ACERO GALVANIZADO DE 1/2"	1
5	BOMBA SISTEMA HIDRONEUMÁTICO	3/4 HP, 110V	1
4	ACUMULADOR HIDRONEUMÁTICO	CAPACIDAD 24L	1
3	VÁLVULA DE GLOBO	MATERIAL: PVC, MEDIDA: 1/2"	1
2	TANQUE DE ALMACENAJE DE AGUA	CAPACIDAD 1000 L	1
1	BASE ESTRUCTURAL	HIERRO ANGULAR 2X2"	1
N°	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
	FECHA	NOMBRE	FIRMA
DIBUJ.	22/01/2019	ALEXANDER MANUEL DE LEÓN OLIVARES	
VERIF.	25/01/2019	RODRIGO WILFREDO ROMERO HERNÁNDEZ	
		WILLIAM DANIEL ROBLES PAZ	
DIBUJO DE CONJUNTO			UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA TRABAJO DE GRADUACIÓN
VISTA SUPERIOR Y LATERAL			
TAMAÑO CARTA			
ESCALA: 1:40			
		SISTEMA DE BOMBEO	
			HOJA 2 DE 10

4

3

2

1

E

E

D

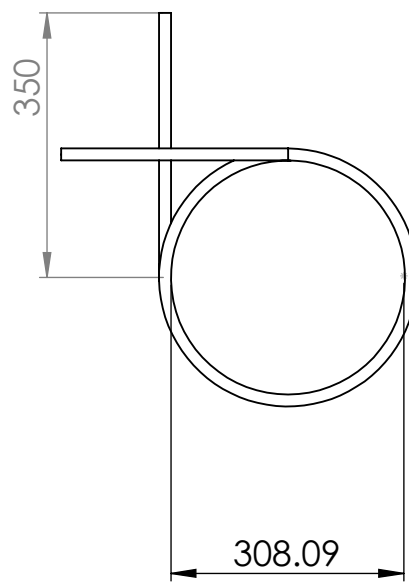
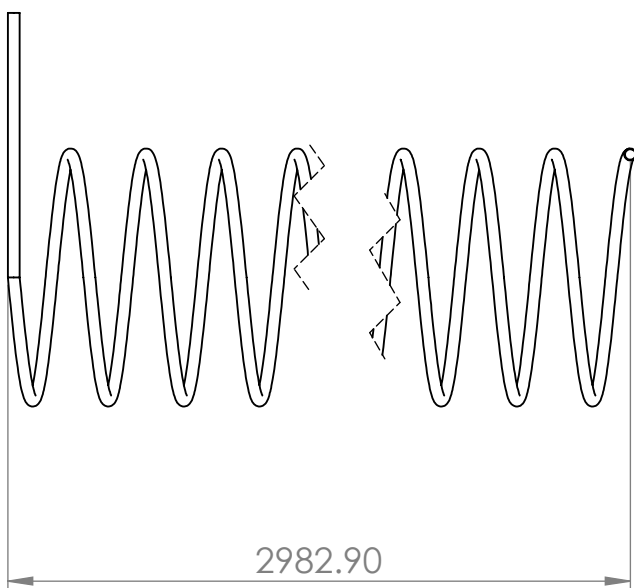
D

C

C

B

B



A

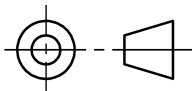
A

	FECHA	NOMBRES	FIRMA
DIBUJ.	22/01/2019	ALEXANDER MANUEL DE LEÓN OLIVARES	
VERIF.	25/01/2019	RODRIGO WILFREDO ROMERO HERNÁNDEZ	
		WILLIAM DANIEL ROBLES PAZ	

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
 TRABAJO DE GRADUACIÓN



CARACTERÍSTICAS:
COBRE DE 2"
INDUSTRIAL TIPO "L"
MEDIDAS EN mm



SERPENTÍN EXTRACTOR DE CALOR

ESCALA: 1:10

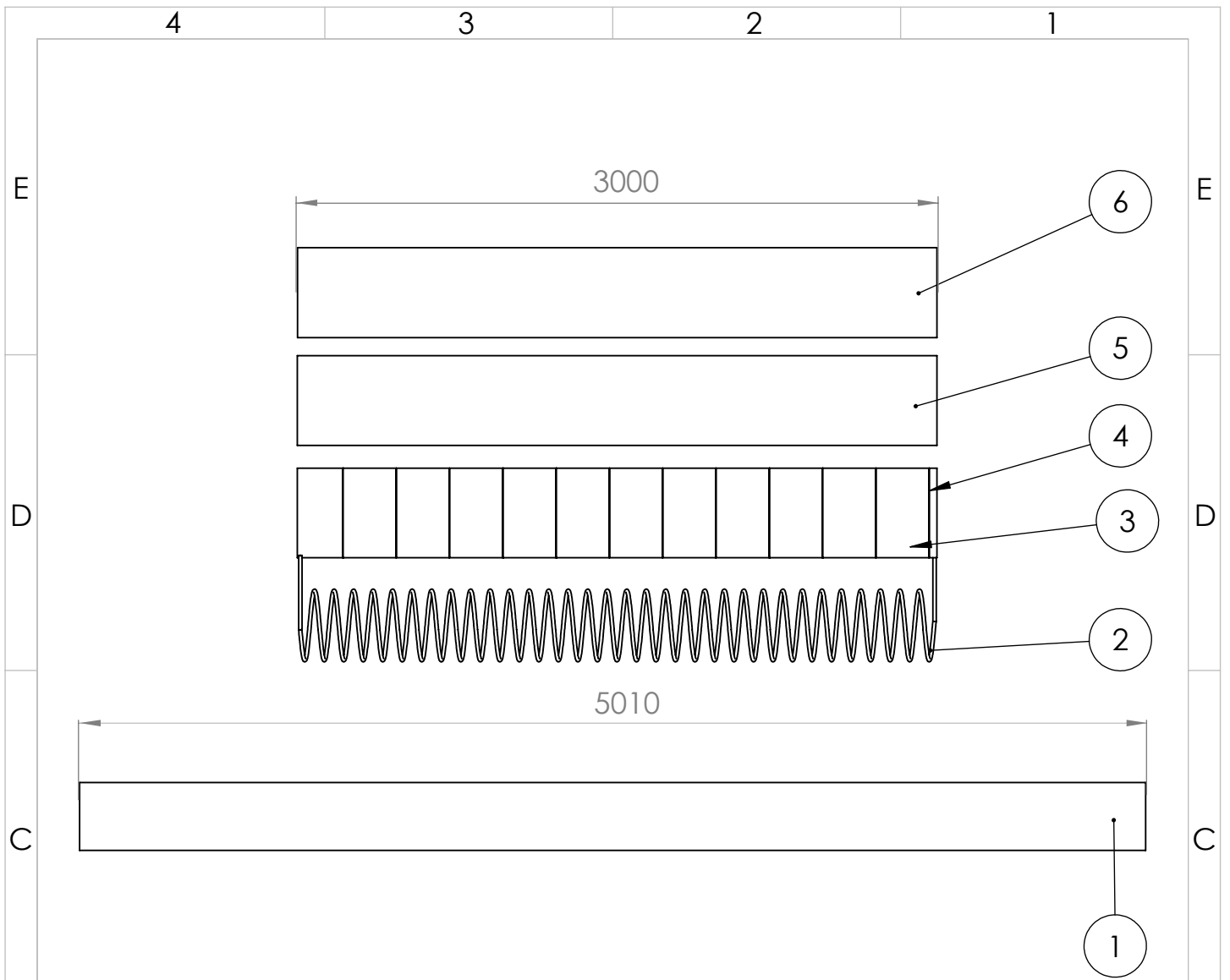
HOJA 3 DE 10

4


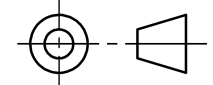
3

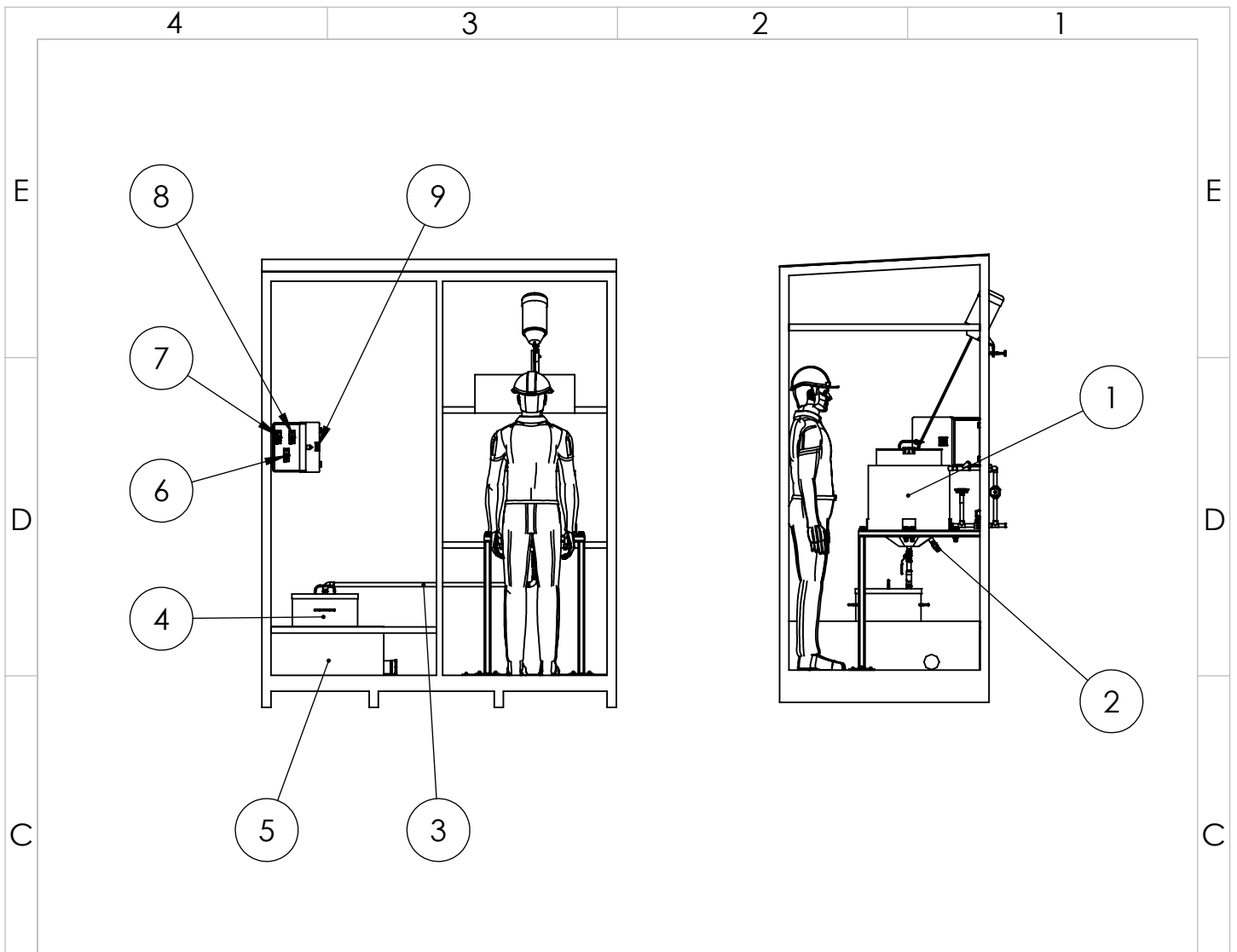
2

1



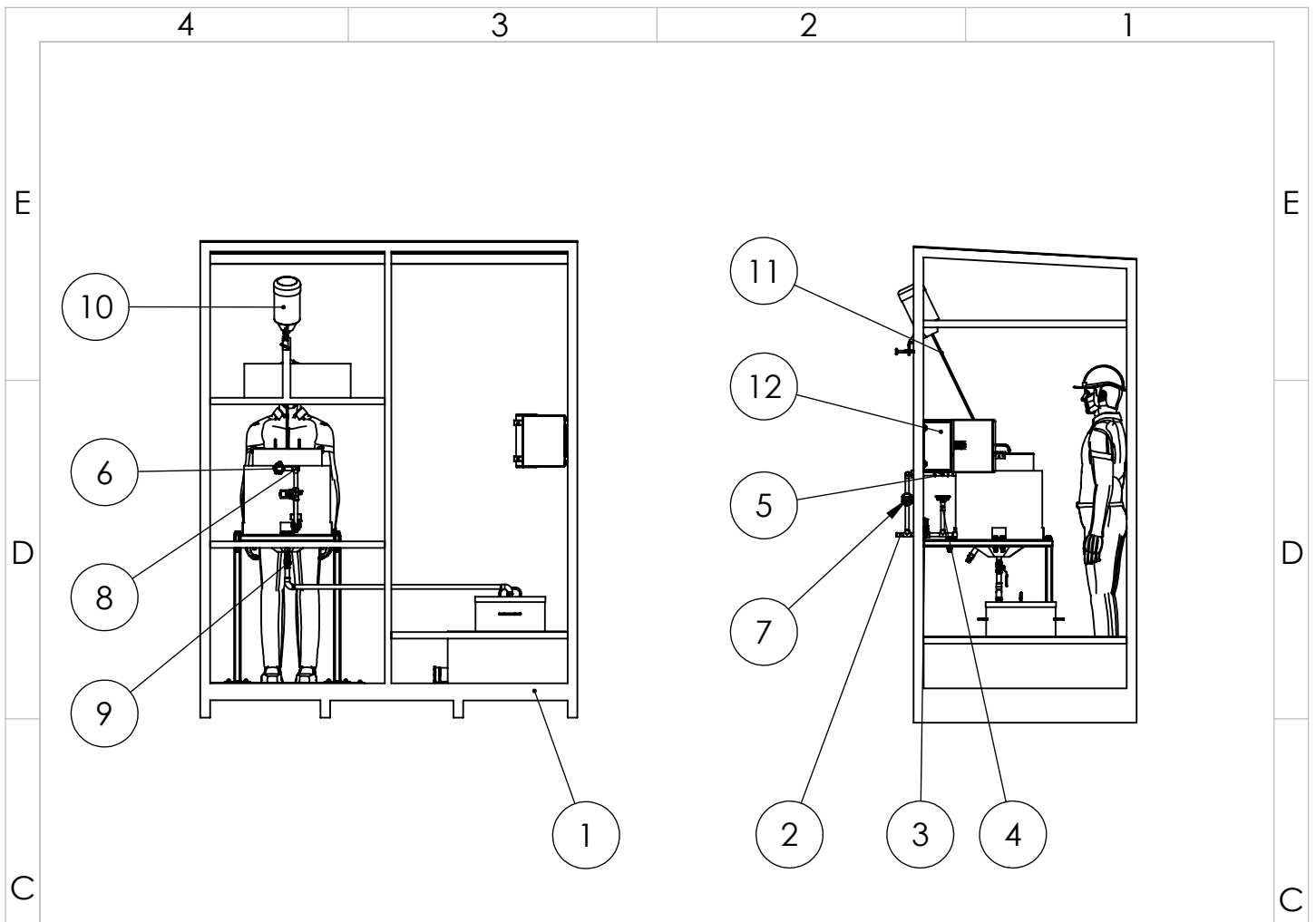
6	MALLA	PLASTICA CUADRADA	1
5	PLASTICO	TRANSPARENTE	1
4	ALAMBRE	HIERRO DULCE MALEABLE	11
3	AISLANTE	FIBRA DE VIDRIO	1
2	INTERCAMBIADOR DE CALOR	COBRE DE 1/2" GRADO "L", 60 m.	1
1	TUBERIA DE ACARREO	ACERO A53, 12"	1
N°	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD

A	FECHA	NOMBRE	FIRMA	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA TRABAJO DE GRADUACIÓN	
	DIBUJ.	22/01/2019	ALEXANDER MANUEL DE LEÓN OLIVARES		
	VERIF.	25/01/2019	RODRIGO WILFREDO ROMERO HERNÁNDEZ		
			WILLIAM DANIEL ROBLES PAZ		
DIBUJO DE CONJUNTO				TUBERÍA DE FLUIDO GEOTÉRMICO	HOJA 4 DE 10
VISTA FRONTAL					
TAMAÑO CARTA					
ESCALA: 1:30					
4	3	2	1		


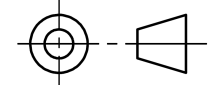


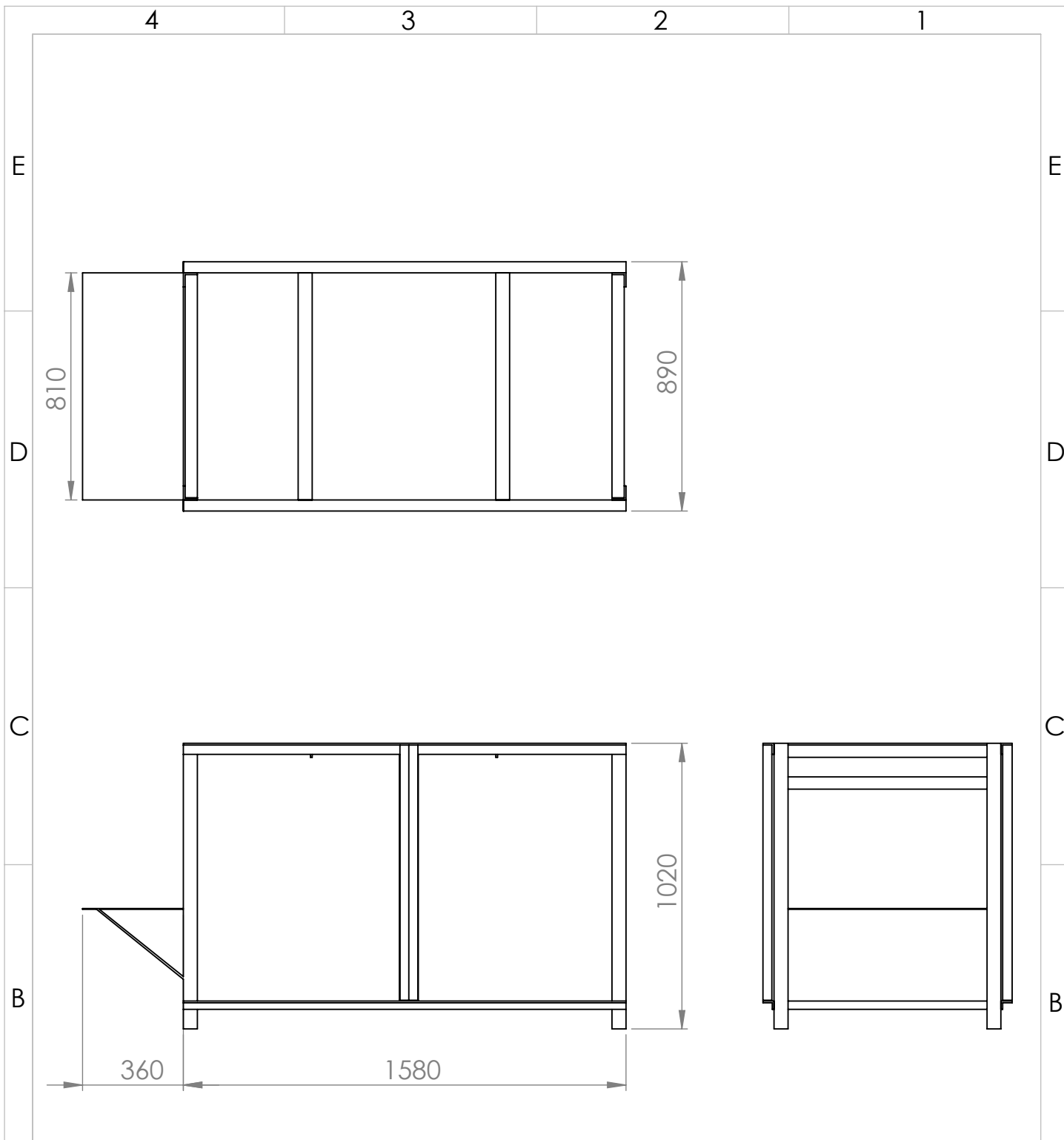
9	CONTROLADOR DE TEMPERATURA	110V, 60HZ, DOS SALIDAS	1
8	AUTÓMATA PARA BOMBA DE AGUA	110V, 14A, 60HZ, 2P	1
7	INTERRUPTOR DE ENERGIZACIÓN	110V, 30A, 60 HZ, 2P	1
6	INTERRUPTOR DE MOTOR AGITADOR	110V, 20A, 60 HZ, 2P	1
5	ESTANQUE DE ENFRIAMIENTO	ACERO INOXIDABLE 304, 2.5mm	1
4	CUBA DE ENFRIAMIENTO	ENFRIAMIENTO DE LA LECHE	1
3	TUBO DE DESCARGA DE LECHE	ACERO INOXIDABLE 304, 1"	1
2	SENSOR DE TEMPERATURA	TERMISTOR RTD, 110V.	1
1	CUBA PASTEURIZADORA	ACERO INOXIDABLE 304, 50L	1
Nº	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD

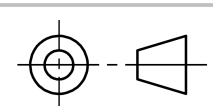
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR	
DIBUJ.	22/01/2019	ALEXANDER MANUEL DE LEÓN OLIVARES		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA	
VERIF.	25/01/2019	RODRIGO WILFREDO ROMERO HERNÁNDEZ		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
		WILLIAM DANIEL ROBLES PAZ		TRABAJO DE GRADUACIÓN	
	DIBUJO DE CONJUNTO			VISTA TRASERA DE ESTRUCTURA TECHADA	
	VISTA FRONTAL Y LATERAL				
	TAMAÑO CARTA				
	ESCALA: 1:40				
4	3	2	1	HOJA 5 DE 10	



12	CAJA DEL SISTEMA DE CONTROL	POLÍMERO	1
11	EJE AGITADOR	ACERO INOXIDABLE 304, PROPELA	1
10	MOTOR AGITADOR	110V, 60HZ, 1475 RPM	1
9	VÁLVULA DE GLOBO	ACERO INOXIDABLE 304, 1"	1
8	TUBO DE RETORNO DE AGUA	ACERO GALVANIZADO DE 1/2"	1
7	VÁLVULA SOLENOIDE N/C	110V, 60 HZ	1
6	UNIÓN UNIVERSAL	ACERO GALVANIZADO DE 1/2"	1
5	VÁLVULA ANTIRRETORNO	BRONCE DE 1/2"	1
4	TERMÓMETRO	ACERO INOXIDABLE, (0 - 200) °C	1
3	VÁLVULA SOLENOIDE N/A	110V, 60 HZ	1
2	TUBO DE ENTRADA DE AGUA	ACERO GALVANIZADO DE 1/2"	1
1	BASE ESTRUCTURAL	ACERO INOXIDABLE 304	1
N°	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD

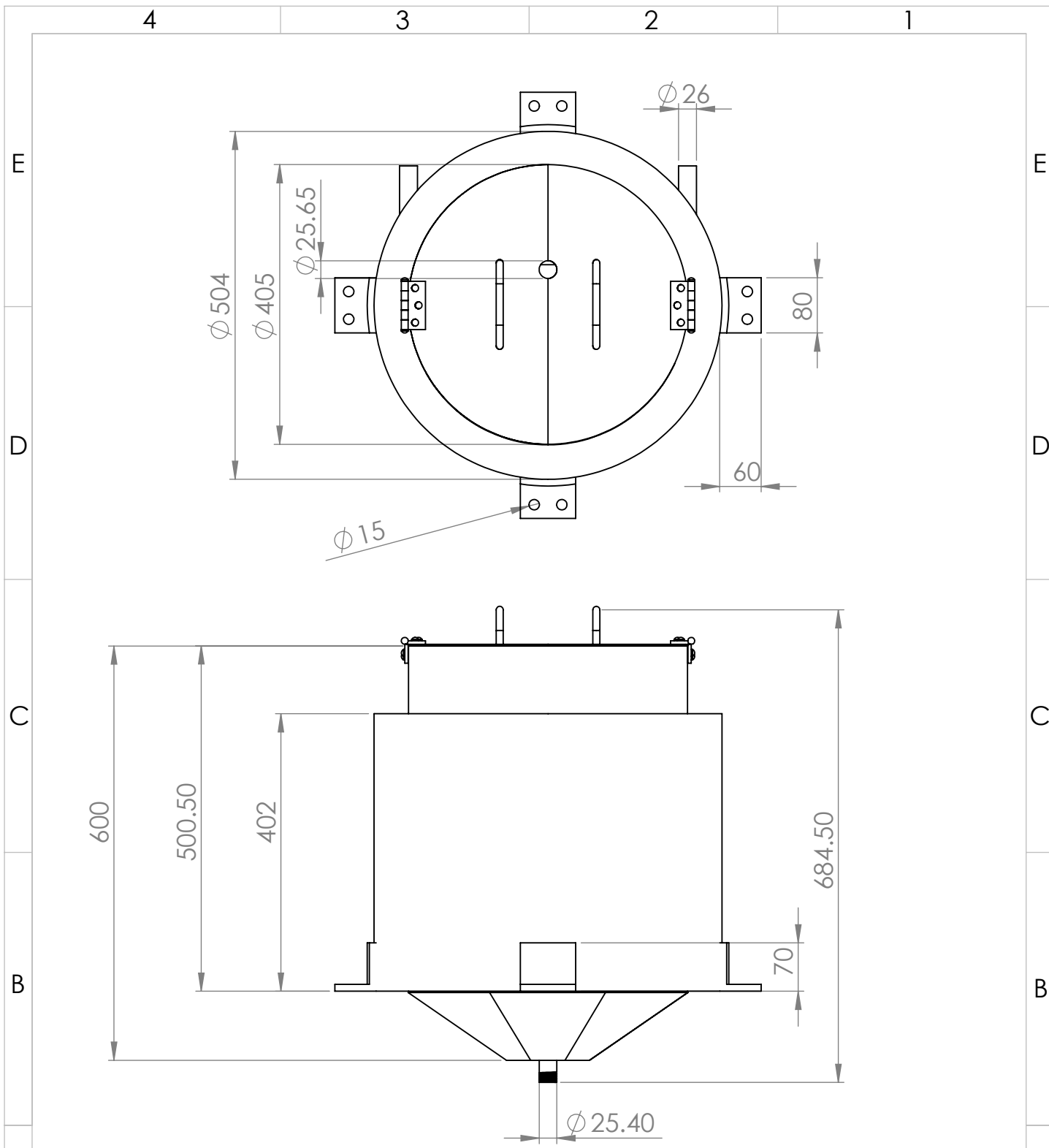
A	FECHA	NOMBRE	FIRMA	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA TRABAJO DE GRADUACIÓN 
	DIBUJ.	22/01/2019	ALEXANDER MANUEL DE LEÓN OLIVARES	
	VERIF.	25/01/2019	RODRIGO WILFREDO ROMERO HERNÁNDEZ	
			WILLIAM DANIEL ROBLES PAZ	
	DIBUJO DE CONJUNTO			VISTA TRASERA DE ESTRUCTURA TECHADA HOJA 6 DE 10
	VISTA TRASERA Y LATERAL			
	TAMAÑO CARTA			
	ESCALA: 1:40			



	FECHA	NOMBRES	FIRMA	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
DIBUJ.	22/01/2019	ALEXANDER MANUEL DE LEÓN OLIVARES		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
VERIF.	25/01/2019	RODRIGO WILFREDO ROMERO HERNÁNDEZ		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
A		WILLIAM DANIEL ROBLES PAZ		TRABAJO DE GRADUACIÓN
CARACTERÍSTICAS: HIERRO DULCE, ÁNGULO 1.5"X1.5" PINTURA COLOR NEGRO MEDIDAS EN mm				
				BASE DE TANQUE DE AGUA ESCALA: 1:20 HOJA 7 DE 10
	4	3	2	1



A

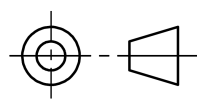


	FECHA	NOMBRES	FIRMA
DIBUJ.	22/01/2019	ALEXANDER MANUEL DE LEÓN OLIVARES	
VERIF.	25/01/2019	RODRIGO WILFREDO ROMERO HERNÁNDEZ	
		WILLIAM DANIEL ROBLES PAZ	

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
 TRABAJO DE GRADUACIÓN



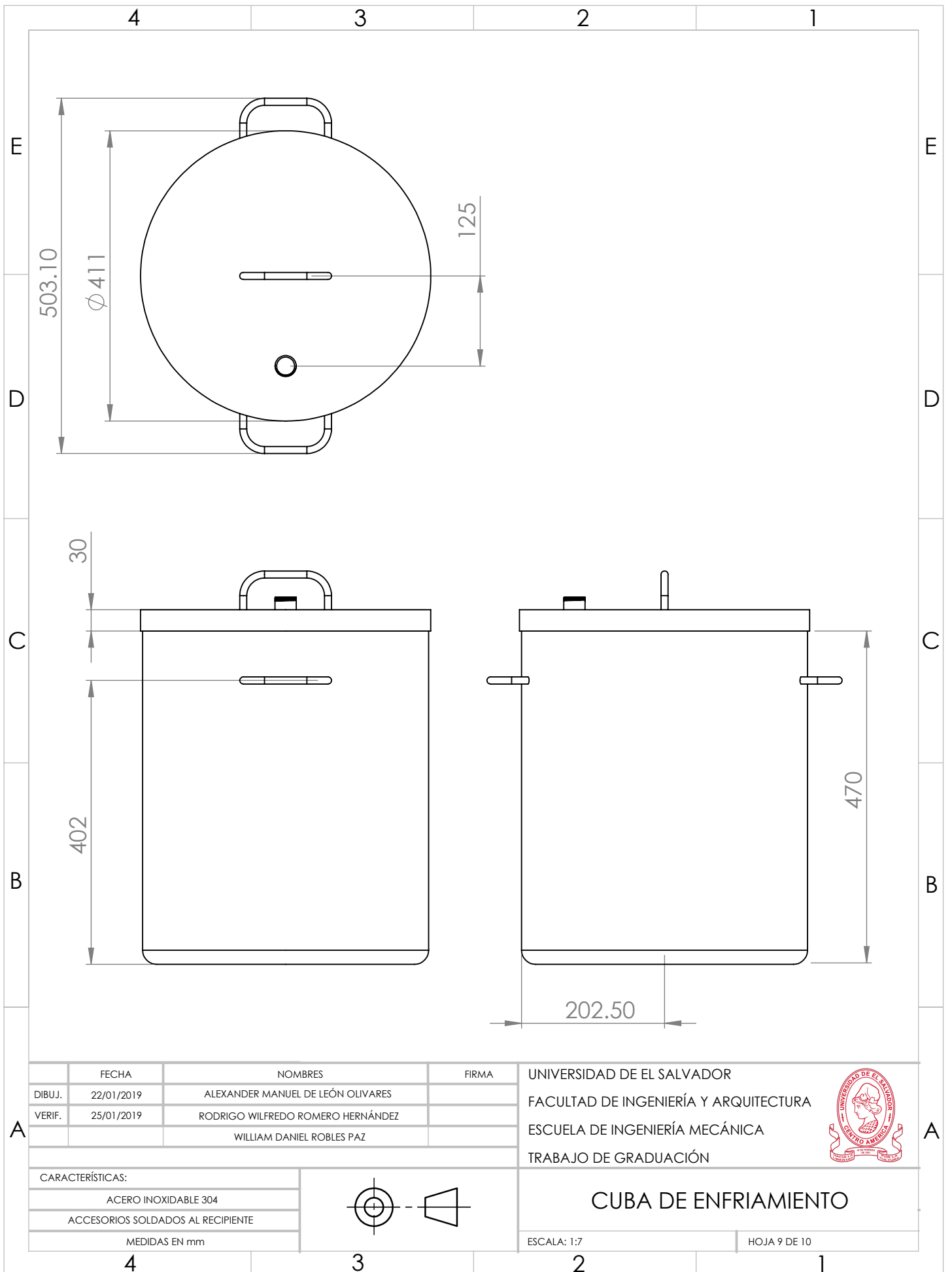
CARACTERÍSTICAS:
ACERO INOXIDABLE 304
CUERPO CUBIERTO CON AISLANTE
MEDIDAS EN mm



CUBA DE CALENTAMIENTO

ESCALA: 1:8

HOJA 8 DE 10

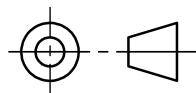


	FECHA	NOMBRES	FIRMA
DIBUJ.	22/01/2019	ALEXANDER MANUEL DE LEÓN OLIVARES	
VERIF.	25/01/2019	RODRIGO WILFREDO ROMERO HERNÁNDEZ	
		WILLIAM DANIEL ROBLES PAZ	

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
 TRABAJO DE GRADUACIÓN



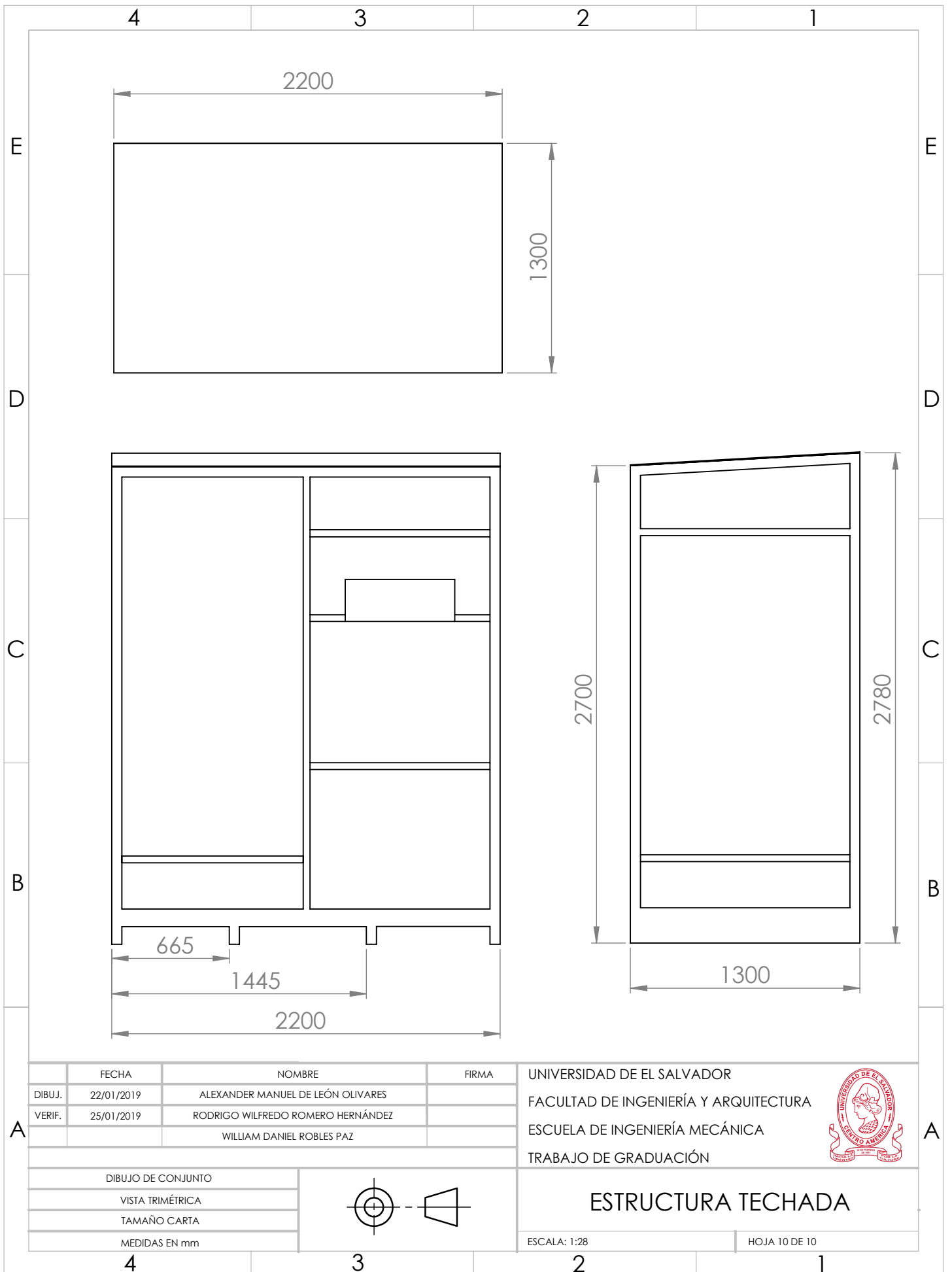
CARACTERÍSTICAS:
ACERO INOXIDABLE 304
ACCESORIOS SOLDADOS AL RECIPIENTE
MEDIDAS EN mm



ESCALA: 1:7

HOJA 9 DE 10

CUBA DE ENFRIAMIENTO

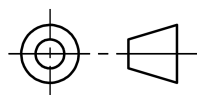


	FECHA	NOMBRE	FIRMA
DIBUJ.	22/01/2019	ALEXANDER MANUEL DE LEÓN OLIVARES	
VERIF.	25/01/2019	RODRIGO WILFREDO ROMERO HERNÁNDEZ	
		WILLIAM DANIEL ROBLES PAZ	

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
 TRABAJO DE GRADUACIÓN



DIBUJO DE CONJUNTO
VISTA TRIMÉTRICA
TAMAÑO CARTA
MEDIDAS EN mm



ESCALA: 1:28

HOJA 10 DE 10

ESTRUCTURA TECHADA