

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MICRO
PASTEURIZADORA TIPO BATCH**

**JUANPABLO CALDERÓN REMOLINA
HUGO ARMANDO DÍAZ TOLOZA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2015

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MICRO
PASTEURIZADORA TIPO BATCH**

**JUANPABLO CALDERÓN REMOLINA
HUGO ARMANDO DÍAZ TOLOZA**

**Trabajo de grado para optar por el título de
Ingeniero Mecánico**

**Director
JULIÁN ERNESTO JARAMILLO IBARRA
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2015

DEDICATORIA

A mis padres, Alba Yamile Remolina y Luis Fernando Calderón quienes con su amor, dedicación y esfuerzo contribuyeron a formar la persona y el profesional que ahora soy.

A mis hermanos, Tatiana y Daniel Calderón Remolina, pues ellos fueron apoyo y palabras de aliento en los momentos difíciles.

A Deisy Hurtado, quién contribuyo con su cariño e incondicionalidad durante todo este camino de formación.

A mis amigos quienes fueron entes motivadores para alcanzar esta meta.

A todos ellos les dedico este triunfo, agradezco tanto cariño y sepan que lucharé por que cada día se sientas más orgulloso de mí.

JUANPABLO CALDERÓN REMOLINA

DEDICATORIA

Deseo dedicar este hermoso acontecimiento a mi familia entera. Quisiera que cada uno de ustedes por un instante recuerden mi historia, y por los sucesos que tuve que atravesar para llevar a cabo este logro, no con ánimo de inspirar compasión, sino por el contrario para dar fe de lo que es capaz una persona decidida, y del material que están hechas las personas de mi familia.

“No existen cosas imposibles, sino mentes incapaces” palabras de aliento por parte de mi padre, que me guiaron gran parte de este proceso y que hoy se convierte en el mensaje que quiero transmitir a ustedes: mi familia.

Este sueño no me asegura riqueza, pero bien saben mis más allegados que nunca estuve tras ello, el afán por tratar de entender los acontecimientos del movimiento fue el principal motivo por cumplir este ciclo, y ¿cómo no?, ¡Para enorgullecerte madre querida!, porque sí, Yaneth Toloza Suarez y Hugo Díaz Fonseca, esto es para ustedes, prueba de un buen trabajo como padres.

Por último deseo hacer una especial dedicatoria a mi amada Gabriela Díaz Acevedo: Regalo del cielo que llega a robar mi corazón y simplemente a alegrarme la vida...

HUGO ARMANDO DIAZ TOLOZA

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Industrial de Santander por haber sido el principal partícipe en la formación académica que obtuvimos durante nuestro paso por ella. Paso que nos sirvió para afrontar este proyecto desde el punto de vista científico, y nos brindó las herramientas necesarias para afrontar los problemas de ingeniería que permitan contribuir con el desarrollo de la sociedad.

Al profesor Ph.D. Julián Jaramillo Ibarra. Por su dedicación y compromiso, además de la confianza puesta en nosotros.

A la familia Caicedo, quienes con su hospitalidad y apoyo contribuyeron al desarrollo de este proyecto.

A Industrias RINOX, por su colaboración en la construcción de la micro pasteurizadora.

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN.....	32
1. CONTEXTUALIZACIÓN SOCIAL Y ECONÓMICA DE LA	35
INDUSTRIA LECHERA EN COLOMBIA	
1.1 INICIOS DE LA CADENA LECHERA EN COLOMBIA.....	35
1.2 PRINCIPALES LÍDERES DEL PROCESAMIENTO DE LECHE EN.....	36
COLOMBIA.	
1.2.1 Procesos de producción y transformación	37
1.2.2 Procesos de distribución	38
1.3 INTERVENCIÓN DEL SECTOR INFORMAL EN LA INDUSTRIA	38
LECHERA COLOMBIANA.	
1.3.1 Proceso de adecuación del producto	39
1.3.2 Distribución de la leche cruda	40
1.3.3 Controles sanitarios al producto.....	41
1.4 COMPARACIÓN ENTRE EL PRECIO DEL PRODUCTO CON Y SIN	41
HIGIENIZAR.	
1.5 DIAGNÓSTICO DEL SECTOR	42

2. CONTEXTUALIZACIÓN DE LA POLÍTICA NACIONAL	45
2.1 NORMATIVA LEGAL COLOMBIANA	45
2.1.1 Decreto 616 de 2006	46
2.1.1.1 Leche pasteurizada y proceso de Pasteurización	46
2.1.1.2 Los hatos	47
2.1.1.3 El personal de ordeño	47
2.1.1.4 Plantas de enfriamiento	48
2.1.1.5 Prohibiciones	48
2.1.1.6 Características permisibles	48
2.1.1.7 Recepción.....	49
2.1.1.8 Envase y Rotulado.....	49
2.1.2 Decreto 1880 de 2011	50
2.1.2.1 Definiciones	50
2.1.2.2 Registros	50
2.1.2.3 Propiedades requeridas	50
2.1.2.4 Los expendedores	50
2.1.2.5 Los comercializadores	51
2.2 ENTES GUBERNAMENTALES RELACIONADOS CON LA	52
INDUSTRIA LECHERA.	
3. LA PASTEURIZACIÓN	54
3.1 RIESGOS DEL CONSUMO DE LECHE CRUDA.....	54

3.2 TIPOS DE PROCESO	56
3.2.1 Proceso HTST	56
3.2.1.1 Ventajas.....	58
3.2.1.2 Desventajas	58
3.2.2 Proceso UHT	59
3.2.2.1 Ventajas.....	60
3.2.2.2 Desventajas	60
3.2.3 Pasteurización LTLT y Pasteurización en lotes (VAT-BATCH)	60
3.2.3.1 Ventajas.....	62
3.2.3.2 Desventajas	62
4. TRANSFERENCIA DE CALOR.....	63
4.1 MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR	63
4.1.1 Transferencia de calor por Conducción.....	63
4.1.2 Transferencia de calor por convección.....	66
4.1.3 Transferencia de calor por Radiación	66
4.2 INTERCAMBIADORES DE CALOR.....	68
4.2.1. Según si existe una superficie de separación entre las dos	68
corrientes.	
4.2.2 Según su función	71
4.2.3 Según su forma de construcción.....	73

PROCESO DE DESARROLLO DEL PROTOTIPO

5. REQUERIMIENTOS GENERALES DE DISEÑO	77
5.1 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO ORIENTADOS AL USUARIO	77
5.1.1 Organización de los requerimientos.....	77
5.2 REQUERIMIENTOS DEL PROCESO.....	79
5.3 NORMATIVIDAD: PMO GRADE A (PASTEURIZED MILK	80
ORDINANCE	
5.3.1 Temperatura de espacio aéreo	80
5.3.2 Temperatura de la leche	81
5.3.3 Tiempo de pasteurización.....	81
5.3.4 Materiales	81
5.3.5 Válvula de drenado	82
5.3.6 Montaje.....	82
5.4 NORMATIVIDAD: ICONTEC NTC4082	82
5.4.1 Controles de flujo de gas	82
5.4.2 Supervisión de llama.....	83
5.4.3 Dispositivos de regulación y limitadores de sobrecalentamiento.....	83
5.5 NORMATIVIDAD: NTC 3765	83
5.5.1 Suministro del gas	83
5.5.2 Suministro del aire y extracción de productos de la combustión	84
5.5.3 Quemador.....	84
5.5.4 Estabilidad y seguridad mecánica.....	84

5.6 ESPECIFICACIONES DE LA MICRO PASTEURIZADORA	84
6. DISEÑO GENERAL DE LA MICRO PASTEURIZADORA	86
6.1 CALENTAMIENTO Y SOSTENIMIENTO.....	87
6.2 ENFRIAMIENTO.....	88
6.3 SISTEMA DE AGITACIÓN.....	89
6.4 SISTEMA DE CONTROL.....	89
6.4.1 Calentamiento.....	89
6.4.2 Sostenimiento	89
6.4.3 Enfriamiento.....	89
6.4.4 Agitación.....	90
 DISEÑO DE INGENIERÍA	
7. DISEÑO ESTRUCTURAL, MARMITA, SISTEMA DE AGITACIÓN	91
Y SISTEMA DE CONTROL	
7.1 DISEÑO ESTRUCTURAL.....	91
7.1.1 Diseño del soporte estructural de la marmita	91
7.1.2. Diseño de la estructura base del sistema completo	95
7.2 DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA MARMITA	97
7.2.1 Partes de la marmita.....	97
7.2.1.1 Recipiente.....	97
7.2.1.2 Chaqueta de agua	98

7.2.1.3 Cuerpo y base	98
7.2.1.4 Cierre.....	99
7.2.1.5 Enchaquetado.....	99
7.2.1.6 Chaqueta de gases y chimenea.....	100
7.2.1.7 Aislamiento térmico y camisa exterior	100
7.2.2 Diseño del tanque contenedor de leche	101
7.2.3 Dimensionamiento geométrico de la camisa de agua	103
7.2.4 Espesor de los componentes de la micro pasteurizadora	104
7.2.5 Fatiga térmica	106
7.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE AGITACIÓN	108
7.3.1 Dimensiones del tanque	108
7.3.2 Tipos de agitadores	108
7.3.3 Diseño del agitador	110
7.3.4 Potencia de agitación y selección del motor	112
7.3.5 Determinación del diámetro del eje del impulsor	116
7.3.6 Determinación del espesor de las palas del agitador	117
7.4 SISTEMA DE CONTROL.....	118
7.4.1 Agitación.....	121
7.4.2 Calentamiento.....	121
7.4.3 Sostenimiento	122
7.4.4 Enfriamiento.....	122

8. DISEÑO TÉRMICO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO	123
8.1 FASE DE CALENTAMIENTO	123
8.1.1 Requerimientos de energía.....	123
8.1.2 Modelo de transferencia de calor de la micro pasteurizadora	125
8.2 RESULTADOS	144
9. DISEÑO TÉRMICO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	147
9.1 REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO TÉRMICO	148
9.1.1 Carga a retirar.....	148
9.1.2 Tiempo de enfriamiento de la leche.....	149
9.2 TIPO DE SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	150
9.2.1 Sistema de termo acumulación	152
9.3 ANÁLISIS TERMODINÁMICO Y DE TRANSFERENCIA DE CALOR	153
9.3.1 Modelo utilizado.....	154
9.3.2 Resultados.....	165
9.3.3 Replanteamiento del ciclo	169
9.4 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.....	170
9.4.1 Refrigerante y ciclo termodinámico	170
9.4.2 Compresor	171
9.4.3 Condensador	175
9.4.4 Recibidor de líquido	175
9.4.5 Acumulador de succión.....	176
9.4.6 Filtro de refrigerante.....	177

9.4.7 Mirilla de refrigerante	177
9.4.8 Válvula de expansión térmica	178
9.4.9 Cálculo del evaporador	179
10. PRUEBAS DE DESEMPEÑO Y FUNCIONAMIENTO	183
10.1 PRUEBAS	183
10.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	199
11. VALIDACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS	201
11.1 FASE DE CALENTAMIENTO	201
11.2 FASE DE ENFRIAMIENTO.....	202
11.2.1 Agua para termo acumulación	202
11.2.2 Enfriamiento de la leche.....	203
12. ESTUDIO QUE PERMITE CORROBORAR LA EFECTIVA	206
PASTEURIZACIÓN DEL LOTE DE LECHE	
12.1 REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS DE FOSFATASA ALCALINA.....	206
12.1.1 Interpretación de resultados.....	211
12.2 PRUEBA MICROBIOLÓGICA.....	211
13. ANÁLISIS FINANCIERO	212
13.1 COSTOS ASOCIADOS AL PROYECTO DE INVERSIÓN	212

13.2 INGRESOS DEVENGADOS DE LA PRODUCCIÓN.....	215
13.3 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE LA INVERSIÓN	215
14. PERSPECTIVAS	219
15. CONCLUSIONES	221
16. RECOMENDACIONES.....	223
BIBLIOGRAFÍA.....	225
ANEXOS	228

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Regiones productoras de leche en Colombia.....	35
Figura 2. Producción de leche en Colombia.	36
Figura 3. Distribución de la cadena Láctea en Colombia.	39
Figura 4. Cadena de distribución de leche cruda en el territorio nacional.....	40
Figura 5. Cantina de 40 litros usada en distribución de leche cruda.	40
Figura 6. Flujo de la leche cruda para consumo directo humano o consumo en el Distrito Capital.	41
Figura 7. Métodos de almacenamiento y distribución de la leche cruda.	43
Figura 8. Diagrama Temperatura vs Tiempo para el proceso de pasteurización.	47
Figura 9. Organigrama entes gubernamentales que interviene en el sector lácteo del país.	53
Figura 10. Intercambiador de calor de placas para pasteurización HTST.	56
Figura 11. Recorrido de la leche por el intercambiador de placas en un proceso HTST.	58
Figura 12. Planta de tratamiento de leche para proceso UHT.....	59
Figura 13. Tanque para pasteurización en lotes.	61
Figura 14. Tanque con agitación.....	61
Figura 15. Conducción de calor en una pared compuesta.	64
Figura 16. Dimensiones para transferencia de calor en cilindro largo.	65
Figura 17. Potencia emisiva espectral vs Longitud de onda.....	67
Figura 18. Torre de enfriamiento de agua.....	69
Figura 19. Intercambiador de calor de dos corrientes.	70
Figura 20. Intercambiador de calor de flujo cruzado.	71
Figura 21. Condensadores enfriados por aire.	72

Figura 22. Intercambiador de calor de serpentín.....	72
Figura 23. Intercambiador de doble tubo.	73
Figura 24. Intercambiador de calor de coraza y tubos.	74
Figura 25. Intercambiador de calor de placas.	75
Figura 26. Recipiente enchaquetado con agitación mecánica.	76
Figura 27. Descripción general de la micro pasteurizadora.....	86
Figura 28. Sistema de recirculación para el calentamiento.	87
Figura 29. Sistema de recirculación para el enfriamiento.....	88
Figura 30. Distribución de todos los sistemas, vista trimétrica	90
Figura 31. Dimensiones de la base soporte.	95
Figura 32. Resultados CAE SolidWorks.....	95
Figura 33. Resultados cuantificables arrojados por el modelo del CAE.	96
Figura 34. Resultados deformaciones y valores del límite elástico del material.	96
Figura 35. Tipos de fondo para marmitas	97
Figura 36. Recipiente.....	98
Figura 37. Cuerpo y base de la marmita.	98
Figura 38. Tipos de cierre.	99
Figura 39. Diseño del tanque contenedor.	101
Figura 40. Dimensionamiento de la camisa de agua.....	103
Figura 41. Resultados SolidWorks 1.....	105
Figura 42. Resultados SolidWorks 2.....	105
Figura 43. Estudio de fatiga térmica Acero inoxidable 304.....	107
Figura 44. Tipos de agitadores y flujo que producen.....	110
Figura 45. Dimensiones estándar de los agitadores.	111
Figura 46. Numero de potencia vs Numero de Reynolds.....	113
Figura 47. Motor General Electric.	114
Figura 48. Reductor sin-fin corona.....	115
Figura 49. Tarjeta vareadora de velocidad.....	115
Figura 50. Plano de lógica cableada.	120

Figura 51. Controlador de temperatura para el calentamiento.	121
Figura 52. Temporizador para control de sostenimiento	122
Figura 53. Controlador de temperatura para el tanque de enfriamiento.	122
Figura 54. Modelo de transferencia de calor del sistema.	125
Figura 55. Variación de la temperatura de la leche $T_L(t)$ con el tiempo.....	144
Figura 56. Variación de la temperatura del agua $T_w(t)$ en la chaqueta con el tiempo.	145
Figura 57. Variación de la temperatura de la superficie exterior $T_s(t)$ con..... el tiempo.	145
Figura 58. Sistema de termo acumulación	153
Figura 59. Simulación de la etapa de enfriamiento del agua..... (Termo acumulación).	167
Figura 60. Simulación de la etapa de enfriamiento de la leche.	168
Figura 61. Ciclo completo de pasteurización de leche.	169
Figura 62. Diagrama de Molliere para ciclo de R22 saturado.....	171
Figura 63. Selección de compresor utilizando el Selection Program V3 de..... Tecumseh.	172
Figura 64. Características generales del compresor seleccionado.	173
Figura 65. Compresor del sistema de refrigeración.....	173
Figura 66. Condensador del sistema de refrigeración.....	175
Figura 67. Acumulador de líquido	176
Figura 68. Acumulador de succión.....	176
Figura 69. Filtro secador de refrigerante	177
Figura 70. Mirilla del refrigerante	178
Figura 71. Válvula de Expansión Térmica.....	179
Figura 72. Serpentín de3ntro de tanque para termo acumulación.....	183
Figura 73. Marmita.....	184
Figura 74. Unidad condensadora y Penta III	184
Figura 75. Tablero de control	185
Figura 76. Medidor de flujo de gas.....	186

Figura 77. Sensor de temperatura PENTA III.....	186
Figura 78. Distribución de los sensores en el volumen de líquido.	187
Figura 79. Gráfica Temperatura vs tiempo. Etapa de calentamiento.....	188
Figura 80. Gráfica de Temperatura vs tiempo. Etapa de retención.	188
Figura 81. Gráfica Temperatura vs tiempo. Etapa de enfriamiento.	189
Figura 82. Ciclo completo de pasteurización y enfriamiento.	189
Figura 83. Temperatura del agua de enfriamiento en la termo acumulación prueba 2.	190
Figura 84. Temperatura del agua fase de calentamiento prueba 2	191
Figura 85. Temperatura del agua fase de retención prueba 2	191
Figura 86. Temperatura del agua fase de enfriamiento prueba 2	192
Figura 87. Temperatura del agua ciclo completo prueba 2	192
Figura 88. Temperatura del agua en la fase de calentamiento prueba 3	194
Figura 89. Temperatura del agua en la fase de retención prueba 3	194
Figura 90. Temperatura del agua fase de enfriamiento prueba 3	195
Figura 91. Temperatura del agua en el ciclo completo prueba 3.....	195
Figura 92. Temperatura de la leche en la fase de calentamiento prueba 4	197
Figura 93. Temperatura de la leche en la fase de retención prueba 4	197
Figura 94. Temperatura de la leche fase de enfriamiento prueba 4	198
Figura 95. Temperatura de la leche en el ciclo completo prueba 4	198
Figura 96. Comparación de los resultados de la simulación con los datos experimentales para la fase de calentamiento.	201
Figura 97. Validación de resultados enfriamiento de tanque de agua prueba 2	202
Figura 98. Validación de resultados enfriamiento tanque de agua prueba 3	203
Figura 99. Validación de resultados enfriamiento de leche prueba 2	204
Figura 100. Validación resultados enfriamiento de leche prueba 3	204
Figura 101. Kit de pruebas para la detección de Fosfatasa Alcalina en la leche.	206
Figura 102. Leche cruda fresca antes de ser procesada	207

Figura 103. Leche pasteurizada UHT encontrada en el mercado.	207
Figura 104. Leche cruda pasteurizada en la micro pasteurizadora	207
Figura 105. Mezcla de leche contaminada para control positivo	208
Figura 106. Baño termostático para sostener la temperatura de las muestras.	208
Figura 107. Resultado para leche cruda antes de procesar	209
Figura 108. Resultado Control negativo y positivo para leche pasteurizada UHT encontrada en el mercado	210
Figura 109. Resultado control negativo y positivo para leche pasteurizada en la micro pasteurizado.	210

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características microbiológicas de la leche pasteurizada.	48
Tabla 2. Enfermedades relacionadas con el consumo de leche cruda 1993-2006.	55
Tabla 3. Requerimientos del usuario y consideraciones para el diseño de ingeniería.	78
Tabla 4. Condiciones para el diseño y algunas propiedad.....	80
Tabla 5. Especificaciones de la micro pasteurizadora de leche.....	84
Tabla 6. Dimensiones geométricas del tanque que contiene la leche.	102
Tabla 7. Dimensiones geométricas del tanque que contiene el agua.....	104
Tabla 8. Características del motor.	114
Tabla 9. Configuración del sistema de control.	119
Tabla 10. Datos para el problema del calentamiento.	123
Tabla 11. Crecimiento de microorganismos en función del tiempo y tipo de enfriamiento.	147
Tabla 12. Requerimientos para el diseño térmico.	148
Tabla 13. Horario para venta de leche pasteurizada.....	149
Tabla 14. Resultados de la simulación para el primer proceso.	166
Tabla 15. Comportamiento de la capacidad en función de las T_{evap} y T_{cond} .	174
Tabla 16. Condiciones ambientales de San Agustín y Bucaramanga.	183
Tabla 17. Datos del gas para cálculo de eficiencia de calentamiento prueba 2.	193
Tabla 18. Datos del agua para cálculo de eficiencia de calentamiento prueba 2.	193
Tabla 19. Datos del gas para cálculo de eficiencia de calentamiento prueba 3.	196

Tabla 20. Datos del agua para cálculo de eficiencia de calentamiento prueba 3.	196
Tabla 21. Datos del gas para cálculo de eficiencia de calentamiento prueba 4.	199
Tabla 22. Datos de la leche para cálculo de eficiencia de calentamiento prueba 4.	199
Tabla 23. Costo de la inversión inicial.....	212
Tabla 24. Costos operativos de electricidad.....	214
Tabla 25. Costos operativos de consumo de gas.	214
Tabla 26. Costos asociados al mantenimiento.....	214
Tabla 27. Costos del salario del operario que trabaje la máquina.....	214
Tabla 28. Costos de materia prima.	215
Tabla 29. Ingresos de la micro pasteurizadora para un precio de venta de \$1750.	215
Tabla 30. Ingresos de la micro pasteurizadora para un precio de venta de \$1700.	215
Tabla 31. Ingresos de la micro pasteurizadora para un precio de venta de \$1600.	215
Tabla 32. Resultado del VPN para el escenario 1 (una bacheada diaria)	217
Tabla 33. Resultado del VPN para el escenario 2 (dos bacheadas diarias)	217
Tabla 34. Resultado del VPN para el escenario 3 (tres bacheadas diarias).....	217

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. PODER CALORÍFICO PARA ALGUNOS COMBUSTIBLES	229
ANEXO B. CALOR ESPECÍFICO A PRESIÓN CONSTANTE DE ALGUNAS SUSTANCIAS GASEOSAS.	230
ANEXO C. CURVA DE TRANSFERENCIA DE CALOR LADO DE TUBOS.	231
ANEXO D. PESO TEÓRICO DE LÁMINAS DE ACERO INOXIDABLE.....	232
ANEXO E. PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL AGUA.....	233
ANEXO F. ESPECIFICACIONES DE LA BOMBA.....	234
ANEXO G. ESPECIFICACIONES COMPRESOR UNIDAD CONDENSADORA.	236
ANEXO H. ESPECIFICACIONES PIROMETRO AUTONICS	239
ANEXO I. ESPECIFICACIONES CONTROLADOR DE TEMPERATURA DE ENFRIAMIENTO	240
ANEXO J. PLANOS DE DISEÑO	241
ANEXO K. RESULTADOS PRUEBA MICROBIOLÓGICA	246

GLOSARIO

CÁMARA FRIGORÍFICA: Entiéndase por cámara frigorífica el área destinada para el almacenamiento de leche higienizada envasada cuando esta lo requiera, a temperatura de $4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

ESTABLECIMIENTO: Las plantas de enfriamiento o centrales de recolección de leche, plantas de procesamiento de leche, locales destinados al almacenamiento y comercialización de leche higienizada.

HATO: Sitio destinado principalmente a la explotación y ordeño de animales destinados a la producción lechera.

LECHE: Es el producto de la secreción mamaria normal de animales bovinos, bufalinos y caprinos lecheros sanos, obtenida mediante uno o más ordeños completos, sin ningún tipo de adición.

LECHE CRUDA: Leche que no ha sido sometida a ningún tipo de termización ni higienización.

LECHE HIGIENIZADA: Es el producto obtenido al someter la leche cruda o la leche termizada a un proceso de pasteurización, ultra-alta-temperatura (UAT, UHT, ultra pasteurización), esterilización para reducir la cantidad de microorganismos, u otros tratamientos que garanticen productos inocuos microbiológicamente.

LECHE PASTEURIZADA: Es el producto obtenido al someter la leche cruda, termizada o re combinada a una adecuada relación de temperatura y tiempo para destruir su flora patógena y la casi totalidad de flora banal, sin alterar de manera esencial ni su valor nutritivo ni sus características fisicoquímicas y organolépticas.

Las condiciones mínimas de pasteurización son aquellas que tiene efectos bactericidas equivalentes al calentamiento de cada partícula a 72°C - 76°C por 15 segundos (pasteurización de flujo continuo) o 61 °C a 63° C por 30 minutos (pasteurización discontinua).

LECHE TERMIZADA: Producto obtenido al someter la leche cruda a un tratamiento térmico con el objeto de reducir el número de microorganismos presentes en la leche y permitir un almacenamiento más prolongado antes de someterla a elaboración ulterior.

LECHE ULTRAPASTEURIZADA: Es el producto obtenido mediante un proceso térmico en flujo continuo llamado Ultra-pasteurización, que es aplicado a la leche cruda o termizada en una combinación de temperatura entre 135 ° C a 150 ° C durante un tiempo de 2 a 4 segundos, seguido inmediatamente de enfriamiento hasta la temperatura de refrigeración y envasado en condiciones de alta higiene, en recipientes previamente higienizados y cerrados herméticamente, de tal manera que se asegure la inocuidad microbiológica del producto sin alterar de manera esencial ni su valor nutritivo, ni sus características fisicoquímicas y organolépticas, la cual deberá ser comercializada bajo condiciones de refrigeración.

LECHE ULTRA - ALTATEMPERATURA UAT (UHT) LECHE LARGA VIDA: Es el producto obtenido mediante proceso térmico en flujo continuo, aplicado a la leche cruda o termizada a una temperatura entre 135 °C a 150 °C y tiempos entre 2 y 4 segundos, de tal forma que se compruebe la destrucción eficaz de las esporas bacterianas resistentes al calor, seguido inmediatamente de enfriamiento a temperatura ambiente y envasado aséptico en recipientes estériles con barreras a la luz y al oxígeno, cerrados herméticamente, para su posterior almacenamiento, con el fin de que se asegure la esterilidad comercial sin alterar de manera esencial

ni su valor nutritivo ni sus características fisicoquímicas y organolépticas, la cual puede ser comercializada a temperatura ambiente.

PLANTA DE ENFRIAMIENTO O CENTRO DE ACOPIO DE LECHE:

Establecimiento destinado a la recolección de la leche procedente de los hatos, con el fin de someterla a proceso de enfriamiento y posterior transporte a las plantas para procesamiento de leche.

PLANTA PARA HIGIENIZACIÓN: Es el establecimiento industrial, destinado al enfriamiento, higienización y envasado de la leche con destino al consumo humano.

PLANTA PARA PROCESAMIENTO DE LECHE: Es el establecimientos en el cual se modifica o transforma la leche para hacerla apta para consumo humano, que incluye las plantas para higienización, para pulverización u obtención de leche como materia prima para elaboración de derivados lácteos.

PRODUCTO INOCUO: Aquel que no presenta riesgo físico, químico o biológico y que es apto para consumo humano.

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MICRO PASTEURIZADORA TIPO BATCH*

AUTORES: JUANPABLO CALDERÓN REMOLINA
HUGO ARMANDO DIAZ TOLOZA**

Palabras Claves: Pasteurizadora, Batch, LTLT, leche, termo acumulación, marmita, sector lechero, pequeño ganadero.

La cadena lechera en Colombia representa una de las actividades económicas más importantes del país debido a la gran cantidad de leche que se produce diariamente. La gran mayoría de esta cadena, se dedica a la comercialización de leche cruda para su consumo directo, que a pesar de estar regulada por los decretos 616 de 2006 y 1880 de 2011, no deja de ser un riesgo para la salud del consumidor debido a los agentes patógenos presentes en el alimento sin tratar térmicamente.

El objetivo de este proyecto es brindar una solución al sector lechero mediante el diseño y la construcción de un sistema de pasteurización de leche que esté al alcance del pequeño ganadero, contribuyendo así a la tecnificación de sus procesos y a la eliminación de los agentes patógenos del alimento, lo que implica una reducción del riesgo para el consumo humano y una mejora en la economía del mismo productor.

El desarrollo del prototipo de pasteurizadora se realizó para utilizar tecnología LTLT, pasteurizando la leche a bajas temperaturas y tiempos cortos mediante un sistema Batch. El sistema cumple con la norma norteamericana PMO para pasteurizadoras, además de seguir los requerimientos de las Normas Técnicas Colombianas NTC aplicables a los equipos de cocción para uso comercial que funcionen con gas y cumple con los requisitos generales de seguridad para artefactos a gas de uso doméstico o comercial y su instalación.

El sistema realiza la correcta pasteurización de 60 litros de leche cruda por proceso, con una eficiencia mayor al 55%. Además del proceso de inocuidad, incluye un proceso de enfriamiento para conservar el alimento libre de microorganismos dañinos y también un control automático para el manejo de las temperaturas.

*Proyecto de grado.

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director Ing. Julián Ernesto Jaramillo.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND CONSTRUCTION OF A PROTOTYPE OF MICRO PASTEURIZER BATCH TYPE *

AUTHORS: JUANPABLO CALDERON REMOLINA
HUGO ARMANDO DIAZ TOLOZA **

Keywords: Pasteurizer, Batch, LTLT, milk, heat accumulation, kettle, dairy farming, small livestock.

The dairy chain in Colombia is one of the most important economic activities of the country due to the large amount of milk produced daily. The vast majority of this chain, is dedicated to the marketing of raw milk for direct consumption, that despite being governed by decrees 616 (2006) and 1880 (2011), involves a risk to consumer health due to pathogens present in the thermally untreated food.

The objective of this project is to provide a solution to the dairy sector by designing and building a milk pasteurization system within the reach of small livestock, thus contributing to the modernization of their processes and the elimination of food pathogens, which implies a reduction in risk for human consumption and an improvement in the economy of the same producer.

The development of the prototype was made to use LTLT technology, to pasteurize milk at low temperature and short time using a batch system. The system meets the American standard PMO for pasteurizing, besides following the requirements of the NTC Colombian Technical Standards applicable to commercial cooking equipment that run on gas use and meets the general safety requirements for gas appliances for household use or commercial installation.

The system performs the correct pasteurization of 60 liters of raw milk per process, with greater efficiency to 55%. Besides the sanitation process, it includes a cooling process to preserve food free of harmful microorganisms and also automatic control for handling temperatures.

*Degree Project.

**Faculty of Physics-Mechanic Engineering. School of Mechanical Engineering. Director Ing. Julián Ernesto Jaramillo.

INTRODUCCIÓN

El sector lácteo en Colombia ha experimentado un importante crecimiento en los últimos años, situando actualmente al país entre los primeros con mayor producción de leche a nivel latinoamericano¹. Por este motivo, las grandes industrias lecheras del mundo han invertido en el país, y éstas junto con las grandes lecheras colombianas, han aumentado y mejorado el mercado de la leche pasteurizada, proveyendo al país de un producto limpio y apto para el consumo humano.

Una de las cuestiones desfavorables del tema de la macro producción hace referencia a los altos precios que se tienen en el mercado para acceder a un producto limpio y pasteurizado libre de agentes dañinos para las personas. Este hecho sumado al gran tamaño del sector de pequeños productores que deben vender su producido a bajos precios por tratarse de leche cruda, justifican el motivo por el cual desde hace varios años se tiene en el país un sistema informal de producción y distribución de leche cruda por parte de ciudadanos del común que no tienen las tecnologías ni los procesos certificados para que puedan realizar la comercialización de un producto en óptimas condiciones para el consumo humano.

El principal problema que trae el consumo de leche cruda, es la posibilidad de contraer enfermedades, puesto que éste alimento contiene gran cantidad de agentes microbiológicos como los del género estreptococo y lactobacilos (Casei, Acidophilus, Helveticus, Bulgaricus, Brevis, etc.²) que causan enfermedades a las personas que lo ingieran.

¹ ESPINAL G. Carlos; MARTINEZ COVALEDA. Héctor y GONZALES RODRÍGUEZ, Fredy. La Cadena de Lácteos en Colombia Una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Bogotá, 2005. p. 5.

² GARCÍA G. Ofelia, OCHOA M. Isabel. SENA. Microorganismos Útiles y perjudiciales de la leche. Bloque modular 2. Manejo de Leche. Bogotá D.C. 1987. 21 p.

Con este proyecto de grado se plantea y valida una alternativa sencilla y económica para el tratamiento de la leche cruda, mediante el diseño y la construcción de un prototipo de micro pasteurizadora tipo Batch.

A través de la construcción de la micro pasteurizadora se pretende colaborar con el sector de pequeños productores lecheros por medio del desarrollo de una máquina pasteurizadora con tecnología LTLT (Low Temperature/ Long Time), que entrará directamente al sector productor de leche, principalmente enfocado a los comercializadores de leche cruda en el país que cuentan con medios artesanales y que no realizan ningún tipo de tratamiento a la leche que les pueda contribuir a la conservación del alimento por más tiempo, y a la reducción de los agentes patógenos presentes en ella.

La micro pasteurizadora ofrece al consumidor además de la posibilidad de procesar la leche recién ordeñada, un producto libre de la gran mayoría de microorganismos que contribuyen a la infección alimentaria. De esta manera se mantiene la buena salud de los consumidores, puesto que se entrega un producto mejor elaborado y con condiciones de riesgo infeccioso menor a través del proceso de la pasteurización.

En la primera parte de este documento se muestra el contexto de la problemática en el marco social y económico de la industria lechera en Colombia. Se mencionan los procesos llevados a cabo por la macro industria lechera, y se comparan éstos con la intervención del sector informal (Capítulos 1 y 2). Además se realiza un breve recorrido a través de los procedimientos presentes en el proceso de la pasteurización y los aspectos generales de la transferencia de calor (Capítulos 3 y 4). Allí también se mencionan los principales sistemas utilizados en este tipo de proceso.

En la segunda parte de este documento se presenta el proceso de desarrollo del diseño del prototipo junto con su construcción. Con los requerimientos generales de diseño (Capítulo 5) se prosigue a diseñar el sistema de manera general (Capítulo 6), para posteriormente realizar el diseño de detalle o diseño de ingeniería (Capítulo 7). Esta parte concluye con los capítulos 10 y 11, en donde se expone la realización y validación correspondiente de las pruebas efectuadas en los sistemas utilizados.

Finalmente se expone el enfoque a largo plazo de este proyecto de grado. En la parte final se menciona una perspectiva en la cual se le da continuidad al uso del sistema de pasteurización tipo Batch.

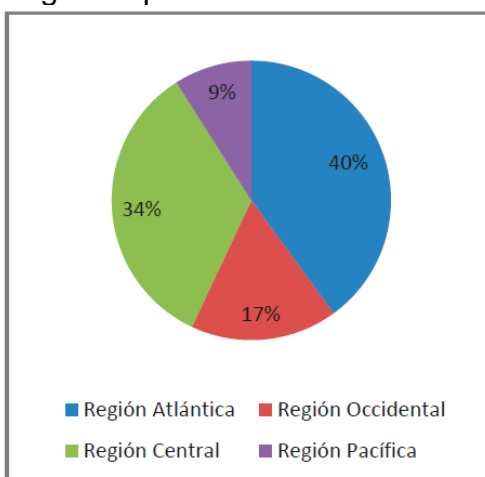
Con el cumplimiento de los objetivos que se plantearon para este proyecto de grado se contribuye con la misión de la Universidad Industrial de Santander mediante la participación activa liderando procesos de cambio y mejorando la calidad de vida de la comunidad, a través del diseño y la construcción de un prototipo de micro pasteurizadora que ayudará a mitigar la proliferación de enfermedades infecciosas alimentarias asociadas al consumo de leche, además de contribuir con el desarrollo del sector de pequeños productores de leche del país.

1. CONTEXTUALIZACIÓN SOCIAL Y ECONÓMICA DE LA INDUSTRIA LECHERA EN COLOMBIA

1.1 INICIOS DE LA CADENA LECHERA EN COLOMBIA.

A partir de finales del siglo XIX ingresan al país una cantidad masiva de razas de ganado especializado en la producción de leche; razas como Holstein o Ayrshire traídas desde Europa y Norte América fueron radicadas en regiones del país de clima frío, gracias a la mejor adaptación de los animales a los ambientes presentes en esas regiones. Actualmente la producción lechera se ha establecido en 5 regiones comprendidas por: Región occidental (comprendida por los departamentos de Antioquia, Caquetá, Huila, Quindío, Caldas y Risaralda), Región Central (Cundinamarca, Boyacá, Meta y Santanderes), Región Pacífica (Valle del Cauca, Nariño, Cauca y alto Putumayo) y Región Atlántica (Cesar, Magdalena, Córdoba, Atlántico, Guajira, Sucre y Bolívar). Estas regiones son los actuales focos principales de la cadena lechera del país, desde donde se produce, procesa y transporta el alimento a los diferentes departamentos del país e incluso como exportación a los países vecinos.³

Figura 1. Regiones productoras de leche en Colombia.



Fuente: SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO. Cadena productiva de la leche en Colombia.

³ ESPINAL G. Carlos; MARTINEZ COVALEDA. Héctor y GONZALES RODRÍGUEZ, Fredy. La Cadena de Lácteos en Colombia Una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Bogotá, 2005. p. 8.

Figura 2. Producción de leche en Colombia.



Fuente: Ministerio de Agricultura

1.2 PRINCIPALES LÍDERES DEL PROCESAMIENTO DE LECHE EN COLOMBIA

En el país destacan en el procesamiento de leche cooperativas como COLANTA, COOLECHERA, CILEDCO, COOLESAR, COLÁCTEORS, COAHUILA, afiliados a entes como FEDECOLECHE. Otras empresas líderes en este sector presentes en diferentes partes del país son PROLECHE, ALQUERÍA, ALIVAL, ANDINA, COLPURACÉ, entre otros, cada uno con varios centros de acopio que recogen entre 15.000 y 100.000 litros de leche diarios.⁴ También intervienen en el sector de producción y procesamiento de leche multinacionales como PARMALAT, ALPINA, ALGARRA y NESTLÉ, entre otros. Todas estas empresas producen el alimento con altos estándares de calidad y procesos altamente tecnificados.

⁴ ESPINAL G. Carlos; MARTINEZ COVALEDA. Héctor y GONZALES RODRÍGUEZ, Fredy. La Cadena de Lácteos en Colombia Una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Bogotá, 2005. p. 15.

1.2.1 Procesos de producción y transformación.

Los procesos de producción debidamente tecnificados que realizan las grandes pasteurizadoras, comienzan con el ordeño mismo del ganado, el cual generalmente se hace mediante una rutina de ordeño con sistemas automatizados y realizados en los diferentes predios que venden su producto a las grandes lecheras. Inicialmente se debe realizar una prueba organoléptica del alimento, en donde se observe a simple vista que no contenga un tono muy amarillento, ni que se perciban olores extraños. Esta prueba se realiza sacando una muestra del ordeño en un recipiente de vidrio transparente para facilitar la visualización de la leche. Una vez realizadas las pruebas iniciales a la leche, ésta es llevada a contenedores de enfriamiento para su posterior transporte mediante camiones cisterna hasta las plantas de procesamiento. Cuando la leche ingresa a la planta, es recibida por una prueba física más exhaustiva, que consiste en corroborar su sabor, textura, olor y color, para comprobar la calidad del producto base y permitir la descarga del producto dentro de las instalaciones de la fábrica. Una vez dentro de la fábrica es llevada a los silos de homogeneización para mejorar el procesamiento ya que con esto se logra una estabilidad entre los elementos líquidos y las partículas de grasa de la misma. Posteriormente la leche pasa por las centrifugas desnatadoras en donde se elimina el contenido de grasa del alimento para posteriormente ser llevado a la pasteurizadora, en donde se eleva la temperatura hasta 72°C por un tiempo de 15 segundos. Para conservar la inocuidad de la leche, es necesario seguir con un proceso de enfriamiento cuyo fin es bajar la temperatura del alimento hasta un rango de 4°C - 6°C. Posteriormente, es llevada hasta los contenedores de enfriamiento para ser transportados al proceso de Ultra-pasteurización, en donde se realiza un tratamiento térmico similar al de la pasteurización, pero con temperaturas más elevadas (140°C) y durante tiempos más cortos (3 segundos).

1.2.2 Procesos de distribución.

En los procesos altamente tecnificados que emplean las grandes pasteurizadoras, una vez la leche se tiene pasteurizada o Ultra-pasteurizada es llevada a las máquinas empacadoras, en las cuales mediante recipientes de polietileno, Tetra pack o algún otro material que asegure la inocuidad y la esterilidad del producto, se envasa la leche y se sella herméticamente, lista para el transporte hasta los centros de venta, en donde son entregados al consumidor en presentaciones de bolsa o caja de hasta 1500 ml.

1.3 INTERVENCIÓN DEL SECTOR INFORMAL EN LA INDUSTRIA LECHERA COLOMBIANA.

El sector de la mediana y pequeña industria lechera en Colombia, está representada por la Asociación de Industriales de la Leche, Asoleche, y la Asociación de Procesadores Independientes⁵. Estas asociaciones reúnen la gran cantidad de pequeños productores de leche y tienen por objetivo facilitar el camino de esta parte del sector lechero hacia la competitividad y el mejoramiento de los procesos llevados a cabo por estas pequeñas industrias. Sin embargo una gran parte del gremio lleva a cabo la producción y distribución de la leche cruda de manera informal.

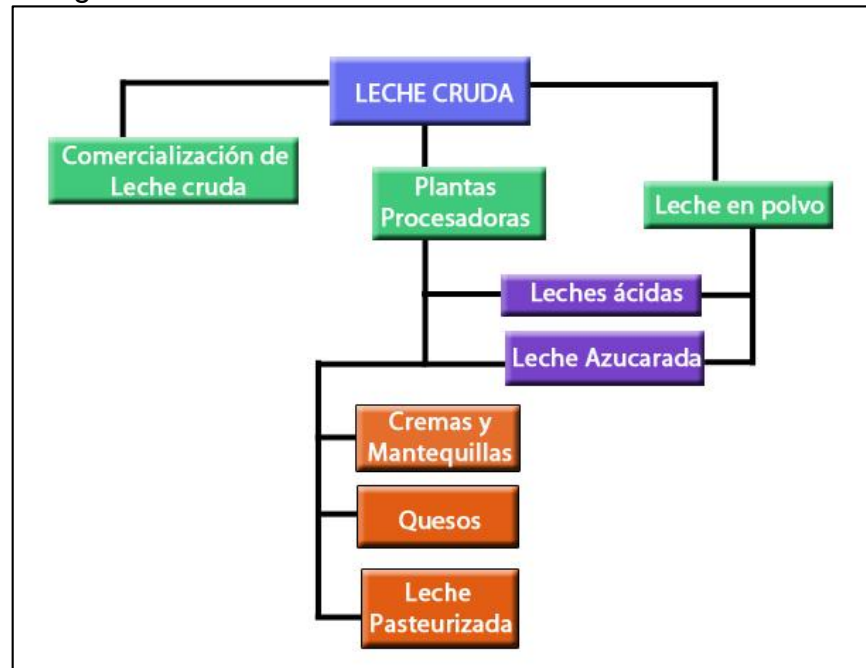
La cadena de producción de la leche (Ver Figura 3.) va desde la obtención de la leche cruda en los hatos y el posterior transporte ya sea hacia la industria procesadora de lácteos o directamente al consumo como leche cruda⁶ en algunas regiones del país.

⁵ ESPINAL G. Carlos; MARTINEZ COVALEDA. Héctor y GONZALES RODRÍGUEZ, Fredy. La Cadena de Lácteos en Colombia Una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Bogotá, 2005. p. 13.

⁶ En el Decreto 1880 de 2011 se denomina leche cruda como aquella “que no ha sido sometida a ningún tipo de termización ni de higienización”.

De la producción anual de leche en Colombia, el 59 % se comercializa en el mercado de la leche cruda, y el 41% se va a la industria láctea para su posterior procesado⁷, esta cifra expresa que es determinante la cantidad de leche cruda que se comercializa y que va directo a ser parte del menú de los hogares colombianos.

Figura 3. Distribución de la cadena Láctea en Colombia.

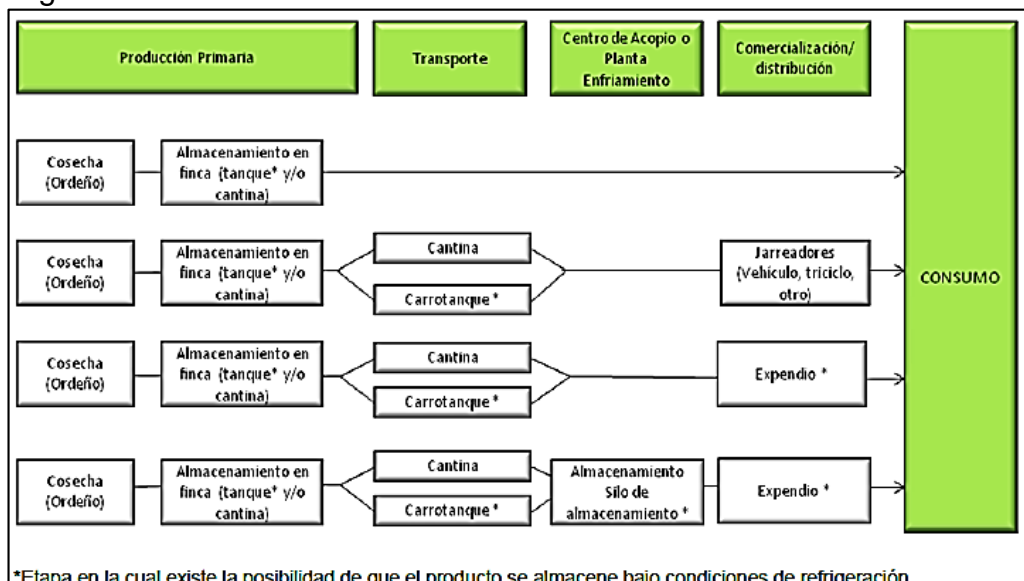


1.3.1 Proceso de adecuación del producto.

El proceso de adecuación de la leche llevada a cabo de manera informal, no contiene elementos tecnificados, puesto que el ordeño se hace a mano con las condiciones higiénicas básicas. No se realiza una adecuación sobre la leche que represente un cambio en las propiedades fisicoquímicas de la leche, ya que los procesos realizados únicamente incluyen un enfriamiento del producto para ser conservado para su posterior distribución.

⁷ COLOMBIA. MINISTERIO DE PROTECCIÓN SOCIAL. Decreto Número 1880 del 2011. Por el cual se señalan los requisitos para la comercialización de leche cruda para consumo humano directo en el territorio nacional. Bogotá, D.C., 2011. 9 p.

Figura 4. Cadena de distribución de leche cruda en el territorio nacional.



Fuente: Ministerio de la protección social-Instituto Nacional de salud.

1.3.2 Distribución de la leche cruda.

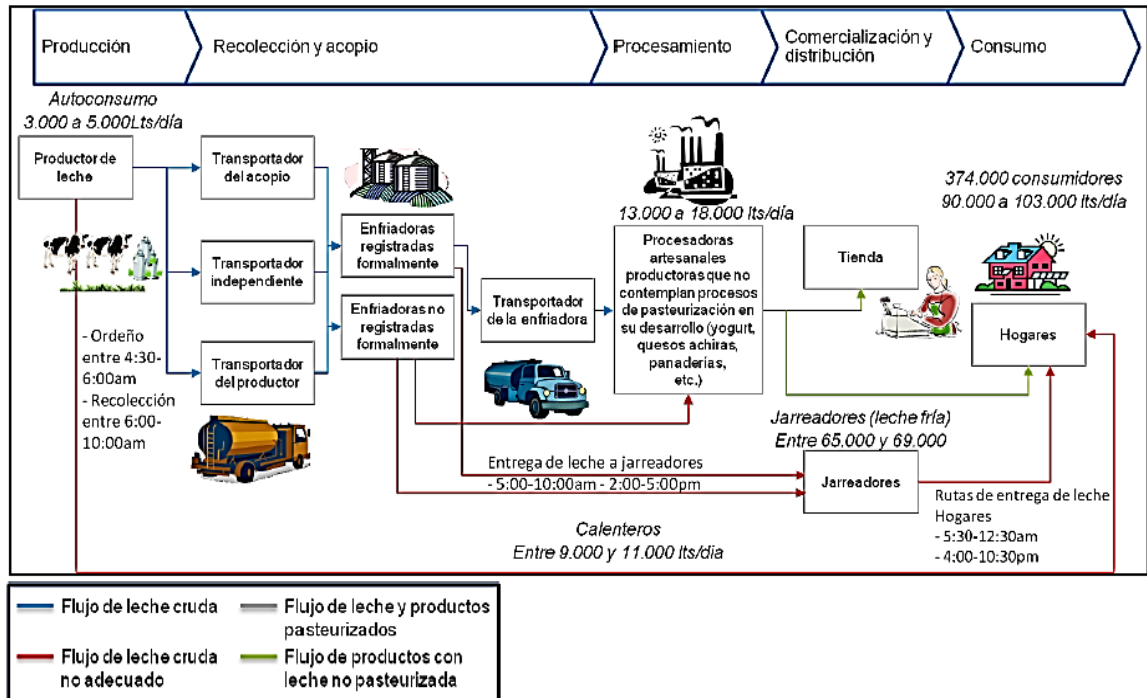
En el proceso de distribución, los vendedores de leche cruda se dirigen en primera instancia al centro de acopio. Allí se tiene la leche dentro de cantinas sumergidas en un tanque lleno de agua fría para permitir el enfriamiento del alimento. Esta leche es llevada en las mismas cantinas hasta los consumidores, utilizando transportes no especializados que incumplen con las respectivas normas sanitarias para el transporte de alimentos.

Figura 5. Cantina de 40 litros usada en distribución de leche cruda.



Fuente: <http://www.lactogan.com/#!/product/prd1/1062848791/cantinas-de-leche>.

Figura 6. Flujo de la leche cruda para consumo directo humano o consumo en el Distrito Capital



Fuente: El estudio. Convenio 203 de 2009, Secretaria de Desarrollo Económico y Fundación Alpina. 2009.

1.3.3 Controles sanitarios al producto.

Los controles sanitarios en los procesos informales, son mencionados por el decreto 1880 de 2011, en donde se trata de regular este tipo de distribución. Sin embargo, la calidad e inocuidad del alimento depende de la salud y calidad del ganado del que se extrae el producto, puesto que al no presentarse un proceso de higienización, cualquier presencia de agente patógeno en la leche, sería directamente asimilada por el organismo de las personas que consuman la leche cruda, lo que traería problemas de salud importantes e incluso la muerte.

1.4 COMPARACIÓN ENTRE EL PRECIO DEL PRODUCTO CON Y SIN HIGIENIZAR.

El costo por litro de leche es uno de los factores más decisivos en el consumo de leche cruda. Mientras que para un litro de leche higienizada se debe pagar cerca

de \$2.300, para consumir un litro de leche cruda tan sólo cuesta alrededor de \$1.700 y alcanza valores mínimos de hasta \$500⁸. Cabe resaltar que a pesar que el litro de leche higienizado, entregado por parte de las grandes lecheras tiene un costo elevado, el productor primario recibe únicamente un pequeño porcentaje de ese precio (valor cercano a \$800 pesos para leche cruda “de calidad” con los contenidos proteínicos y microbiológicos reglamentados por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo⁹), el cual comparado con el precio de un litro de leche cruda puesto en venta, presenta una pobre utilidad y por lo tanto de no tener un proceso tecnificado con un lote de ganado grande, se hace casi que obligatoria la venta de la leche sin higienizar.

1.5 DIAGNÓSTICO DEL SECTOR

Una vez recopilada la información referente a las prácticas relacionadas con la leche, se puede llegar a las siguientes conclusiones que permiten realizar el diagnóstico del sector lechero en el país:

- Existe un número importante de pequeños productores de leche en el país que no cuentan con más de 20-25 bovinos en sus hatos¹⁰. Estos productores pueden ser beneficiados con la implementación del sistema de pasteurización en lotes, ya que no sería rentable establecer un sistema continuo de tratamiento térmico para el alimento, pues el volumen del mismo no es el suficiente para que este tipo de pasteurización se pueda dar de manera eficiente y rentable.

⁸ Los precios son estimados dependiendo de la zona en donde se distribuya la leche cruda. Municipios como Charta (Santander) comercializa leche cruda desde \$500 pesos por litro.

⁹ COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO. Resolución 000017 de 2012. Por la cual se establece el sistema de pago de la Leche Cruda al Proveedor. Bogotá, D.C., 2012. 12 p.

¹⁰ COLOMBIA. SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO. Cadena productiva de la leche en Colombia: diagnóstico de libre competencia 2010-2011. 6 p.

- Existe una problemática directamente relacionada con el pago por litro por parte de las grandes lecheras a los pequeños productores, ya que éstos no reciben una remuneración que esté acorde al precio de venta del alimento una vez pasteurizado. Es decir, la materia prima tiene un muy bajo porcentaje de precio comparado con el valor del alimento ya tratado térmicamente.
- El transporte de la leche cruda se hace de manera muy artesanal y en algunos casos de forma anti higiénica (no se tiene un recipiente individual para cada litro), por lo cual se hace necesaria la implementación del sistema de higienización y conservación del alimento que permita cumplir a cabalidad las normativas relacionadas a este tema del país.

Figura 7. Métodos de almacenamiento y distribución de la leche cruda.



- El mercado de la leche cruda está conformado generalmente por 3 personas: Un productor y dos intermediarios quienes son los encargados de mantener el negocio de la leche cruda. El productor se encarga de obtener el alimento, el primer intermediario se encarga de comprar el alimento al productor desde las zonas rurales, y posteriormente lo transporta hasta los centros de acopio dentro de la ciudad. Allí es tomado por el tercer intermediario, quien mediante un

transporte motorizado distribuye el alimento hasta los hogares de las personas que finalmente lo consumen.

- El “litro” que generalmente se recibe por parte de los expendedores de leche cruda está alrededor de los 750 ml - 900 ml. Este margen de diferencia comparado con los 1000 ml es un factor importante para los últimos intermediarios del mercado de la leche cruda, pues de ésta diferencia resulta el mayor porcentaje de las ganancias obtenidas.
- La venta del yogurt sin pasteurizar se ha convertido en la segunda práctica más común en el mercado de la leche cruda. De manera artesanal se realiza la producción de yogurt y la distribución de este alimento se acostumbra a hacer puerta a puerta dentro de recipientes plásticos individuales y estériles.

2. CONTEXTUALIZACIÓN DE LA POLÍTICA NACIONAL

2.1 NORMATIVA LEGAL COLOMBIANA.

La legislación colombiana referente a todo lo relacionado con la leche, tiene una particularidad en con respecto a los demás países de Latinoamérica. Sucede que en Colombia, más del 50% de la leche se distribuye sin ningún tipo de tratamiento¹¹, es decir, la mayor parte del mercado de leche en el país está conformada por la comercialización de leche cruda. Por tal motivo, las leyes de Colombia han tenido que intervenir en muchos casos para poder regular estas prácticas, en primera instancia por el riesgo que pudiera traer el consumo de leche cruda, y además por una sana competencia entre las empresas que sí procesan este alimento.

Desde le década de los noventas varios entes internacionales de salud y de comercio, solicitaban a los países a que llevaran un control sobre ciertos alimentos que podrían ser dañinos para la salud de las personas. La leche cruda era considerada como un alimento de especial cuidado, y por lo tanto en Colombia, haciendo caso a estas sugerencias se decretó desde el año de 1997 en el Decreto 3075¹² denominar a la leche cruda como alimento de riesgo para la salud pública. Posteriormente a ello, se inició toda una línea de leyes enfocadas en la leche y los demás derivados lácteos.

¹¹ EN VÍA LÁCTEA EL CAMINO DE LA LECHE EN COLOMBIA (junio 18- Diciembre 15, 2013: Bogotá, Colombia). Documento informativo. p. 2. Disponible en internet: <http://minka-dev.com/sites/default/files/resumen_en_via_lactea_0.pdf>

¹² COLOMBIA. EI PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. Decreto Número 3075 de 1997. Por la cual se reglamenta parcialmente la Ley 9 de 1979 y se dictan otras disposiciones. Bogotá, D.C., 1997.

2.1.1 Decreto 616 de 2006

En el Decreto 616 de 2006¹³ se establece el reglamento técnico en el cual se señalan los requisitos que deben ser tenidos en cuenta para la comercialización de leche de animales bovinos, bufalinos y caprinos destinada al consumo humano. Todo este reglamento se hace con el fin de salvaguardar la vida, la salud y la seguridad de las personas que consuman este alimento.

Posterior a este Decreto, aparecen las modificaciones del mismo, como por ejemplo el Decreto 2838 de 2006, Decreto 2964 de 2008 y Decreto 3411 de 2008. En estas modificaciones, se establecen cambios en los procesos y requerimientos, pero no es sino hasta el año 2011 con el decreto 1880, en donde se establece que la comercialización de la leche cruda para el consumo humano directo es legal.

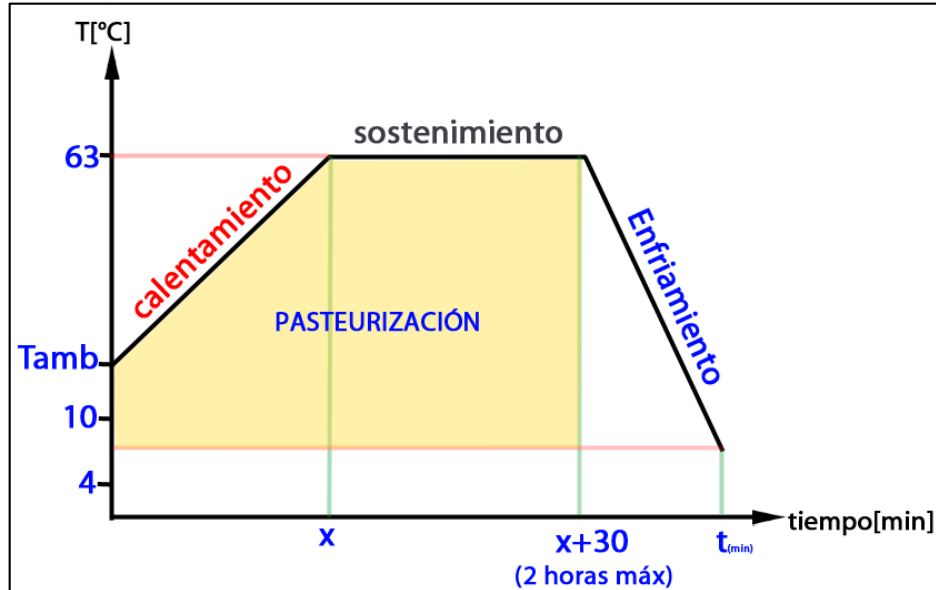
Los aspectos más relevantes del decreto 616 de 2006 serán nombrados a continuación.

2.1.1.1 Leche pasteurizada y proceso de Pasteurización.

Se define Leche Pasteurizada como el producto obtenido al someter la leche cruda, termizada o recombinada a una adecuada relación de temperatura y tiempo para destruir su flora patógena y la casi totalidad de flora banal, sin alterar de manera esencial ni su valor nutritivo ni sus características fisicoquímicas y organolépticas. Las condiciones mínimas de pasteurización son aquellas que tiene efectos bactericidas equivalentes al calentamiento de cada partícula a 72°C - 76°C por 15 segundos (pasteurización de flujo continuo) o 61°C a 63°C por 30 minutos (pasteurización discontinua) seguido de enfriamiento inmediato hasta temperatura de refrigeración para conservar la inocuidad del alimento.

¹³ COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. Decreto Número 616 de 2006. Por el cual se expide el Reglamento Técnico sobre los requisitos que debe cumplir la leche para el consumo humano que se obtenga, procese, envase, transporte, comercializa, expendia, importe o exporte en el país. Bogotá, D.C., 2006. 41 p.

Figura 8. Diagrama Temperatura vs Tiempo para el proceso de pasteurización.



2.1.1.2 Los hatos.

Los hatos deben cumplir a cabalidad una normativa estricta en cuanto a infraestructura, con sitios o áreas exclusivas para el ordeño, agua abundante, bodegas de almacenamiento, etc. Además se deben poseer utensilios y equipos con requisitos como fabricación de los mismos en materiales resistentes al uso y la corrosión, superficies lisas, cambios de geometría suaves. También se establece el uso de medicamentos veterinarios y buenas prácticas en la alimentación animal, para influir en la calidad final de la leche.

2.1.1.3 El personal de ordeño.

El personal de ordeño debe poseer un certificado médico que reconozca su aptitud para manipular alimentos. Debe además usar ropa adecuada y siempre antes de iniciar las operaciones de ordeño o manipulación de la leche, debe lavarse y desinfectarse las manos y antebrazos.

2.1.1.4 Plantas de enfriamiento.

La leche recién ordeñada debe llevarse a una temperatura no mayor a 4°C, o entregarse inmediatamente a las plantas de enfriamiento o de procesamiento. Su transporte se debe realizar en cantinas o en tanques adecuados para este fin. No se permite el uso de recipientes plásticos.

2.1.1.5 Prohibiciones

Se prohíbe el uso de lacto-sueros para ser mezclados con la leche. También se prohíbe la comercialización de leche cruda o leche cruda enfriada para el consumo humano directo¹⁴.

2.1.1.6 Características permisibles.

Se establecen las características permisibles que debe contener el alimento para ser comercializado en el país. Estas características comprenden el porcentaje de grasa, acidez, proteínas, y de igual manera se debe cumplir con la carencia de la proteína de Fosfatasa. La Fosfatasa, es una proteína que se inactiva en las mismas condiciones en donde se eliminan los agentes microbiológicos dañinos de la leche, por lo tanto una carencia de Fosfatasa es sinónimo de un correcto tratamiento térmico del alimento. Además se establecen los índices permisibles y los tipos de microorganismos dentro del alimento.

Tabla 1. Características microbiológicas de la leche pasteurizada.

índices permisibles	n	m	M	c
Rto. Microorganismos mesófilos ufc/ ml	3	40000	80000	1
Rto. Coliformes ufc/ml	3	Menor de 1	10	1
Rto. Coliformes fecales ufc/ml	3	Menor de 1	-	0

Fuente: Decreto 616 de 2006.

¹⁴ El decreto 616 de 2006 es estricto con la prohibición de la comercialización de leche cruda. Posteriormente el decreto 1880 de 2011 modifica esta restricción y permite cualquier tipo de comercialización siempre y cuando se cumplan los requerimientos de la legislación colombiana.

La Tabla 1, está diseñada en base de un plan de muestreo con un programa de 3 atributos, es decir, evalúa la calidad del producto en 3 categorías: Aceptable, Dudosamente Aceptable, y Rechazable. Allí se indica que son necesarias 3 unidades de muestra requeridas por lote (n), para un máximo de una muestra con resultado dudosamente aceptable (c), en donde el valor máximo de recuento (M) no debe exceder de 80000 para mesófilos, 10 para coliformes y 1 para coliformes fecales (si estos valores sobrepasan el máximo, todo el lote deberá ser rechazado). Además se tiene en cuenta el valor que separa la calidad adecuada de la marginal (m), o dicho en otras palabras, si los mesófilos exceden la cifra de 40000 o si los coliformes 1, se considerará dudosamente aceptable el lote. Si se utiliza la técnica de Número más probable (NMP) se tendrán los valores $m < 3$ y $M < 3$ para Coliformes y Coliformes Fecales.

2.1.1.7 Recepción

Se mencionan los requerimientos mínimos para la recepción, procesamiento y almacenamiento del alimento. Se mencionan los equipos necesarios, y las pruebas de laboratorio obligatorias para recibir la certificación y poder realizar el procesamiento del alimento. Para conservar el alimento, se exige poseer un tanque dotado de camisa de aislamiento térmico, de agitadores mecánicos y de termómetros.

2.1.1.8 Envase y Rotulado.

Se establece la forma en que se debe realizar el envase y el rotulado de la leche. Además de los estándares de calidad a cumplir por parte de las plantas de enfriamiento o centros de acopio.

2.1.2 Decreto 1880 de 2011

El decreto 1880 de 2011 establece los requisitos para la comercialización de leche cruda para consumo humano directo en el país. Contrario a lo que se establecía

en el Decreto 616 de 2006, en este decreto se establece como legal el comercio de leche cruda y por lo tanto intenta regular estas actividades por parte de los vendedores informales. A continuación se mencionan los aspectos más relevantes de este Decreto:

2.1.2.1 Definiciones

Se denomina leche cruda enfriada a aquella que no ha sido sometida a ningún tipo de termización ni de higienización y que se conserva a una temperatura de 2°C a 4°C para su comercialización.

2.1.2.2 Registros

Los hatos, predios o fincas que sean productores de leche deberán estar registrados ante el Instituto Colombiano, y deberán estar inscritos en los programas para la certificación de predios libres de Brucelosis y Tuberculosis animal.

2.1.2.3 Propiedades requeridas

La leche que proviene de animales bovinos deberá tener como mínimo 2.9% de proteína y un recuento de mesófilos aeróbicos de máximo 700.000 unidades formadoras de colonias por cada mililitro de alimento, para ser comercializada.

2.1.2.4 Los expendedores

Los expendedores de leche cruda deberán estar ubicados en lugares alejados de focos de contaminación, libre de residuos sólidos y aguas residuales además de estar separados de cualquier tipo de vivienda. Se deben inscribir ante las autoridades sanitarias de los departamentos correspondientes. Cada vez que se haga contacto con el alimento, es necesario lavarse las manos con agua y jabón, además de mantener las uñas cortas, limpias y sin esmalte.

Las personas que manipulen directamente la leche, deberán tener constancia de capacitación en manejo higiénico de alimentos, la cual será vigente durante 1 año, y será expedida por la autoridad sanitaria correspondiente. Además de ello deberán poseer un certificado médico que reconozca su aptitud para manipular la leche la cual tendrá una vigencia de 1 año.

El sitio del expendio deberá tener agua potable y recipientes para la recolección y almacenamiento de los residuos sólidos. Deberá tener un control de plagas y una constante limpieza y desinfección. Las paredes y el piso del sitio del expendio deben ser lavables, de fácil desinfección y sin grietas ni perforaciones.

2.1.2.5 Los comercializadores

Los comercializadores ambulantes de leche cruda para el consumo humano directo deberán inscribirse ante las autoridades sanitarias de los departamentos. Además deberá llevar consigo una constancia de capacitación en manejo higiénico de alimentos cuya duración es de un año. Debe tener indumentaria limpia y en buen estado, con las uñas cortas, limpias y sin esmalte. La distribución del alimento deberá realizarse en un tiempo no mayor a las ocho horas a partir del momento del ordeño.

Para inscribirse como comercializador de leche cruda, se deberá tener un listado de proveedores de leche en el formato dado por el Ministerio de la Protección Social. Además deberán tener una constancia de registro del predio de proveedores ante el ICA, certificado de predio libre de Brucelosis y Tuberculosis animal, y las respectivas constancias de capacitación en manipulación de alimentos expedida por la autoridad sanitaria.

2.2 ENTES GUBERNAMENTALES RELACIONADOS CON LA INDUSTRIA LECHERA.

La industria de la leche en Colombia está organizada de manera que la máxima instancia está representada por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, cuyas funciones principales son las de formular las políticas para el sector de desarrollo rural, y orientar y dirigir la formulación de los planes programas y proyectos relacionados con el sector lechero.

El ministerio de Salud y Protección Social también regula al sector lechero del país en cuanto a las actividades que involucren la salubridad. Éste es el encargado de formular las políticas necesarias para evitar los problemas de salud pública. Promueve las buenas prácticas de inocuidad y manejo de alimentos para evitar los problemas de salubridad. Además, este Ministerio es el encargado de llevar el seguimiento de los brotes de enfermedades relacionadas con el consumo de leche cruda. El INVIMA colabora con las funciones mencionadas anteriormente, ya que este ente gubernamental tiene como responsabilidad certificar las buenas prácticas en el manejo de los alimentos. También es el encargado de realizar los controles sanitarios sobre la calidad y características de la leche cruda y tratada térmicamente para asegurar la integridad del consumidor.

La Superintendencia de Industria y Comercio colabora con la creación de las propuestas económicas enfocadas en el sector lechero. Diseña los planes para intervenir en el sector buscando el desarrollo del campo mediante programas como En Vía Láctea¹⁵, en donde se pone en concurso la elaboración de propuestas y tecnologías para implementar en el sector lechero conformado por los pequeños y medianos productores.

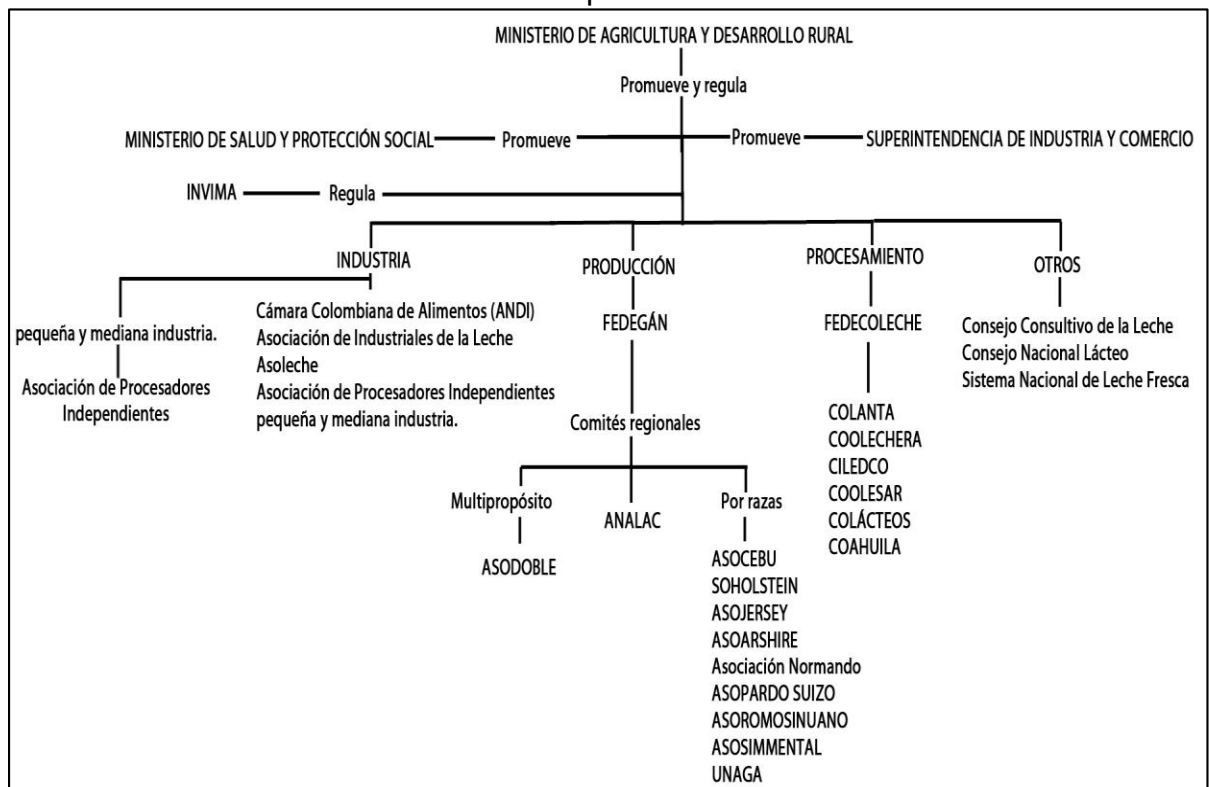
En el organigrama sigue la división de acuerdo a los comités centrados en la industria, producción, procesamiento y los comités regionales relacionados con el sector lechero. Cabe destacar la labor de FEDEGAN quien se encarga de realizar

¹⁵ EN VÍA LÁCTEA EL CAMINO DE LA LECHE EN COLOMBIA (junio 18- Diciembre 15, 2013: Bogotá, Colombia). Documento informativo. 4 p. Disponible en internet: <http://minka-dev.com/sites/default/files/resumen_en_via_lactea_0.pdf>.

la representación gremial y el análisis de los sectores para colaborar con las políticas ganaderas para beneficio de los ganaderos del país. Una de las divisiones que trata FEDEGAN es la del ganado multipropósito en donde se aprovechan todos los productos del ganado, tanto cárnicos como lácteos.

También es importante destacar la función del Sistema Nacional de Leche Fresca (SISLAC), en donde se toman las muestras de la leche comercializadas, para garantizar la calidad del alimento y de las técnicas utilizadas en los laboratorios que evalúan la leche fresca del país haciendo énfasis en la higiene del alimento.

Figura 9. Organigrama entes gubernamentales que interviene en el sector lácteo del país.



3. LA PASTEURIZACIÓN

La pasteurización es un proceso realizado generalmente a los alimentos líquidos, en donde gracias a un tratamiento térmico realizado se reducen los agentes patógenos que puedan contener como mohos, levaduras, bacterias, protozoos, etc. Este proceso recibe su nombre gracias al químico francés Louis Pasteur, quien realizó la primera pasteurización en 1864.

El objetivo de la pasteurización es la de realizar una esterilización parcial del alimento, tratando de conservar al máximo sus propiedades físico químicas.

3.1 RIESGOS DEL CONSUMO DE LECHE CRUDA

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) el consumo de leche cruda incrementa el riesgo de adquirir enfermedades de tipo bacteriano como tuberculosis, fiebre tifoidea, entre otras enfermedades que son transmitidas a través de los alimentos¹⁶. Entre los componentes a tener cuidado en la leche se encuentran los microorganismos patógenos, las sustancias químicas, antibióticos, toxinas, detergentes, desinfectantes, partículas extrañas etc., que pueden causar alteraciones microbiológicas y químicas del producto. Para dar una idea del riesgo biológico, solamente en Estados Unidos se presentaron más de 1500 casos de enfermedades relacionadas con la leche cruda¹⁷. Los brotes presentados a nivel nacional aunque no se encuentran bien identificados, según el Sistema Nacional de Vigilancia (SIVIGILA) en el periodo comprendido entre el 2008- 2010, se presentaron tres brotes relacionadas al consumo de leche y entre 147 brotes relacionados a los derivados lácteos, de los 889 brotes notificados¹⁸.

¹⁶ Enterohaemorrhagic Escherichia coli (EHEC) [online]. Nota descriptiva N°125. Dic. 1994 [cited 30 ene, 2015]. Available from Internet: <URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs125/es/>>.

¹⁷ LANGER, Adam J. et. al. Nonpasteurized Dairy Products, Disease Outbreaks, and State Laws- United States, 1993-2006. Vol. 18. Atlanta, Georgia. 2013. 7p.

¹⁸ ACOSTA AMADOR, Natalia Milena. et al. Identificación de riesgos biológicos asociados al consumo de leche cruda bovina en Colombia. Bogotá, 2011. p. 28.

Tabla 2. Enfermedades relacionadas con el consumo de leche cruda 1993-2006
Solamente en Estados Unidos.

Table. Characteristics of disease outbreaks after consumption of dairy products, United States, 1993–2006				
Product	Outbreak characteristic, no.			
	Total	Associated illnesses	Associated hospitalizations	Associated deaths
Nonpasteurized				
Fluid milk	46	930	71	0
Cheese	27	641	131	2
Total	73	1,571	202	2
Pasteurized				
Fluid milk	10	2,098	20	0
Cheese	38	744	17	1
Total	48	2,842	37	1
All dairy	121	4,413	239	3

Fuente: Nonpasteurized Dairy Products, Disease Outbreaks, and State Laws-United States, 1993-2006. Vol. 18.

En la Tabla 2, se puede observar que el número de hospitalizaciones por causa de la leche sin pasteurizar es mucho mayor que en el caso de la leche pasteurizada, en donde los inconvenientes son menores (del tipo intestinal y no por causas microbianas graves).

Por todo lo mencionado anteriormente es necesario que los pequeños ganaderos que hacen parte de la producción primaria de la leche y las cerca de 619.000 personas que viven de la venta informal de leche cruda, realicen una incorporación de tecnologías que los acompañen en su labor de procesado y comercialización de leche cruda, con el objetivo de reducir lo máximo posible casos de brotes de enfermedades asociadas al consumo de leche cruda y disminuir el riesgo económico en que se encuentran debido a la posible suspensión de su medio laboral por los altos riesgos que conlleva la ingesta de su producto, el cuál no ha pasado por un método de pasteurización u otro tipo de higienización, a eso se suman las prácticas artesanales de almacenamiento y distribución de leche. El objetivo de la pasteurización es claramente la inactivación de todos los agentes dañinos que pueden afectar la salud de las personas que consuman la leche cruda.

3.2 TIPOS DE PROCESOS

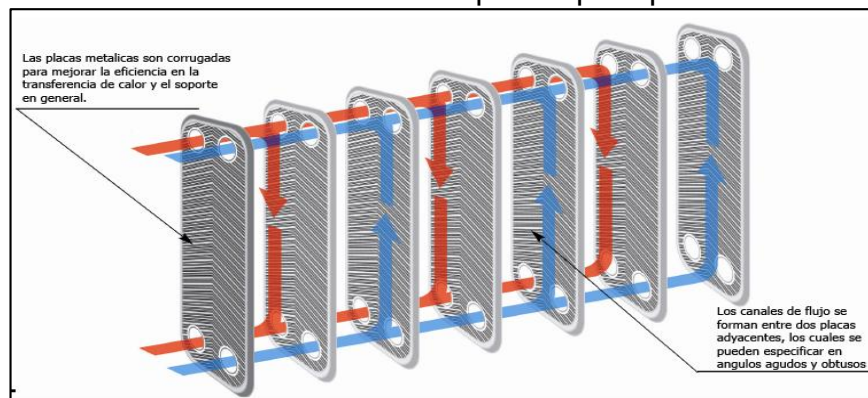
Los procesos llevados a cabo para la inocuidad de la leche dependen de las temperaturas aplicadas sobre el alimento y los tiempos durante los cuales se mantienen dichas temperaturas.

3.2.1 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 (aunque con un muy elevado costo inicial y de mantenimiento) para realizar este proceso.

En un 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. Este método es el más aplicado por las industrias alimenticias a una mayor escala, ya que el método permite realizar la pasteurización de grandes cantidades de alimento en poco tiempo.

Figura 10. Intercambiador de calor de placas para pasteurización HTST.



Autor: http://sol-term.com/intercambiador_placas.htm.

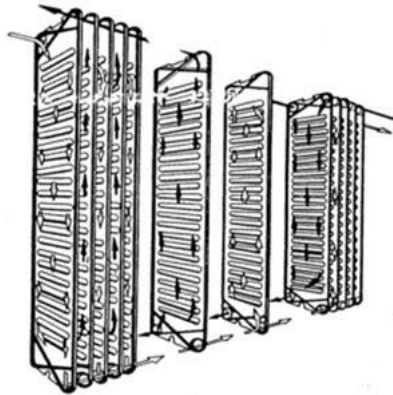
Esta pasteurización se realiza se realiza en intercambiadores de calor de placas, el recorrido que hace la leche en este proceso es el siguiente:

- 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 cambiadores de calor de la zona donde se la calienta hasta la temperatura de pasteurización, esta es 72 – 73° 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 – 73° C, automáticamente la hace regresar al tanque regulador para ser luego reprocesada, pero si la leche alcanza la temperatura de 72 – 73° 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 fría 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.

En el siguiente esquema se encuentra el recorrido de la leche por el intercambiador:

Figura 11. Recorrido de la leche por el intercambiador de placas en un proceso HTST



Autor: <http://www.portalechero.com/>

3.2.1.1 Ventajas

Pueden procesarse en forma continua grandes volúmenes de leche. Expone al alimento a altas temperaturas durante un breve periodo. Se necesita de poco equipamiento industrial para poder realizar el proceso, reduciendo de esta manera los costes de mantenimientos de equipos. La automatización del proceso asegura una mejor pasteurización y además por tratarse de una pasteurización utilizando un sistema cerrado, se evitan contaminantes dentro del alimento.

3.2.1.2 Desventajas

No pueden adaptarse al procesamiento de pequeñas cantidades de leche. Necesita de personal altamente calificado para la realización de este trabajo.

Necesita controles estrictos durante todo el proceso de producción. Las gomas que acoplan las placas son demasiado frágiles. Es difícil un drenaje completo.

3.2.2 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 bebé, derivados del tomate, jugos de fruta y verduras, sopas.

Figura 12. Planta de tratamiento de leche para proceso UHT.



Fuente: <http://www.geape.es/>

Estas plantas de tratamiento de producto trabajan de acuerdo a calentamiento indirecto. Su gran beneficio es que utilizando este método se brinda una alta seguridad en la 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%.

3.2.2.1 Ventajas

Alta calidad. Vida en estante más larga: pueden esperarse una vida útil superior a 6 meses sin refrigeración. Si se refrigera debidamente, no existen problemas con el deterioro del alimento, teniendo una vida útil mucho mayor. Empaquetamiento más barato: tanto el costo del paquete, almacenamiento y transporte (no se requiere vehículos refrigerados para su transporte).

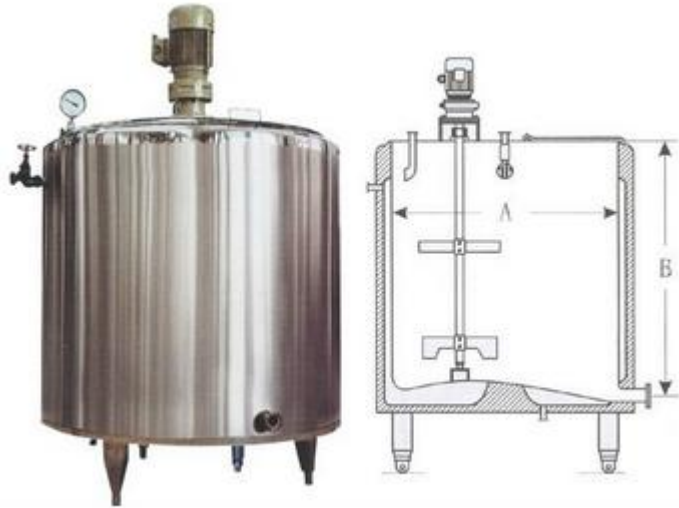
3.2.2.2 Desventajas

Se necesita equipo complejo y una planta para empaque aséptico (materiales de empaque, tanques, las bombas, etc). Operarios más experimentados, debe mantenerse esterilidad en el empaque aséptico. Mantenimiento de la calidad: las lipasas termo resistentes o proteasas pueden conducir a un deterioro del sabor o un envejecimiento de la leche.

3.2.3 Pasteurización LTLT y Pasteurización en lotes (VAT-BATCH)

Para la pasteurización en lotes, se utiliza la tecnología LTLT (Long Time Low Temperature). Este método consiste en calentar la leche a temperaturas entre 61 a 63°C y mantenerla a esta temperatura durante 30 minutos.

Figura 13. Tanque para pasteurización en lotes.



Fuente: <http://spanish.alibaba.com/>.

El alimento es calentado en recipientes o tanques de capacidad variable (generalmente menor a 1000 litros); los tanques son de acero inoxidable preferentemente y están encamisados (doble pared); el alimento se calienta por medio de vapor o agua caliente que circula entre las paredes del tanque, provisto este de un agitador para hacer más homogéneo el tratamiento.

Figura 14. Tanque con agitación.



Autor: <https://areselectronicaindustrial.wordpress.com/>

Luego de los 30 minutos, el alimento es enfriado a temperaturas entre 4 y 6°C según la conveniencia. Para efectuar este enfriamiento se puede usar el mismo recipiente haciendo circular por la camisa de doble fondo agua fría hasta que la leche adquiriera la temperatura deseada.

3.2.3.1 Ventajas

La calidad proteínica de la leche tiende a ser mejor en este tipo de sistemas, puesto que las temperaturas de calentamiento son mucho menores, comparada con los procesos HTST o UHT, en donde las altas temperaturas degradan en mayor medida las proteínas contenidas en la leche. Para utilizar este tipo de sistema se tiene además la ventaja de necesitar poco equipamiento industrial regularmente con bajos requerimientos técnicos. Este hecho implica que el sistema será económico y fácil de mantener en funcionamiento. El personal que opere el sistema no necesita los mismos estándares de calificación que si se tratara de operar un sistema HTSH o UHT, por tratarse de un sistema mucho más sencillo.

3.2.3.2 Desventajas

Una de las mayores desventajas utilizando este método de pasteurización, es la incapacidad de procesar la leche de manera continua, por lo tanto no puede procesarse grandes volúmenes de leche por lo cual este sistema se destina para producciones menores. Además al tratarse de un sistema en lotes, aumenta la posibilidad del ingreso de agentes externos contaminantes hasta el producto, lo que puede traer inconvenientes en la pasteurización. Es necesario mantenerse la leche refrigerada una vez culmina el proceso de pasteurización, para permitir la conservación del tratamiento mismo, evitando así el crecimiento de los agentes microbianos dañinos.

4. TRANSFERENCIA DE CALOR

Se conoce como transferencia de calor al intercambio de energía térmica entre cuerpos que se encuentran a diferentes temperaturas, la transferencia de calor siempre se da desde el cuerpo que se encuentra a la mayor temperatura hacia el cuerpo con temperatura más baja hasta que sus temperaturas se igualan, según como lo define la segunda ley y la ley cero de la termodinámica.

4.1 MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.

El proceso de transferencia de calor se puede presentar a través de tres mecanismos físicos que son:

4.1.1 Transferencia de calor por Conducción.

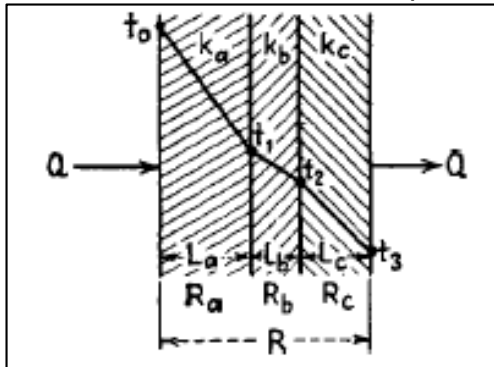
Este mecanismo se presenta a través de medios estacionarios, donde el flujo de calor se da por el choque de las moléculas del medio, flujo que se transmite desde las moléculas más energéticas hacia las de menos energía, la ecuación que determina la transferencia de calor es conocida como ley de Fourier, que establece que el flujo de transferencia de calor es directamente proporcional y con sentido contrario al gradiente de temperatura presente en el medio, donde la constante de proporcionalidad es conocida como conductividad térmica del medio y representa la capacidad que tiene dicho medio para conducir el calor¹⁹, la ley de Fourier se establece a través de la siguiente ecuación:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -K * A * \frac{dT}{dx}$$

¹⁹ CENGEL, Yunus A. Transferencia de calor. 2 ed. México D.F. Mc Graw Hill. 2004. p.18. ISBN 0-07245893-3.

- Conducción a través de paredes compuestas.

Figura 15. Conducción de calor en una pared compuesta.



Fuente: Procesos de transferencia de calor Donald Kern.

A menudo se encuentra en la vida cotidiana condiciones de transferencia de calor a través de paredes compuestas por varios materiales, como se puede ver en las paredes de los edificios, hornos, etc. Si se tiene en cuenta la pared compuesta mostrada en la Figura 15 el flujo de calor que sale por la derecha debe ser el mismo que entra por la parte izquierda, eso sin tener en cuenta el incremento de la energía interna de cada material debido a la acumulación de calor.

El flujo de calor tiene que atravesar cada uno de los materiales de la pared, donde cada uno de ellos, ofrecen una resistencia al paso del mismo, dependiendo de las propiedades y al espesor del material, para el caso de la Figura 15 cada material ofrece una diferente resistencia representada por R_a , R_b y R_c , entonces la razón entre la diferencia de temperatura y la resistencia de cada capa, debe ser igual a la razón de la diferencia de temperatura total entre la resistencia total.

$$Q = \frac{\Delta t}{R} = \frac{\Delta t_a}{R_a} = \frac{\Delta t_b}{R_b} = \frac{\Delta t_c}{R_c}$$

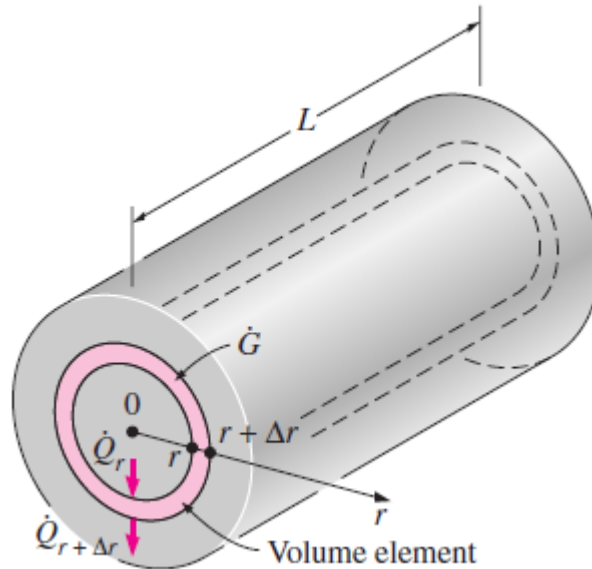
$$Q = \frac{\Delta t}{R} = \frac{t_0 - t_1}{\frac{L_a}{k_a * A}} = \frac{t_1 - t_2}{\frac{L_b}{k_b * A}} = \frac{t_2 - t_3}{\frac{L_c}{k_c * A}}$$

$$R = R_a + R_b + R_c$$

$$\Delta t = t_0 - t_3$$

- Transferencia de calor por conducción en cilindros largos.

Figura 16. Dimensiones para transferencia de calor en cilindro largo.



Fuente: Transferencia de Calor. Cengel. 2 ed.

Para este tipo de configuración a diferencia de una pared, el área transversal de transferencia de calor no presenta un valor constante, puesto que esta va aumentando a medida que se va avanzando en el radio hasta llegar a r_2 , entonces el área transversal para cualquier radio está determinado por $2 \cdot \pi \cdot r \cdot L$, de esa manera la ecuación para la conducción de calor a través de las paredes de un cilindro queda de la forma:

$$\dot{Q} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot L \cdot K \cdot \left(-\frac{dT}{dr} \right)$$

Al integrar esta ecuación y evaluar en las fronteras de r_1 y r_2 , suponiendo que el flujo de calor va de r_1 a r_2 se tiene:

$$\dot{Q} = 2 * \pi * L * K * \frac{t_1 - t_2}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

4.1.2 Transferencia de calor por convección.

Este mecanismo de transferencia de calor está asociado a fluidos en movimiento, donde por ejemplo si un fluido frío rodea una superficie caliente, una parte del fluido recibirá una energía que aumentará su temperatura que posteriormente cederá al mezclarse con el resto del fluido, el movimiento del fluido puede ser causado de forma natural por diferencia de densidades o puede ser forzado a través de una fuerza externa, como es el caso de un ventilador con el aire o una bomba con el agua, en algunos casos hay presencia de convección natural y forzada simultáneamente.

La ecuación que describe el fenómeno es conocida como Ley de enfriamiento de Newton y se define de la siguiente forma:

$$\dot{Q} = h * A * (T_1 - T_2)$$

El termino h se conoce como coeficiente de transferencia de calor convectivo y es función de las propiedades del fluido y de la superficie, del tipo de flujo que presenta el fluido y de la manera en que se genera el movimiento del fluido. El valor de T1 y T2 se define siempre en el sentido en que se produce el flujo de calor.²⁰

4.1.3 Transferencia de calor por Radiación.

Es el mecanismo de Transferencia de calor en el cuál no se necesita de un medio de propagación, y está asociado a la energía que emite un cuerpo que se

²⁰ CENGEL, Yunus A. Transferencia de calor. 2 ed. México D.F. Mc Graw Hill. 2004. p.26. ISBN 0-07245893-3.

encuentra a una cierta temperatura, la capacidad de emisión de energía depende de las propiedades del cuerpo y de la temperatura a la cual se encuentre.

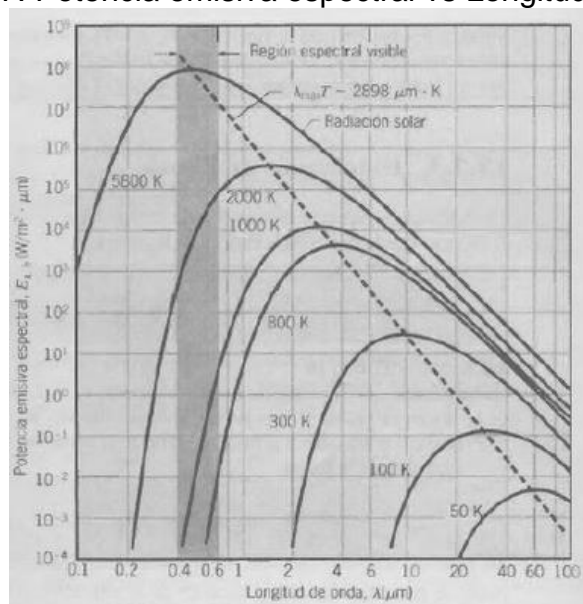
La energía radiante obedece a lo descrito en la teoría electromagnética de Maxwell. La ecuación que describe el fenómeno es conocida como ley de Stefan y está representada por:

$$\dot{Q} = \epsilon * \sigma * A * (T_1^4 - T_2^4)$$

Donde ϵ se conoce como emisividad del cuerpo y oscila entre 0 y 1, por otra parte σ se conoce como la constante de Stefan-Boltzmann y tiene un valor de $5.67 \cdot 10^{-8} [W/m^2 * K^4]$.

La radiación emitida se propaga hacia todos los sentidos posibles y varía de forma continua con la longitud de onda, de manera que al aumentar la temperatura del cuerpo, disminuye la longitud de onda y aumenta la potencia emisiva espectral como lo muestra la Figura 17.

Figura 17. Potencia emisiva espectral vs Longitud de onda.



Fuente: Fundamentos de transferencia de calor, INCROPERA

4.2 INTERCAMBIADORES DE CALOR

Los intercambiadores de calor son equipos diseñados para transmitir la energía térmica desde un medio a otro, los cuales se encuentran a diferentes temperaturas, es común encontrar equipos de este tipo en la industria de los procesos químicos, refrigeración y aire acondicionado, entre otros.

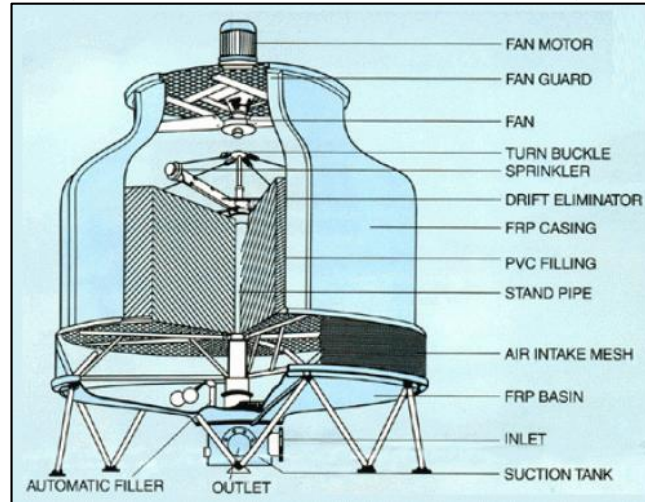
Los intercambiadores de calor se dividen en tres categorías principales que son: Según si existe una superficie de separación entre las dos corrientes, según su función y según su forma de construcción.

4.2.1. Según si existe una superficie de separación entre las dos corrientes.

Esta clasificación se refiere a que los intercambiadores de calor poseen dos formas de intercambio de calor entre dos corrientes, en la primera las dos corrientes se ponen en contacto directo, donde la corriente de mayor temperatura cede su calor directamente a la corriente más fría, ésta configuración se utiliza cuando los dos fluidos en contacto no reaccionan entre si y son mutuamente insolubles; a su vez estos se clasifican en tres amplios tipos: Intercambiadores de calor de contacto directo gas-sólido, Intercambiadores de calor de contacto directo fluido-fluido e Intercambiadores de calor de contacto directo aire-agua.

- En un intercambiador de contacto directo aire agua, no se cumple la premisa de que los fluidos deben ser mutuamente insolubles, puesto que el agua al entrar en contacto con el aire, presenta un intercambio de masa al evaporarse, la torre de enfriamiento de agua es uno de los ejemplos de este tipo mayormente utilizados en la industria (Ver Figura 18).

Figura 18. Torre de enfriamiento de agua.

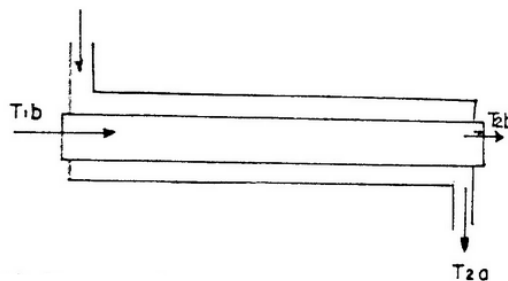


Fuente: <http://www.miprv.com/sistema-verde-para-mantener-torres-de-enfriamiento-sin-quimicos-ecologycells/>

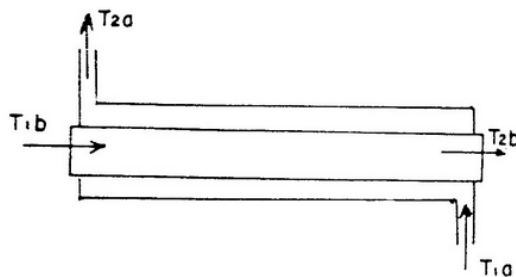
- La segunda forma se refiere a los intercambiadores de calor de contacto indirecto, los cuales a su vez se clasifican en Regenerativos y Recuperativos.
- Un intercambiador de calor regenerativo es importante cuando se utiliza el almacenamiento intermitente de la energía térmica de calor del fluido caliente antes de ser cedida al fluido frío, para ello se pone en contacto el fluido caliente con el medio de almacenamiento, posteriormente el fluido frío entra al intercambiador desplazando el fluido caliente y entrando en contacto con el medio de almacenamiento térmico.
- Para los intercambiadores de calor recuperativos existen bastantes configuraciones geométricas, dentro de las cuales las más destacadas son las de una sola corriente, donde solo cambia la temperatura de un fluido, puesto que el otro fluido es isotérmico (un ejemplo de esta configuración son los evaporadores, condensadores entre otros) y la de dos corrientes, donde ambos fluidos que entran al intercambiador cambian su temperatura, las corrientes de los fluidos pueden fluir en la misma dirección y sentido, conocidos como de flujo paralelo, como también pueden fluir en la misma dirección pero con

sentidos diferentes, conocidos como contracorriente (Ver Figura 19), en su forma más general éstos son contruidos por dos tubos concéntricos, pero en utilización industrial de grandes transferencias se opta por tener varios tubos montados dentro de una coraza, donde se pueden tener varios pasos del fluido por los tubos y a su vez varios pasos del fluido que va por la coraza, entre más pasos se tengan más se aproxima su efectividad a la de un intercambiador a contracorriente.

Figura 19. Intercambiador de calor de dos corrientes.



a) Flujo paralelo

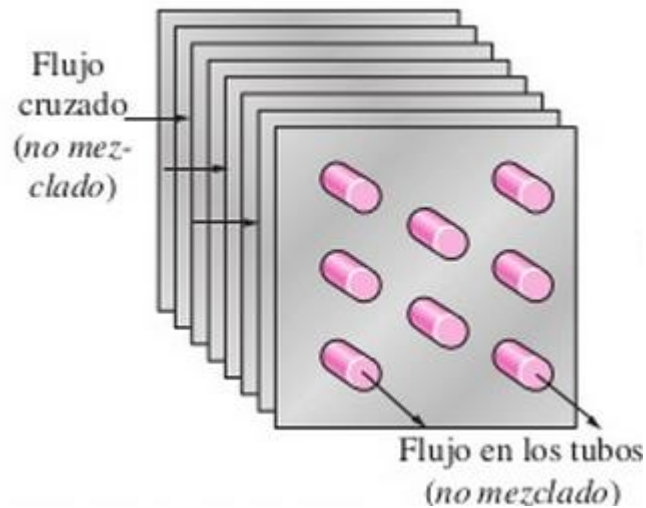


b) Flujo contracorriente.

Fuente:http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211618/EXELARNING/leccion_42_intercambiadores_de_tubo.html

También las dos corrientes pueden estar en flujo cruzado (Ver figura 20), ésta disposición tiene una efectividad media entre los intercambiadores a contracorriente y de flujo paralelo y son utilizados en muchas ocasiones puesto que su costo de construcción es mucho más bajo y su manufactura más fácil.

Figura 20. Intercambiador de calor de flujo cruzado.



Fuente: CENGEL, Yunus A. Transferencia de calor. 2 ed. México D.F. Mc Graw Hill.2004. 669 p. ISBN 0-07245893-3.

4.2.2 Según su función.

Los intercambiadores de calor tienen una clasificación dependiendo del proceso que realicen, entre ellos se tiene:

- Evaporadores: Estos intercambiadores de calor son los encargados de enfriar un fluido por medio de la expansión de un gas el cuál debe poseer unas características especiales, estos intercambiadores de calor son muy utilizados para los sistemas de enfriamiento de agua mejor conocidos como chiller o para enfriamiento de gases como en el acondicionamiento de aire.
- Condensadores: Estos intercambiadores cumplen la función de disminuir la temperatura de vapores, gases entre otros, con el objetivo de extraer la cantidad de energía térmica necesaria para permitir el cambio de fase de gas a líquido, una aplicación de estos intercambiadores también es la refrigeración, donde se encargan de extraer el calor del refrigerante y condensándolo.

Figura 21. Condensadores enfriados por aire.



Fuente: <http://www.mapesa.cl/productos>

- Serpentes. Son intercambiadores de calor donde uno de los fluidos circula por un tubo liso o aleteado con el fin de intercambiar calor con otro fluido que se encuentra confinado, las condiciones geométricas del serpentín varían dependiendo de tipo de aplicación, pudiéndose encontrar desde espirales, o en forma de U. Estos intercambiadores se pueden encontrar en ollas de calentamiento, contenedores de agua helada, etc.

Figura 22. Intercambiador de calor de serpentín.



Fuente: <http://www.mace.es/producto/>

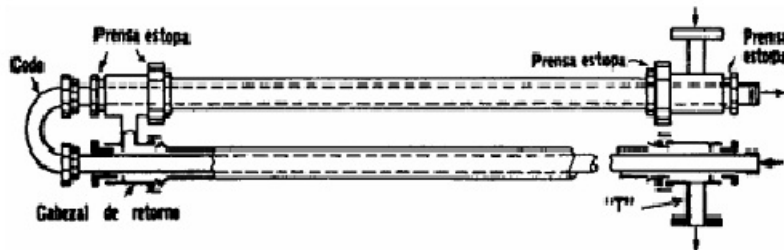
- Calentadores: En este tipo de intercambiadores de calor, se utiliza un fluido caliente para poder elevar la temperatura de un fluido de proceso,

generalmente en este tipo de intercambiadores se utilizan gases calientes producto de la combustión entre otros.

4.2.3 Según su forma de construcción.

- Intercambiadores de calor de doble tubo: Es uno de los modelos más sencillos que se encuentra en la industria, consiste de un par de tubos dispuestos coaxialmente, de tal manera que cada uno de los fluidos circula por el interior de cada tubo.

Figura 23. Intercambiador de doble tubo.



Fuente: <http://procesosbio.wikispaces.com/Equipos+para+transmisi%C3%B3n+de+Calor>

Ventajas

- Fácil construcción.
- Bajo costo.
- Buenos rendimientos para aplicaciones pequeñas.

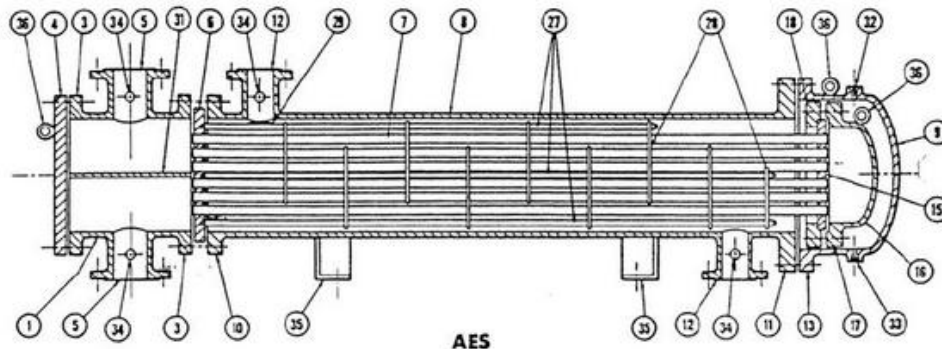
Desventajas

- Área de transferencia de calor limitada.
- Para grandes requerimientos de transmisión de energía requiere de la unión de varios tubos.
- Intercambiadores de calor de coraza y tubos.

Este tipo de intercambiador consta de una coraza cilíndrica en la cual se encuentra un haz de tubos paralelos al eje longitudinal de la coraza, dichos tubos

se sostienen mediante placas porta tubos en sus extremos y longitudinalmente se encuentran apoyados en deflectores o baffles, los cuales cumplen la función de orientar el fluido que va por la carcasa de tal manera que la dirección de flujo sea siempre perpendicular a los tubos, el fluido que va por los tubos es dirigido por unos cabezales configurados de tal manera que permitan configurar el número de pasos del fluido por los tubos. El diseño de estos intercambiadores se ajusta según la norma TEMA, The Tubular Exchanger Manufacturers Association.

Figura 24. Intercambiador de calor de coraza y tubos.



Fuente: STANDARDS OF THE TUBULAR EXCHANGER MANUFACTURERS ASSOCIATION. TEMA. 8 Ed. Broadway, 1999. p. 3.

Ventajas:

- Flujo de calor alto en comparación con el peso y volumen del equipo.
- Facilidad de limpieza y mantenimiento.
- Versátil

Desventajas:

- Complejidad de construcción para tamaños grandes.
- Intercambiador de calor de placas.

Este tipo de intercambiador de calor consiste en una configuración de placas corrugadas empaquetadas, por las cuales circulan los fluidos frío y caliente, la configuración comprende unas empaquetaduras en las esquinas de la placa, que

permiten direccionar cada uno de los flujos por canales adyacentes, de manera que puedan ir intercambiando calor a lo largo de la altura de la placa, las placas son corrugadas de diversas formas, de manera que puedan crear turbulencia en el fluido, realizar una mayor retención del fluido en cada canal y aumentar el área efectiva de intercambio de calor, además de agregar resistencia mecánica a las placas.

Figura 25. Intercambiador de calor de placas.



Fuente: <http://www.Tranter.com>

Ventajas:

- Grandes superficies de transferencia de calor.
- Velocidades altas de transferencia de calor.
- Modularidad para obtener flexibilidad a la hora de un mantenimiento.
- Apropiado para fluidos con alta viscosidad.

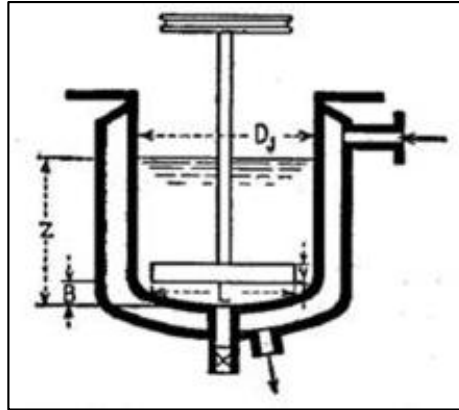
Desventajas

- Fugas de fluidos debido al desgaste en las empaquetaduras.
- Diferenciales de presión restringida entre los fluidos.
- Recipientes enchaquetados.

Este tipo de intercambiador de calor consiste en un recipiente con doble fondo, donde el fluido al cuál se le quiere realizar el proceso de calentamiento o enfriamiento se tiene en el primer tanque, y el fluido con el cuál se va a realizar la

transferencia de calor circula por la camisa, de manera que se pueda dar la transferencia de calor, generalmente se utiliza para situaciones en las cuales no se tenga una continuidad en uno de los flujos, los tiempos de proceso necesitan una retención, procesos donde es inadecuado la utilización de un serpentín o la economía de procesar un lote grande justifica la acumulación de una corriente pequeña, éstos equipos pueden estar equipados de agitación mecánica con la cual se garantiza una homogeneidad en la temperatura del producto y se aumenta la velocidad de transferencia de calor.

Figura 26. Recipiente enchaquetado con agitación mecánica.



Fuente: Procesos de transferencia de calor, Donald Kern.

Ventajas

- Fácil limpieza del tanque.
- Diseño compacto.
- Permite retención de la temperatura.

Desventajas

- Área de transferencia de calor limitada.

PROCESO DE DESARROLLO DEL PROTOTIPO

5. REQUERIMIENTOS GENERALES DE DISEÑO

5.1 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO ORIENTADOS AL USUARIO

La micro pasteurizadora estará orientada a satisfacer las necesidades de procesar la leche de un pequeño hato, y adecuarla para el consumo humano inactivando los agentes patógenos del alimento. Teniendo en cuenta este hecho, a continuación se especifica el listado de los requerimientos básicos de los interesados en el desarrollo del proyecto:

- Capacidad de pasteurizar lotes de 60 litros de leche.
- Fácil limpieza.
- Fácil desplazamiento.
- Cumplimiento de las normativas sanitarias colombianas respecto al consumo de leche.
- Bajo costo de adquisición de la máquina.
- Bajo costo de funcionamiento.
- Resistente a la corrosión.
- Versátil.
- Funcional.
- Fácil de operar.
- Funcionamiento con energía de fácil acceso.
- Tiempo moderado de procesamiento por lote.

5.1.1 Organización de los requerimientos

Para obtener las consideraciones para el diseño de ingeniería, se organizan los requerimientos del usuario en la siguiente tabla:

Tabla 3. Requerimientos del usuario y consideraciones para el diseño de ingeniería.

CRITERIO	REQUERIMIENTO GENERAL	CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE INGENIERÍA
COSTOS	El sistema tiene un bajo costo inicial	Los materiales seleccionados deben ser los de menor costo, los espesores de lámina deben ser los mínimos permisibles, los elementos eléctricos deben trabajar a la menor potencia. Todo lo anterior siempre y cuando se cumpla los requerimientos del proceso.
	El sistema consume poca energía	Los recipientes de almacenamiento y las tuberías de transporte presentes, deben contener un aislamiento térmico que evite pérdidas de energía. Los elementos eléctricos deben ser seleccionados para que suplan las necesidades energéticas a la menor potencia.
DESEMPEÑO	La micro pasteurizadora debe procesar 60 litros de leche	El recipiente que contiene la leche debe ser de mínimo 60 litros de capacidad.
	El sistema debe pasteurizar efectivamente el alimento	La leche tratada por el sistema debe dar negativo en la prueba de detección de Fosfatasa Alcalina, o cumplir con los estándares de un conteo microbiológico para leche pasteurizada.
	El sistema debe mantener la leche enfriada además del proceso de pasteurización.	Se debe implementar un tanque de enfriamiento que preserve la leche a una temperatura de 4°C-6°C en almacenamiento.
	Se deben evitar tiempos muy largos de procesamiento por lote.	El tiempo de pasteurización no debe exceder los 135 minutos.

NORMATIVIDAD	El sistema debe cumplir con las normas sanitarias del país	Se deben cumplir con los decretos 616 de 2006 y sus posteriores modificaciones en cuanto al tratamiento de la leche pasteurizada.
DISPOSICIÓN	La operación de la micro pasteurizadora debe ser sencilla.	Debe poseer un control automático y secuencial, con indicadores luminosos y sonoros.
	La energía para la puesta en marcha del sistema debe ser de fácil acceso.	Se deben usar fuentes de energía como gas propano y electricidad 110V-220V.
	La micro pasteurizadora debe permitir su fácil limpieza	Los materiales deben ser resistentes a detergentes para limpieza y se deben evitar los ángulos rectos en la construcción del recipiente que contenga la leche.
	El sistema completo debe estar diseñado para un fácil desplazamiento.	El sistema debe posibilitar el desensamble de sus componentes para facilitar el transporte de los mismos.
VIDA ÚTIL	Los elementos del sistema deben ser duraderos y resistentes.	Los materiales a utilizar deben poseer una dureza pertinente además de una alta resistencia a la corrosión.

5.2 REQUERIMIENTOS DEL PROCESO

El sistema debe realizar la efectiva pasteurización de 60 litros de leche por proceso aplicando tecnología LTLT, en un tiempo menor a 135 minutos. Para ello es necesario elevar la temperatura de la leche hasta el rango de 60°C a 65°C, seguido de una retención por 30 minutos. Una temperatura mayor a 65°C tendrá un efecto positivo sobre la pasteurización pero tendrá una mayor posibilidad de destruir las proteínas presentes en la leche, por tal motivo es necesario controlar la temperatura de calentamiento para obtener un valor de temperatura no muy

alejado del rango. Para conservar la leche pasteurizada normalmente se realiza un enfriamiento a una temperatura que esté en el rango de 4°C - 6°C.

Las condiciones ambientales del sitio escogido para el diseño de la micro pasteurizadora (San Agustín –Huila, condiciones ambientales tomadas de <http://www.sanagustin-huila.gov.co/index.shtml>), propiedades de la leche y propiedades del agua, son tabuladas a continuación para efectos de diseño.

Tabla 4. Condiciones para el diseño y algunas propiedades.

Condiciones para diseño y propiedades de leche y agua	
Temperatura promedio	20 [°C]
Altura	1700 [msnm]
Densidad de la leche	1003 [Kg/m ³]
Viscosidad de la leche	0.0012 [Kg/m*s]
Conductividad térmica de la leche	0.58 [W/m*K]
Calor específico de la leche	3.91 [KJ/Kg*K]
Viscosidad del agua	0.001[Kg/m*s]
Densidad del agua	1000[Kg/m ³]
Calor específico del agua	4.185 [KJ/Kg*K]

5.3 NORMATIVIDAD: PMO GRADE A (PASTEURIZED MILK ORDINANCE)

Esta normativa utilizada principalmente en Estados Unidos, representa un estándar de calidad cuando se trata de las buenas prácticas en el tratamiento de la leche. El propósito principal de la norma PMO²¹ es la de facilitar el diseño de los sistemas de pasteurización puesto que brinda los aspectos generales que éstos deben tener para la realización de una pasteurización efectiva.

5.3.1 Temperatura de espacio aéreo

Entre la interfaz de la leche y el espacio de aire circundante a ésta, puede existir una variación de temperatura que afecte al proceso de pasteurización de dos maneras. El ambiente circundante está a menor temperatura que la leche y por lo

²¹ U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES. PUBLIC HEALTH SERVICE. FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. Pateurized Milk Ordinance. PMO. 2009 Revision. 398 p.

tanto se tendrá una transferencia de calor de la superficie de la leche en contacto con el aire hacia el mismo, este hecho permite que la temperatura superficial caiga con respecto a la del resto de la leche en el recipiente. El segundo problema está en la presencia de organismos patógenos en la espuma que se pueda formar en la superficie de la leche. Esta espuma está a menor temperatura que la temperatura de pasteurización y por lo tanto no recibirá el correcto tratamiento térmico. Los inconvenientes mencionados anteriormente se solucionan mediante la implementación de un calentador de aire que mantenga la temperatura del aire mayor que la temperatura de la leche. Dicho calentador deberá mantener el espacio aéreo mínimo 3°C por encima de la temperatura de pasteurización. De no poseer el calentador de aire, será necesaria la constante prueba de Fosfatasa Alcalina para corroborar la efectiva pasteurización.

5.3.2 Temperatura de la leche

Durante la etapa de sostenimiento de la temperatura de la leche, no deben existir diferencias importantes en la medida de las temperaturas de dos puntos diferentes dentro de la leche. Lo anterior implica que se mantenga una temperatura uniforme en todos los puntos del volumen del alimento, por ejemplo, que la temperatura del centro y la de los alrededores de la leche sea casi la misma. La norma PMO recomienda diferencias menores que 5°C entre un punto y otro del volumen de leche.

5.3.3 Tiempo de pasteurización

El mínimo tiempo de sostenimiento para una efectiva pasteurización en lotes es de 30 minutos.

5.3.4 Materiales

La norma PMO establece una lista de posibles materiales para la construcción del elemento central en el sistema de calentamiento. De todos los grados de acero establecidos por la norma, se escoge para el recipiente, chaqueta, partes en

contacto con productos de la combustión y camisa exterior un acero inoxidable ASTM A-240/A-240M Grado 304. Este acero se escoge debido a la facilidad de obtención en el mercado local, además su alta resistencia a la corrosión lo hace un material idóneo para trabajar en la industria alimenticia.

5.3.5 Válvula de drenado

Las marmitas no basculantes deberán tener una válvula de extracción de mínimo 2 pulgadas de diámetro para el drenado del alimento dentro del recipiente. La válvula debe estar ubicada en el punto más bajo del recipiente.

5.3.6 Montaje

El recipiente debe tener mínimo 3 soportes los cuales deben soportar sin ninguna deformación el peso del recipiente más 2,5 veces el peso del volumen de agua a rebose. Los soportes deberán posibilitar que la marmita se atornille al piso si se desea.

5.4 NORMATIVIDAD: ICONTEC NTC4082

La normativa colombiana para equipos de cocción para uso comercial que funcionan con gas natural, está representada por la norma NTC4082²².

5.4.1 Controles de flujo de gas.

Se debe incluir un dispositivo o válvula de corte automático o manual, sin que éste dependa de la inercia de un dispositivo de seguridad. Debe poseer una válvula de seguridad que sea de fácil operación con una mano y que abra o cierre con no menos de dos movimientos. Todas las válvulas deben tener topes en cada extremo que restrinjan el movimiento de rotor de la válvula. Los quemadores principales deben ser de fácil encendido.

²² INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Equipos de cocción para uso comercial que funcionan con gas. NTC 4082. Bogotá D.C.: El instituto, 1997. [Recurso Electrónico- Base de Datos Biblioteca UIS]

5.4.2 Supervisión de llama.

El quemador debe ser supervisado en el momento del encendido inicial, por lo tanto su ubicación debe permitir el fácil acceso y su ubicación debe estar fija imposibilitando la reubicación incorrecta. Cuando el diseño del equipo lo requiera, se debe anexar al sistema un dispositivo de supervisión de llama.

5.4.3 Dispositivos de regulación y limitadores de sobrecalentamiento.

Los sensores de los dispositivos limitadores de sobrecalentamiento deben estar localizados y protegidos de modo que no se posibilite el daño de los mismos en condiciones normales de uso. Los limitadores de calentamiento serán implementados mediante el control automático de temperatura, al configurar el controlador con una baja histéresis, es decir, el control de temperatura será quien en últimas limite el sobrecalentamiento del sistema mediante el accionamiento de una señal de corte en el paso de gas obtenida a partir de una temperatura máxima medida.

5.5 NORMATIVIDAD: ICONTEC NTC3765

Esta norma²³ trata todos los requisitos generales de seguridad para artefactos a gas de uso doméstico o comercial.

5.5.1 Suministro del gas.

Se puede realizar la conexión de entrada al gas de dos diferentes tipos. La primera con conexión roscada, en la cual la entrada del suministro de gas llevará una rosca tipo NPT conforme a las normas NTC 332, NTC 2143 o NTC 2104. La segunda manera de realizar las conexiones es mediante uniones no roscadas, en donde las extremidades a conectar deben ser de forma cilíndrica y estriada en una longitud de no menos de 30 mm que permita un acoplamiento hermético mediante un dispositivo de sellado por compresión.

²³ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Requisitos generales de seguridad para artefactos a gas de uso doméstico o comercial y su instalación. NTC 3765. Bogotá D.C.: El instituto, 2004. [Recurso Electrónico- Base de Datos Biblioteca UIS]

5.5.2 Suministro del aire y extracción de productos de la combustión.

Se debe construir el sistema pensando en garantizar el pertinente flujo de aire y la correcta extracción de los productos de la combustión. La sección transversal de los conductos de entrada de aire y salida de gases de combustión debe ser constante y no deben ser obstruidos luego de su instalación.

5.5.3. Quemador

La instalación del quemador debe permitir su constante supervisión, ya sea de manera directa de tal forma que el operario pueda observar su funcionamiento a simple vista, o de manera indirecta en donde un sensor informe el estado de la llama del quemador.

5.5.4 Estabilidad y seguridad mecánica

El diseño debe ser pensado en la estabilidad de los elementos del sistema. Las partes pueden ser intercambiables siempre y cuando no se presenten vibraciones y se permanezca dentro de los límites requeridos. La temperatura superficial de la marmita debe ser menor o igual que 60°C (ASTM F1602).

5.6 ESPECIFICACIONES DE LA MICRO PASTEURIZADORA

Tabla 5. Especificaciones de la micro pasteurizadora de leche

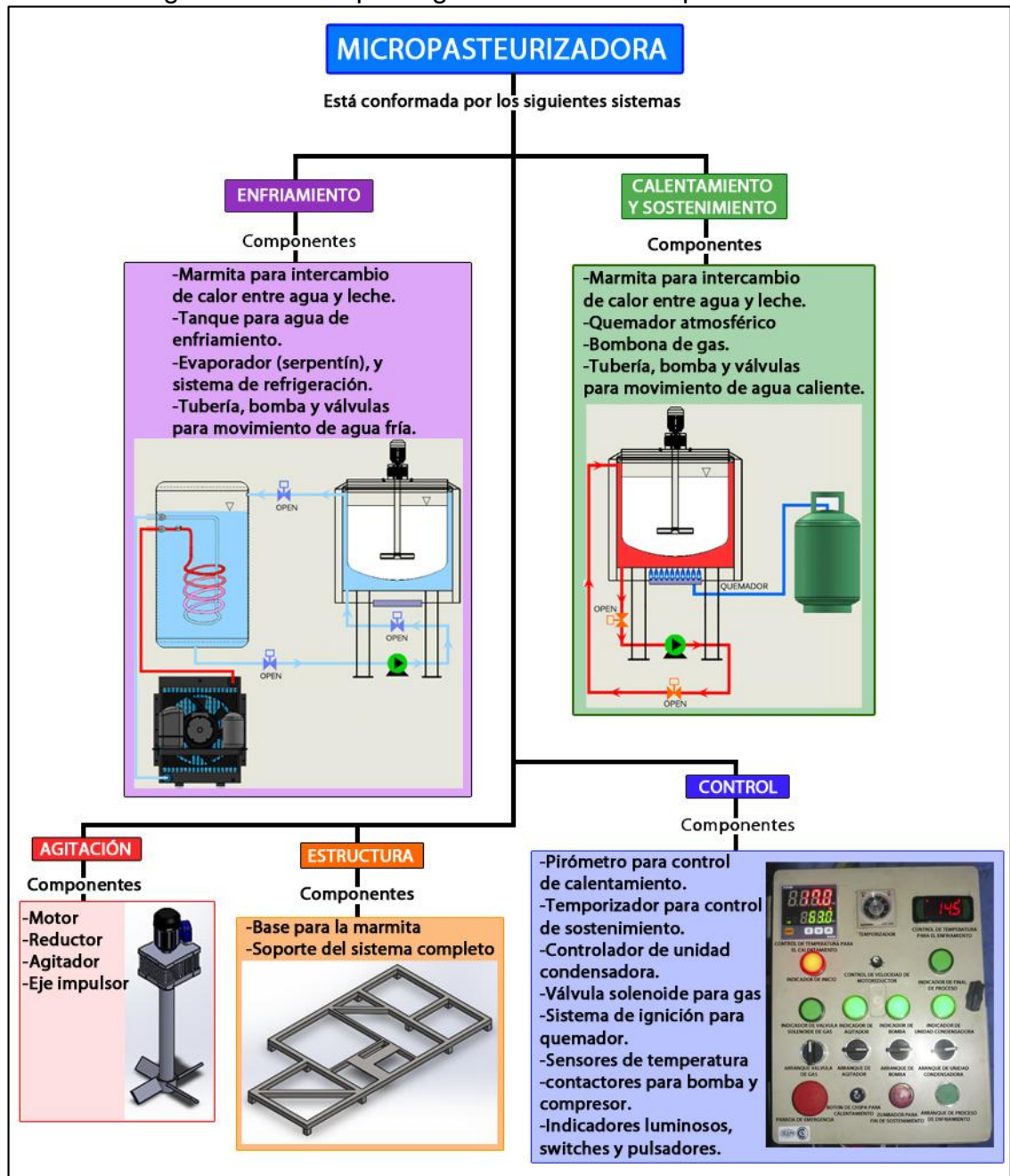
ESPECIFICACIONES MICRO PASTEURIZADORA DE LECHE	
GENERALES	
Capacidad	60 litros
Normatividad Sanitaria	Decreto 616 de 2006 Decreto 1880 de 2011
Prueba de Fosfatasa Alcalina (Opcional)	Reacción Negativa (Sin cambio, o cambio tenue de color)
Prueba Microbiológica (Opcional)	Conteo de Mesófilos 80.000 ufc/ml (máx) Conteo de Coliformes 10 ufc/ml (máx) (<3 NMP) Conteo de Coliformes fecales 0 ufc/ml (<3 NMP)

CONSTRUCCIÓN	
Material	ASTM A-240/A-240M Grado 304
Normatividad de seguridad y construcción	NTC 4082 NTC 3765 ASTM F-1602 (Algunos aspectos) PMO
CALENTAMIENTO Y SOSTENIMIENTO	
Fuente de energía	GLP
Temperatura de pasteurización	63 °C
Tiempo de calentamiento	60 minutos (máx)
Quemador	Atmosférico Encendido mediante piezoeléctrico y piloto
Tiempo de sostenimiento	30 minutos
Temperatura de espacio aéreo	Mayor a 66°C (En caso de dar positivo en la prueba de Fosfatasa Alcalina).
Tren de calentamiento	Válvula de corte para gas Válvula solenoide para gas
ENFRIAMIENTO	
Fuente de energía	Electricidad 220 V
Tiempo de enfriamiento	120 min máx
Temperatura de enfriamiento	4°C - 6°C
CONTROL	
Combustión	Piloto y válvula solenoide
Temperatura de calentamiento	Pirómetro de control de temperatura y termopar para temperatura media-baja
Temperatura de enfriamiento	Controlador de sistema de refrigeración con sensor de temperatura
Tiempo de sostenimiento	Temporizador de 0-60 minutos
Agitador	Tarjeta variadora de velocidad 0-120 RPM
AGITACIÓN	
Velocidad del agitador	<200 RPM
Motor	Monofásico, alimentación a 110V, 3600 RPM
Reductor	1:30

6. DISEÑO GENERAL DE LA MICRO PASTEURIZADORA

En este capítulo se presenta de manera general una breve descripción de los elementos que constituyen la micro pasteurizadora.

Figura 27. Descripción general de la micro pasteurizadora.

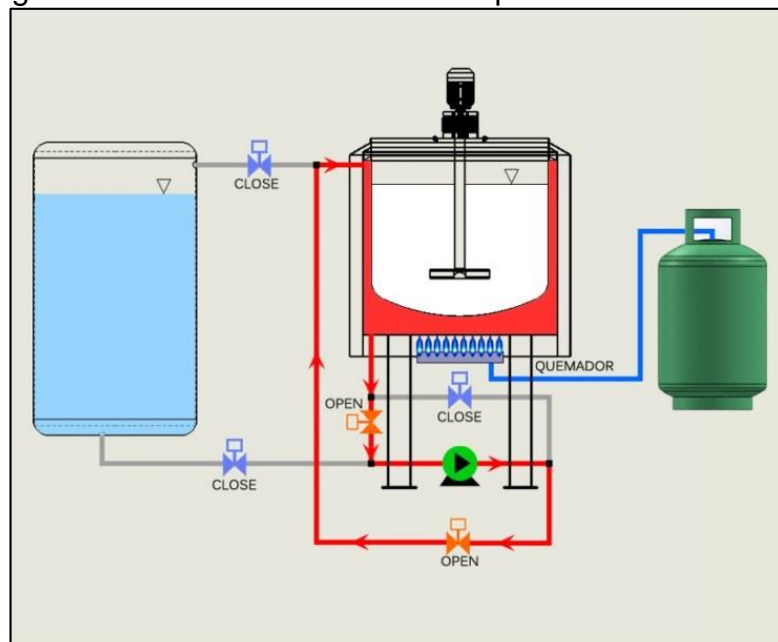


6.1 CALENTAMIENTO Y SOSTENIMIENTO

La micro pasteurizadora consta de un recipiente de tanque enchaquetado donde el calentamiento de la leche cruda se realizará a modo de “baño maría” en agua, la cual es calentada a través de un quemador atmosférico radial dispuesto de forma que su llama incida directamente sobre la base inferior de la chaqueta de agua. Este sistema permite aprovechar gran parte del área del tanque contenedor de la leche para la transferencia de calor, además de realizar un calentamiento más suave y uniforme en la leche. El quemador del tipo atmosférico se escoge gracias a su sencilla operación y bajo costo.

El sistema tendrá una mejora en la transferencia de calor hacia la leche, agregando una red de tuberías con las que se moverá el agua caliente a través de la chaqueta, recirculando el fluido para aumentar el coeficiente convectivo de transferencia de calor. El agua caliente es succionada de la base asegurando así que la bomba nunca quede en vacío. Además el sistema cuenta con una camisa de gases de combustión para aprovechar la energía asociada a éstos.

Figura 28. Sistema de recirculación para el calentamiento.



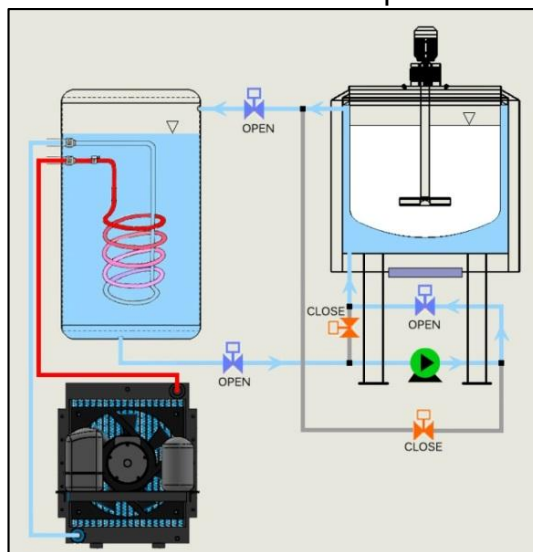
El circuito mostrado de color rojo es el que recircula el agua para calentar el recipiente que contiene la leche. Las flechas indican el sentido en que se moverá el agua dentro de las tuberías. Una bomba será la encargada de mover el fluido para efectos de calentamiento y enfriamiento, ya que al conmutar las válvulas del circuito se puede pasar de un sistema a otro.

El sostenimiento de la temperatura de la leche se realizará a través de un controlador de temperatura y un temporizador, encargados de mantener la temperatura durante el tiempo requerido.

6.2 ENFRIAMIENTO

Para el sistema de enfriamiento se realizará el diseño de un sistema de refrigeración empleando termo acumulación (el cual será explicado en detalle en el numeral 9.2.1), que estará compuesto por un serpentín enrollado en la parte interior del tanque de agua de enfriamiento, unido a una unidad condensadora por el cual circulará agua de enfriamiento gracias al impulsor de una bomba centrífuga (Ver Figura 29). El medio de enfriamiento es el encargado de llevar la temperatura de la leche hasta un rango entre los 4 [°C] y 6 [°C] (Temperatura de refrigeración)

Figura 29. Sistema de recirculación para el enfriamiento.



De igual manera se presenta una configuración de tubería que será la encargada de transportar el agua fría nuevamente hasta la chaqueta de agua de la marmita y por lo tanto permitirá el enfriamiento de la leche.

6.3 SISTEMA DE AGITACIÓN

Para el sistema de agitación se plantea la utilización de un mecanismo vertical de agitación compuesto de un motor eléctrico unido a un reductor sin fin corona del cual sale el agitador que permite circular la leche hacia el fondo del tanque para evitar las diferencias de temperaturas en la leche y aumentar la transferencia de calor. El control del motor se hace mediante una tarjeta variadora de velocidad.

6.4 SISTEMA DE CONTROL

A continuación se mencionan los aspectos generales del sistema eléctrico y de control, teniendo en cuenta que los mismos serán detallados en el numeral 7.4 de Diseño de Ingeniería.

6.4.1 Calentamiento

El control del calentamiento se realizará a través de un pirómetro controlador el cual nos permite medir la temperatura de la leche desde el inicio del proceso, realizar el proceso de mantenimiento de temperatura.

6.4.2 Sostenimiento

El sostenimiento de la temperatura de la leche se realizará a través de un temporizador que proporcionará los 30 minutos para el sostenimiento de la temperatura, y servirá como señal de activación para el inicio de la etapa de enfriamiento de la leche.

6.4.3 Enfriamiento

De manera similar a la etapa de calentamiento, es necesaria la implementación de un control del sistema de refrigeración mediante un controlador de la unidad

condensadora, que permita fijar un Setpoint para poder bajar la temperatura de la leche pasteurizada hasta temperatura de enfriamiento.

6.4.4 Agitación

Para controlar la agitación de la leche, se dispondrá de una tarjeta variadora de velocidad que permita encontrar la velocidad óptima de agitación, en donde no se presente la formación de espuma en la leche.

El montaje de todos los sistemas expuestos será distribuido en una base que permita el fácil desplazamiento de los mismos. La distribución final será similar a la Figura 30.

Figura 30. Distribución de todos los sistemas, vista trimétrica.



DISEÑO DE INGENIERÍA

7. DISEÑO ESTRUCTURAL, MARMITA, SISTEMA DE AGITACIÓN Y SISTEMA DE CONTROL.

7.1 DISEÑO ESTRUCTURAL.

Nuevamente por tratarse de la industria alimenticia, normas como la ASTM F1602²⁴, PMO Grado A, e incluso la NTC 4082 recomiendan entre su lista de materiales el Acero Inoxidable ASTM A-240/A-240M Grado 304 para la construcción de los elementos del sistema. Por este motivo se utiliza este material de igual manera en la estructura de la marmita, del moto-reductor y en la base estructural del sistema general.

7.1.1 Diseño del soporte estructural de la marmita.

Para el diseño de la estructura de soporte de la marmita, se tiene en cuenta la norma PMO que establece que el recipiente debe tener mínimo 3 soportes de los cuales deben soportar el peso del recipiente más 2,5 veces el peso del volumen de agua a rebose. Por lo anterior se tiene:

$$W_T = W_r + W_{mr} + 2,5 \cdot W_{ab} \quad (1)$$

En donde:

W_T : *Peso total de diseño*

W_{mr} : *Peso del motoreductor*

W_r : *Peso del recipiente*

W_{ab} : *Peso del volumen de agua a rebose*

²⁴ AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Norma de especificaciones para marmitas de 32 Oz a 20 Gal fijas e inclinables; de vapor directo, calentamiento eléctrico o gas.

Teniendo en cuenta la geometría del recipiente y la densidad del Acero Inoxidable A304, se tiene que el peso del recipiente es:

$$W_r = 678,8 [N]$$

El peso del motor, reductor y soporte es de:

$$W_{mr} = 143 [N]$$

El volumen del agua contenido por el recipiente de la marmita hasta el borde es de:

$$W_{ab} = 721,1 [N]$$

Por lo tanto de (1):

$$W_T = 2624,5 [N] \quad (2)$$

Este peso será soportado por 3 bases, entonces cada una soportará:

$$W = 875 [N]$$

La longitud de las patas de soporte para la marmita, dependerán de la altura a la que se quiere tener el nivel de la tapa. Teniendo en cuenta que la carga de la leche dentro de la olla de la marmita se realiza de manera manual, es necesario tener el borde del recipiente máximo a la altura del pecho del operario. Ésta distancia está determinada por la ergonomía para facilitar el levantamiento de la cantina de leche, y se estima en el rango de 145 cm- 150 cm (percentil 95)²⁵. La altura del recipiente es de 51 cm, por lo tanto la altura de cada pata de soporte para el recipiente es de aproximadamente 100 cm.

Con todo lo anterior se tiene:

$$L = 1[m]$$

²⁵ SOCIEDAD COLOMBIANA DE ERGONOMÍA- CAPÍTULO EJE CAFETERO. Colección Gaceta Ergonómica Pereira. 2011. 19p.

Para los cálculos de la estructura de la marmita se utiliza la teoría de diseño de columnas largas.²⁶

Módulo de elasticidad y resistencia a la fluencia:

$$E = 1,93 * 10^{11} [Pa]$$

$$S_y = 2,41 * 10^8 [Pa]$$

Cálculo de SR- Jhonson (Factor de diseño de columnas que permite determinar si el diseño de la columna se realiza por columna larga o columna corta²⁷):

$$SR_J = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{S_Y}}$$

$$SR_J = 88.86$$

Cálculo del SR real (Relación de esbeltez a comparar con el SR-Jhonson):

$$S_R = \frac{L_E}{K}$$

Para una columna fija-libre, se tiene que la longitud equivalente es:

$$L_E = 2 \cdot L$$

$$L_E = 2[m]$$

Radio de giro de la columna:

$$K = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

El momento de inercia y área:

$$A = \pi \cdot \left(\frac{D_{ext}^2 - D_{int}^2}{4} \right)$$

$$I = \pi \cdot \left(\frac{D_{ext}^4 - D_{int}^4}{64} \right)$$

$$I = 7,73 * 10^{-11} [m^4]$$

²⁶ NORTON, Robert L. Diseño de máquinas. 4 ed. Pearson. 2011. p. 238 ISBN 978-607-32-0589-4.

²⁷ NORTON, Robert L. Diseño de máquinas. 4 ed. Pearson. 2011. p. 242 ISBN 978-607-32-0589-4.

Por lo anterior se tiene:

$$K = 0,002064 [m]$$

$$S_R = 968.8$$

Carga crítica (Ecuación de Euler):

$$P_{cr} = \pi^2 \cdot E \cdot \frac{I}{L_E^2}$$

Factor de seguridad y esfuerzo axial:

$$N = \frac{S_Y}{\sigma}$$

$$\sigma = \frac{W}{A}$$

$$\sigma = 4,826 * 10^7 [Pa]$$

Para un factor de seguridad de N=5 se tiene entonces:

$$D_{ext} = 0,006756 [m]$$

$$D_{int} = 0,00475 [m]$$

$$A = 0,000018 [m^2]$$

Con estos resultados se puede concluir que el peso de la marmita no es problema para la resistencia del material, por lo tanto el diámetro del tubo estructural se determina principalmente por estética y precio. Se selecciona tubería de perfil circular de acero inoxidable con las siguientes dimensiones:

$$D_{int} = 0,0381 [m]$$

$$D_{ext} = 0,04011 [m]$$

Con lo que recalculando se tiene:

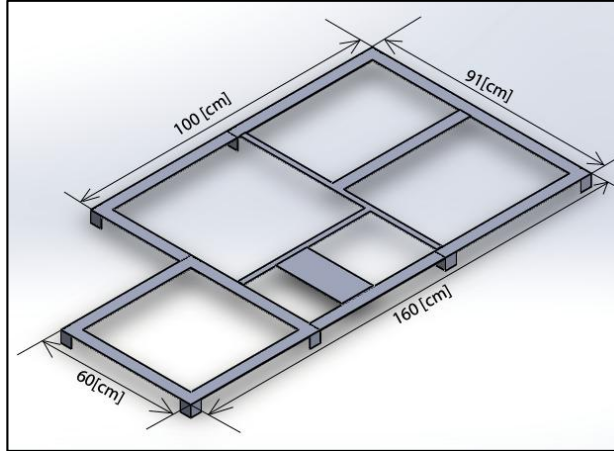
$$P_{crit} = 11.229 [N]$$

$$N = 33,99$$

7.1.2 Diseño de la estructura base del sistema completo.

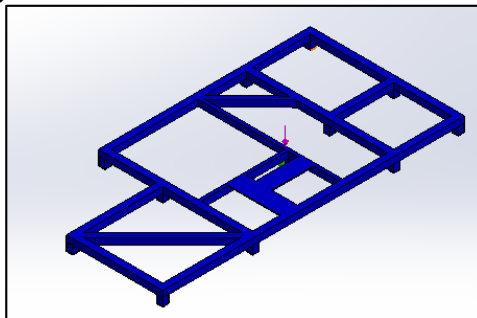
Para el dimensionamiento de la estructura de soporte de todo el sistema, se considera la siguiente geometría:

Figura 31. Dimensiones de la base soporte.



Se diseñan 9 patas de soporte de la misma manera que el soporte de la marmita mostrado en el numeral anterior. La distribución del sistema en general se realizó de tal manera que se mantuvieran las distancias pertinentes en elementos críticos tales como el ventilador del condensador, ventilación de la bomba, distancia segura del quemador, etc. La validación de la resistencia de la estructura se realiza mediante el CAE de SolidWorks, analizando los esfuerzos máximos de Von Mises, ante las cargas de los elementos que constituyen el sistema de la micro pasteurizadora.

Figura 32. Resultados CAE SolidWorks.



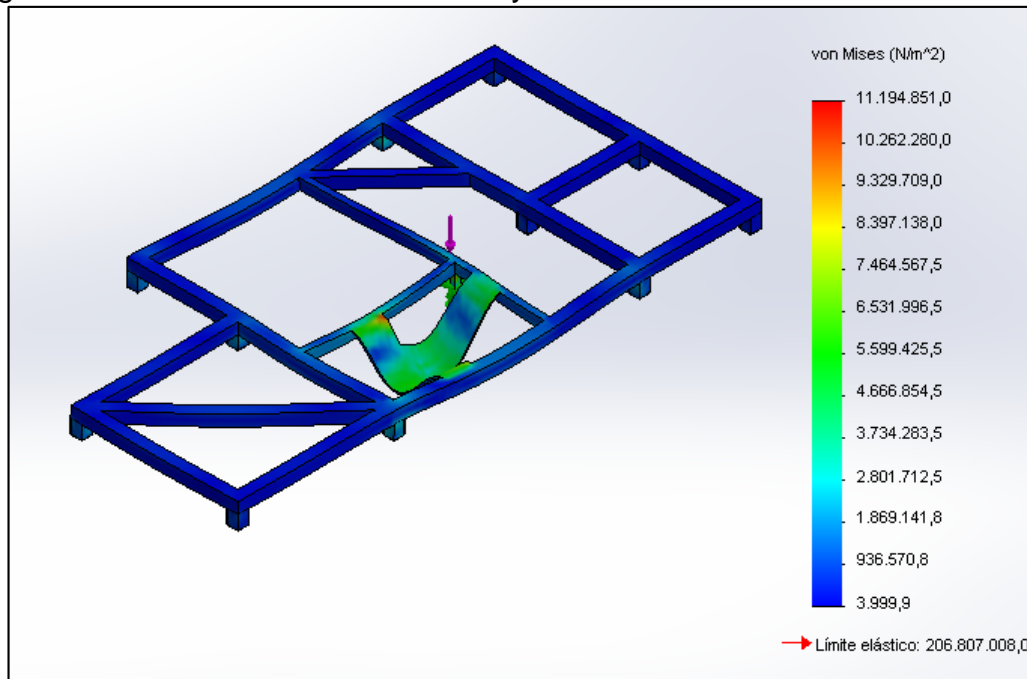
Para la simulación se utilizó una carga distribuida en toda la base de 2624,5 [N] equivalente al máximo peso que se tiene en toda la base. Los resultados muestran que el factor de seguridad siempre va a ser mayor que 1:

Figura 33. Resultados cuantificables arrojados por el modelo del CAE.

Nombre de modelo: BASE
Nombre de estudio: SimulationXpress Study
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor of Safety
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Rojo < FOS = 5 < Azul

En el siguiente gráfico se puede observar que todos los puntos están por debajo del límite elástico en la prueba de stress de Von Mises.

Figura 34. Resultados deformaciones y valores del límite elástico del material.



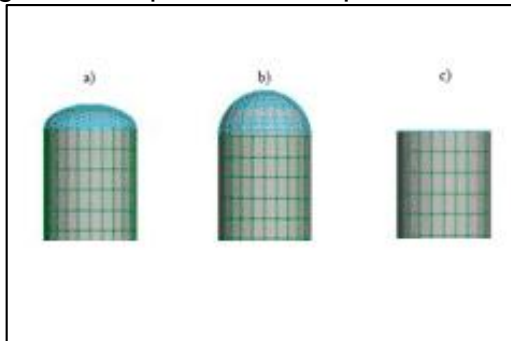
7.2 DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA MARMITA.

7.2.1 Partes de la marmita.

7.2.1.1 Recipiente

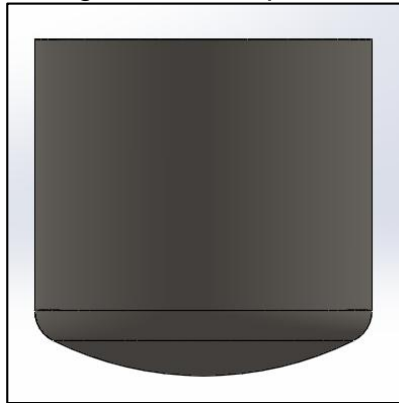
El recipiente mantiene confinada la leche para la pasteurización. Es éste quien está directamente en contacto con el alimento y está conformado por dos partes: fondo y cuerpo. En el diseño a plantear no se tiene en cuenta el cabezal del tanque, ya que el recipiente no mantendrá presiones importantes durante su proceso y además requiere de una buena parte expuesta al exterior para facilitar el llenado manual.

Figura 35. Tipos de fondo para marmitas.



Existen fondos de tipo plano, semiesférico y toriesférico. El principal inconveniente del fondo plano es el cambio brusco de sección que presenta un espacio propicio para el establecimiento de cultivos de bacterias. El fondo del recipiente seleccionado es el de forma toriesférica, ya que presenta una mayor facilidad en su fabricación (comparado con el fondo semiesférico) mediante hidro formado, evitando así complejos procesos de repujado en caliente. Además presenta cambios de sección muy suaves por lo que es ideal para la industria alimenticia, y funciona muy bien para la baja viscosidad de la leche.

Figura 36. Recipiente.

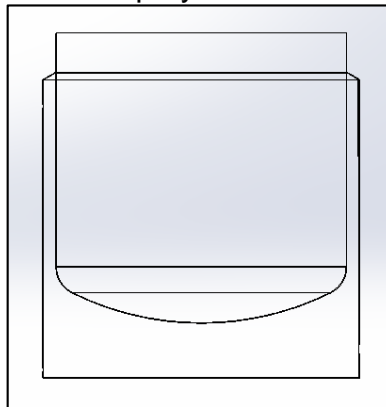


7.2.1.2 Chaqueta de agua.

La chaqueta de agua es la encargada de contener el líquido de calentamiento. Es allí en donde se recircula el agua caliente o fría, que posteriormente cambiará la temperatura de la leche.

7.2.1.3 Cuerpo y base

Figura 37. Cuerpo y base de la marmita.

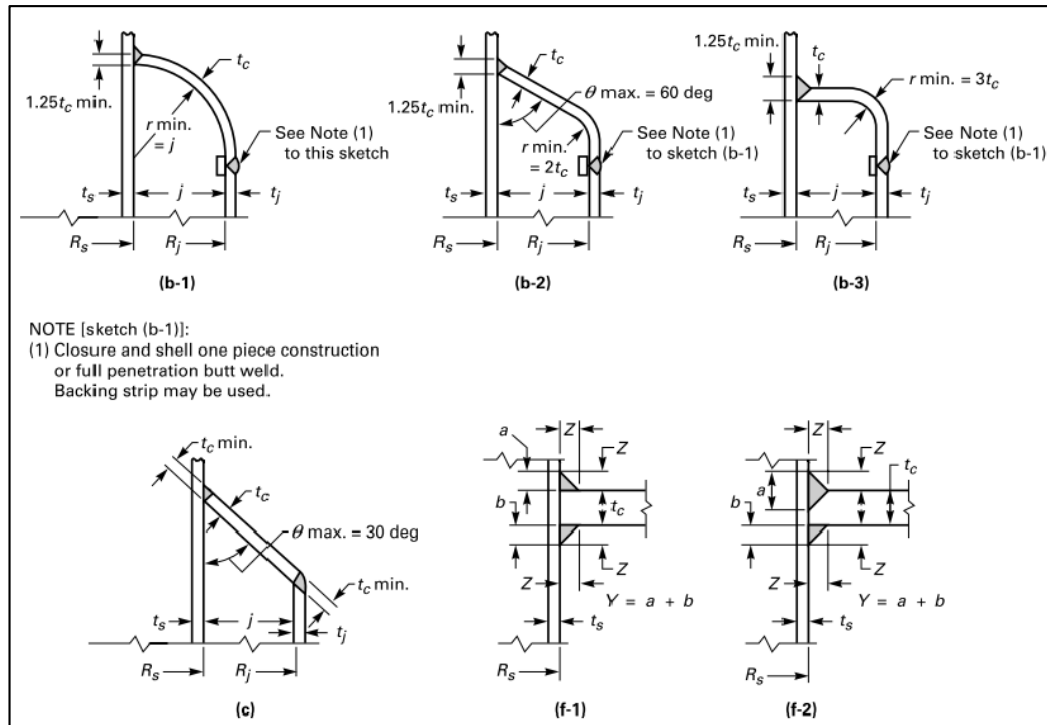


La forma de la chaqueta de agua se determina siguiendo la geometría cilíndrica del recipiente que contiene la leche. Su base es plana puesto que allí se instalará el quemador que calentará el agua contenida dentro de la chaqueta y por lo tanto

se desea que esta superficie sea perpendicular a la llama del quemador para aprovechar mejor la energía que ésta brinda.

7.2.1.4 Cierre

Figura 38. Tipos de cierre.



Fuente: ASME BPVC Sección VIII División I.

De los tipos de cierre mostrados, fue seleccionado un cierre tipo c por su facilidad de construcción y por la buena estética que le brinda a la micro pasteurizadora.

7.2.1.5 Enchaquetado

Existen 3 tipos de enchaquetados que dependen del área de transferencia de calor que se tenga. El primer tipo hace referencia a que la chaqueta va hasta la mitad del recipiente que contiene el fluido a calentar y por lo tanto recibe el nombre de Half Jacketed. En el segundo tipo, el enchaquetado va hasta los 2/3 del recipiente a calentar y por lo tanto recibe el nombre de 2/3 Jacketed. El tercer tipo

abarca completamente el recipiente de calentamiento y por esto recibe el nombre de Full Jacketed.

En el caso de la micro pasteurizadora se determinó utilizar el tipo 3 de enchaquetado (Full Jacketed) gracias a que es el tipo que presenta la mayor área de transferencia. Usualmente se utiliza vapor de agua en este tipo de sistemas, pero en este caso en particular se está utilizando únicamente agua, por lo tanto es tan importante el hecho de tener la mayor área de transferencia, dado que los coeficientes de transferencia de calor por convección son mucho menores en agua que en vapor de agua.

7.2.1.6 Chaqueta de gases y chimenea

Para guiar el recorrido de los gases y para efectos del aprovechamiento de la energía que traen consigo los gases de combustión, se determinó la construcción de una chaqueta de gases inmediatamente después de la chaqueta de agua. La forma de la chaqueta de gases y su cierre, dependen de la geometría de la chaqueta de agua. La chimenea está diseñada en base a la norma NTC 3833²⁸.

7.2.1.7 Aislamiento térmico y camisa exterior

Se utilizó fibra de vidrio (lámina de 1[in] de espesor, $K = 0,05 [W/m * k]$) como aislamiento térmico del sistema de calentamiento. Este tipo de aislante se escoge gracias a su buen comportamiento con la temperatura media-baja. Tiene un mejor desempeño para esta aplicación, y un bajo precio comparado con otros aislantes térmicos como la espuma de poliuretano expandido o el Asbesto.

²⁸ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Dimensionamiento, construcción, montaje y evaluación de los sistemas para la evacuación de los productos de la combustión generados por los artefactos que funcionan con gas. NTC 3833. Bogotá D.C.: El instituto, 2002. 60 p.

7.2.2 Diseño del tanque contenedor de leche.

Consideraciones para el dimensionamiento:

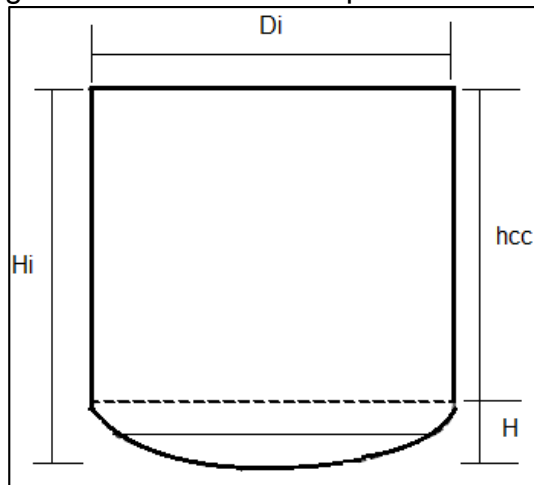
- Puesto que el tanque que contiene la leche estará sometido a una constante agitación, el producto presentará un ascenso en el nivel, por ello para evitar derrames de producto es recomendable sobredimensionar su capacidad, entonces el volumen de diseño de la olla será:

$$V_{diseño} = 1.25 * V_{tratar} ; \text{ Se excede la capacidad del tanque en un } 25\%^{29}.$$

$$V_{diseño} = 0.075 [m^3]$$

- Se tomará como condición de diseño que la relación entre el diámetro de la olla y la altura es $D_i/H_i = 1$.

Figura 39. Diseño del tanque contenedor.



²⁹ GONZALES GONZALES, Nancy Consuelo y ROJAS ANNICCHIÁRICO, Cindy Dayana. Diseño conceptual de un fermentador para la producción de N-Butanol a partir de glucosa empleando clostridium acetobutylicum ATCC 824. Trabajo de grado ingeniero químico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.2011.p.33.

$$V_{diseño} = \frac{\pi}{4} * D_i^2 * H_i$$

$$D_i = H_i = 0.4715 [m]$$

$$V_{diseño} = V_{cc} + V_{cabezal}$$

$$H_i = h_{cc} + H$$

$$H = 0.193 * D_i + 3.5 * t_{seleccionado}^{30}$$

$$t_{seleccionado} = 1.22 * 10^{-3} [m] , H = 0.096 [m]$$

$$h_{cc} = 0.3755 [m]$$

$$V_{cc} = \frac{\pi}{4} * D_i^2 * h_{cc}$$

$$V_{cc} = 0.06556 [m^3]$$

$$V_{cabezal} = 0.1 * D_i^3$$

$$V_{cabezal} = 0.01048 [m^3]$$

$$V_{ollareal} = 0.076 [m^3]$$

A continuación se presenta un resumen de dimensiones del tanque de leche.

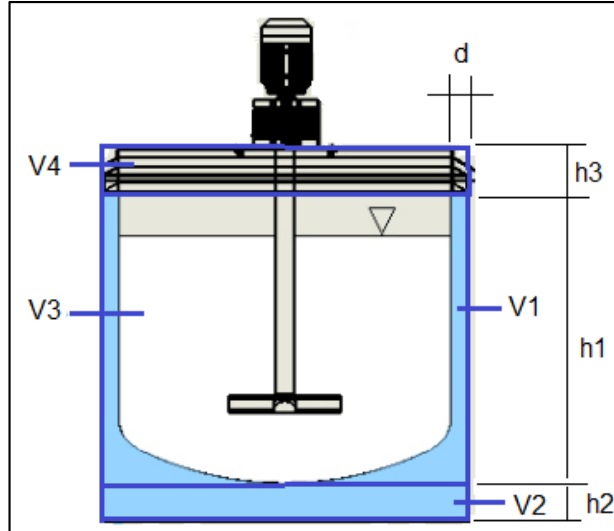
Tabla 6. Dimensiones geométricas del tanque que contiene la leche

Parámetro geométrico	Valor
Altura	0.4715 [m]
Diámetro	0.4715 [m]
Volumen nominal	0.06 [m ³]
Volumen a rebose	0.076 [m ³]

³⁰ MANRIQUE REBAZA, Jim Anthony. Diseño de un recipiente a presión con un sistema de agitación para el procesamiento de Biodiesel 3 m³ de capacidad. Trabajo de grado ingeniero mecánico. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de ingeniería Mecánica.2011.p.50-51.

7.2.3 Dimensionamiento geométrico de la camisa de agua.

Figura 40. Dimensionamiento de la camisa de agua.



Teniendo en cuenta que a lo largo de este capítulo se encontrará que para un óptimo funcionamiento del sistema la camisa de agua debe albergar 0.040 [m³] de agua, entonces se tiene:

$$V_w = 0.040 \text{ [m}^3\text{]}, V_w = (V_1 - V_3) + V_2$$

$$V_1 = \frac{\pi}{4} * D_w^2 * h_1$$

$$D_w = D_i + (2 * d)$$

$$d = 0.015 \text{ [m]}$$

$$D_w = 0.5115 \text{ [m]}$$

$$h_1 = H_i - h_3$$

$$h_3 = h_{tapa} + t_{aislante} + t_{seleccionado}$$

$$h_1 = 0.4238 \text{ [m]}$$

$$V_1 = 0.08708 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$V_3 = V_{ollareal} - V_4$$

$$V_4 = \frac{\pi}{4} * D_w^2 * h_{superior}$$

$$V_4 = 0.0098 [m^3]$$

$$V_3 = 0.0652 [m^3]$$

$$V_2 = \frac{\pi}{4} * D_w^2 * h_2$$

$$h_2 = 0.106 [m]$$

$$H_w = h_1 + h_2$$

A continuación se presenta un resumen de las dimensiones del tanque de agua.

Tabla 7. Dimensiones geométricas del tanque que contiene el agua.

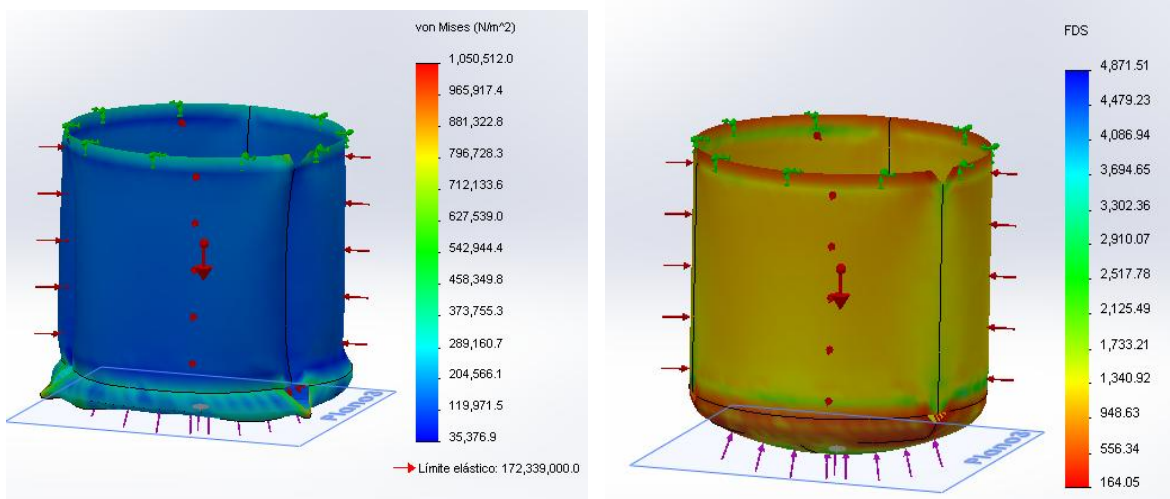
Parámetro geométrico	Valor
Altura	0.53 [m]
Diámetro	0.5115 [m]
Volumen nominal	0.11 [m ³]
Volumen real (V1+V2-(V3-V4))	0.04 [m ³]

7.2.4 Espesor de los componentes de la micro pasteurizadora

Debido a que la micro-pasteurizadora no presentará presiones como resultado de la evaporación en el agua de calentamiento, ésta sólo soportará las cargas estáticas debidas al peso de la leche, el agua en la chaqueta y el peso estructural de las láminas de acero inoxidable. Por ello para la construcción del tanque de leche y camisa de gases se escogen láminas comerciales de acero inoxidable calibre 18 (1.21 mm) por su buena relación resistencia-costo, además de su facilidad de trabajo, y para la chaqueta de agua una lámina calibre 14 (1.75 mm) debido a que esta se encuentra sometida a fuego directo, posteriormente se realiza un análisis de cargas a través del software Solidworks para corroborar la resistencia de cada estructura a las cargas estáticas.

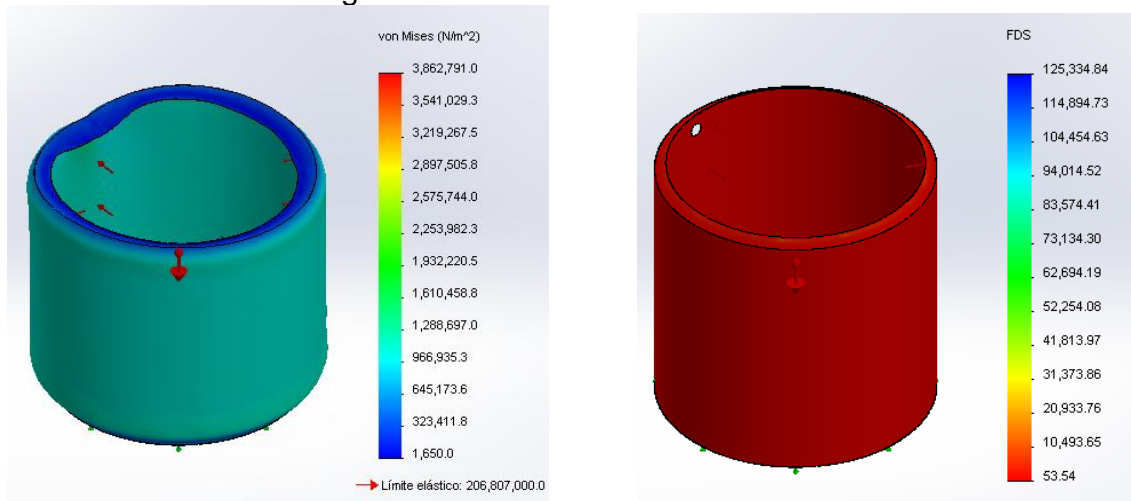
- Recipiente que contiene la leche.

Figura 41. Resultados SolidWorks 1.



- Camisa de agua.

Figura 42. Resultados SolidWorks 2



El tanque de leche y la camisa de agua no presentarán ningún problema debido a las cargas estáticas a las cuales se encuentran sometidas durante el proceso puesto que para los espesores escogidos para ambos casos los valores de la tensión de Von Misses está por debajo del máximo esfuerzo a la fluencia del acero inoxidable.

7.2.5 Fatiga térmica.

El sistema está diseñado de tal manera que en la etapa de calentamiento la chaqueta de agua contenga el líquido caliente alrededor de 80°C, y posteriormente permita seguir con la etapa de enfriamiento en donde se desocupa el volumen de agua a 80°C e inmediatamente se ingresa agua fría a 1°C. Al tener recipientes armandos mediante juntas con soldadura, surge la preocupación de tener problemas por fatiga térmica después de varios ciclos.

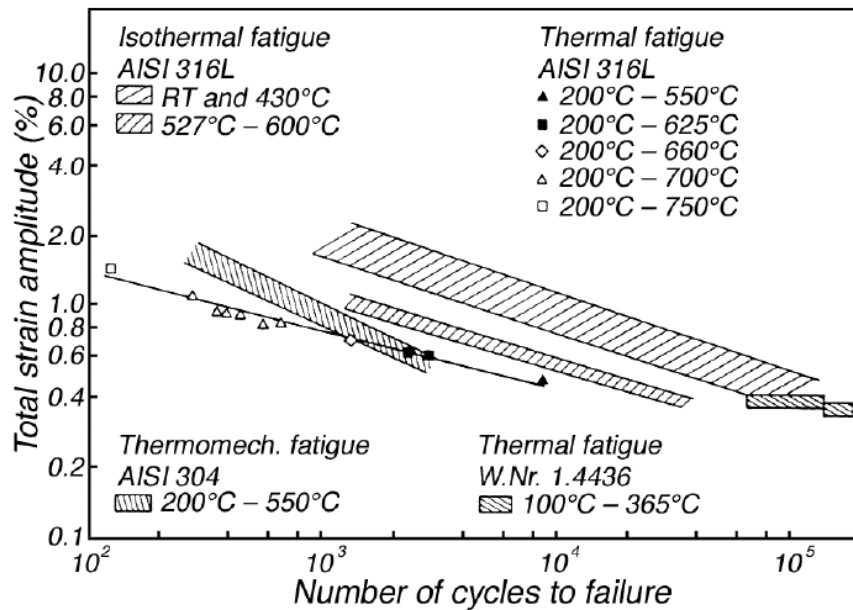
La fatiga térmica es un fenómeno presentado en los materiales, y se da a causa de las grandes variaciones en las temperaturas. Cuando un material es calentado se expande, mientras que cuando se enfría se contrae. Los efectos de la fatiga térmica se ven reflejados en la falla por fatiga del material, puesto que el material va a estar sujeto a esfuerzos que lo someten a compresión y tensión durante determinado tiempo.

En a la bibliografía consultada, se puede saber que en este caso en particular no existe riesgo de falla por fatiga térmica por las siguientes razones:

- El coeficiente de dilatación térmica lineal del acero inoxidable es muy bajo ($1,73 \times 10^{-5} [^{\circ}C^{-1}]$) para que pueda causar daños de falla por fluencia térmica.

- Los esfuerzos críticos estudiados para la falla por fatiga térmica del acero inoxidable están en el orden de 150-400 MPa, mientras que en el sistema se están manejando esfuerzos mucho menores que los mencionados.
- Las temperaturas a las que se realizan las pruebas de fatiga inician en variaciones de temperatura de más de 365[°C] para poder observar los efectos de la expansión térmica. Los variaciones de temperatura en el material deben ser muy grandes para que se presente este tipo de inconveniente. En la marmita se tendrán temperaturas máximas de 90[°C], por lo cual este fenómeno se presenta pero en poca proporción, con efectos poco importantes.
- El ciclaje en el que se pondrá a trabajar el sistema es muy bajo. Los requerimientos del cliente establece la posibilidad de realizar de 2 a 5 procesos diarios por lo cual no se presentarían problemas de fatiga térmica puesto que éstos inconvenientes se presentan por encima de los 1000 ciclos con grandes variaciones de temperatura.

Figura 43. Estudio de fatiga térmica Acero inoxidable 304.



Fuente: VIRKKUNEN, Iikka. Thermal Fatigue of Austenitic and Duplex Stainless Steels.

Los aspectos a destacar de la Figura 43 son principalmente las temperaturas a las que se realiza el estudio. Para tener efectos importantes en el material, es necesario llevar al acero hasta 365°C, 430°C o inclusive hasta 750°C. La termofatiga se presenta en el rango de 200°C hasta los 550°C, con un número de ciclos desde aproximadamente 3000 hasta los 30.000 (para flexión por rotación), y sin embargo la amplitud de la deformación es menor al 2%.

7.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE AGITACIÓN

La mayoría de procesos industriales en tanques requieren de la agitación de los productos dispuestos en él con el objetivo de producir la mezcla de líquidos miscibles, disolución de sólidos en líquidos, mejoramiento de la transferencia de calor, dispersión de un gas en un líquido, dispersión de dos fases no miscibles, entre otras aplicaciones.

La efectividad de la agitación depende de varios factores, entre los cuales están las dimensiones del tanque, el tipo de agitador utilizado, y la disposición del mismo en el tanque.

7.3.1 Dimensiones del tanque.

En la mayoría de los casos la altura del líquido debe ser igual al diámetro del tanque en el cuál se tiene contenido para obtener una eficaz agitación, de allí la relación de $D/H=1$ tomada para el dimensionamiento geométrico del tanque.

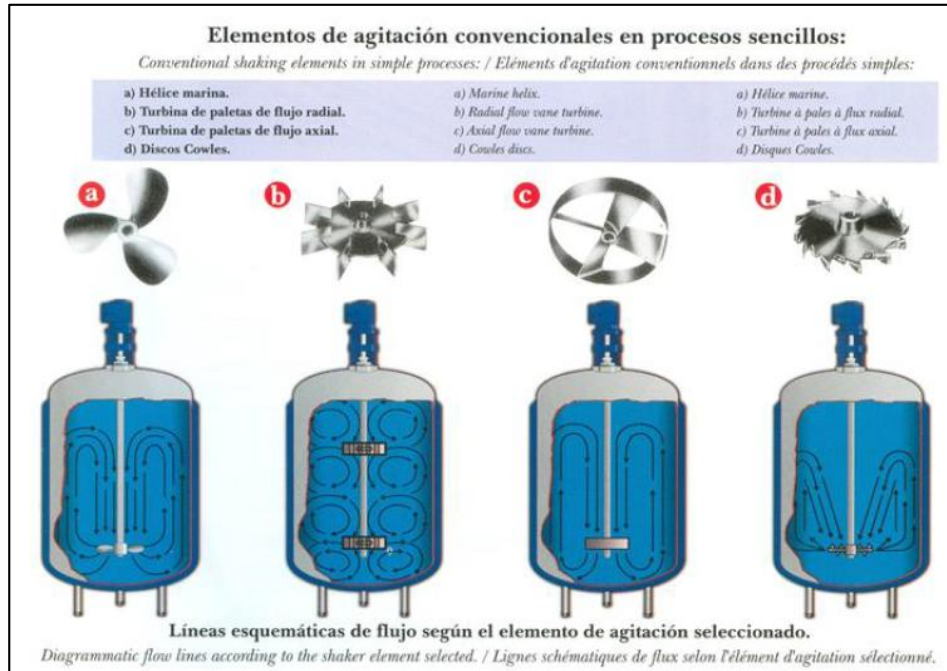
7.3.2 Tipos de agitadores.

Los agitadores son el elemento del equipo encargado de transmitir el movimiento de rotación del motor al líquido en el tanque, dependiendo de la configuración del

agitador el movimiento del líquido puede ser axial, radial, tangencial o una combinación de estos. Entre los agitadores más comunes se tienen:

- Agitadores de paletas: Consiste en una o varias hojas planas montadas sobre un eje rotatorio, son los más sencillos de construir, con en este agitador el flujo del líquido tiene una componente radial y rotacional grande en el plano de la pala, son útiles para aplicaciones de simple mezcla, su velocidad de rotación para un óptimo desempeño está comprendida en el rango de 20-150 RPM.
- Agitadores de hélice: Consiste en unas hoja generalmente de poco tamaño y con formas específicas montadas sobre un eje giratorio dispuesto en el centro del tanque los cuales giran a una velocidad entre 500-2000 RPM, el flujo del líquido adquiere una componente radial que actúa en la dirección perpendicular al eje, una componente longitudinal que actúa paralelamente al eje, una componente rotatoria que actúa en dirección tangencial al círculo de rotación del eje.
- Agitadores de turbina: Están constituidos por una cantidad de hojas montadas en un disco y fijas a un eje rotatorio, son utilizados para procesar numerosos materiales, son eficaces para un amplio intervalo de viscosidades, en los fluidos poco viscosos generan altas corrientes que destruyen las masas de líquido estancado, en las proximidades del rodete generan corrientes altas, las cuales dan origen a turbulencia que genera vórtices y torbellinos, las cuales deben evitarse añadiendo al tanque unas placas deflectoras o baffles.

Figura 44. Tipos de agitadores y flujo que producen.



Fuente: https://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/mgilarra/Fluid/AGITACION%20Y%20MEZCLA%20Transparencias.pdf


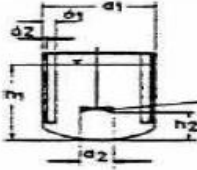
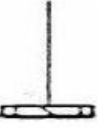
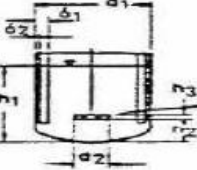

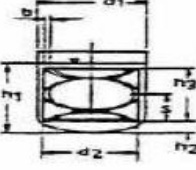

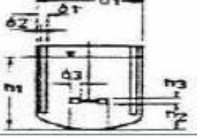
La micro pasteurizadora dispone de un mecanismo de agitación que pretende aumentar la transferencia de calor desde el agua hasta la leche, además de evitar los gradientes en la temperatura de la leche con el fin de garantizar la efectiva pasteurización de la leche del tanque.

7.3.3 Diseño del agitador

El agitador que se escoge para el sistema es un agitador de paletas inclinadas a 45°, debido a su facilidad de construcción, su eficaz desempeño a bajas velocidades de rotación y las características de flujo producido en el líquido.

Las dimensiones del agitador se hallan según lo especifica la norma DIN 28131 para los diferentes tipos de agitadores.

Figura 45. Dimensiones estándar de los agitadores.

DENOMINACIÓN	SÍMBOLO	GEOMETRÍA
Agitador de Hélice		 $\begin{aligned} h_1 / d_1 &= 1.0 \\ d_2 / d_1 &= 0.33 \\ h_2 / d_1 &= 0.33 \\ \alpha &= 25^\circ \\ \delta_1 / d_1 &= 0.1 \\ \delta_2 / d_1 &= 0.02 \end{aligned}$
Agitador con palas planas inclinadas		 $\begin{aligned} h_1 / d_1 &= 1.0 \\ d_2 / d_1 &= 0.337 \\ h_2 / d_1 &= 0.17 + 0.34 \\ h_3 / d_2 &= 0.177 \\ \alpha &= 45^\circ \\ 6 \text{ Blätter} \\ \delta_1 / d_1 &= 0.1 \\ \delta_2 / d_1 &= 0.02 \end{aligned}$
Agitador Helicoidal		 $\begin{aligned} h_1 / d_1 &= 1.0 \\ d_2 / d_1 &= 0.98 \\ b / d_2 &= 0.1 \\ h_3 / d_2 &= 1.0 \\ s / d_2 &= 0.5 \\ h_2 / d_1 &= 0.01 \end{aligned}$
Agitador de palas planas		 $\begin{aligned} h_1 / d_1 &= 1.0 \\ d_2 / d_1 &= 0.33 \\ h_2 / d_1 &= 0.33 \\ h_3 / d_2 &= 0.2 \\ \delta_3 / d_2 &= 0.25 \\ \delta_1 / d_1 &= 0.1 \\ \delta_2 / d_1 &= 0.02 \end{aligned}$

Fuente: <http://www.unizar.es/dctmf/jblasco/AFTAgitacion/index.htm>

Según la Figura 45, las dimensiones para el agitador son:

- Diámetro del agitador d_2 .

$$d_2 = 0.337 * d_1$$

$$d_2 = 0.1588 [m] = 0.16 [m]$$

- Altura desde el fondo del tanque al agitador h_2 .

$$h_2 = 0.23 * d_1$$

$$h_2 = 0.1084 [m] = 0.11 [m]$$

- Altura de las paletas h_3 .

$$h_3 = 0.177 * d_2$$

$$h_3 = 0.028 [m] = 0.03 [m]$$

Debido a que la velocidad a la cual girará el agitador es baja, no existe una necesidad de poner placas deflectoras en el tanque.

7.3.4 Potencia de agitación y selección del motor.

El cálculo de la potencia de agitación dependerá de las dimensiones del tanque, la existencia de placas deflectoras, de la velocidad a la cual gira y las características propias del fluido que se agita.

- Determinación del número de Reynolds en función de la velocidad de rotación:

$$N_{Re} = \frac{d_2^2 * RPS * \rho_{leche}}{\mu_{leche}}$$

La velocidad a la cual se agita la leche no puede ser demasiado alta puesto que generaría una alta producción de espuma (RPM>200) debido a la entrada de aire en el producto, dicha espuma no permitiría una pasteurización eficaz de todo el producto, por ello la velocidad de agitación escogida es de 56 RPM con el fin de que la velocidad de agitación sea de un valor intermedio para el cual no permita la formación de espuma y garantice un coeficiente de transferencia de calor alto.

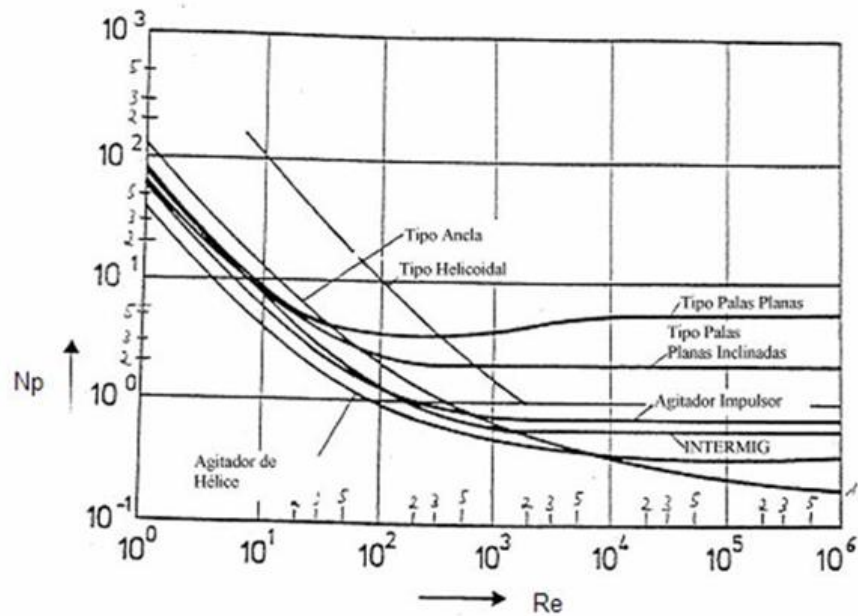
$$N_{Re} = \frac{0.16^2 [m] * \frac{56 [RPM]}{60 [s]} * 1032 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]}{0.0022 \left[\frac{Kg}{m * s} \right]}$$

$$N_{Re} = 11208.145$$

- Determinación del número de potencia:

El número de potencia es un número adimensional que relaciona el esfuerzo de rozamiento con el esfuerzo de inercia.

Figura 46. Numero de potencia vs Numero de Reynolds.



Fuente: <http://biofermentaciones.blogspot.com/png>

Según la Figura 46, el número de potencia para un Reynolds de 11.208, 145 y un agitador tipo palas planas inclinadas es de 2.

$$N_p = 2.$$

- Potencia de agitación:
$$N_p = \frac{Pot_{agitación}}{RPS^3 * d_2^5 * \rho_{leche}}$$

$$Pot_{agitación} = \frac{56^3}{60} * 0.16^5 * 1032 * 2$$

$$Pot_{agitación} = 0.17596 \text{ [Watt]}$$

$$Pot_{motor} = \frac{Pot_{agitación}}{\eta_{motor}}$$

$$\eta_{motor} = 0.55$$

$$Pot_{motor} = \frac{0.17596}{0.55} = 0.319 \text{ [Watt]}$$

Con los cálculos anteriores se establece que la potencia necesaria para la agitación es muy pequeña, debido a la baja viscosidad de la leche, la pequeña cantidad de líquido a agitar, y el pequeño tamaño del equipo.

- Selección del motor.

El motor instalado en la máquina se escoge de acuerdo a la potencia necesaria para la agitación, lo ofrecido por el mercado, la facilidad de obtención del mismo, comodidad económica y la capacidad de poder garantizar una variación de la velocidad de rotación.

Figura 47. Motor General Electric.



Tabla 8. Características del motor.

CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR	
Potencia nominal:	1 [HP]
Voltaje nominal:	110[V]
Corriente nominal:	9[A] DC
Eficiencia:	0.55
Velocidad nominal=	3600 [RPM]

- Selección del reductor

Se selecciona un reductor de mecanismo sin-fin corona con una relación de velocidad de 30:1, con el objetivo de disminuir la velocidad del motor, y permitir una velocidad máxima de agitación de 120 [RPM].

Figura 48. Reductor sin-fin corona.



- Tarjeta variadora:

Con el objetivo de poder tener un rango variable de posibles velocidades de agitación para el procesamiento y elaboración de otros productos, se instala una tarjeta variadora de velocidad, la cual se conecta al motor.

Figura 49. Tarjeta variadora de velocidad.



7.3.5 Determinación del diámetro del eje del impulsor.

Según la norma ASME, el eje se calcula teniendo en cuenta las propiedades del material utilizado para su construcción, el tipo de carga la cual está sometido y si va a ser un eje macizo o un eje hueco.

- Propiedades del material
 - Material: Acero inoxidable grado 304
 - Esfuerzo a la fluencia: $S_y = 0.241$ [GPa]
 - Esfuerzo último: $S_{ut} = 0.579$ [GPa]

- Torque al cual está sometido el eje.

$$Pot_{motor} = Torque * \omega$$

$$Torque = \frac{Pot_{motor}}{\omega}$$

$$Torque = \frac{745}{56 * \frac{\pi}{30}} = 127.04 [N * m]$$

- Determinación del diámetro por eje macizo

El eje que se monta en el sistema es macizo, de manera que el diámetro del eje se determina por un proceso iterativo, donde la condición de diseño que se debe cumplir es:

$$\tau_{macizo} < \tau_{permisible}$$

El esfuerzo permisible será el menor valor de los dos posibles establecidos por:

$$\tau_{permisible1} = 0.3 * S_y = 0.0724 * 10^9 [Pa]$$

$$\tau_{permisible2} = 0.18 * S_{ut} = 0.104 * 10^9 [Pa]$$

El valor del esfuerzo permisible es el proporcionado por $\tau_{permisible1}$.

$$\tau_{macizo} = 16 * Torque * \frac{K_T}{\pi * D_{macizo}^3}$$

- El factor de carga de torsión $K_T = 1.5$ (carga repentina en ejes que rotan).
- Diámetro del eje asumido de 1" (0.0254 [m])

$$\tau_{macizo} = 0.05922 * 10^9 [Pa]$$

$$\tau_{macizo} < \tau_{permisible1}$$

El diámetro escogido de 1" cumple a cabalidad con el requisito de diseño.

7.3.6 Determinación del espesor de las palas del agitador.

- Potencia que soporta cada paleta:

$$Pot_{paleta} = \frac{Pot_{agitación}}{N^{\circ} \text{ de paletas}}$$

$$Pot_{paleta} = \frac{0.17596}{4} = 0.044 [Watt]$$

- Torque que soporta cada una de las paletas

$$Torque_{paleta} = \frac{Pot_{paleta}}{\omega_{agitador}} = \frac{0.044}{56 * \frac{\pi}{30}} = 7.5 * 10^{-3} [N * m]$$

- Fuerza que soporta cada una de las paletas:

$$F_{paleta} = \frac{Torque_{paleta}}{r_{agitador}} = \frac{7.5 * 10^{-3}}{\frac{0.16}{2}} = 0.094 [N]$$

- Espesor de la paleta:

$$t_{paleta} = \sqrt{6 * F_{paleta} * \frac{\frac{d_2}{2}}{h_3 * 0.5 * S_y}}$$

$$t_{paleta} = 1.11 * 10^{-3} [m]$$

7.4 SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control propuesto consiste en una lógica cableada que de manera sencilla y económica permite realizar las funciones del sistema de manera automática, controlando todo el tiempo la evolución de las temperaturas de la leche y del tanque de enfriamiento. Es necesario usar controles de lazos cerrados tanto para la etapa de calentamiento, como para la etapa de enfriamiento, y un lazo abierto para la agitación de la leche.

La siguiente tabla muestra la configuración del control utilizada en el sistema.

Tabla 9. Configuración del sistema de control.

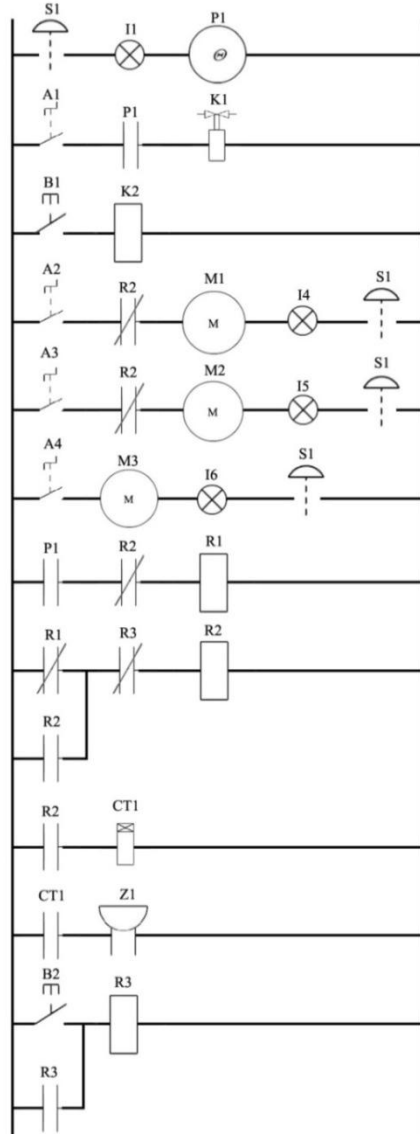
SISTEMA	SET POINT	CONTROLADOR	SENSOR	ACTUADOR	VARIABLE DE PROCESO	TIPO DE CONTROL
Calentamiento y sostenimiento	63[°C]	Pirómetro Rampa y temporizador	Termopar tipo J	Válvula Solenoide para gas	Temperatura de calentamiento	On/off
Enfriamiento	0[°C]	Controlador de frío	Termopar incluida al controlador	Unidad condensadora de 1 TON	Temperatura del banco de enfriamiento	On/off (con delay para arranque de compresor)
Agitación	62 [RPM]	Tarjeta variadora de velocidad CONTROLS/inc.50-165301F	No aplica (sistema de control abierto)	Motor DC General Electrics 1 HP	Velocidad angular	Manual

Para el sistema de control completo se utilizaron los siguientes componentes

- Pirómetro rampa
- Controlador de frío con termopar
- 3 contactores y 3 Relés
- Tarjeta variadora de velocidad con potenciómetro.
- 2 termo fusibles de seguridad y 6 indicadores luminosos
- Temporizador
- 4 switches
- 1 pulsador y 1 pulsador para chispa de encendido
- 1 zumbador y 1 parada de emergencia.

El plano de control (Norma IEC 60617)³¹ se presenta a continuación, con la representación de todos los elementos necesarios para realizar el mando:

Figura 50. Plano de lógica cableada



CONVENCIONES	
SIGLA	ELEMENTO
S1	Parada de emergencia
I1	Indicador de inicio
P1	Pirometro
A1	Switch para calentamiento
K1	Valvula solenoide gas
B1	Pulsador para chispa
K2	Bobina para chispa
A2	Switch para agitador
M1	motor agitador
I4	Indicador de agitador
A3	Switch para bomba
M2	motor bomba
I5	Indicador de bomba
A4	Switch para enfriamiento
M3	compresor unidad condensadora
I6	Indicador de enfriamiento
R1	Contactador para agitador
R3	Contactador para enfriamiento
R2	Contactador para bomba
CT1	Temporizador
Z1	Zumbador
B2	Pulsador para inicio de enfriamiento

A continuación se especifican los sistemas en los que es necesaria la implementación de elementos de control:

³¹ COMISIÓN ELECTRÓNICA INTERNACIONAL. IEC 60617. Elementos de símbolos, símbolos distintivos y otros símbolos de aplicación general. 1999.

7.4.1 Agitación

La agitación utilizada para evitar los gradientes de temperatura de la leche, es realizada mediante un conjunto motor-reductor General Electrics de 1 HP. Utilizando una tarjeta variadora de velocidad marca CONTROLS/inc. Referencia 50-165301F (Figura 49) directamente enlazada al motor, se realiza el control manual de las RPM del motor. La velocidad se debe fijar en 56 RPM.

7.4.2 Calentamiento

El control de la temperatura del calentamiento se realiza mediante un pirómetro de rampa marca Autonics referencia TCN4M, el cual lleva al sistema hasta la temperatura de Set Point de 63 [°C] manteniéndola en un rango determinado utilizando control ON/OFF. La señal de control se encarga de gobernar la apertura de una válvula solenoide para gas que en últimas controla la cantidad de energía que es suministrada a la leche. El tiempo de sostenimiento está regulado por un temporizador fijado en 30 minutos durante los cuales se ejecuta el control por el pirómetro. Al final de este paso, suena la alarma que indica al operario que es necesario realizar la conmutación de las válvulas para proseguir con la etapa de enfriamiento.

Figura 51. Controlador de temperatura para el calentamiento.

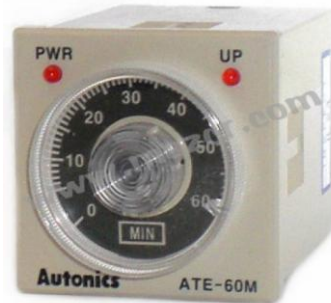


Fuente: <http://products.autoniconline.com/viewitems/temperature-controllers-tcnseries/temperature-controllers-tcn4mseries>

7.4.3 Sostenimiento

El tiempo del sostenimiento para efectos de pasteurizar la leche, es controlado mediante un temporizador marca Autonics, referencia ATE-60M, el cual inicia el conteo al finalizar el calentamiento, y permite mantener los 30 minutos de sostenimiento, para posteriormente indicar el inicio de la etapa del enfriamiento.

Figura 52. Temporizador para control de sostenimiento.



Fuente: <http://www.mazcr.com/>

7.4.4 Enfriamiento

El control para el enfriamiento es similar al del calentamiento. Se utiliza un controlador de equipos para refrigeración marca Fullgauge referencia MT512 E que está configurado con un set point a 0[°C] para regular la temperatura del agua dentro del banco de enfriamiento.

Figura 53. Controlador de temperatura para el tanque de enfriamiento.



Fuente: <http://www.fullgauge.com/products/temperature>

8. DISEÑO TÉRMICO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO

El diseño térmico de la micro-pasteurizadora se realizará teniendo en cuenta los requerimientos antes planteados para realizar el proceso, el cual consiste en una fase de calentamiento-retención y una fase de enfriamiento.

8.1 FASE DE CALENTAMIENTO

A continuación se realiza un análisis termodinámico con el cuál se pretende encontrar los requerimientos de calor necesarios para cumplir a cabalidad la fase de calentamiento del producto (leche).

8.1.1 Requerimientos de energía

- **Datos del problema:**

Tabla 10. Datos para el problema del calentamiento.

Requerimiento	Valor	Descripción
T_{ileche}	18 [°C]	Temperatura inicial de la leche cruda, tomada como la temperatura ambiente del sitio.
T_{fleche}	63 [°C]	Temperatura final de la leche especificada para el proceso de pasteurización tipo LTLT.
Cp_{leche}	$3.91466 \left[\frac{KJ}{Kg * °C} \right]$	Calor específico de la leche.
ρ_{leche}	$1032 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$	Densidad promedio de la leche.
V_{tratar}	0.06 [m ³]	Requerimiento de volumen de leche cruda a pasteurizar.
Δt	30 [min]	Tiempo estipulado para elevar la temperatura de la leche desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de pasteurización.
$\eta_{quemador}$	0.55	Eficiencia tomada para sistemas de calefacción por gas. Esta

		<p>eficiencia está relacionada con la cantidad de energía que se utiliza para:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Calentar las láminas de acero. • Aumentar la temperatura del agua de calentamiento. • Compensar la ineficiencia de la combustión.
--	--	--

- **Masa de leche a tratar:**

$$m = \rho_{leche} * V_{tratar}$$

$$m_{leche} = 61.92 [Kg]$$

- **Calor necesario para calentar la leche:**

$$Q_{inleche} = m_{leche} * C_{pleche} * (T_{fleche} - T_{ileche});$$

$$Q_{inleche} = 10907.81 [KJ]$$

- **Potencia necesaria para calentar la leche:**

$$Pot_{inleche} = \frac{Q_{inleche}}{\Delta t * 60};$$

$$Pot_{inleche} = 6.06 [KW]$$

- **Potencia de pérdidas hacia el ambiente:**

$$Pot_{pérdidas} = 0.05 * Pot_{quemador}$$

Nota: Se considera que el sistema tendrá un 5% de pérdidas hacia el ambiente.

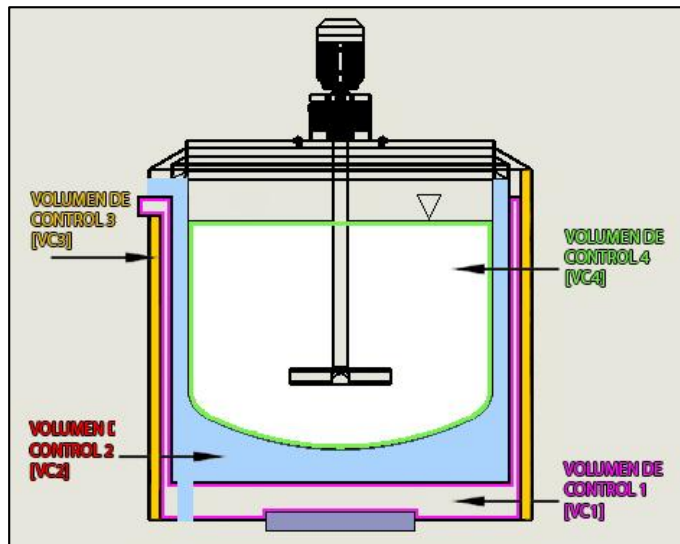
- **Potencia del quemador del sistema calefactor:**

$$Pot_{quemador} = \frac{Pot_{inleche} + Pot_{pérdidas}}{\eta_{quemador}};$$

$$Pot_{quemador} = 12.12 [KW] = 41355.159 \left[\frac{BTU}{h} \right]$$

8.1.2 Modelo de transferencia de calor de la micro-pasteurizadora.

Figura 54. Modelo de transferencia de calor del sistema.

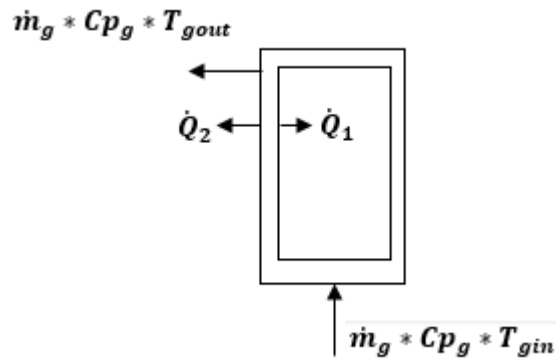


Consideraciones para la solución del modelo:

- Tanto la leche como el agua se consideran perfectamente agitados, por ello su temperatura para cualquier instante t de tiempo siempre será la misma en todos los puntos.
- La temperatura de entrada de los gases se considera como la temperatura de llama adiabática.
- Con el objetivo de facilitar herramientas para la solución del modelo matemático, el sistema se idealizará como un sistema de cilindros concéntricos.
- Se considera que las paredes de todos los componentes son isotérmicas.

- Se considera que los gases de combustión son transparentes a la radiación.
- Se realizará un modelo cero dimensional.
- El calor específico de las paredes de acero inoxidable es de 510 [J/Kg*K].

Balance de energía en el VC1 representado por los gases de la chaqueta.



$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} + \dot{E}_{gen} = M_g * C_{v_g} * \frac{dT_g(t)}{dt}$$

$$\dot{m}_g * C_{p_g} * T_{gin} - \dot{m}_g * C_{p_g} * T_{gout} - \dot{Q}_1 - \dot{Q}_2 = M_g * C_{v_g} * \frac{dT_g(t)}{dt}$$

$$\dot{Q}_1 = h_1 * A_1 * (T_g(t) - T_{gw}(t))$$

$$\dot{Q}_2 = h_2 * A_2 * (T_g(t) - T_{ga}(t))$$

Dónde:

\dot{Q}_1 = Potencia transmitida de los gases a la pared gas-agua.

\dot{Q}_2 = Potencia transmitida de los gases a la pared gas-aislamiento.

h_1 = Coeficiente convectivo entre los gases y la pared gas-agua.

h_2 = Coeficiente convectivo entre los gases y la pared gas-aislante.

A_1 = Área transversal de la pared gas-agua.

A_2 = Área transversal de la pared gas-aislante.

$T_g(t)$ =Temperatura de los gases en la chaqueta para cualquier tiempo t.

$T_{gw}(t)$ = Temperatura de la pared gas-agua para cualquier instante t.

$T_{ga}(t)$ = Temperatura de la pared gas-aislante para cualquier tiempo t.

M_g = masa de los gases contenida en la chaqueta de gases.

\overline{Cv}_g = Calor específico de los gases a volumen constante.

\overline{Cp}_g =Calor específico de los gases a presión constante.

\dot{m}_g = Flujo másico de gases producto de la combustión.

T_{gin} =Temperatura de entrada de los gases (Temperatura de llama adiabática).

T_{gout} =Temperatura de salida de los gases.

- **Cálculo del flujo másico de gases \dot{m}_g .**

Masa de combustible utilizado para el proceso de calentamiento:

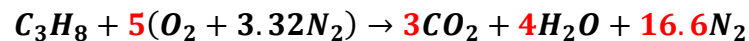
$$\dot{m}_c = \frac{Pot_{quemador}}{PC_{C_3H_8}}$$
$$\dot{m}_c = \frac{50000}{43976} = 1.1349 \left[\frac{Kg}{h} \right]$$
$$M_c = \dot{m}_c * \Delta t$$
$$M_c = 0.5685 [Kg]$$

Dónde:

$PC_{C_3H_8}$ = Poder calorífico del propano (Anexo A).

- **Estequiometria de la combustión:**

El combustible utilizado para generar la potencia necesaria será el propano, y el comburente será el aire, de esa manera para un kilogramo de propano se tiene el siguiente balance estequiométrico en masa:



Teniendo en cuenta el anterior balance y según la ley de la conservación de las especies químicas para una masa de propano de 0.5685 se tiene:

$$M_{gtotales} = M_c * (3 + 4 + 16.6) [Kg]$$

$$M_{gtotales} = 13.4154 [Kg]$$

$$\dot{m}_g = \frac{M_g}{\Delta t}$$

$$\dot{m}_g = 7.45 * 10^{-3} \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

Dónde:

$M_{gtotales}$ = Masa de gases totales producidos durante todo el proceso de calentamiento.

- Cálculo del calor específico a presión constante de gases \overline{Cp}_g .

$$\overline{Cp}_g = \sum_i X_i * \overline{Cp}_i$$

$$\overline{Cp}_g = (X_{CO2} * \overline{Cp}_{CO2}) + (X_{H2O} * \overline{Cp}_{H2O}) + (X_{N2} * \overline{Cp}_{N2})$$

$$X_{CO2} = \frac{\eta_{CO2}}{\eta_{Totales}}$$

$$X_{H2O} = \frac{\eta_{H2O}}{\eta_{Totales}}$$

$$X_{N2} = \frac{\eta_{N2}}{\eta_{Totales}}$$

$$\overline{Cp}_{CO2} = \mathfrak{R} * (3.393 + 4.746 * 10^{-3} * T - 1.529 * 10^{-6} * T^2); T [K]$$

$$\overline{Cp}_{H2O} = \mathfrak{R} * (3.554 + 1.327 * 10^{-3} * T + 0.069 * 10^{-6} * T^2); T [K]$$

$$\overline{Cp}_{N2} = \mathfrak{R} * (3.095 + 1.018 * 10^{-3} * T - 0.187 * 10^{-6} * T^2); T [K]$$

$$\mathfrak{R} = 8.314 \left[\frac{J}{mol * K} \right]$$

Dónde:

X_i = Fracción molar para cada uno de los productos de la combustión.

\overline{Cp}_i = Calor específico a presión constante para cada uno de los productos de la combustión (Anexo B)

\mathfrak{R} = Constante universal de los gases.

- Cálculo del calor específico a volumen constante de gases \overline{Cv}_g .

$$\overline{Cv}_g = \overline{Cp}_g - \mathfrak{R}$$

- Cálculo de la masa de gases presente en la chaqueta M_g .

$$M_g = \overline{\rho}_g * V_g$$

Según la ley de gases ideales:

$$\overline{\rho}_g = \frac{P * M_{molecularg}}{\mathfrak{R} * T}$$

$$M_{molecularg} = \sum_i X_i * M_{moleculari}$$

Donde:

P = Presión a la cual se encuentra la mezcla de gases.

T =Temperatura a la cual se encuentra la mezcla de gases ($T_g(t)$).

$M_{molecularg}$ = Masa molecular de la mezcla de gases.

$M_{moleculari}$ = Masa molecular de cada producto de la combustión.

V_g =Volumen de la camisa de gases.

- Cálculo del coeficiente de transferencia de calor convectivo h_1 y h_2 .

-Determinación del número de Reynolds de los gases en la chaqueta:

$$Re_g = \frac{D_{h1} * V_g * \overline{\rho}_g}{\mu_g}$$

$$D_{h1} = D_g - D_w = 0.03 [m]$$

$$V_g = \frac{\dot{m}_g}{\overline{\rho}_g * A_{a1}}$$

$$A_{a1} = \frac{\pi}{4} * (D_g^2 - D_w^2) = 0.0248 [m^2]$$

$$\mu_g = \sum_{i=1}^n \frac{X_i * \mu_i}{\sum_{j=1}^n X_j * \phi_{ij}} = 1.736 * 10^{-5} \left[\frac{Kg}{m * s} \right]$$

$$\phi_{ij} = \frac{1}{\sqrt{8}} * \left(1 + \frac{M_i}{M_j}\right)^{-\frac{1}{2}} * \left(1 + \left(\frac{\mu_i}{\mu_j}\right)^{\frac{1}{2}} * \left(\frac{M_j}{M_i}\right)^{\frac{1}{4}}\right)^2$$

$$Re_g = 519.3$$

Según el número de Re de los gases se puede concluir que el régimen de flujo es laminar durante todo el proceso puesto que el valor de μ_g va a ser mayor al aumentar la $T_g(t)$, y a su vez la densidad de los gases $\bar{\rho}_g$ va a ser menor con el aumento de la temperatura, por ende el Re_g se hará más pequeño.

Donde:

Re_g =Número de Reynolds de los gases en la chaqueta.

D_{h1} =Diámetro hidráulico para el ánulo por el que circulan los gases.

V_g =Velocidad de los gases en la chaqueta.

A_{a1} =Área transversal del ánulo por donde pasan los gases.

μ_g =Viscosidad dinámica de la mezcla de gases hallada a través del método de Wilke (error=2%).

D_g =Diámetro de la camisa de gases.

D_w =Diámetro de la chaqueta de agua.

X_i y X_j =Fracciones molares de las especies ij.

ϕ_{ij} =Número adimensional.

-Determinación del número de Nu_{gi} y Nu_{go} :

Según la Tabla 8-4 del libro transferencia de calor de Yunus Cengel³²:

$$Nu_{gi} = 4.8$$

$$Nu_{go} = 4.9$$

-Determinación de los coeficientes convectivos.

$$Nu_{gi} = \frac{h_1 * D_{h1}}{K_g}$$

³² CENGEL, Yunus A. Transferencia de calor. 2 ed. México D.F. Mc Graw Hill. 2004. 808 p. ISBN 0-07245893-3.

$$\text{Nu}_{go} = \frac{h_2 * D_{h1}}{K_g}$$

Donde:

Nu_{gi} =Número de Nusselt para el diámetro interno del ánulo.

Nu_{go} =Número de Nusselt para el diámetro externo del ánulo.

K_g =Conductividad térmica de los gases en la chaqueta, y se calcula a la temperatura media de los gases entre la entrada y la salida.

- **Cálculo de las áreas de transferencia de calor A1 y A2.**

$$A_1 = \pi * D_w * H_a = 0.9672 [m^2]$$

$$A_2 = \pi * D_g * H_a = 1.0239 [m^2]$$

- **Cálculo de la T_{gin} .**

Para encontrar la temperatura de llama adiabática se debe realizar un proceso iterativo, en el cuál se toma un valor posible de temperatura de los productos, y se reemplaza en la siguiente ecuación:

$$q_i^0(C_3H_8) = 1.71\Delta h_{CO_2}^{Tu} + 2.274\Delta h_{H_2O}^{Tu} + 9.44\Delta h_{N_2}^{Tu}$$

El proceso de iteración finaliza cuando el resultado arrojado de la anterior ecuación sea igual al poder calorífico inferior del combustible utilizado, en este caso el propano:

$$q_i^0(C_3H_8) = 2043 \left[\frac{KJ}{mol} \right]$$

-Para la primera iteración según la regla de Kay se recomienda:

$$\frac{q_i^0}{\eta_{totales}} = \frac{2043}{13.41} = 152.19 \left[\frac{KJ}{mol} \right]$$

Esta entalpía corresponde a cada uno de los productos a una T [K] de:

$$CO_2 \rightarrow T_{CO_2} = 1750 [K]$$

$$H_2O \rightarrow T_{H_2O} = 2120[K]$$

$$N_2 \rightarrow T_{N_2} = 2650[K]$$

$$T_1'' = \frac{(1.71 * T_{CO_2}) + (2.274 * T_{H_2O}) + (9.44 * T_{N_2})}{\eta_{totales}}$$

$$T_1'' = 2463.61[K]$$

Reemplazando los deltas de entalpía para cada producto a la temperatura T_1'' , se tiene:

$$2043 \left[\frac{KJ}{mol} \right] = 1,71 * 118.56 + 2,274 * 95.725 + 9,44 * 72.21$$

$$2043 \left[\frac{KJ}{mol} \right] = 2143 \left[\frac{KJ}{mol} \right]$$

-Para la segunda iteración se utiliza una $T_2'' = 2400 [K]$:

$$2043 \left[\frac{KJ}{mol} \right] = 1,71 * 115.78 + 2,274 * 93.604 + 9,44 * 70.651$$

$$2043 \left[\frac{KJ}{mol} \right] = 2054.23 \left[\frac{KJ}{mol} \right]$$

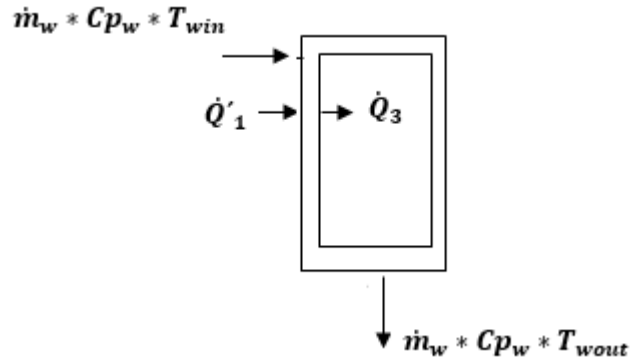
Se toma que la temperatura de llama adiabática y la temperatura de entrada de los gases a la chaqueta son:

$$T_{gin} = 2400[K]$$

- Consideración tomada para la T_{gout} .

$$T_g(t) = \frac{T_{gin} + T_{gout}}{2} \rightarrow T_{gout} = 2 * T_g(t) - T_{gin}$$

Balance de energía en el VC2 representado por el agua en la camisa de calentamiento.



$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} + \dot{E}_{gen} = M_w * C v_w * \frac{dT_w(t)}{dt}$$

$$\dot{m}_w * C p_w * T_{win} - \dot{m}_w * C p_w * T_{wout} - \dot{Q}'_1 - \dot{Q}_3 = M_w * C v_w * \frac{dT_w(t)}{dt}$$

$$\dot{Q}'_1 = h_4 * A_1 * (T_{gw}(t) - T_w(t))$$

$$\dot{Q}_3 = h_5 * A_3 * (T_w(t) - T_{wl}(t))$$

Donde:

\dot{Q}'_1 = Potencia transmitida de la pared gas-agua al agua de calentamiento.

\dot{Q}_3 = Potencia transmitida del agua de calentamiento a la pared agua-leche.

h_4 = Coeficiente convectivo entre la pared gas-agua y el agua de calentamiento.

h_5 = Coeficiente convectivo entre el agua y la pared agua-leche.

A_1 = Área transversal de la pared gas-agua.

A_3 = Área transversal de la pared agua-leche.

$T_w(t)$ = Temperatura del agua en la chaqueta para cualquier tiempo t.

$T_{gw}(t)$ = Temperatura de la pared gas-agua para cualquier instante t.

$T_{wl}(t)$ = Temperatura de la pared agua-leche para cualquier tiempo t.

M_w = masa del agua contenida en la chaqueta de agua.

$C v_w$ = Calor específico del agua a volumen constante.

$C p_w$ = Calor específico del agua a presión constante.

\dot{m}_w = Flujo másico de agua.

T_{win} =Temperatura de entrada del agua.

T_{wout} =Temperatura de salida del agua.

- **Determinación del flujo másico de agua \dot{m}_w .**

El flujo másico de agua se determina a través del caudal de la bomba que recirculará el agua con el fin de aumentar la transferencia de calor en el calentamiento y que posteriormente impulsará el agua de enfriamiento a través de la camisa de agua.

$$Q_w = 35 \left[\frac{l}{min} \right]$$

$$\dot{m}_w = \rho_w * Q_w$$

$$\rho_w = 1000 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

$$\dot{m}_w = 0.5833 \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

- **Cálculo de la masa de agua contenida en la chaqueta M_w .**

Teniendo en cuenta que de la potencia de entrada ofrecida por el quemador, el 55% será la encargada de elevar la temperatura de la leche y el 5% serán pérdidas hacia el ambiente, se puede decir que la potencia encargada de elevar la temperatura del agua será del 40% restante, de esa manera se tiene que:

$$Pot_{inw} = 0.4 * Pot_{quemador}$$

$$Pot_{inw} = 0.4 * 50000 \left[\frac{BTU}{h} \right] = 20000 \left[\frac{BTU}{h} \right] = 5861.42 [W]$$

$$Pot_{inw} = \frac{Q_{inw}}{\Delta t} = (M_w * Cp_w * (T_{w2} - T_{w1}))$$

Debido a que la chaqueta no puede presurizarse producto de la evaporación del agua, por ello el agua de calentamiento no puede sobrepasar una temperatura de 90°C en la chaqueta, además considerando que si la temperatura del agua de

calentamiento no es demasiado superior a la temperatura de la leche en la fase de retención será mejor el control de la temperatura en la leche, de esta manera:

$$M_w = \frac{Pot_{inw} * \Delta t}{Cp_w * (T_{w2} - T_{w1})}$$

Para una $T_{w2} = 80[^\circ C]$

$$M_w = \frac{5861.42 * 1800}{4180 * (80 - 20)}$$

$$M_w = 41[Kg]$$

Nota: se asume una temperatura de 80 [°C] en el agua de la chaqueta con el fin de no tener una alta diferencia de temperatura en la fase de retención entre el agua y la leche.

- **Cálculo de los coeficientes convectivos h4 y h5**

-Determinación del número de Reynolds del agua en la camisa:

$$Re_w = \frac{D_{h2} * V_w * \rho_w}{\mu_w}$$

$$D_{h2} = \frac{D_w^2 - D_L^2}{D_L} = 0.0834 [m]$$

$$V_w = \frac{\dot{m}_w}{\rho_w * A_{a2}}$$

$$A_{a2} = \frac{\pi}{4} * (D_w^2 - D_L^2) = 0.03088 [m^2]$$

$$\mu_{w@20^\circ C} = 1.002 * 10^{-3} \left[\frac{Kg}{m * s} \right]$$

$$Re_w = 1571.2$$

Donde:

D_{h2} = Diámetro hidráulico por el cuál circula el agua de calentamiento, según la ecuación 6.3 del libro Procesos de transferencia de Donald Kern³³.

V_w =Velocidad del agua que pasa por la camisa.

ρ_w = Densidad del agua.

³³ KERN, Donald Q. Procesos de Transferencia de calor. México D.F. CECSA. 1999. 980 p. ISBN 968-26-1040-0.

A_{a2} =Área transversal del ánulo por donde pasa el agua.

$\mu_{w@20^{\circ}C}$ =Viscosidad dinámica del agua tomada a una $T_w = 20$ [$^{\circ}C$], puesto que la viscosidad dinámica del agua disminuye con el aumento en la temperatura, y queriendo ser conservativos se toma el mayor valor de la viscosidad que puede tener durante todo el proceso.

D_g =Diámetro de la camisa de gases.

D_w =Diámetro de la chaqueta de agua.

Según el libro de procesos de transferencia de Donald Kern, los coeficientes convectivos de transferencia en ánulos se pueden tomar del Anexo C (Curva de transferencia de calor lado tubos.), cambiando el diámetro de los tubos por el diámetro hidráulico D_{h2} calculado.

$$j_H = 8$$

$$h_i = \frac{j_H * K_{w@20^{\circ}C}}{D_{h2}} * \left(\frac{Cp_{w@20^{\circ}C} * \mu_{w@20^{\circ}C}}{K_{w@20^{\circ}C}} \right)^{\frac{1}{3}} * \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14}$$

$$h_i = \frac{8 * 0.347}{0.0833} * \left(\frac{0.999 * 2.360}{0.347} \right)^{\frac{1}{3}} * (1)^{0.14}$$

$$h_i = 63.11 \left[\frac{BTU}{h * Ft^2 * ^{\circ}F} \right] = 358.4 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

$$h_i = h_4 = h_5 = 358.4 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

Nota: Las propiedades se toman de la Tabla A-91 del libro de Transferencia de calor de Yunus Cengel.

- **Determinación de los calores específicos a volumen constante Cv_w y presión constante Cp_w .**

Debido a que la temperatura del agua de calentamiento no sobrepasará la temperatura de saturación a la presión del sitio, entonces el agua permanecerá en fase líquida, de esa manera los dos calores específicos presentarán el mismo

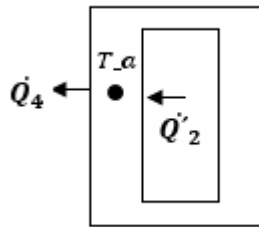
valor, además según las tablas termodinámicas para el agua (Ver anexo E) el valor del calor específico no presenta un cambio considerable con respecto al aumento de la temperatura, por ello se le considera constante con un valor de:

$$Cp_w = Cv_w = 4185 \left[\frac{J}{Kg * K} \right]$$

- **Determinación del área de transferencia de calor A_3 .**

$$A_3 = \pi * D_i * H_i = 0.686 [m^2]$$

Balance de energía en el VC3 representado por el aislamiento.



$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} + \dot{E}_{gen} = M_a * Cv_a * \frac{dT_a(t)}{dt}$$

$$\dot{Q}'_2 - \dot{Q}_4 = M_a * Cv_a * \frac{dT_a(t)}{dt}$$

$$\dot{Q}'_2 = 2 * \pi * \bar{K} * H_a * \frac{(T_{ga}(t) - T_a(t))}{Ln(r2/r1)}$$

$$\dot{Q}_4 = 2 * \pi * \bar{K} * H_a * \frac{(T_a(t) - T_s(t))}{Ln(r3/r2)}$$

Donde:

\dot{Q}'_2 = Potencia transmitida de la pared gas-aislante al punto medio donde se evalúa T_a .

\dot{Q}_4 = Potencia transmitida del punto medio donde se evalúa T_a hasta la pared exterior.

\bar{K} = Conductividad térmica para la interfaz acero-fibra de vidrio.

H_a = Altura de la capa de aislamiento, es igual al H_w .

r_3 = radio de la capa de aislamiento.

r_2 =Radio medio de la capa de aislamiento, donde se evalúa T_a .

r_1 = Radio de la chaqueta de gases.

$T_a(t)$ = Temperatura del aislamiento para cualquier tiempo t .

$T_{ga}(t)$ = Temperatura de la pared gas-aislante para cualquier instante t .

$T_s(t)$ = Temperatura de la pared exterior para cualquier tiempo t .

M_a = masa del aislamiento.

Cv_a = Calor específico del aislamiento a volumen constante.

Cp_a = Calor específico del aislamiento a presión constante.

- **Cálculo de la conductividad térmica \bar{K} para la interfaz acero-fibra de vidrio³⁴**

$$\bar{K} = \frac{(K_{fibra} * t_{fibra}) + (K_{acero} * t_{acero})}{t_{fibra} + t_{acero}}$$

$$\bar{K} = 1.134 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

- **Cálculo de la masa de aislamiento M_a .**

La cantidad de fibra presente en la capa de aislamiento está definida por la siguiente ecuación:

$$\rho_a = \frac{M_a}{V_a}$$

$$\rho_a = 220 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

$$V_a = \frac{\pi}{4} * D_a^2 * H_a - \frac{\pi}{4} * D_g^2 * H_a$$

$$M_a = 5.99 [Kg]$$

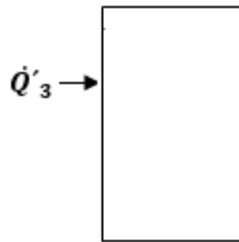
³⁴ BAULE, Edison. et. Al. En: Conducción de calor en paredes planas: Determinación de la conductividad térmica efectiva. Panamá. 2012. p 18.

- Determinación de los calores específicos a volumen constante Cv_a y a presión constante Cp_a .

Debido a que en los sólidos el Cv_a y el Cp_a son iguales se tiene:

$$Cv_a = Cp_a = 795 \left[\frac{J}{Kg * K} \right]$$

Balance de energía en el VC4 representado por la leche.



$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} + \dot{E}_{gen} = M_L * Cv_L * \frac{dT_L(t)}{dt}$$

$$\dot{Q}'_3 = M_L * Cv_L * \frac{dT_L(t)}{dt}$$

$$\dot{Q}'_3 = h_L * A_3 * (T_{wL}(t) - T_L(t))$$

Donde:

\dot{Q}'_3 = Potencia transmitida de la pared agua-leche a la leche.

h_L = Coeficiente convectivo entre la pared agua-leche y la leche.

M_L = masa de leche.

Cv_L = Calor específico de la leche a volumen constante.

A_3 = Área transversal de la pared agua-leche.

$T_L(t)$ = Temperatura de la leche para cualquier tiempo t.

$T_{wL}(t)$ = Temperatura de la pared agua-leche para cualquier tiempo t.

- **Cálculo del coeficiente convectivo para la leche h_L .**

Se tiene que el coeficiente convectivo para recipientes enchaquetados con agitación mecánica ³⁵ como el mostrado en la Figura 26, se determina a través de:

$$\frac{h_j * D_j}{K_{leche@20^\circ C}} = 0.36 * \left(\frac{L^2 * N * \rho_{leche}}{\mu_{leche@20^\circ C}} \right)^{\frac{2}{3}} * \left(\frac{Cp_{leche@20^\circ C} * \mu_{leche@20^\circ C}}{K_{leche@20^\circ C}} \right)^{\frac{1}{3}} * \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14}$$

$$h_j = \frac{0.31 * 0.36}{1.539} * \left(\frac{0.5187^2 * (56 * 60) * 64.34}{3.5} \right)^{\frac{2}{3}} * \left(\frac{0.99 * 3.5}{0.31} \right)^{\frac{1}{3}} * (1)^{0.14}$$

$$h_j = 104.737 \left[\frac{BTU}{h * ft^2 * ^\circ F} \right] = 594.724 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

Donde:

D_j = Diámetro de la olla que contiene la leche [ft].

L = Diámetro del agitador [ft].

N = Revoluciones por hora a las que gira el agitador.

ρ_{leche} = Densidad promedio de la leche.

$\mu_{leche@20^\circ C}$ = Viscosidad dinámica de la leche.

$Cp_{leche@20^\circ C}$ =Calor específico de la leche a presión constante.

$K_{leche@20^\circ C}$ = Conductividad térmica de la leche.

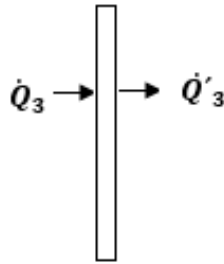
Nota: Para la ecuación se trabaja en unidades del sistema inglés, las propiedades de la leche se toman a una $T=20^\circ C$ con el objetivo de ser conservativos.

- **Determinación del calor específico de la leche a volumen constante.**

Puesto que la leche permanecerá en fase líquida, el valor de $Cv_L = Cp_{leche}$

³⁵ KERN, Donald Q. Procesos de Transferencia de calor. México D.F. CECSA. 1999. 815 p. ISBN 968-26-1040-0.

Balance de energía para la pared agua-leche.



$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} + \dot{E}_{gen} = M_1 * C_{v1} * \frac{dT_{wL}(t)}{dt}$$

$$\dot{Q}_3 - \dot{Q}'_3 = M_1 * C_{v1} * \frac{dT_{wL}(t)}{dt}$$

Donde:

M_1 = Masa de acero que tiene la pared agua-leche.

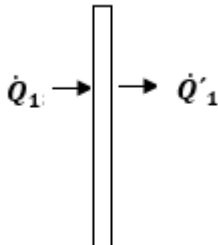
C_{v1} = Calor específico del acero inoxidable.

- **Cálculo de la masa de acero M_1 .**

Según la tabla del Anexo D, las láminas de acero inoxidable calibre 18, tienen una masa aproximada de 9.882 [Kg/m²]. Y teniendo en cuenta que el área utilizada para construir la pared agua-leche es de 0.8726 [m²], de esa manera:

$$M_1 = 9.882 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \right] * 0.8726 [\text{m}^2] = 8.623 [\text{Kg}]$$

Balance de energía para la pared gas-agua.



$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} + \dot{E}_{gen} = M_3 * C v_3 * \frac{dT_{gw}(t)}{dt}$$

$$\dot{Q}_1 - \dot{Q}'_1 = M_3 * C v_3 * \frac{dT_{gw}(t)}{dt}$$

Donde:

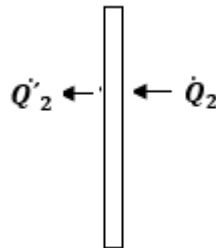
M_3 = Masa de acero que tiene la pared gas-agua.

$C v_3$ = Calor específico del acero inoxidable.

- **Cálculo de la masa de acero M_3 .**

$$M_3 = 9.882 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \right] * 1.173 [\text{m}^2] = 11.59 [\text{Kg}]$$

Balance de energía para la pared gas-aislamiento.



$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} + \dot{E}_{gen} = M_2 * C v_2 * \frac{dT_{ga}(t)}{dt}$$

$$\dot{Q}_2 - \dot{Q}'_2 = M_2 * C v_2 * \frac{dT_{ga}(t)}{dt}$$

Donde:

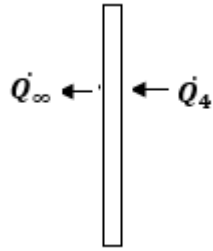
M_2 = Masa de acero que tiene la pared gas-aislamiento.

$C v_2$ = Calor específico del acero inoxidable.

- **Cálculo de la masa de acero M_2 .**

$$M_2 = 9.882 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \right] * 1.024 [\text{m}^2] = 10.11 [\text{Kg}].$$

Balance de energía para la pared aislamiento-ambiente.



$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} + \dot{E}_{gen} = M_4 * C v_4 * \frac{dT_s(t)}{dt}$$

$$\dot{Q}_4 - \dot{Q}_\infty = M_4 * C v_4 * \frac{dT_s(t)}{dt}$$

$$\dot{Q}_\infty = h_n * A_4 * (T_s - T_\infty)$$

Donde:

\dot{Q}_∞ = Potencia de pérdidas hacia el ambiente.

M_4 = Masa de acero que tiene la pared aislamiento-ambiente.

$C v_4$ = Calor específico del acero inoxidable.

A_4 = Área de transferencia de calor entre el aire ambiente y la superficie.

- **Cálculo del coeficiente convectivo natural h_n .**

Tomando como referencia la tabla 9-1 del libro transferencia de calor de Yunus Cengel:

$$Nu_n = 0.59 Ra_l^{\frac{1}{4}}$$

$$Ra_l = Gr_l * Pr$$

$$Gr_l = \frac{g * \beta * (T_s - T_\infty) * L_c^3}{\nu^2}$$

$$Pr = \frac{C p_{air} * \mu_{air}}{K_{air}}$$

$$h_n = \frac{K_{air} * Nu_n}{D_a}$$

Nota: Las propiedades del aire se calculan a la temperatura de película $T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2}$.

- **Cálculo de la masa de acero M_4 .**

$$M_4 = 9.882 \left[\frac{Kg}{m^2} \right] * 1.12 [m^2] = 11 [Kg].$$

- **Determinación del área de transferencia de calor A_4 .**

$$A_4 = \pi * D_a * H_a = 1.12 [m^2]$$

8.2 RESULTADOS

A través del software Simulink de Matlab, se realizó la simulación del sistema arrojando los resultados que se encuentran a continuación:

Figura 55. Variación de la temperatura de la leche $T_L(t)$ con el tiempo.

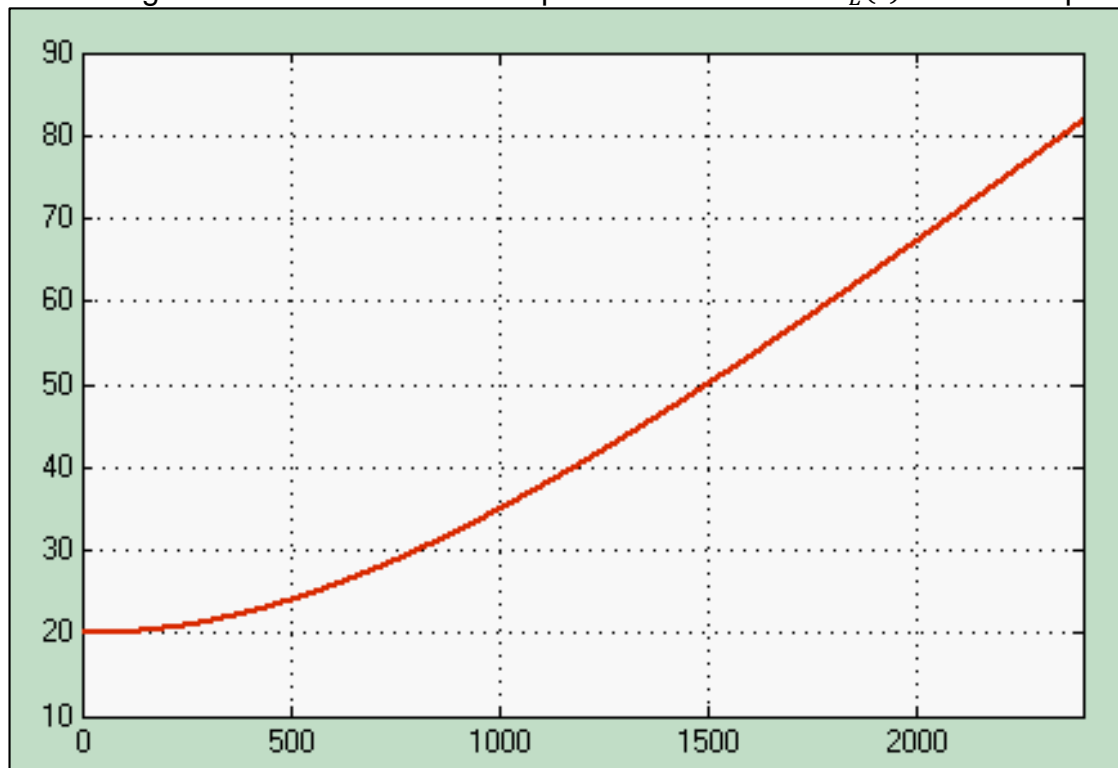


Figura 56. Variación de la temperatura del agua $T_w(t)$ en la chaqueta con el tiempo.

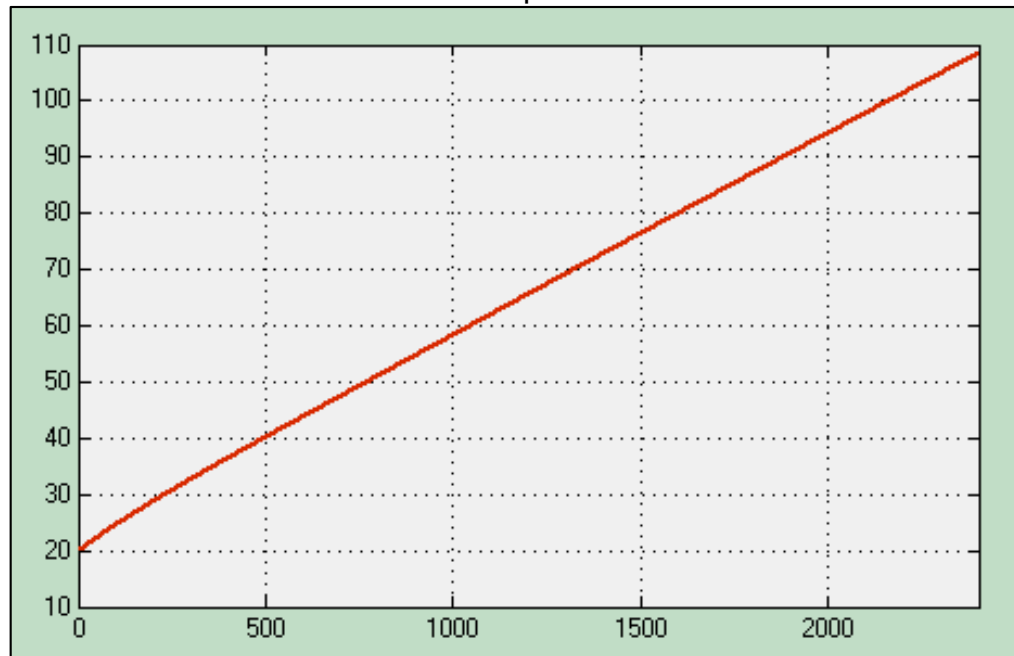
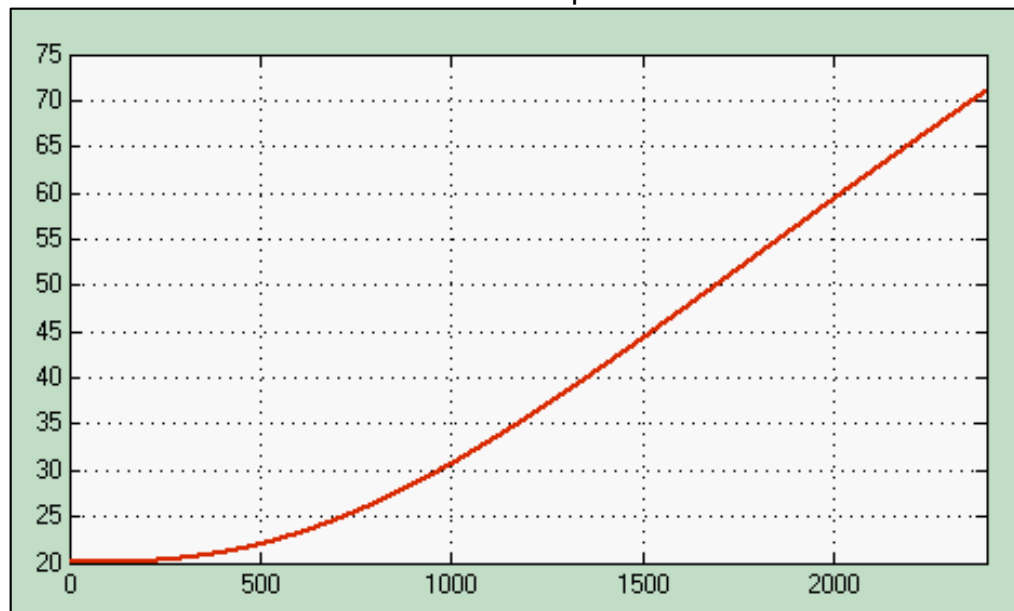


Figura 57. Variación de la temperatura de la superficie exterior $T_s(t)$ con el tiempo.



Donde se pudo apreciar con anticipación el posible comportamiento que tendría el sistema, el cual nos permitió corroborar mediante argumentos científicos las consideraciones tenidas durante el diseño térmico en cuanto a:

- Las áreas de transferencia de calor son adecuadas para el objetivo de transferir la cantidad de energía necesaria a la leche para su proceso.
- El recirculamiento del agua de calentamiento a través de la bomba, permite alcanzar coeficientes de convección altos entre el agua y la superficie en contacto con la leche, sin necesidad de realizar un cambio de fase en el agua.
- La velocidad de agitación permite homogenizar la temperatura en la leche y aumentar la rata de energía que adquiere.
- El espesor de 1" del aislamiento de fibra de vidrio es adecuado pues permite que la temperatura en la superficie exterior se encuentre cerca de los 60 [°C] permitidos.

9. DISEÑO TÉRMICO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

La pasteurización hace referencia al proceso en el cual la leche se lleva a altas temperaturas (63°C o 72°C) y se mantiene allí durante un determinado tiempo. Una vez realizado el calentamiento y el sostenimiento de la leche, los agentes patógenos que causan daño a la salud de las personas son desactivados. Para preservar esa condición durante la máxima vida útil del producto (una semana³⁶), es necesario llevar el alimento a temperatura de refrigeración de 4°C a 6°C evitando así la proliferación de nuevas colonias de bacterias, como los microorganismos Mesófilos aeróbicos que usualmente crecen de forma óptima dentro del intervalo de 15°C - 37°C.³⁷

La calidad de la leche se mide de acuerdo al contenido microbiano que presente luego de determinado transcurso del tiempo, por tal motivo es bastante necesario el rápido enfriamiento del alimento para evitar la proliferación de nuevos microorganismos. A continuación se presenta una tabla que muestra la relación entre tiempo de enfriamiento, número de microorganismos por centímetro cúbico y tipo de enfriamiento:

Tabla 11. Crecimiento de microorganismos vs tiempo y tipo de enfriamiento.

<i>Tiempo</i>	<i>Enfriamiento natural</i>	<i>Enfriamiento rápido a 15° C. en 1 hora</i>	<i>Enfriamiento rápido a 8° C. en 1 hora</i>	<i>Enfriamiento rápido a 4° C. en 1 hora</i>
	<i>Número de gérmenes por centímetro cúbico</i>			
Recién ordeñada	10.000	10.000	10.000	10.000
2 horas después	15.000	10.000	10.000	10.000
4 horas después	2.000.000	25.000	15.000	10.000
6 horas después	15.000.000	45.000	20.000	10.000
8 horas después	30.000.000	100.000	30.000	10.000

Fuente: HERNANDEZ NENEDI, José M. En: La refrigeración de la leche.

³⁶ MINISTERIO DE AGRICULTURA. Ing. M. Sc ZAVALA POPE, José Mauricio. CAMBIOS ORGANOLÉPTICOS Y NUTRICIONALES PRODUCIDOS POR LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS DURANTE EL PROCESAMIENTO DE LA LECHE. 2009. P. 7.

³⁷ BAUTISTA ALVARADO, Edin R. et. al. Evaluación del proceso de pasteurización de la leche en plantas de lácteos de la universidad Católica de El Salvador, regional Ilobasco, Cabañas. Trabajo de investigación Técnico en conservación y procesamiento de alimentos con especialidad en lácteos y cárnicos. Ilobasco. Universidad Católica de El Salvador. 2011. 57 p.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede observar que al ganadero le interesa enfriar la leche en un máximo plazo de 2 horas a la temperatura más próxima a 4°C que se pueda³⁸. Entre más tiempo haya entre el ordeño y el enfriamiento, mayor será la posibilidad de multiplicación de los agentes microbianos.

Por lo expuesto anteriormente, se hace necesario el diseño y la construcción de un sistema de enfriamiento que permita mantener la leche a las condiciones estipuladas para cumplir con los requerimientos de este proyecto.

9.1 REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO TÉRMICO.

Para el diseño térmico del sistema, es importante conocer las magnitudes mostradas en la siguiente tabla:

Tabla 12. Requerimientos para el diseño térmico.

REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO TÉRMICO	
Temperatura de calentamiento de la leche	63 [°C]
Temperatura de refrigeración de la leche	4[°C]-6[°C]
Temperatura ambiente promedio	18[°C]-24[°C]
Tiempo de calentamiento de la leche	1 hora (máx)
Tiempo de enfriamiento de la leche	≈2 horas (máx)

9.1.1 Carga a retirar.

La cantidad de calor a retirar de la leche está dada por la ecuación:

³⁸ HERNANDEZ BENEDI, Jose M. La Refrigeración de la Leche. Ministerio de Agricultura. Madrid. 28 p. [Citado febrero 28 2015]. Disponible en:< <http://www.magrama.gob.es/ministerio>>.

$$Q_L = m_L * C_{vL} * (T_C - T_R)$$

En donde Q_L : Carga a retirar de la leche

m_L : masa de leche a enfriar

C_{vL} : Calor específico de la leche

T_C : Temperatura de calentamiento

T_R : Temperatura de refrigeración

Por lo tanto para los 60 litros de leche a enfriar se tiene que retirar:

$$Q_L = 62[Kg] * 3,9 \left[\frac{KJ}{Kg * ^\circ C} \right] * (63[^\circ C] - 4[^\circ C])$$

$$Q_L = 14267 [KJ]$$

La magnitud de esta carga está sujeta a las pérdidas de energía a considerar dependiendo del tipo de sistema de enfriamiento que se vaya a utilizar.

9.1.2 Tiempo utilizado para el enfriamiento de la leche.

Para determinar la potencia necesaria para la extracción de la carga, es necesario conocer los requerimientos de tiempo del cliente, es decir, la hora a la que se necesita tener a disposición la leche pasteurizada para su posterior venta. Para ello, en la siguiente tabla se muestra el horario establecido para los ordeños y demás eventos relacionados con este proceso:

Tabla 13. Horario para venta de leche pasteurizada.

HORA	EVENTO
4:00 am	Inicio del ordeño
6:30 am	Disposición de la leche cruda
9:00 am - 10:00 am	Primera venta
12:00 pm – 1:00 pm	Segunda venta
3:00 pm – 4:00 pm	Tercera venta

Con anterioridad se había determinado que el tiempo necesario para el calentamiento y sostenimiento de la temperatura en la leche, tomaba alrededor de 60 minutos, por lo tanto si la leche está a disposición a las 6:30 am, el proceso de calentamiento y sostenimiento estará listo cerca de las 7:30 am. La venta del primer lote de leche pasteurizada está determinada de 9:00 am a 10:00 am, por lo cual se tendrá cerca de 2,5 horas para realizar el proceso de enfriamiento. Este tiempo de enfriamiento es el mismo para la segunda y tercer venta. Teniendo en cuenta que el tiempo máximo de enfriamiento de la leche es de 2 horas³⁹, se determinó realizar el proceso de enfriamiento de la leche en 2 horas para obtener la mínima potencia necesaria y cumplir con las horas de venta.

Teniendo en cuenta todo lo anterior se tiene:

$$tiempo = 7200 [s]$$

9.2 TIPO DE SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

Ahora es necesario determinar el sistema de enfriamiento a utilizar, puesto que el proceso tiene algunas restricciones del tipo aséptico que no permite la utilización de cualquier sistema. Además un sistema de refrigeración que extraiga la gran cantidad de energía de manera directa en el tiempo relativamente corto de enfriamiento, trae consigo una serie de factores en contra que deben ser tenidos en cuenta para la selección del tipo de sistema de refrigeración. Algunos de los factores son mencionados a continuación:

- Mayor tamaño de equipo de enfriamiento
- Serpentin en contacto directo con la leche. Esto implica un riesgo de contaminación del alimento.

³⁹ HERNANDEZ BENEDI, Jose M. La Refrigeración de la Leche. Ministerio de Agricultura. Madrid. 28 p. [Citado febrero 28 2015]. Disponible en:< <http://www.magrama.gob.es/ministerio>>.

- Difícil mantenimiento
- Los serpentines deben ser vaciados de refrigerante en cada proceso, para evitar las altas presiones en la etapa del calentamiento.
- Mayor costo inicial
- Mayor costo operativo y energético.
- La electricidad debe ser trifásica 220[V] para permitir el arranque del motor sin daños en el mismo.

Por todo lo anterior, se puede concluir que el sistema de enfriamiento que mejor se adapta a estos requerimientos de extraer grandes cantidades de energía en un corto tiempo, sería uno que incluyera termo acumulación en su funcionamiento. El sistema podría ser puesto en marcha durante determinados tiempos para la producción del “frio” que durante el proceso es el encargado de extraer la energía de la leche. Lo anterior implica que con el uso de un sistema de termo acumulación, la potencia necesaria sería menor, lo que concluye en un menor tamaño del equipo, y un menor costo inicial del equipo.

Un sistema de termo acumulación sería una solución al problema, puesto que con este sistema de enfriamiento se tendrían las siguientes ventajas:

- No se tienen serpentines con refrigerante en contacto directo con el alimento.
- Disminución de la potencia de la unidad condensadora.
- Materiales y equipos con un menor costo.
- Mantenimiento más sencillo.
- Aprovechamiento de las horas valle para disminución del costo de la electricidad (En los países que se tenga esta distinción).
- Menor tamaño de equipos.

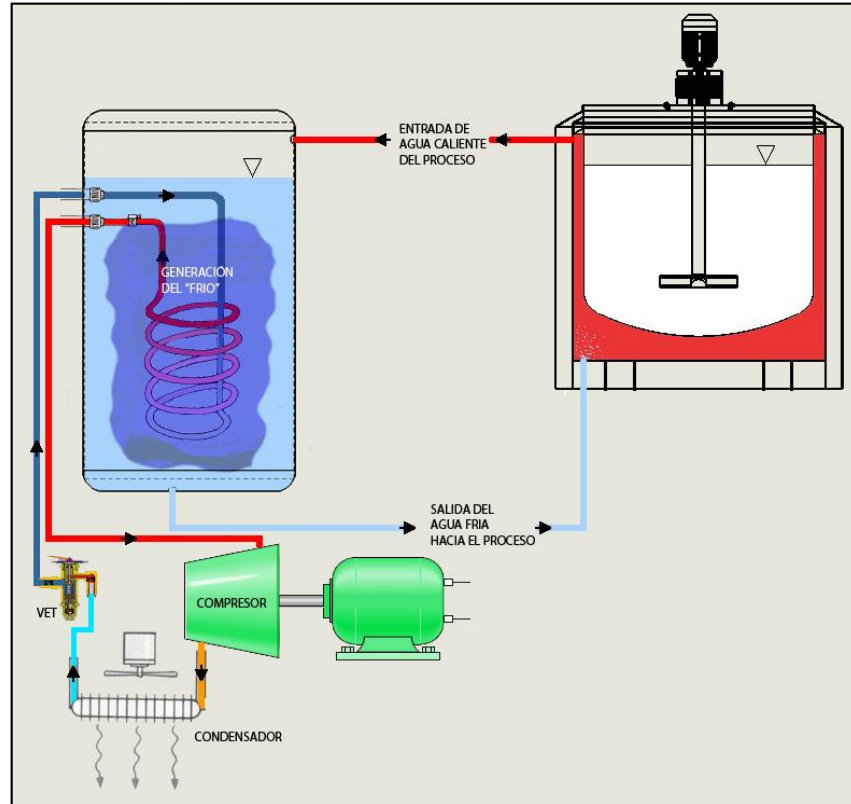
9.2.1 Sistema de termo acumulación

El uso de la termo acumulación del frío, tiene un aumento significativo gracias al ahorro energético que conlleva, puesto que se va a tener la misma capacidad de retirar calor, utilizando un sistema de menor potencia. Lo anterior es explicado de manera sencilla por el hecho de que la potencia requerida para un sistema está en función de la energía y el tiempo. Si la energía a retirar es la misma, se puede manipular el tiempo de enfriamiento en el tanque de enfriamiento, para así tener una potencia más baja al utilizar tiempos de funcionamiento más largos. En conclusión la termo acumulación utiliza un equipo de menor potencia para producir la cantidad de hielo necesaria para enfriar un proceso en donde sea necesaria la extracción de grandes cantidades de calor.

Para el enfriamiento de la leche se utilizó el sistema de termo acumulación utilizando un tanque de agua enfriada por un serpentín de cobre conectado a una unidad condensadora, con la configuración usual de tanque de enfriamiento. El agua helada constituye la “fuente de frío” que espera a ser llevada hasta el proceso en donde sea necesario retirar el calor.

Este tipo de sistema es puesto en marcha tiempo antes de la necesidad de enfriar el sistema principal, para dar tiempo a la generación del “frío”, y posteriormente mediante un sistema de transporte llevarlo hasta el intercambiador de calor para enfriar el sistema principal.

Figura 58. Sistema de termo acumulación



9.3 ANÁLISIS TERMODINÁMICO Y DE TRANSFERENCIA DE CALOR

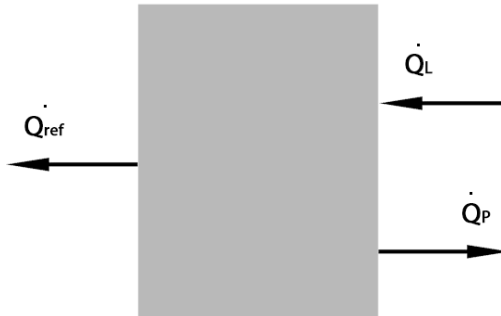
Al igual que ocurre en la etapa del calentamiento, en el enfriamiento se presenta una variación en las temperaturas tanto de la leche como en el agua durante todo el tiempo del proceso. Este régimen transitorio presenta un pequeño grado de dificultad a la hora de realizar los cálculos, por tal motivo surge la necesidad de la realización de una simulación del sistema de enfriamiento, desde el punto de vista termodinámico y de transferencia de calor, en donde se pueda observar la manera en que se comporta la micro pasteurizadora para poder obtener un diseño concreto que permita extraer la carga del sistema.

9.3.1 Modelo utilizado

Para el diseño del sistema de enfriamiento, es necesario conocer la variación en las temperaturas al igual que el sistema de calentamiento. Mediante el uso del software EES, se realizó la simulación del sistema teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Tanto la leche como el agua se consideran perfectamente agitados, por ello su temperatura para cualquier instante t de tiempo siempre será la misma en todos los puntos.
- El sistema se idealizará como un sistema de cilindros concéntricos, para analizar la transferencia de calor entre la olla y la chaqueta de agua de enfriamiento.
- Se considera que las paredes de todos los componentes son isotérmicas.
- Se realizará un modelo cero dimensional.
- El calor específico de las paredes de acero inoxidable es de $510 \text{ [J/Kg}\cdot\text{K]}$. La conductividad del agua $K=0,6 \text{ [W/m}\cdot\text{K]}$; conductividad del cobre $K=380 \text{ [W/m}\cdot\text{K]}$; conductividad del polietileno de alta densidad (tanque) $k=0,45 \text{ [W/m}\cdot\text{K]}$ y para el polietileno de baja densidad (Thermolon) $K=0,33 \text{ [J/Kg}\cdot\text{K]}$.
- Inicialmente se considerará el agua dentro del tanque de enfriamiento como agua estancada sin agitación.
- Inicialmente se despreciarán las ganancias de calor en las tuberías.
- Se considerará al agua como puente de intercambio de calor entre la leche y el refrigerante para simplificar la realización del análisis.

Balance de energía en el VC1 representado por el agua.



$$E_{in} - E_{out} + E_{gen} = \frac{dE}{dt}$$
$$\dot{Q}_L - \dot{Q}_{ref} - \dot{Q}_{Perd} = m_w * C v_w * \frac{dT_w}{dt}$$

Donde:

\dot{Q}_L = Potencia transmitida desde la leche.

\dot{Q}_{ref} = Potencia extraída por el refrigerante.

\dot{Q}_{Perd} = Potencia gastada en pérdidas.

m_w = masa de agua.

$C v_w$ = Calor específico del agua a volumen constante.

T_w = Temperatura del agua.

La discretización de la variación de la temperatura del agua con respecto al tiempo se simplifica de la siguiente manera para ejecutar la simulación:

$$\frac{dT_w}{dt} \approx \frac{T_w^{i+1} - T_w^i}{\Delta t}$$

En donde:

T_w^{i+1} = Temperatura del agua en el instante siguiente al tiempo del análisis.

T_w^i = Temperatura del agua en el instante del análisis.

Δt = Delta de tiempo para el análisis.

La energía de la leche es transferida (sale de la leche) hasta el agua por la transferencia de calor dada por:

$$\dot{Q}_L = U * A * \Delta T$$

Con

$$\Delta T = T_L^i - T_w^i$$

En donde:

U = Coeficiente global de transferencia de calor entre agua y leche.

A = Área de transferencia de calor entre agua y leche.

T_L^i = Temperatura de la leche en el instante del análisis.

Y también se conoce que la cantidad de calor por unidad de tiempo que pierde la leche se da por la expresión:

$$\dot{Q}_L = m_L * C_{v_L} * \frac{dT_L}{dt}$$

En donde:

m_L = masa de leche.

C_{v_L} = Calor específico del agua a volumen constante.

T_L = Temperatura de la leche.

Al igual que como ocurre con el agua, la discretización de la variación de la temperatura de la leche con respecto al tiempo se simplifica de la siguiente manera para ejecutar la simulación:

$$\frac{dT_L}{dt} \approx \frac{T_L^{i+1} - T_L^i}{\Delta t}$$

En donde:

T_L^{i+1} = Temperatura de la leche en el instante siguiente al tiempo del análisis.

T_L^i = Temperatura de la leche en el instante del análisis.

Por lo tanto se tiene que nuestro modelo está dado por las siguientes ecuaciones:

$$m_L * C_{vL} * \frac{T_L^{i+1} - T_L^i}{\Delta t} - \dot{Q}_{ref} - \dot{Q}_{perd} = m_w * C_{vw} * \frac{T_w^{i+1} - T_w^i}{\Delta t} \quad [A]$$

$$m_L * C_{vL} * \frac{T_L^{i+1} - T_L^i}{\Delta t} = U * A * (T_L^i - T_w^i) \quad [B]$$

- **Calor de pérdidas \dot{Q}_p**

A continuación se presenta el cálculo de la potencia de pérdidas presente en el agua. Al presentarse un fenómeno de enfriamiento, el calor de pérdidas ingresará desde el exterior hasta el agua, representando una carga extra al sistema:

El calor de pérdidas total está dado por:

$$\dot{Q}_{perd} = \dot{Q}_{TANQUE} + \dot{Q}_{TUBOS} + \dot{Q}_{MARMITA}$$

Dado que el calor se gana a través del tanque, de los tubos y de la marmita del sistema.

Para el calor perdido en el tanque con un $\Delta T = (20 - 2)[^{\circ}\text{C}]$:

$$\dot{Q}_{TANQUE} = \frac{\Delta T}{R_{PLASTICO}}$$

$$R_{TANQUE} = R_{AGUA} + R_{PLASTICO} + R_{TERMOLÓN} + R_{EXTERIOR}$$

$$R_{TANQUE} = \frac{1}{h_w * A_i} + \frac{\ln\left(\frac{D_o'}{D_i'}\right)}{2\pi K'L} + \frac{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}{2\pi KL} + \frac{1}{h_a * A_e}$$

En donde:

h_w : Coeficiente de transferencia de calor por convección forzada. ⁴⁰

$$\frac{h_w * D_i}{K_{agua}} = 3,66$$

$$h_w = 4,88 \left[\frac{W}{m^2 * ^{\circ}C} \right]$$

$$A_i = 1,7 [m^2]$$

$$D_o' = 0,454 [m]$$

$$D_i' = 0,45 [m]$$

$$D_i = 0,454 [m]$$

$$D_o = 0,5008 [m]$$

$$K' = 0,45 \left[\frac{W}{m * ^{\circ}C} \right]$$

$$L = 1,2 [m]$$

$$K = 0,3 \left[\frac{W}{m * ^{\circ}C} \right]$$

h_a : Coeficiente de transferencia de calor por convección natural. ⁴¹

⁴⁰ CENGEL, Yunus A. Transferencia de calor. 2 ed. México D.F. Mc Graw Hill. 2004. p.436. ISBN 0-07245893-3.

$$h_a = 0,4 * \frac{\Delta T^{0,25}}{D_o}$$

$$h_a = 2,1 \left[\frac{W}{m^2 * ^\circ C} \right]$$

$$A_e = 1,9 [m^2]$$

Por todo lo anterior se tiene:

$$\dot{Q}_{TANQUE} = 46,62 [W]$$

Para el calor perdido en los tubos:

$$\dot{Q}_{TUBOS} = \frac{\Delta T}{R_{TUBOS}}$$

$$R_{TUBOS} = R_{AGUA} + R_{GALVANIZADO} + R_{TERMOLÓN} + R_{EXTERIOR}$$

$$R_{TUBOS} = \frac{1}{h_w * A_i} + \frac{\ln\left(\frac{D_o'}{D_i'}\right)}{2\pi K'L} + \frac{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}{2\pi KL} + \frac{1}{h_a * A_e}$$

En donde:

h_w : Coeficiente de transferencia de calor por convección forzada. ⁴²

$$h_w = 274,6 \left[\frac{W}{m^2 * ^\circ C} \right]$$

$$A_i = 0,23 [m^2]$$

$$D_o' = 0,0344 [m]$$

$$D_i' = 0,0254 [m]$$

$$D_i = 0,0344 [m]$$

$$D_o = 0,0644 [m]$$

$$K' = 47 \left[\frac{W}{m * ^\circ C} \right]$$

⁴¹ KERN, Donald Q. Procesos de Transferencia de calor. México D.F. CECSA. 1999. p. 259. ISBN 968-26-1040-0.

⁴² CENGEL, Yunus A. Transferencia de calor. 2 ed. México D.F. Mc Graw Hill. 2004. p.441. ISBN 0-07245893-3.

$$L = 2,9 \text{ [m]}$$

$$K = 0,3 \left[\frac{W}{m * ^\circ C} \right]$$

h_a : Coeficiente de transferencia de calor natural. (Kern, 1999)

$$h_a = 23,8 \left[\frac{W}{m^2 * ^\circ C} \right]$$

$$A_e = 0,59 \text{ [m}^2\text{]}$$

Por todo lo anterior se tiene:

$$\dot{Q}_{TUBOS} = 2,5 \text{ [W]}$$

Para el calor perdido en la marmita:

$$\dot{Q}_{MARMITA} = \frac{\Delta T}{R_{MARMITA}}$$

$$R_{MARMITA} = R_{AGUA} + R_{ACERO} + R_{EXTERIOR}$$

$$R_{MARMITA} = \frac{1}{h_w * A_i} + \frac{\ln\left(\frac{D_o'}{D_i'}\right)}{2\pi K' L} + \frac{1}{h_a * A_e}$$

h_w : Coeficiente de transferencia de calor por convección en sección anular. ⁴³

$$h_w = 5,7 \left[\frac{W}{m^2 * ^\circ C} \right]$$

$$A_i = 0,76 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$D_o' = 0,5139 \text{ [m]}$$

$$D_i' = 0,0254 \text{ [m]}$$

$$K' = 16 \left[\frac{W}{m * ^\circ C} \right]$$

$$L = 0,4719 \text{ [m]}$$

h_a : Coeficiente de transferencia de calor natural. (Kern, 1999)

⁴³ CENGEL, Yunus A. Transferencia de calor. 2 ed. México D.F. Mc Graw Hill. 2004. p.444. ISBN 0-07245893-3.

$$h_a = 2,33 \left[\frac{W}{m^2 * ^\circ C} \right]$$

$$A_e = 0,762 [m^2]$$

Por todo lo anterior se tiene:

$$\dot{Q}_{MARMITA} = 22,63 [W]$$

Por todo lo anterior se tiene que:

$$\dot{Q}_{perd} = 46,62[W] + 2,5[W] + 22,63[W]$$

$$\dot{Q}_{perd} = 72 [W]$$

- **Calculo del coeficiente de transferencia de calor entre la leche y el agua.**

Para el cálculo de U, se tiene:

$$R_{total} = \frac{1}{U * A}$$

$$R_{total} = R_{leche} + R_{acero} + R_{agua}$$

$$R_{total} = \frac{1}{h_L * A_L} + \frac{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}{2\pi KL} + \frac{1}{h_w * A_w}$$

En la etapa del enfriamiento, se tienen las mismas condiciones de flujo que en el calentamiento para la leche y el agua, por lo tanto se presenta el mismo fenómeno de transferencia de calor que en el calentamiento, lo que resulta en un coeficiente de transferencia de calor por convección para el enfriamiento igual que para el calentamiento:

$$h_L = 594,73 \left[\frac{W}{m^2 * ^\circ C} \right]$$

$$h_w = 358,4 \left[\frac{W}{m^2 * ^\circ C} \right]$$

Además se tiene que:

$$A_L = 0,71 [m^2]$$

$$A_w = 0,72 [m^2]$$

$$D_o = 0,471 [m]$$

$$D_i = 0,469[m]$$

$$K = 16 \left[\frac{W}{m * ^\circ C} \right]$$

$$L = 0,471 [m]$$

$$R_{total} = 0,0063 \left[\frac{^\circ C}{W} \right]$$

Teniendo en cuenta que el intercambiador Agua/Leche ya está diseñado con:

$$A = 0,72 [m^2]$$

Se tiene que:

$$U = 220 \left[\frac{W}{m^2 * ^\circ C} \right]$$

- **Valores conocidos**

Para la ejecución de la simulación, además es necesario introducir los valores de las siguientes magnitudes:

$$m_L = 62 [Kg]$$

$$Cv_L = 3,9 \left[\frac{KJ}{Kg * ^\circ C} \right]$$

En un sistema de termo acumulación, es necesaria una determinada cantidad de agua para la acumulación del “frio”. Esta cantidad de agua, está determinada por la cantidad de masa a enfriar en el proceso, y por el tiempo de enfriamiento. Se recomienda una cantidad de agua de enfriamiento (dentro del tanque que contiene

el serpentín) que sea mayor a 1,5 litros de agua por cada litro de leche⁴⁴. Para tener un sistema liviano, y pequeño para su fácil transporte, se utilizan 130 Kg de agua de enfriamiento, teniendo en cuenta que se disponen de 2 horas para el enfriamiento de la leche.

$$m_w = 130 [Kg]$$

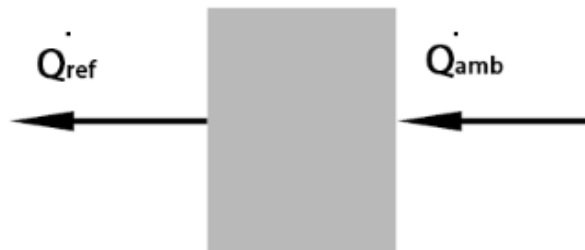
$$Cv_w = 4,18 \left[\frac{KJ}{Kg * ^\circ C} \right]$$

Además de lo anterior, se deben establecer las condiciones iniciales para la ejecución de la simulación:

$$T_L^i = 63[^\circ C]$$

$$\Delta t = 60[s] \text{ (Para tener valores de temperaturas cada minuto)}$$

Para determinar la temperatura inicial del tanque de enfriamiento T_w^i , es necesario agregar a la simulación el comportamiento respecto al tiempo del mismo tanque de enfriamiento. Desde el instante en que el agua está a temperatura ambiente, hasta que el agua se encuentre a temperatura apta para el enfriamiento de la leche. Para ello se tiene el siguiente modelo:



⁴⁴ HALL, Carl W. y SALAS ARANGO, Freddy. EQUIPO PARA PROCESAMIENTO DE PRODUCTOS AGRICOLAS. Lima. Ed. IICA. 1968. P. 40.

$$E_{in} - E_{out} + E_{gen} = \frac{dE}{dt}$$

$$\dot{Q}_{amb}(t) - \dot{Q}_{ref} = m_w * C v_w * \frac{T_w^{i+1} - T_w^i}{\Delta t}$$

Donde:

$\dot{Q}_{amb}(t)$ = Potencia ganada del ambiente variando en el tiempo.

\dot{Q}_{ref} = Potencia transmitida hasta el refrigerante.

m_w = masa de agua.

$C v_w$ = Calor específico del agua a volumen constante.

T_w = Temperatura del agua.

La ganancia de energía desde el ambiente, es una magnitud que varía la temperatura del agua de manera no lineal. Esto sucede de esta manera pues a medida que el agua esté más fría, el ambiente intentará transferir mayor cantidad de calor. Por lo tanto esta magnitud debe calcularse en cada instante de tiempo.

$$\dot{Q}_{amb}(t) = U * A * (T_{amb} - T_w(t))$$

$$U * A = \frac{1}{R_{total}}$$

$$R_{total} = R_{AGUA} + R_{TANQUE} + R_{TERMOLÓN} + R_{EXTERIOR}$$

$$R_{TANQUE} = \frac{\ln\left(\frac{Do1}{Di1}\right)}{2\pi K_w L} + \frac{\ln\left(\frac{Do2}{Di2}\right)}{2\pi K_{tanq} L} + \frac{\ln\left(\frac{Do3}{Di3}\right)}{2\pi K_{term} L} + \frac{1}{h_a(t) * A_e}$$

En donde:

$$Do1 = 0,45 [m]$$

$$Di1 = 0,29 [m]$$

$$Do2 = 0,454 [m]$$

$$Di2 = 0,45 [m]$$

$$Di3 = 0,454 [m]$$

$$Do3 = 0,5008 [m]$$

$$K_w = 0,6 \left[\frac{W}{m * ^\circ C} \right]$$

$$K_{tanq} = 0,45 \left[\frac{W}{m * ^\circ C} \right]$$

$$K_{term} = 0,3 \left[\frac{W}{m * ^\circ C} \right]$$

$$L = 1,2 [m]$$

h_a : Coeficiente de transferencia de calor natural. (Kern, 1999)

$$h_a = 0,4 * \frac{(T_{amb} - T_s(t))^{0,25}}{Do3}$$

$$A_e = 1,9 [m^2]$$

La temperatura superficial $T_s(t)$ puede ser calculada a partir del flujo de calor entre el agua y la pared exterior del tanque, y la red de resistencias hasta allí.

9.3.2 Resultados

Los modelos planteados anteriormente se realizaron con el fin de que mediante la iteración de la potencia de refrigeración, o capacidad del sistema de refrigeración, se encontraran las temperaturas tanto del agua como de la leche teniendo en cuenta el tiempo máximo de proceso.

Se realizó la iteración de la capacidad teniendo en cuenta valores estándar de capacidades como 1/16 Ton, 1/8 Ton, 1/4 Ton, 1/2 Ton, 1 Ton y 2 Ton. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla14. Resultados de la simulación para el primer proceso.

BATCH 1 (Crítico en tiempo)					
CAPACIDAD [Ton]	Temperatura del agua para el enfriamiento [°C]	Tiempo empleado en la termo acumulación [horas]	Temperatura de la leche [°C]	Tiempo de enfriamiento [horas]	Tiempo total [horas]
1/8	2,2	6,5	5,9	6,3	12,8
1/4	1,8	3	5,9	3,25	6,25
1/2	2,5	1,5	4,5	2	3,5
3/4	1,9	1,2	4,8	1,7	2,9
1	1,7	0,7	4,7	1,2	1,9
2	1,7	0,4	4,8	0,8	1,2

La anterior tabla muestra los tiempos y las temperaturas para el Batch crítico, haciendo referencia al primer proceso realizado en el día. Este proceso tiene especial comportamiento por el hecho de que el tiempo de operación será el mayor del día puesto que el agua para la termo acumulación comenzará inicialmente a temperatura ambiente. Una vez se realice el primer ciclo, el agua de enfriamiento estará cerca de los 4[°C] para un siguiente proceso, por lo cual la termo acumulación no necesitaría tanto tiempo. De lo anterior se concluye en que el primer ciclo del día es el que mayor tiempo va a requerir para realizar el proceso.

Teniendo en cuenta los costos de los equipos, la potencia consumida, las temperaturas de agua y leche y especialmente el tiempo, se determinó a partir de

la simulación la potencia de la unidad condensadora para realizar el enfriamiento del sistema. La potencia utilizada será la de 1/2 [Ton], la cual permite enfriar la leche dentro de los valores permisibles en un tiempo no mayor a 2 horas.

$$Pot = 0,5 [Ton]$$

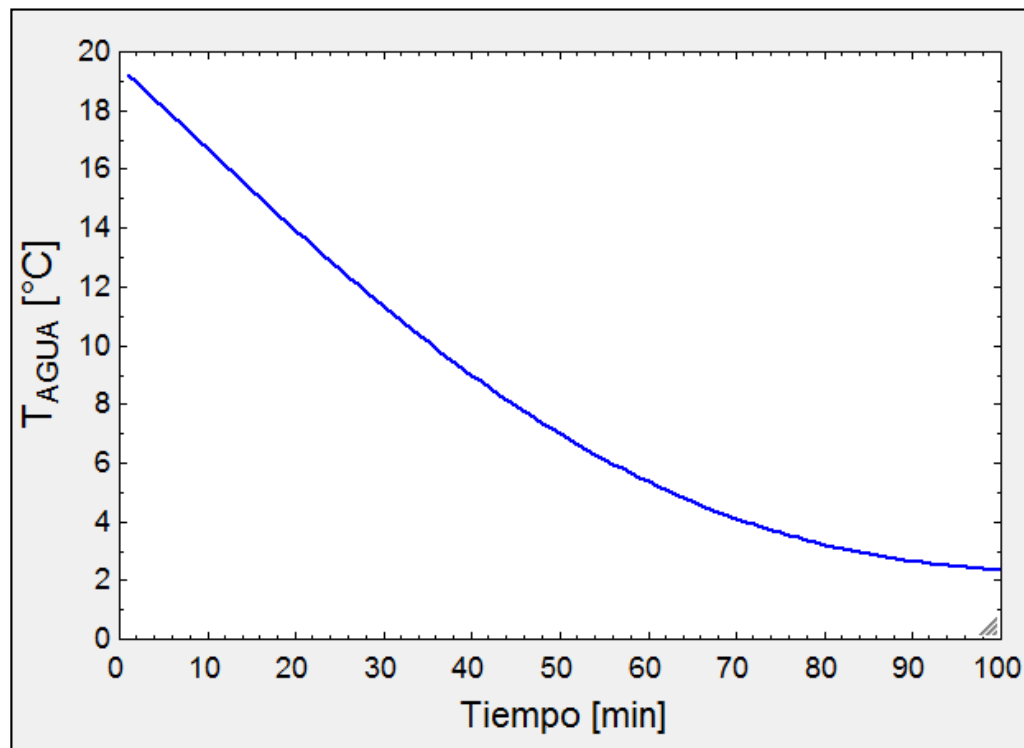
$$Pot = 6000 \left[\frac{BTU}{h} \right]$$

$$Pot = 1,76 [KW]$$

Los resultados de la simulación con la anterior potencia se muestran a continuación:

- **Para la etapa del enfriamiento del agua (Termo acumulación):**

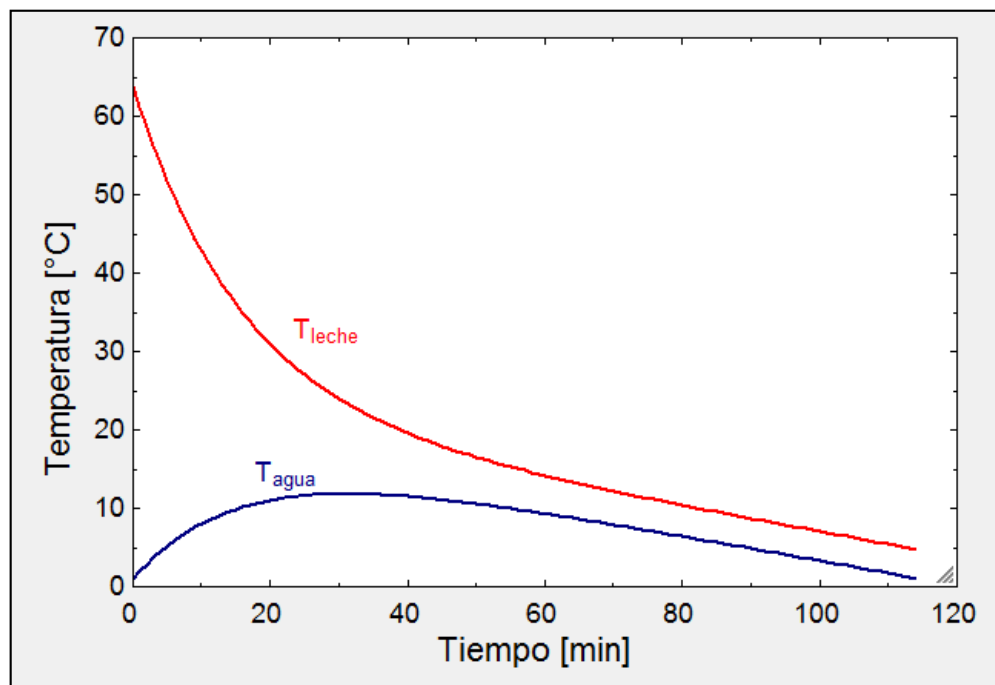
Figura 59. Simulación de la etapa de enfriamiento del agua (Termo acumulación)



En la anterior imagen, se puede apreciar el posible comportamiento del banco de enfriamiento. La temperatura del agua comienza a condiciones ambientales (18[°C]-20[°C]), y en un lapso de 90 minutos llega hasta los 2,5 [°C]. Esta temperatura será la $T_w^i = 2,5[°C]$, para completar la ejecución del programa de enfriamiento de la leche.

- **Para la etapa del enfriamiento de la leche:**

Figura 60. Simulación de la etapa de enfriamiento de la leche.



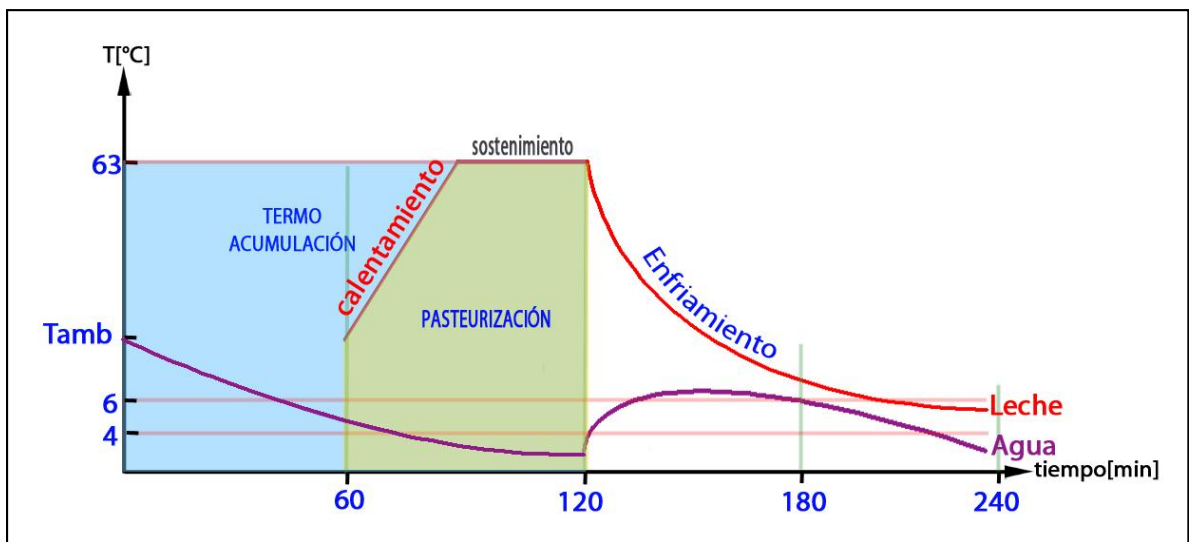
En la simulación se puede apreciar que la temperatura de la leche llega a valores dentro del rango aceptable (4[°C]-6[°C]) en un tiempo menor a dos horas.

9.3.3 Replanteamiento del ciclo.

Con los resultados obtenidos por el programa para el enfriamiento del agua y la leche, teniendo en cuenta el tiempo para el previo enfriamiento del agua (1,5 horas), el tiempo utilizado en el calentamiento y sostenimiento (1 hora), y el tiempo de enfriamiento de la leche (2 horas), es necesario replantear el ciclo total para la pasteurización, sin olvidar el requerimiento de tiempo para las ventas del cliente en el transcurso del día.

Con el trabajo realizado hasta este punto, se determina el ciclo de pasteurización de leche como se muestra en la Figura 61.

Figura 61. Ciclo completo de pasteurización de leche.



Una vez determinada la potencia y ciclo completo, se procede con el diseño del sistema de refrigeración para cumplir con los requerimientos de potencia.

9.4 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.

El sistema de refrigeración a utilizar está conformado por un compresor, un evaporador, un condensador, válvula de expansión térmica, acumulador de succión, acumulador de líquido, filtro y mirilla de refrigerante.

9.4.1 Refrigerante y ciclo termodinámico

La selección del refrigerante se realiza de manera que se tenga en cuenta el impacto ambiental, las características termodinámicas que permitan cumplir con la correcta operación del sistema de refrigeración y el costo del mismo.

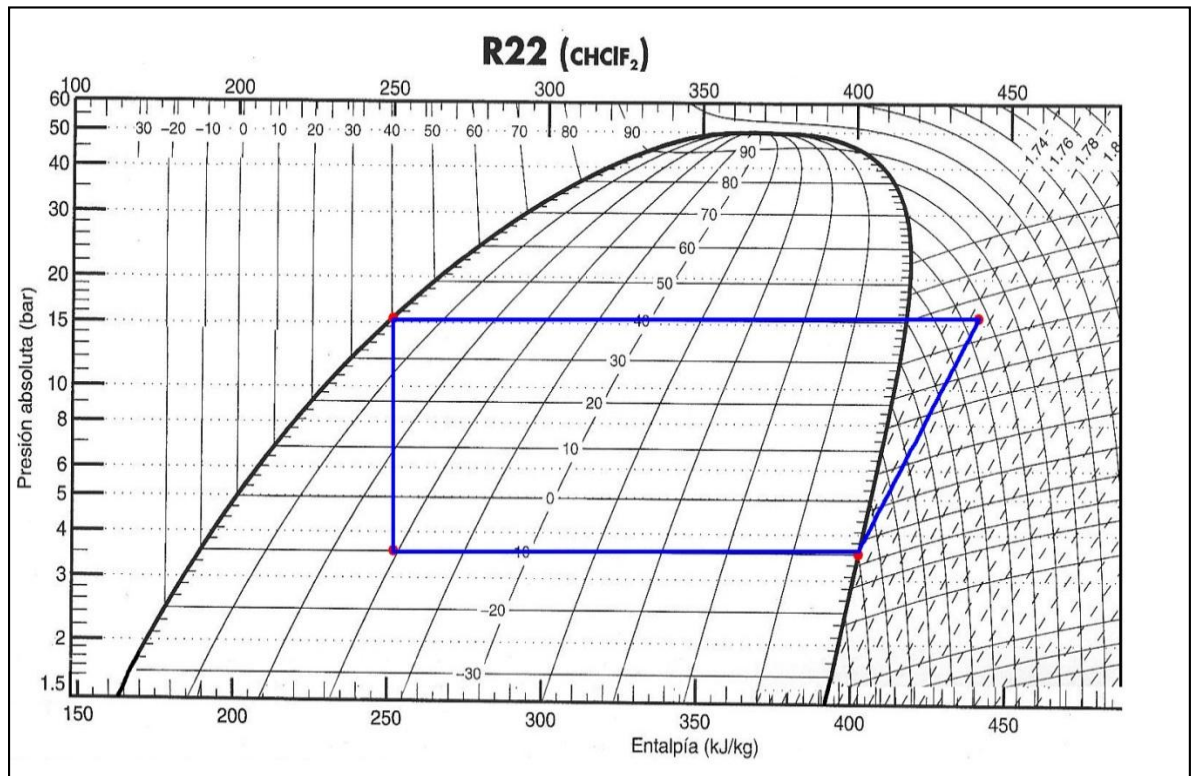
Para la selección del refrigerante correcto se deben tener en cuenta las siguientes características a cumplir por el sistema de refrigeración:

- T_H y T_L deben estar por debajo de T_{crit} del refrigerante.
- El refrigerante no debe contaminar, ni debería ser tóxico.
- No se deben tener presiones de vacío en evaporador y condensador.
- La presión en el evaporador debe ser en lo posible superior a la presión atmosférica.
- El flujo másico debe ser lo más bajo posible.
- El efecto refrigerante debe ser lo más grande posible.
- La densidad debe ser la más grande posible.

Teniendo en cuenta las anteriores características, y de acuerdo a la aplicación del sistema planteado en este proyecto, se selecciona el refrigerante R22, el cual se ajusta a los requerimientos del proceso.

A continuación se muestra el diagrama P-h del ciclo termodinámico ideal del refrigerante R22, tomando como Temperatura de evaporación $T_L = -10[^\circ\text{C}]$ para la termo acumulación y Temperatura de condensación $T_H = 40[^\circ\text{C}]$.

Figura 62. Diagrama de Molliere para ciclo de R22 saturado.



9.4.2 Compresor

Una vez conocida la capacidad, es posible realizar la selección del compresor. Mediante el software Selection Program V3 de Tecumseh, se realizó la selección mediante el ingreso de los valores de tipo de refrigerante, Frecuencia de la energía, tipo de compresor, tensión nominal, temperatura de evaporación, aplicación y temperatura de condensación, de la siguiente manera:

Figura 63. Selección de compresor utilizando el Selection Program V3 de Tecumseh.

Compresores

- Pistón alternativo
- Rotativo
- Scroll

Grupos de condensación

- Pistón alternativo
- Rotativo
- Scroll
- Silensys®
- Wintsys®

Aplicación: Frío Comercial Positivo

Refrigerante: R22

Frecuencia: 60

Tensión: 208 - 220V 1~ 60 Hz

Régimen: Standard TE

Evaporación: -10.0 °C

Condensación: 40.0 °C

3.54 Bar abs

15.3 Bar abs

Gases Aspirados: 1.00 °C

Recalentamiento: 11.0 K

Subenfriamiento: 8.30 K

Líquido: 31.7 °C

Productos Seleccionados	Tensión	Pf(Watt)
CAJ9480T	H 208 - 220V 1~ 60 Hz	1632
CAJ9510T	H 208 - 220V 1~ 60 Hz	1985
CAJ9513T	H 208 - 220V 1~ 60 Hz	2319
CAJ4517E	H 208 - 220V 1~ 60 Hz	2722
FH4522F	H 208 - 220V 1~ 60 Hz	3554
FH4524F	H 208 - 220V 1~ 60 Hz	3998
FH4531F	H 208 - 220V 1~ 60 Hz	5700
FHD4548F	H 208 - 220V 1~ 60 Hz	7996
FHD4562F	H 208 - 220V 1~ 60 Hz	11400

Prestaciones

Curvas/Tablas

Documentos asociados

Tabla Export

Tecumseh

El compresor seleccionado es el modelo AJEK510TGZ (CAJ9510T) para aplicaciones de MBP fabricado por Tecumseh, con las siguientes especificaciones:

Figura 64. Características generales del compresor seleccionado.



Technical Data Sheet

2/13/2015

Model: AJEK510THZ (CAJ9510T)

Product Description

Type: Reciprocating
Application: MBP/HBP - Medium/High Back Pressure
Refrigerant: R-22
Voltage/Frequency: 208-220V ~ 60Hz
Version: N/A



208-220 V-
60Hz 1Fase

Familia

Aplicación
de media

R22

Fuente: Catálogo Tecumseh AJEK510THZ

Las líneas de alta y de baja están conectadas de la siguiente manera:

- Puerto 1: Puerto de servicio.
- Puerto 2: Admisión (Línea de baja).
- Puerto 3: Descarga (Línea de alta).

Figura 65. Compresor del sistema de refrigeración



Fuente: Catálogo Tecumseh AJEK510TGZ (CAJ9510T)

La capacidad de este compresor tiene el siguiente comportamiento que depende de las temperaturas de condensación y evaporación:

Tabla 15. Comportamiento de la capacidad en función de las T_{evap} y T_{cond}

Evap Temp (°C)	Condensing Temperature (°C)				
		30	40	50	60
-23.3	Watts (Capacity)	1400	1140	859	563
	Watts (Power)	854	769	713	664
	Amps	3.98	3.75	3.53	3.33
-20	Watts (Capacity)	1590	1310	1010	706
	Watts (Power)	887	822	786	757
	Amps	4.25	4.07	3.91	3.76
-15	Watts (Capacity)	1930	1610	1290	962
	Watts (Power)	932	898	893	893
	Amps	4.61	4.53	4.46	4.40
-10	Watts (Capacity)	2340	1980	1630	1260
	Watts (Power)	973	969	994	1020
	Amps	4.92	4.94	4.99	5.03

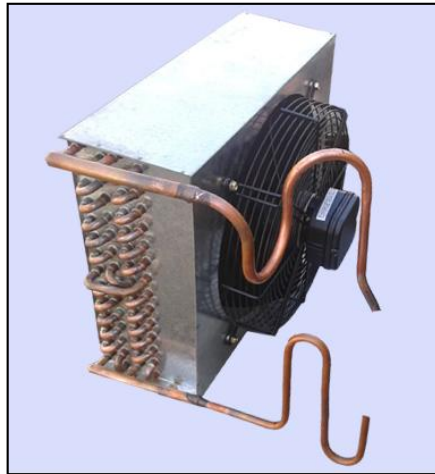
Fuente: Catálogo Tecumseh AJEK510TGZ (CAJ9510T)

Teniendo en cuenta que el sistema requiere 1760 [W] para su normal funcionamiento, y una temperatura de condensación de 40°C, se determina una temperatura de -10[°C] en el evaporador. Esta temperatura es ideal para este proceso, pues es una ventaja desde el punto de vista de la potencia consumida. Con una temperatura menor de evaporación, se necesitaría un equipo para aplicaciones de Baja Temperatura o LBP, lo que repercute en un gasto extra de energía para su funcionamiento. De igual manera una temperatura mayor de evaporación influiría en el tiempo de enfriamiento del sistema y extendería su duración. En el Anexo G. Se muestran las características completas del compresor seleccionado.

9.4.3 Condensador

El condensador tiene igualmente la capacidad de retirar los 1,98 [KW] del sistema. Fue fabricado por Tecumseh, para el modelo CAJ9510T con 4 filas para refrigerante R22 y área de transferencia de calor ampliada con aletas de Aluminio puestas cada 8mm en un espacio de 430X340[mm] . El arreglo del condensador incluye Riser en las líneas de entrada y salida. Esto con el fin de evitar los problemas atascamiento o correcto flujo de refrigerante y aceite.

Figura 66. Condensador del sistema de refrigeración



9.4.4 Recibidor de líquido

El recibidor de líquido tiene como función almacenar el refrigerante en estado líquido para realizar labores de mantenimiento o de montaje. Tiene un puerto de admisión y uno de descarga con válvulas reguladas manualmente para permitir la carga del refrigerante en éste, y posteriormente en el sistema de refrigeración mediante el mismo recibidor. En caso de necesitar extraer el refrigerante del sistema, basta con cerrar la válvula del recibidor y poner en marcha el compresor, para que se realice la acumulación del refrigerante en el recibidor de líquido.

Figura 67. Acumulador de líquido



Para el sistema de refrigeración propuesto, se utilizó un refrigerante marca EMERSON ubicado a la salida del evaporador y anterior al filtro secador del sistema.

9.4.5 Acumulador de succión

Tiene como función evitar el regreso de líquido al compresor, protegiéndolo contra golpes de líquido (refrigerante en estado líquido ingresando al compresor) que puedan representar daños en la succión del compresor.

Para el sistema de refrigeración de este proyecto, el acumulador de succión es del fabricante EMERSON, referencia AS-585 y está situado entre el evaporador y el compresor.

Figura 68. Acumulador de succión



Fuente: <http://www.indubel.com.ar/>

9.4.6 Filtro de refrigerante

Su función es la de detener cualquier tipo de impureza o suciedad que pueda contener las líneas de refrigerante del sistema de refrigeración. Al tener una restricción de área en el sistema, determinado por la válvula de expansión térmica, el sistema de refrigeración es propenso a obstruirse en dicha restricción, por lo tanto es necesaria la limpieza del refrigerante en cada ciclo de trabajo. Además de filtrar el refrigerante, brinda la opción de servir como secador del fluido. Cuando el refrigerante sale del condensador, es propenso a ganar humedad, y por tal motivo es necesario retirar esa humedad ganada por el refrigerante para evitar problemas de atascamiento o de otro tipo relacionado con el aumento de humedad del sistema. El filtro absorbe la humedad del refrigerante manteniendo el sistema siempre en buenas condiciones de funcionamiento.

Figura 69. Filtro secador de refrigerante



Fuente: <http://ph.parker.com/>

Se selecciona un filtro secador para refrigerante R-22 y se sitúa posterior al paso del refrigerante por el evaporador y antes de la mirilla de refrigerante que va al evaporador.

9.4.7 Mirilla de refrigerante

La mirilla de refrigerante permite conocer visualmente el estado del refrigerante dentro de un sistema de refrigeración. Dependiendo del tono que muestre el

refrigerante por su paso a través de la mirilla, se puede determinar el grado de humedad que éste presenta para un posible mantenimiento preventivo. Otra función muy importante aplicada desde el punto de vista técnico, es la de mostrar la cantidad mínima de refrigerante cargado al sistema, puesto que cuando se carece de refrigerante en las líneas, se tienden a formar burbujas mostradas posteriormente en la mirilla y por tal motivo es un buen indicador que permite determinar la falta de refrigerante en el sistema.

Figura 70. Mirilla del refrigerante



Fuente: <http://bojorquezmorales.blogspot.com/>

La mirilla del refrigerante utilizada en nuestro sistema está para refrigerante R-22 con entrada y salida a 3/8 de pulgada, y está situada entre el filtro secador y el evaporador del sistema de refrigeración.

9.4.8 Válvula de expansión térmica

Tiene como función generar la caída de presión entre el condensador y el evaporador mediante el control en el caudal del refrigerante líquido que ingresa al evaporador, todo esto con el fin de generar la caída en la temperatura del refrigerante que posteriormente va a ingresar al evaporador y por lo tanto tiene la capacidad de retirar el calor del sistema. El bulbo de la válvula de expansión térmica funciona como control para asegurar el sobrecalentamiento en la línea de retorno al compresor, puesto que es necesario asegurar que el refrigerante que ingrese al compresor esté en estado de vapor, por lo tanto el bulbo se sitúa a la

salida del evaporador para que brinde una señal de retroalimentación que permita auto regular el caudal de refrigerante que ingrese nuevamente al evaporador.

Figura 71. Válvula de Expansión Térmica



Fuente: <http://www.atmosferis.com/>

En el sistema de refrigeración de este proyecto se seleccionó una válvula de expansión térmica marca Danfoss Referencia N4214A para refrigerante R22.

9.4.9 Cálculo del evaporador

El evaporador del tanque de enfriamiento debe contener un área suficiente que permita el intercambio efectivo de calor entre el agua y el refrigerante. Previamente se conoce que:

$$Pot = 1,76 [KW]$$

Esa potencia es transferida con un intercambiador de la siguiente manera:

$$Pot = U * A * \Delta T$$

$$Pot = U * A * (T_w - T_{ref}) \quad [1]$$

Para ir con un factor de seguridad en el diseño, se tiene en cuenta el mínimo ΔT para que la relación $U \cdot A$ sea máxima.

- **Coeficiente global de transferencia entre refrigerante y agua**

La tubería para el evaporador debe ser de cobre para mejorar la transferencia de calor, y debe tener un diámetro de 1/2 pulgada para llevar el mismo diámetro que viene y regresa al compresor. Para la tubería se tiene que:

$$D_o = 0,0127[m]$$

$$D_i = 0,011 [m]$$

$$K_{cu} = 380 \left[\frac{W}{m * ^\circ C} \right]$$

Para el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor se tiene que:

$$U * A = \frac{1}{R_{total}}$$

$$R_{total} = R_{REFRIGERANTE} + R_{COBRE} + R_{AGUA}$$

Sin embargo, como la superficie de transferencia de calor tiene una alta conductividad térmica, y la pared de la tubería es muy pequeña (0,8 [mm]), se puede simplificar la expresión para el cálculo del coeficiente global de la siguiente manera⁴⁵:

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

En donde:

h_i : Coeficiente de transferencia de calor dentro del serpentín. ⁴⁶

⁴⁵ CENGEL, Yunus A. Transferencia de calor. 2 ed. México D.F. Mc Graw Hill. 2004. p.672. ISBN 0-07245893-3.

⁴⁶ Foster y Zuber. Transferencia de calor por evaporación nucleada. The equation of Forster and Zuber. (1974). Disponible en internet <<https://ritdml.rit.edu/bitstream/handle/1850/8803/BThakurThesis061981.pdf?sequence=>>>

$$h_i = 0,0012 * \left[\frac{K_L^{0,79} * Cp_L^{0,45} * \rho_L^{0,49}}{\sigma^{0,5} * \mu_L^{0,29} * h_{fg}^{0,24} * \rho_v^{0,24}} \right] * (T_s - T_{ev})^{0,24} * (P_s - P_{ev})^{0,75}$$

En donde:

$$\mu_L = 0,0002337 \left[\frac{Kg}{m * s} \right] \text{ (Viscosidad dinámica del liquido saturado)}$$

$$h_{fg} = 213,1 \left[\frac{KJ}{Kg} \right] \text{ (Calor latente de vaporización)}$$

$$\rho_L = 1315 \left[\frac{Kg}{m^3} \right] \text{ (Densidad del liquido saturado)}$$

$$\rho_v = 15,33 \left[\frac{Kg}{m^3} \right] \text{ (Densidad del vapor saturado)}$$

$$\sigma = 0,01328 \left[\frac{N}{m} \right] \text{ (Tensión superficial)}$$

$$Cp_L = 1,152 \left[\frac{KJ}{Kg * ^\circ C} \right] \text{ (Calor específico del liquido saturado)}$$

$$K_L = 0,1009 \left[\frac{W}{m * ^\circ C} \right] \text{ (Conductividad termica del liquido saturado)}$$

$$T_{ev} = -10 [^\circ C] \text{ (Temperatura de evaporación del refrigerante)}$$

$$T_s = -5 [^\circ C] \text{ (Temperatura de la superficie de contacto)}$$

$$P_{ev} = 354300 [Pa] \text{ Presión correspondiente a la temperatura de evaporación del refrigerante}$$

$$P_s = 421300 [Pa] \text{ (Presión de saturación del refrigerante correspondiente a la temperatura de la superficie de contacto.)}$$

Teniendo en cuenta todo lo anterior se calcula:

$$h_i = 617,8 \left[\frac{W}{m^2 * ^\circ C} \right]$$

Para el exterior del serpentín se tiene convección forzada en régimen laminar con el agua de enfriamiento, por lo tanto se tiene⁴⁷:

$$h_0 = 45,6 \left[\frac{W}{m^2 * ^\circ C} \right]$$

Por lo anterior se tiene que:

$$U = 42,74 \left[\frac{W}{m^2 * ^\circ C} \right]$$

$$R_{total} = 0,01747 \left[\frac{^\circ C}{W} \right]$$

Despejando el área de la ecuación [1] para $T_w = 2[^\circ C]$ y $T_{ref} = -10[^\circ C]$ (para obtener el menor ΔT) Se tiene:

$$A = 1,24 [m^2]$$

Conociendo el diámetro del tanque de enfriamiento, se restringe la dimensión del diámetro mayor del conjunto serpentín.

$$A = \pi * D_o * L_s$$

$$L_s = 31,28 [m]$$

$$L_s = \pi * D_s * N$$

Despejando el número de espiras N, se tiene:

$$N = 27$$

Lo anterior está basado en que la restricción del diseño del serpentín está marcada por las dimensiones del tanque en el que se introduzca el sistema de termo acumulación.

⁴⁷ CENGEL, Yunus A. Transferencia de calor. 2 ed. México D.F. Mc Graw Hill. 2004. p.436. ISBN 0-07245893-3.

10. PRUEBAS DE DESEMPEÑO Y FUNCIONAMIENTO

10.1 PRUEBAS

Las pruebas de funcionamiento fueron realizadas inicialmente utilizando agua en lugar de leche debido a que sus propiedades y características son muy similares, dichas pruebas fueron llevadas a cabo en la ciudad de Bucaramanga, los resultados se muestran teniendo en cuenta que las condiciones atmosféricas del sitio varían con respecto a las condiciones donde operará la máquina (Ver Tabla 16).

Tabla 16. Condiciones ambientales de San Agustín y Bucaramanga.

Sitio	Temperatura media del sitio [°C]	Altitud del sitio [msnm]
San Agustín (Huila)	18	1700
Bucaramanga (Sder)	23	959

Fuente: Alcaldía municipio de San Agustín, Alcaldía municipio de Bucaramanga.

Las imágenes del sistema construido para la realización de las pruebas se muestran a continuación:

Figura 72. Serpentín dentro de tanque para termo acumulación.



Figura 73. Marmita



Figura 74. Unidad condensadora y Penta III



Figura 75. Tablero de control



Para la realización de las pruebas de funcionamiento de la micro pasteurizadora, se dispuso de un medidor de flujo de gas marca METREX, el cual se conectó entre la salida de la bombona de propano y la entrada a la llave de paso al sistema, con el cuál se mide la cantidad de gas propano que entra al quemador, para posteriormente encontrar la cantidad de potencia asociada al combustible.

Figura 76. Medidor de flujo de gas.



Además se utiliza un termómetro digital portátil PENTA III (Figura 77), para sensor junto con el sensor del controlador montado en el dispositivo, tres puntos dentro del volumen de leche (Ver figura 78) , con el objetivo de corroborar si existen o no gradientes de temperatura.

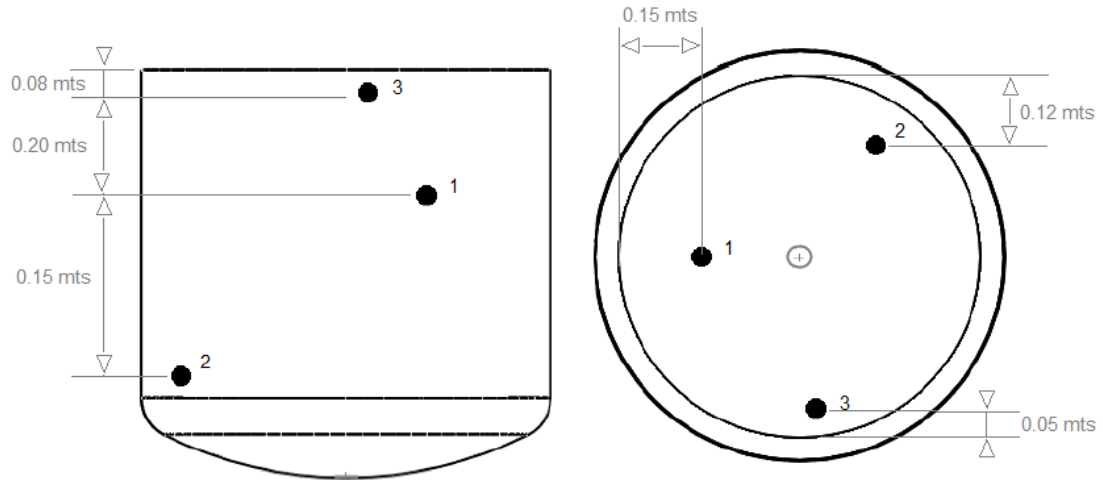
Figura 77. Sensor de temperatura PENTA III.



Fuente: <http://www.fullgauge.com>

La distribución de los sensores de temperatura se muestra en la siguiente Figura:

Figura 78. Distribución de los sensores en el volumen de líquido.



La eficiencia del sistema de calentamiento está determinada por la relación entre la cantidad de energía útil y la cantidad de energía aportada por la combustión del propano por unidad de tiempo, reconociendo como energía útil a la energía encargada de elevar la temperatura de la leche desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de pasteurización.

$$\eta_{\text{calentamiento}} = \frac{\dot{E}_{\text{util}}}{\dot{E}_{\text{combustible}}}$$

$$\eta_{\text{calentamiento}} = \frac{m_{\text{leche}} * C_{p_{\text{leche}}} * \frac{(T_f - T_i)}{\Delta t}}{\dot{m}_c * PC_c}$$

Prueba N°1: CICLO DE PASTEURIZACIÓN COMPLETO.

Sitio de pruebas: Barrio Los comuneros, Bucaramanga

Temperatura ambiente del sitio: 25.7 [°C]

Presión atmosférica del sitio: 959 msnm

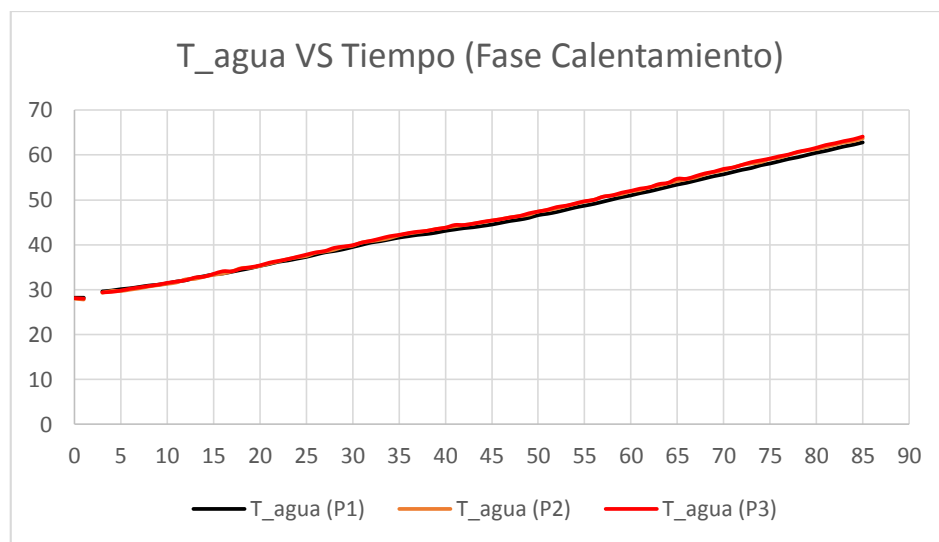
Fluido utilizado: Agua

Temperatura inicial del agua de pruebas: 26 [°C]

Descripción prueba: Durante la realización de esta prueba se pretende encontrar si existe un diferencial de temperatura mayor a 1 [°C] en los distintos puntos sensados en el volumen de la leche, que puedan afectar la correcta pasteurización de todo el producto.

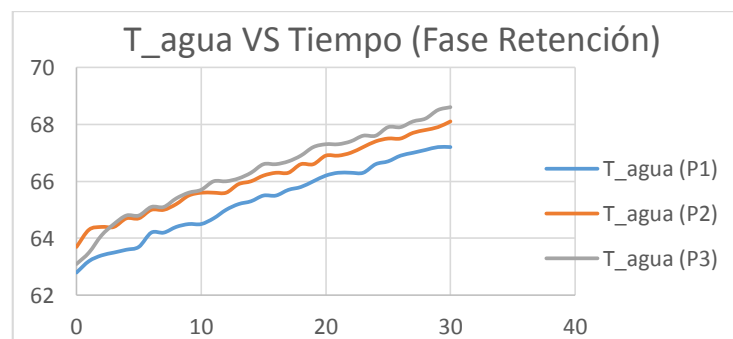
- Temperatura del agua en los tres puntos sensados (Fase calentamiento):

Figura 79. Gráfica Temperatura vs tiempo. Etapa de calentamiento.



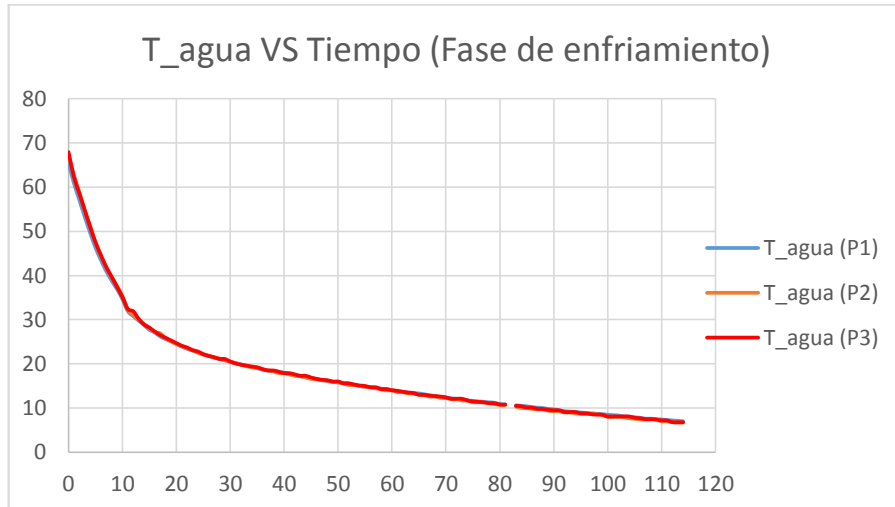
- Temperatura del agua en los tres puntos sensados (Fase retención):

Figura 80. Gráfica de Temperatura vs tiempo. Etapa de retención.



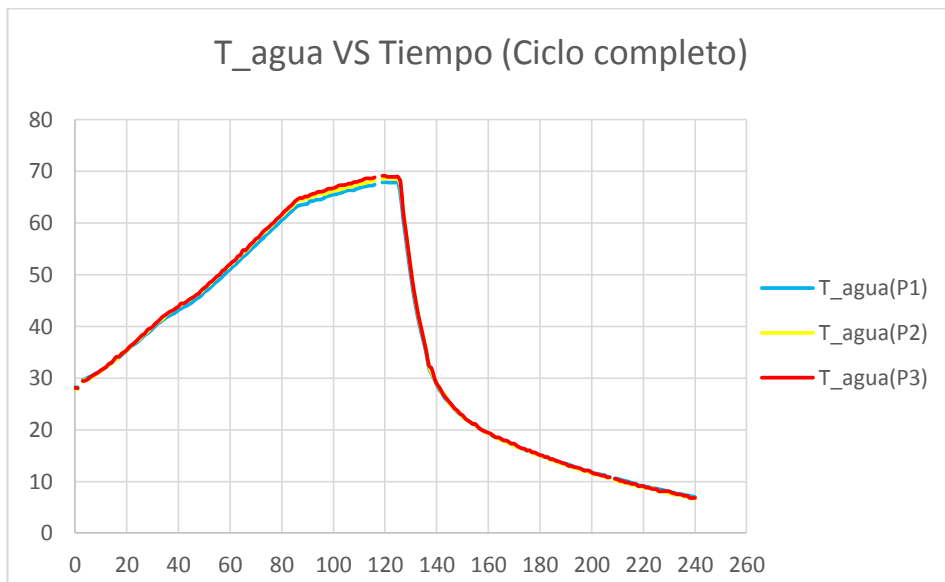
- Temperatura del agua en los tres puntos sensados (Fase enfriamiento):

Figura 81. Gráfica Temperatura vs tiempo. Etapa de enfriamiento.



- Temperatura del agua en los tres puntos sensados (ciclo completo):

Figura 82. Ciclo completo de pasteurización y enfriamiento.



Prueba N°2: CICLO DE PASTEURIZACIÓN COMPLETO

Sitio de pruebas: Barrio Los comuneros, Bucaramanga

Temperatura ambiente del sitio: 27 [°C]

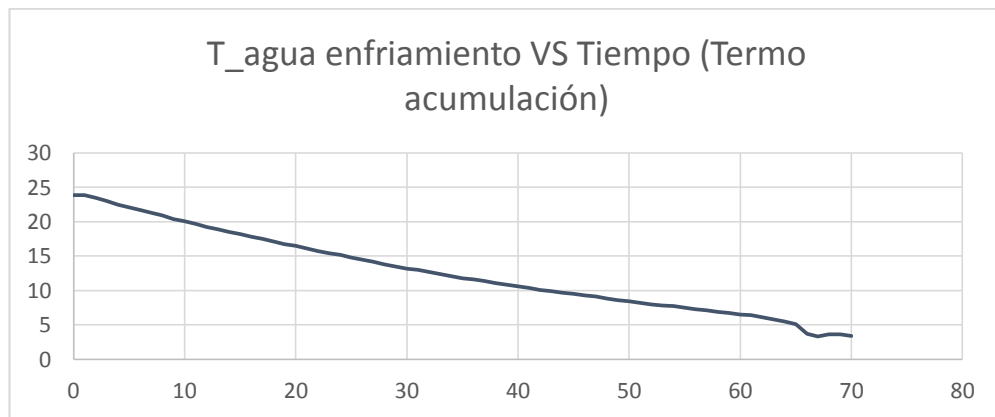
Presión atmosférica del sitio: 959 msnm

Fluido utilizado: Agua.

Descripción de la prueba: Durante la realización de esta prueba se busca determinar la eficiencia del calentamiento y observar si el ciclo completo de pasteurización cumple a cabalidad los requisitos.

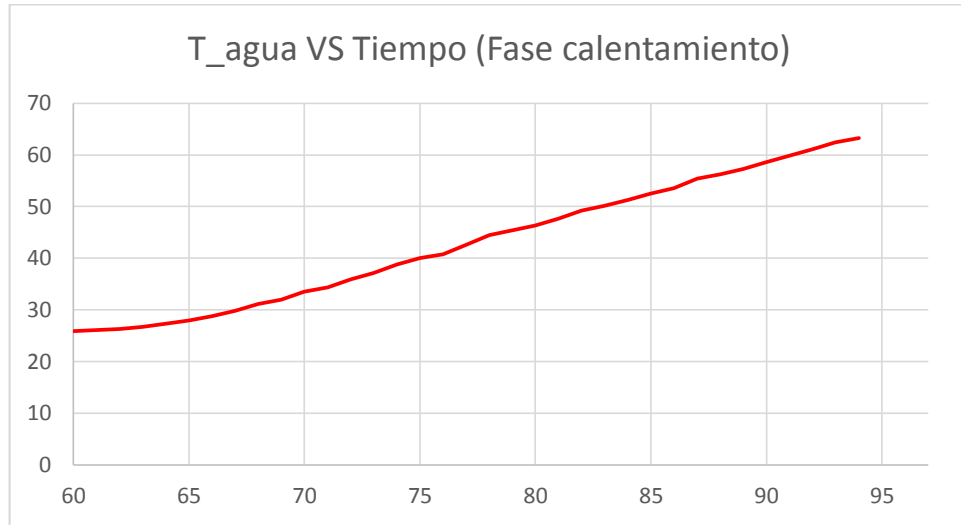
- En la primera parte del ciclo se inicia la termo acumulación en el tanque que contiene el agua de enfriamiento, encendiendo la unidad de refrigeración por un periodo de 60 minutos.

Figura 83. Temperatura del agua de enfriamiento en la termo acumulación prueba 2.



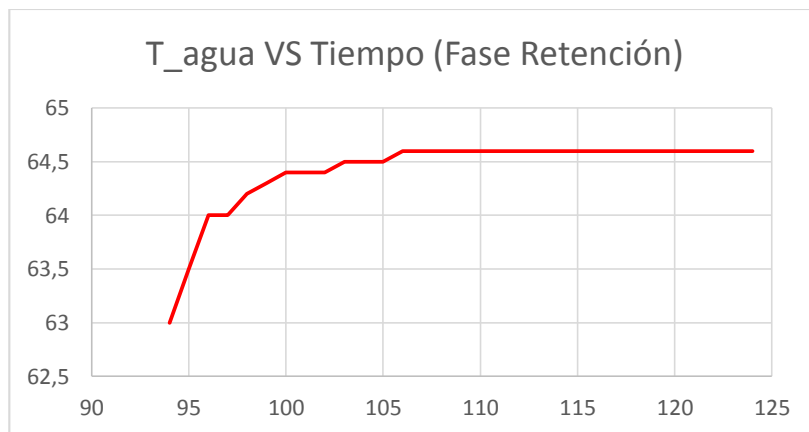
- Posterior a los 60 minutos de encendida la unidad de refrigeración se prenden los quemadores con el objetivo de calentar el agua hasta la temperatura de 63 [°C].

Figura 84. Temperatura del agua fase de calentamiento prueba 2



- Luego que la temperatura del agua de proceso llega a la temperatura de 63 [°C] se evacúa el agua caliente que se encuentra en la chaqueta con el objetivo de evitar que continúe la transferencia de calor hacia el agua de proceso, elevando demasiado su temperatura y se empieza el conteo de los 30 minutos de sostenimiento de la temperatura.

Figura 85. Temperatura del agua fase de retención prueba 2



- Pasados los 30 minutos de retención se inicia la fase de enfriamiento.

Figura 86. Temperatura del agua fase de enfriamiento prueba 2

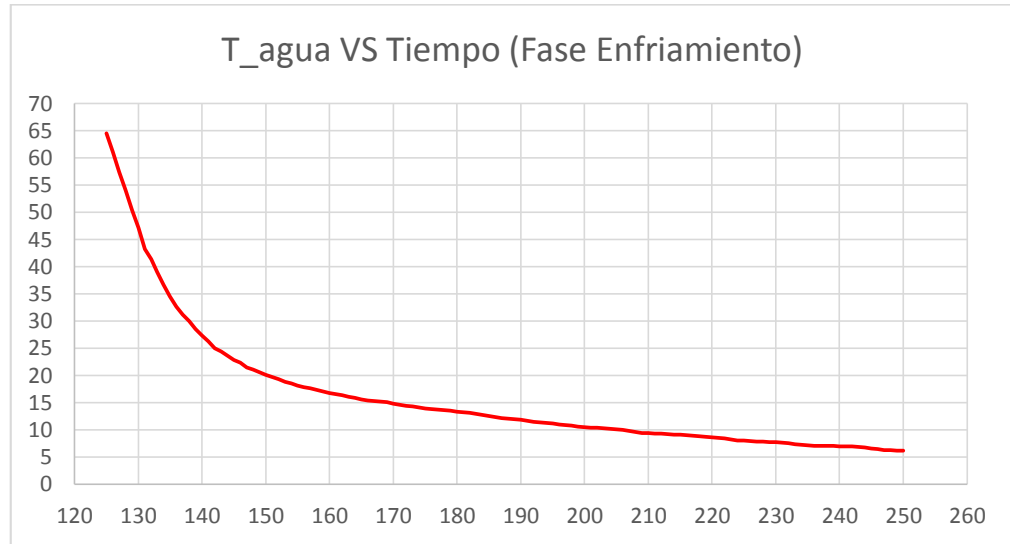
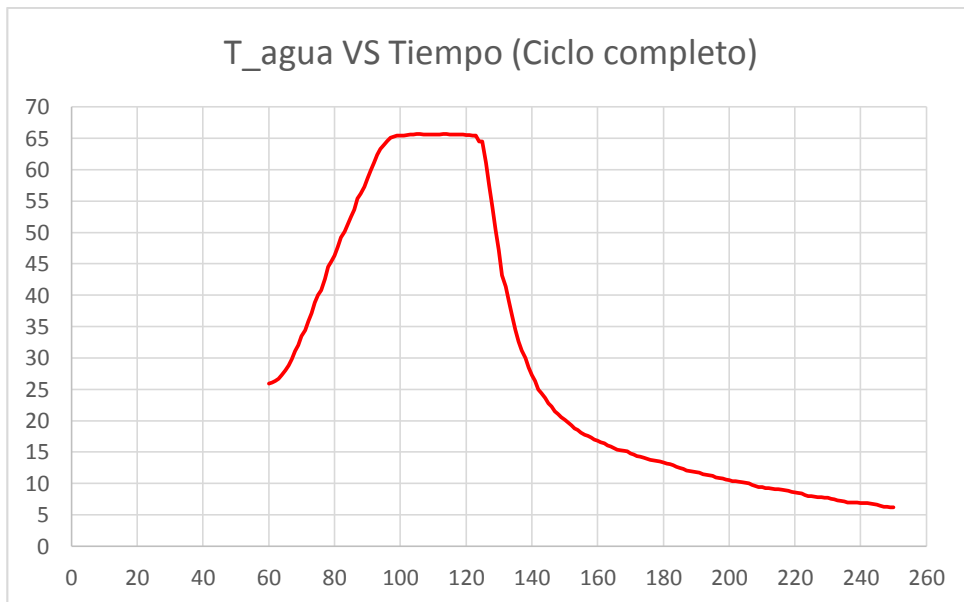


Figura 87. Temperatura del agua ciclo completo prueba 2



- Eficiencia de calentamiento:

Datos del gas:

Tabla 17. Datos del gas para cálculo de eficiencia de calentamiento prueba 2.

Lectura del medidor de flujo inicial	411
Lectura del medidor del flujo final	579
Tiempo entre lecturas del medidor de flujo	34 [min]
Flujo másico de combustible \dot{m}_c	0.534 [Kg/h]
Poder calorífico del propano	43 976 [BTU/Kg]
Potencia asociada al combustible	23 467 [BTU/h]

Datos del agua en la olla:

Tabla 18. Datos del agua para cálculo de eficiencia de calentamiento prueba 2.

Masa de agua	60 [Kg]
Calor específico del agua	4180 [J/Kg*°C]
Temperatura inicial del agua	25.9 [°C]
Temperatura Final del agua	63.3 [°C]
Tiempo de proceso	34 [min]
Potencia útil	15 689[BTU/h]

$$\eta_{\text{calentamiento}} = 66.8 \%$$

Prueba N°3: CICLO COMPLETO DE PASTEURIZACIÓN Y ENFRIAMIENTO

Sitio de pruebas: Barrio Los comuneros, Bucaramanga

Temperatura ambiente del sitio: 26 [°C]

Presión atmosférica del sitio: 959 msnm

Fluido utilizado: Agua

Descripción de la prueba: Durante la realización de esta prueba se busca determinar la posible desviación del comportamiento del ciclo durante la pasteurización (en sus fases de calentamiento y retención) y durante el enfriamiento.

Figura 88. Temperatura del agua en la fase de calentamiento prueba 3

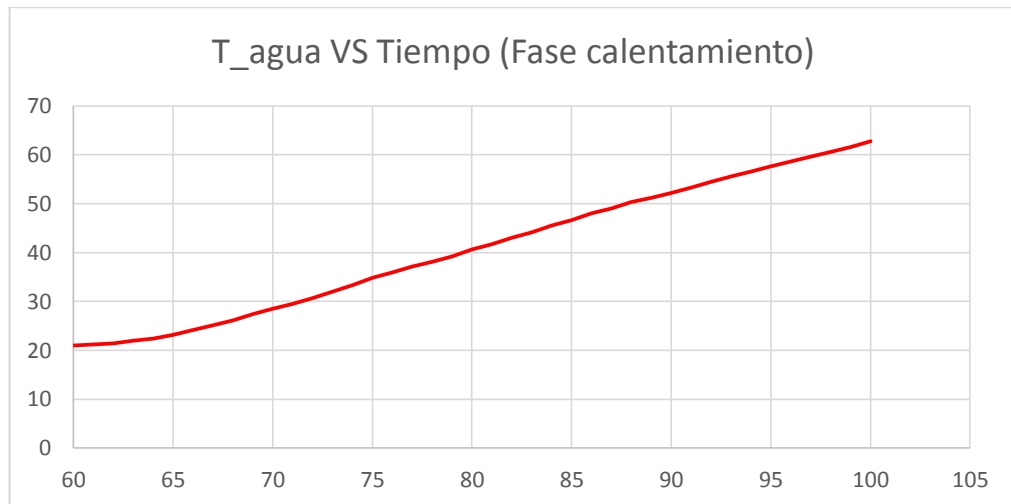


Figura 89. Temperatura del agua en la fase de retención prueba 3

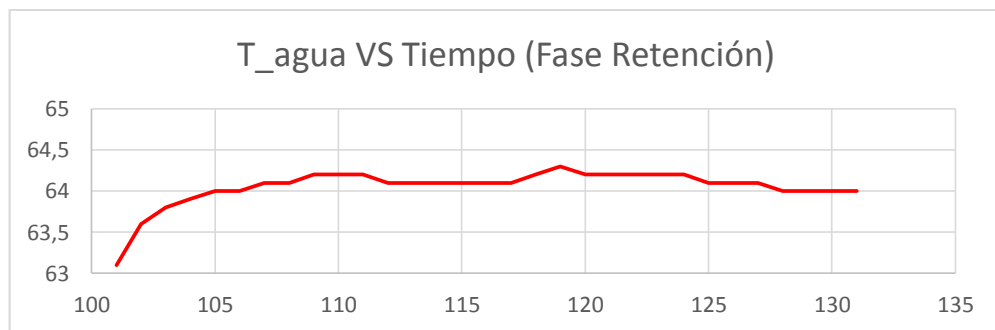


Figura 90. Temperatura del agua fase de enfriamiento prueba 3

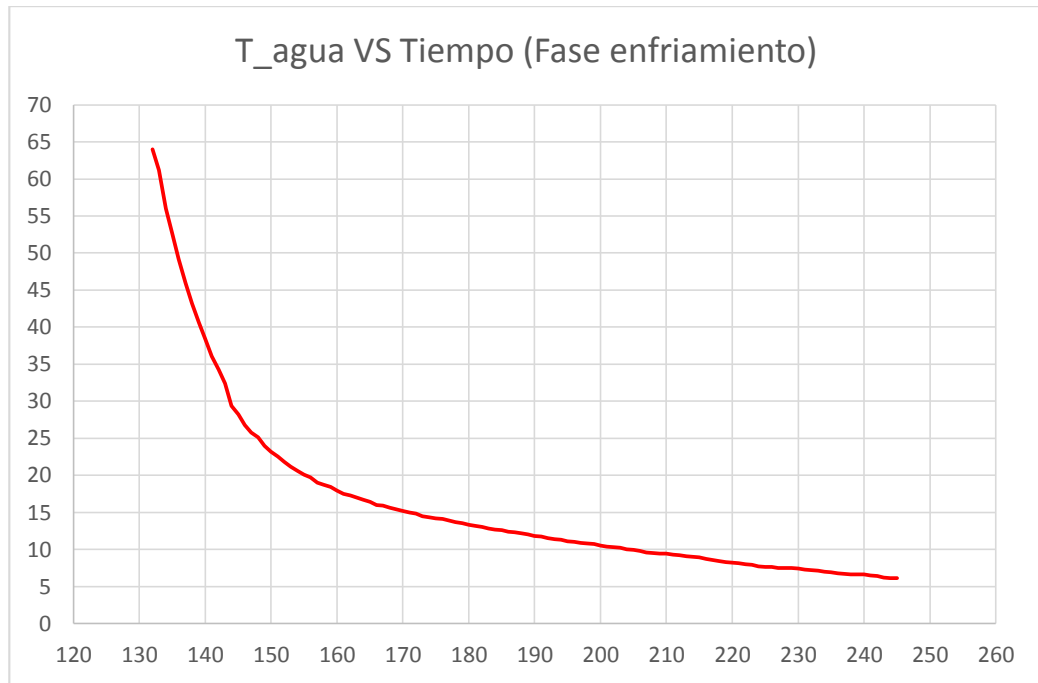
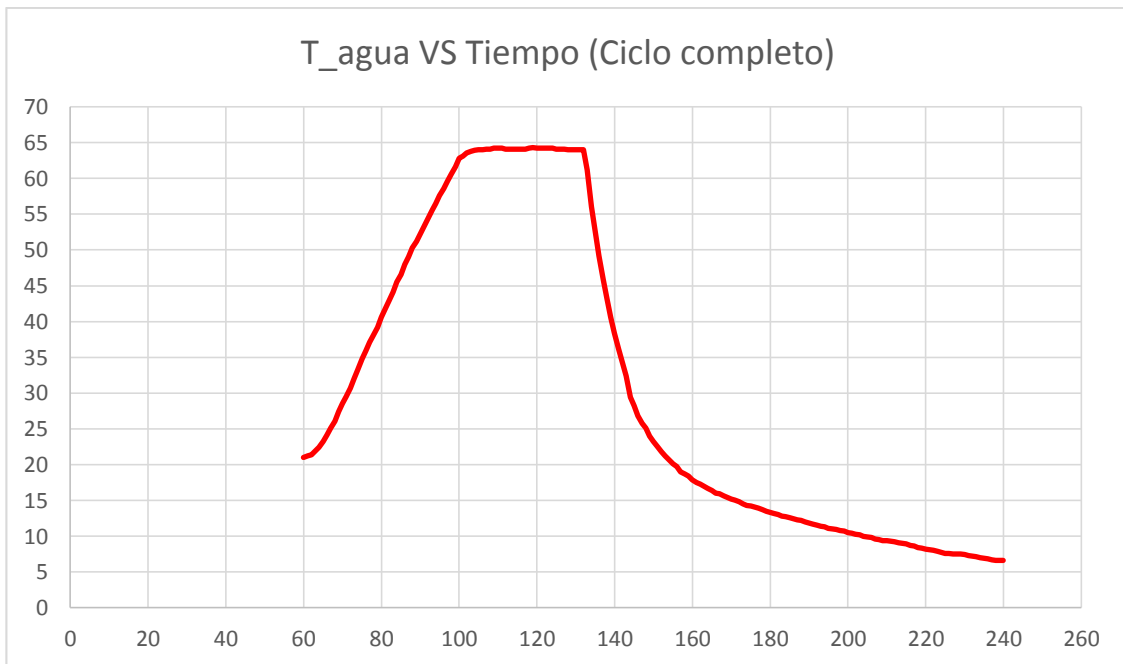


Figura 91. Temperatura del agua en el ciclo completo prueba 3



- Eficiencia de calentamiento:

Datos del gas:

Tabla 19. Datos del gas para cálculo de eficiencia de calentamiento prueba 3.

Lectura del medidor de flujo inicial	760
Lectura del medidor del flujo final	944.5
Tiempo entre lecturas del medidor de flujo	40 [min]
Flujo másico de combustible \dot{m}_c	0.49815 [Kg/h]
Poder calorífico del propano	43 976 [BTU/Kg]
Potencia asociada al combustible	21 906 [BTU/h]

Datos del agua en la olla.

Tabla 20. Datos del agua para cálculo de eficiencia de calentamiento prueba 3.

Masa de agua	60 [Kg]
Calor específico del agua	4180 [J/Kg*°C]
Temperatura inicial del agua	21 [°C]
Temperatura Final del agua	63.1 [°C]
Tiempo de proceso	40 [min]
Potencia útil	15 011 [BTU/h]

$$\eta_{\text{calentamiento}} = 68.5 \%$$

Prueba N°4: CICLO COMPLETO DE PASTEURIZACIÓN Y ENFRIAMIENTO

Sitio de pruebas: Barrio Los comuneros, Bucaramanga

Temperatura ambiente del sitio: 25 [°C]

Presión atmosférica del sitio: 959 msnm

Fluido utilizado: Leche cruda

Descripción de la prueba: Durante la realización de esta prueba se busca observar el comportamiento del ciclo completo directamente en la leche, además de determinar la efectiva pasteurización de la leche.

Figura 92. Temperatura de la leche en la fase de calentamiento prueba 4

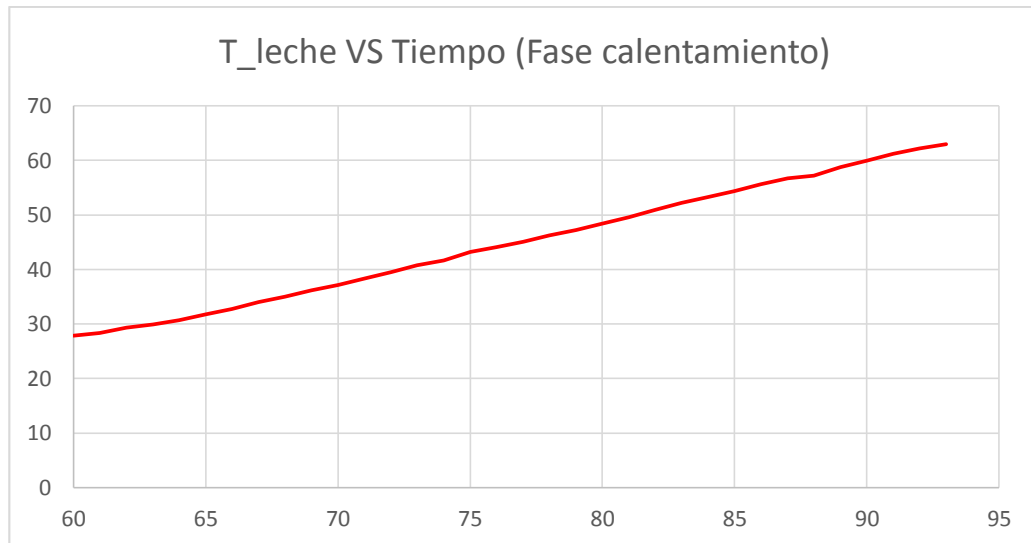


Figura 93. Temperatura de la leche en la fase de retención prueba 4

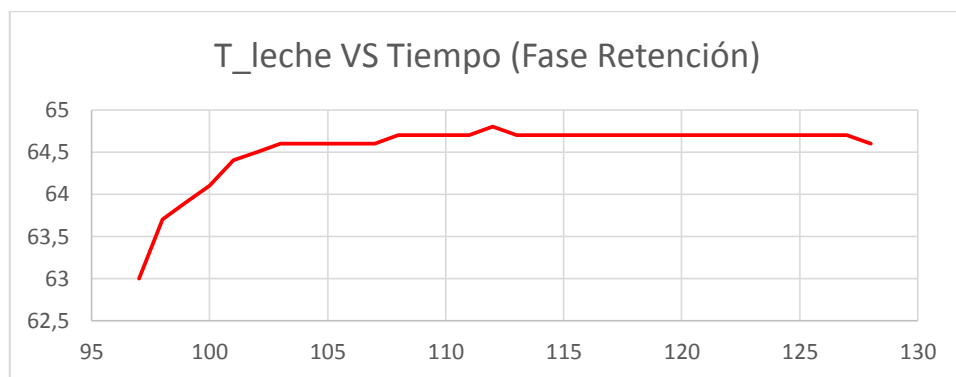


Figura 94. Temperatura de la leche fase de enfriamiento prueba 4

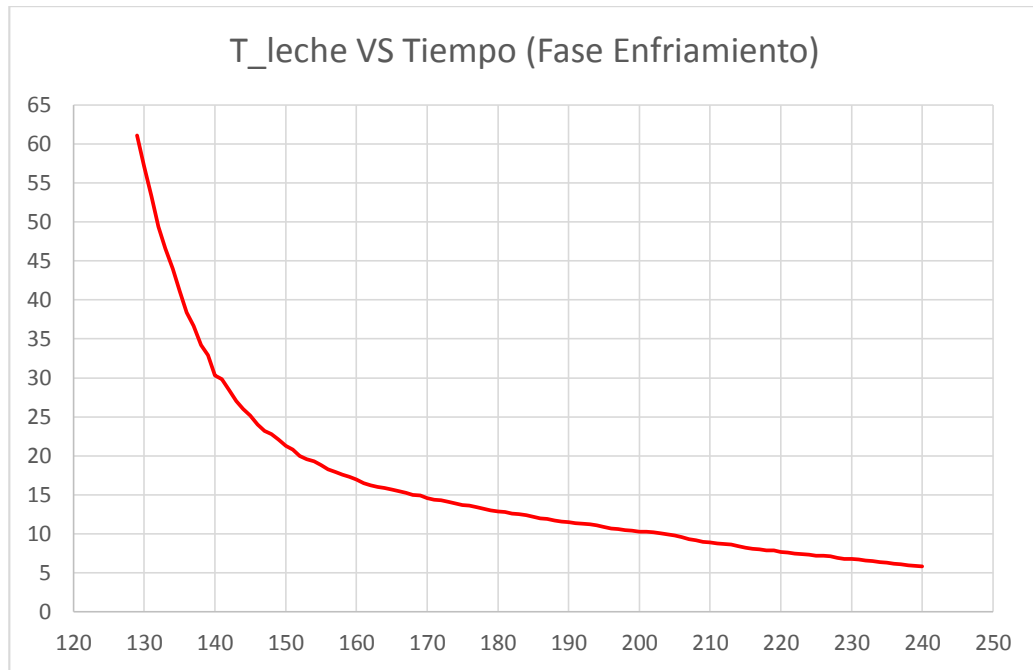
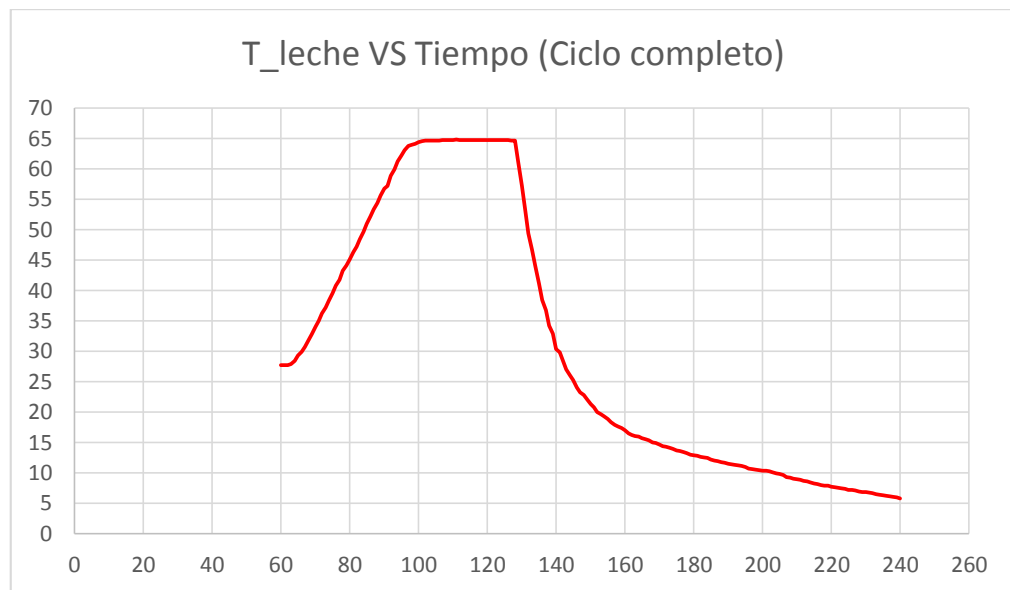


Figura 95. Temperatura de la leche en el ciclo completo prueba 4



- Eficiencia de calentamiento:

Datos del gas:

Tabla 21. Datos del gas para cálculo de eficiencia de calentamiento prueba 4.

Lectura del medidor de flujo inicial	1394
Lectura del medidor del flujo final	1555.5
Tiempo entre lecturas del medidor de flujo	32 [min]
Flujo másico de combustible \dot{m}_c	0.545 [Kg/h]
Poder calorífico del propano	43 976 [BTU/Kg]
Potencia asociada al combustible	23 969.7 [BTU/h]

Datos de la leche en la olla.

Tabla 22. Datos de la leche para cálculo de eficiencia de calentamiento prueba 4.

Masa de leche	62 [Kg]
Calor específico de la leche	3900 [J/Kg*°C]
Temperatura inicial de la leche	27.7 [°C]
Temperatura Final de la leche	63 [°C]
Tiempo de proceso	32 [min]
Potencia útil	15 169 [BTU/h]

$$\eta_{\text{calentamiento}} = 63.3 \%$$

10.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Según los resultados arrojados anteriormente, la micro pasteurizadora cumple con los objetivos trazados, teniendo en cuenta que:

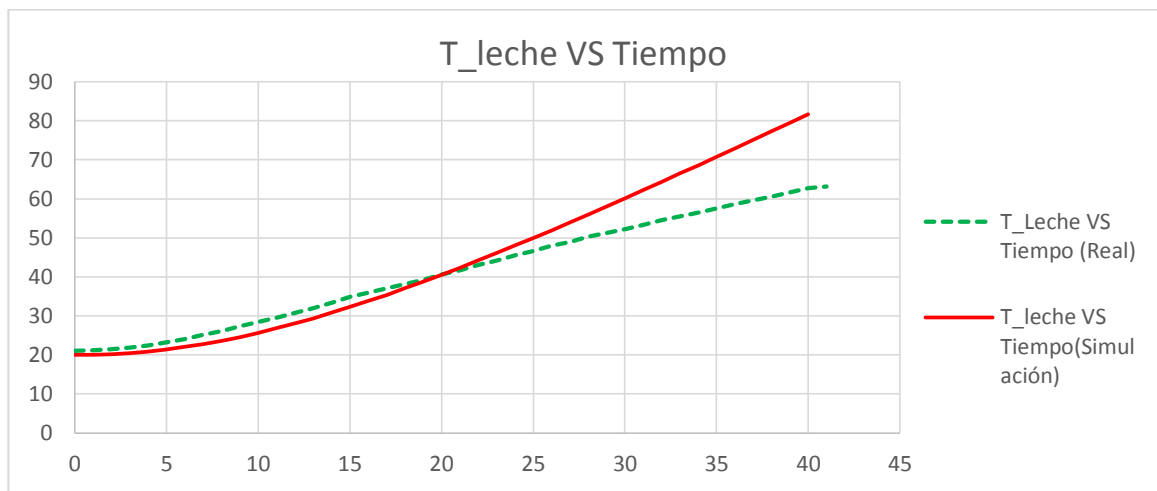
- La eficiencia de calentamiento planteada en el diseño de ingeniería no se desvió tanto con respecto a la eficiencia real presentada por el sistema de calentamiento, si se tiene en cuenta que el diseño preliminar es conservativo en cuanto a los modelos establecidos para el cálculo. Esto quiere decir que el sistema de calentamiento presenta una eficiencia cercana al valor óptimo característico de este tipo de equipos. La eficiencia obtenida se debe al aumento de la transferencia de calor a través de la recirculación del agua de calentamiento en la chaqueta, lo que permite aumentar los coeficientes convectivos entre el agua y la pared del tanque que contiene la leche.
- La fase de enfriamiento cumple a cabalidad con el objetivo de disminuir la temperatura de la leche en el rango de 4-6°C, logrando alcanzar una temperatura de 6°C en un tiempo de 110 [min], teniendo en cuenta que las bacterias que no fueron destruidas durante el tratamiento de pasteurización tendrán una disminución en el crecimiento debido a la baja temperatura a la cual está expuesta la leche.
- Durante la fase de retención se observa un aumento de la temperatura, producto de la inercia térmica que presenta el sistema.
- La agitación de la leche además de ayudar a la transferencia de calor, permite evitar altos gradientes de temperatura en el volumen de leche, presentando la mayor diferencia de temperatura entre dos puntos de 1 [°C].
- El sistema de control permite realizar el proceso de pasteurización y de enfriamiento de la leche casi autónomo, minimizando la intervención del operario.

11. VALIDACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS

Con el objetivo de reconocer un modelo de diseño que permita dimensionar pasteurizadoras de mayor tamaño, se procede a validar los modelos matemáticos utilizados en la simulación para el diseño térmico de la micro pasteurizadora comparando los resultados de la misma con los datos recogidos experimentalmente durante la realización de las pruebas de desempeño.

11.1 FASE DE CALENTAMIENTO

Figura 96. Comparación de los resultados de la simulación con los datos experimentales para la fase de calentamiento.



Si se compara la curva representada por la simulación del sistema con la curva de los datos obtenidos experimentalmente se puede observar que la prueba real necesita 10 minutos más para poder llevar la temperatura de la leche a los 63 [°C], este desfase se debe a que la potencia de entrada de 50000 [BTU/h] necesaria para calentar la leche en la simulación fue calculada con una eficiencia del 55% y con un flujo másico de propano de 1.1349 [Kg/h], mientras que en la prueba real la potencia de entrada fue limitada a 22000 [BTU/h] debido a la cantidad de flujo máximo de combustible que permite el quemador para su óptimo funcionamiento,

el cual oscila entre 0.4 y 0.6 [Kg/h]. Un montaje de quemadores que permitiera alcanzar el flujo de combustible adecuado requiere de más espacio, mayor inversión y mayor ruido en la operación.

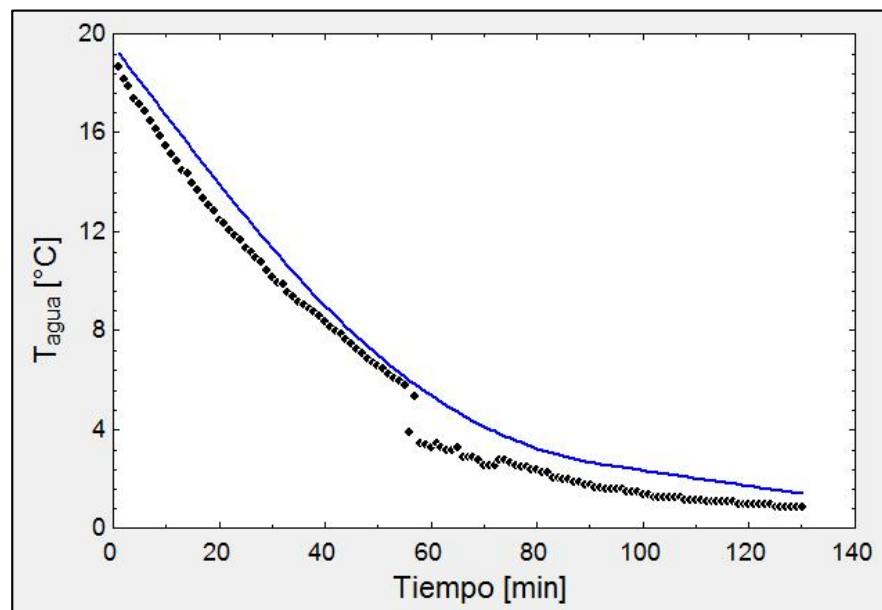
11.2 FASE DE ENFRIAMIENTO

11.2.1 Agua para termo acumulación.

Para la validación de los resultados del cálculo del sistema a partir de la simulación, se superponen las gráficas del comportamiento simulado y el comportamiento real una vez construido el sistema y ejecutadas las pruebas.

En primera instancia se valida el comportamiento del tanque de enfriamiento. Hay que recordar que se posee un total de dos horas para el enfriamiento del agua dentro del tanque para la generación de la termo acumulación que posteriormente permita el enfriamiento de la leche en un tiempo máximo de dos horas. En la siguiente gráfica se puede observar la simulación (línea azul) comparada con el comportamiento real de la prueba 2 (línea negra).

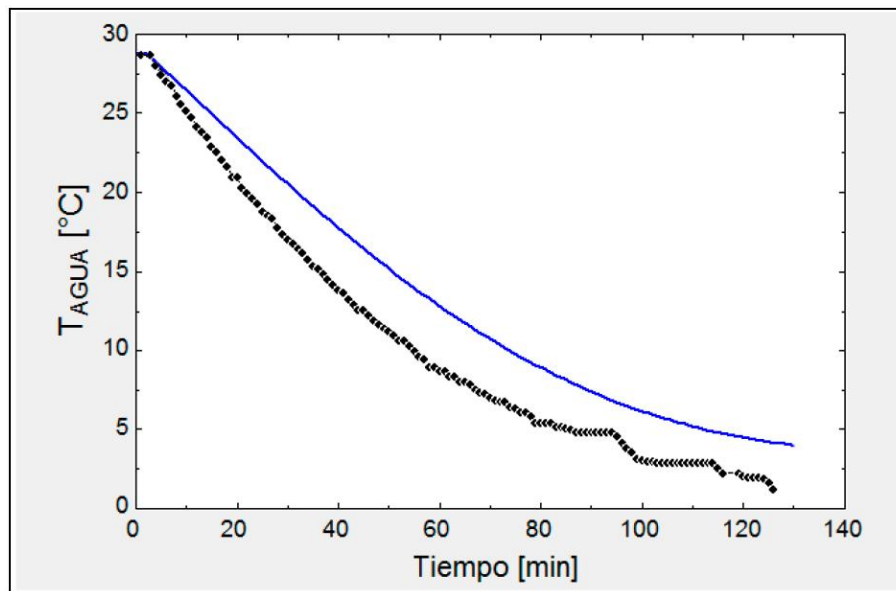
Figura 97. Validación de resultados enfriamiento de tanque de agua prueba 2.



El comportamiento de la simulación es similar que el evento real, la única diferencia es el punto cerca de los 60 minutos a partir de lo cual se genera un cambio en el calor latente del sistema y por lo tanto la temperatura tiene una variación repentina, que no ha sido modelada en el sistema.

En cuanto a la prueba 3, se puede notar también una similitud entre el comportamiento de los eventos real-simulado. En este caso la línea que representa la simulación (azul), se mantiene unos grados por encima del comportamiento real (línea negra).

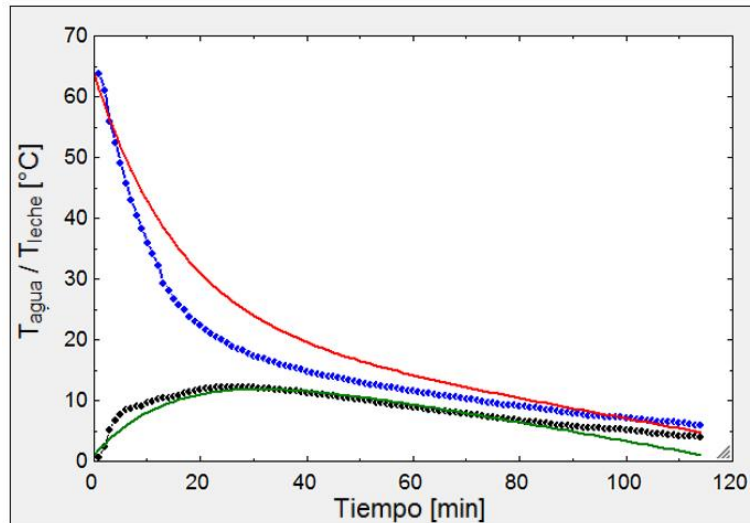
Figura 98. Validación de resultados enfriamiento tanque de agua prueba 3.



11.2.2 Enfriamiento de la leche.

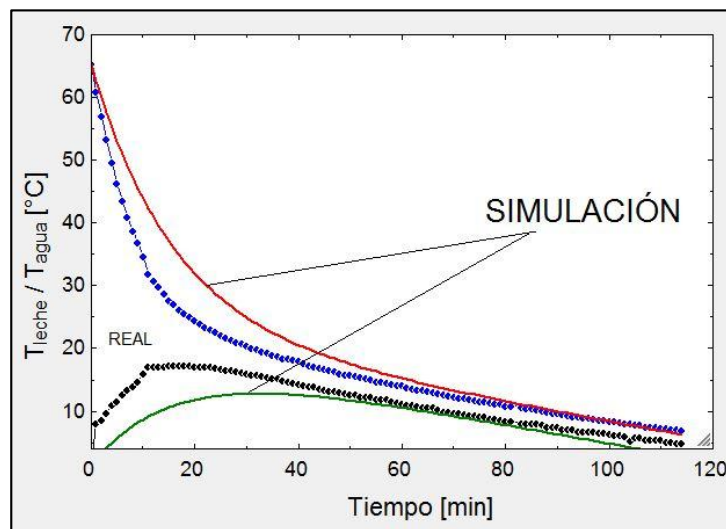
En cuanto al enfriamiento de la leche, respecto a la prueba 7 realizada y la simulación, se obtuvo los siguientes comportamientos.

Figura 99. Validación de resultados enfriamiento de leche prueba 2.



La línea de simulación de temperatura de leche (roja) se mantiene hasta cierto punto sobre la línea de temperatura de leche real (azul). La línea verde (simulación del agua en la etapa de enfriamiento de la leche) mantiene de igual manera un comportamiento muy similar al evento real del enfriamiento de la leche mediante agua (línea negra).

Figura 100. Validación resultados enfriamiento de leche prueba 3.



La anterior imagen muestra el comportamiento de la prueba 3 realizada. Se puede observar que la simulación mantiene validez en la etapa final del proceso de enfriamiento, es decir, puede predecir el momento en que la leche llega a su valor de enfriamiento (4-6[°C]). La línea de simulación de temperatura de leche (roja) está por encima de la línea de temperatura de leche real (azul). La línea que representa el comportamiento de la simulación del enfriamiento del agua (verde) tiene un comportamiento un poco apartado del suceso real de enfriamiento de agua (negra). Esto puede deberse a la diferencia en las condiciones ambientales a la hora de realizar las pruebas reales.

La disminución de la temperatura del agua en la realidad tiene un límite cuando ésta se encuentra cerca de 1[°C], pues en este punto se observa un cambio de calor sensible a latente, lo que se ve reflejado en la generación de una pequeña capa de hielo sobre el serpentín. El modelo simulado no tiene esta consideración, y por lo tanto el comportamiento de la temperatura de la leche no tiene éste límite y por lo tanto a partir de cierto punto las temperaturas del agua de la simulación están por debajo del evento real.

12. ESTUDIO QUE PERMITE CORROBORAR LA EFECTIVA PASTEURIZACIÓN DEL LOTE DE LECHE

12.1 REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS DE FOSFATASA ALCALINA.

Para poder determinar que la micro pasteurizadora cumple el objetivo de pasteurizar el lote de 60 litros de leche se procede a realizar un análisis Físico químico conocido como el método de Rutgers, el cual permite diferenciar visualmente entre la leche que ha sido pasteurizada y la leche no tratada mediante la detección de la enzima Fosfatasa Alcalina presente en la leche y la cuál se destruye en las mismas condiciones que la mayoría de micro organismos presentes en la leche.

La detección de la Fosfatasa Alcalina presente en la leche se determina mediante un kit (Ver Figura 101) que permite la adición a una muestra de leche pasteurizada de unos sustratos químicos que reaccionan con la Fosfatasa y revelan su presencia en la leche mediante un análisis comparativo.

Figura 101. Kit de pruebas para la detección de Fosfatasa Alcalina en la leche.



Fuente: <https://catalog.hardydiagnostics.com/>

Como primera medida se le realiza un análisis a la leche cruda antes de procesarla (Ver Figura 102), posteriormente se realiza un análisis a la leche pasteurizada UHT que se encuentran en el mercado (Ver Figura 103) y por último se le realiza un análisis a la leche procesada en la micro pasteurizadora (Ver Figura 104).

Figura 102. Leche cruda fresca antes de ser procesada



Figura 103. Leche pasteurizada UHT encontrada en el mercado.



Figura 104. Leche cruda pasteurizada en la micro pasteurizadora



Básicamente la prueba consiste en realizar un control positivo y un control negativo para detección de Fosfatasa Alcalina, donde el control positivo se realiza contaminando una cantidad de leche pasteurizada y posteriormente verter 1 mL de la mezcla en dos tubos de ensayo que se marcan con el nombre “Test” y “Estándar” respectivamente, el control negativo se realiza vertiendo 1 mL de leche pasteurizada en dos tubos de ensayo y marcarlos de la misma forma que los anteriores.

Figura 105. Mezcla de leche contaminada para control positivo.



los cuatro tubos de ensayo se someten a un baño termostático elevando la temperatura de las muestras a 37 [°C] donde se agrega a un tubo del control positivo el reactivo “Test” y al otro tubo el reactivo “Estándar”, repitiendo el procedimiento para el control negativo ya preparado y manteniendo la temperatura de 37 [°C] por 30 minutos.

Figura 106. Baño termostático para sostener la temperatura de las muestras.



Por último se agrega a cada uno de los tubos de ensayo una gota del líquido desarrollador de color, observando que para el control positivo el tubo de ensayo marcado como “Test” debe tener una tonalidad más rosada que el tubo de ensayo marcado como “Estándar”, mientras que para el control negativo el tubo marcado “Test” debe mantenerse blanco o presentar una tonalidad de rosado menor que el tubo marcado “Estándar”.

Los resultados arrojados por las pruebas se presentan en las siguientes figuras:

- Leche cruda antes de procesar:

Figura 107. Resultado para leche cruda antes de procesar



Para la leche cruda antes de procesar se puede observar que el tubo marcado con el número 6 al cuál fue agregado el reactivo “Test” muestra una diferencia bastante apreciable con un color rosa encendido con respecto al tubo marcado con el número 2 al cuál se le agregó reactivo “Estándar” que tomo un color rosa bastante tenue, confirmando que la leche se encuentra con una alta presencia de Fosfatasa Alcalina y no ha sido sometida a un proceso de pasteurización.

- Leche pasteurizada UHT encontrada en el mercado:

Figura 108. Resultado Control negativo y positivo para leche pasteurizada UHT encontrada en el mercado



En la figura anterior se puede apreciar que en los tubos de la izquierda los cuales son el control negativo para Fosfatasa, el tubo marcado como “Estándar” presenta una coloración rosa tenue un poco mayor que la del tubo marcado “Test”, lo que corrobora que la leche pasteurizada UHT que se encuentra en el mercado no tiene presencia de Fosfatasa alcalina o de encontrarse está por debajo del 0.1% de concentración en la leche.

- Leche pasteurizada en la micro pasteurizadora:

Figura 109. Resultado control negativo y positivo para leche pasteurizada en la micro pasteurizadora.



En la figura anterior se puede apreciar que en los tubos de la izquierda los cuales son el control negativo para Fosfatasa, el tubo marcado como “Estándar” presenta una coloración rosa tenue un poco mayor que la del tubo marcado “Test”, lo que

corroborar que la leche pasteurizada en la micro pasteurizadora no tiene presencia de Fosfatasa Alcalina o de encontrarse está por debajo del 0.1% de concentración en la leche. Además los resultados en color son muy parecidos a los desarrollados en las pruebas con leche pasteurizada UHT.

12.1.1 Interpretación de resultados.

La prueba físico química realizada a la leche pasteurizada en la micro pasteurizadora arroja un resultado negativo para presencia de Fosfatasa Alcalina, puesto que en el control negativo se observa que si bien el tubo marcado como “Test” presenta una tonalidad rosada, esta tonalidad es menor que la tonalidad presentada por el tubo marcado como “Estándar”, además teniendo en cuenta que para este procedimiento el “Estándar” corresponde a una leche pasteurizada contaminada con el 0.1% de leche cruda, se puede asegurar que la leche pasteurizada en la micro pasteurizadora tendrá menos del 0.1% de contaminación.

Los resultados de los controles positivos tanto para la leche pasteurizada UHT encontrada en el mercado como para la leche pasteurizada en la micro pasteurizadora, permiten corroborar la eficacia de los reactivos en revelar la presencia de Fosfatasa Alcalina en la leche, puesto que los tubos marcados como “Test” desarrollaron un color rosa intenso mayor que el desarrollado por los tubos marcados “Estándar” como era de esperarse puesto que la leche estaba contaminada con leche cruda.

12.2 PRUEBA MICROBIOLÓGICA

Las muestras tomadas de leche pasteurizada por el sistema diseñado y construido fueron enviadas al laboratorio para realizar el respectivo conteo microbiológico que permitiera determinar la efectiva pasteurización. El Laboratorio dictaminó que la muestra de leche cumple con los requisitos establecidos por el Decreto 616 de 2006 (descritos en el numeral 2.1.1.6) referentes a las características microbiológicas de la leche pasteurizada (Ver Anexo K).

13. ANÁLISIS FINANCIERO

El análisis financiero se realiza en tres escenarios, lo cuales comprenden la cantidad de bacheadas o lotes que se realizarían a diario, para un máximo permitido de 3 batch debido a condiciones de operación de la micro pasteurizadora y a la demanda existente en el sitio en la cual opera.

Para realizar el análisis se desarrolla un procedimiento de cálculo a modo de cálculo tipo para el escenario número uno, en el cual se va a realizar una sola bacheada diaria, variando el precio de la leche entre un intervalo máximo de venta posible de la leche procesada, cálculo que posteriormente será utilizado para el desarrollo de los dos escenarios restantes con 2 y 3 bacheadas por día respectivamente.

13.1 COSTOS ASOCIADOS AL PROYECTO DE INVERSIÓN

- Costo de la inversión inicial

Se tiene en cuenta como costo de la inversión inicial al conjunto de equipos, mano de obra y demás partes que involucran la construcción de la micro pasteurizadora, además de tener en cuenta el costo de ingeniería y desarrollo del proyecto, todos ellos contemplados en la Tabla 23.

Tabla 23. Costo de la inversión inicial.

Inversión inicial Micro pasteurizadora		
N°	Ítem	Precio \$
1	Lámina de acero inoxidable calibre 14	316000
2	Lámina de acero inoxidable calibre 18	206000
3	Tubería de perfil cuadrado calibre 14	175000
4	Tubería de perfil circular calibre 14	87000
5	Cilindro de gas propano	33000
6	Compresor TECUMSEH	850000
7	Evaporador de cobre de 1/2" * 15 mts	120000
8	Válvula de expansión termostática	85000
9	Filtro	26000

10	Mirilla de refrigerante	14000
11	Tornillería	12000
12	Condensador TECUMSEH	253000
13	Vaso de líquido	26000
14	Tanque de succión	26000
15	Tanque de acumulación de agua	50000
16	Moto bomba de 1/2 HP	135000
17	Tubería de 1" en galvanizado	150000
18	Válvulas de bola en bronce	80000
19	Motor eléctrico de 1 HP	150000
20	Tarjeta vareadora de velocidad	100000
21	Controlador Autonics	150000
22	Temporizador Autonics	350000
23	Controlador de temperatura Full gauge	85000
24	Contactores	90000
25	Caja de control	120000
26	Indicadores de luz	30000
27	Termopar tipo J	16000
28	Cables	35000
29	Válvula solenoide de 1/2"	120000
30	Quemador de sopletes	60000
31	Mano de obra	2500000
32	Ingeniería y dirección del proyecto	3000000
33	Pagos por desarrollo y propiedad intelectual	5000000
34	Imprevistos	550000
	Total	15000000

- Costos operativos

Dentro de estos costos se encuentra la cantidad de energía eléctrica consumida por los equipos (Ver Tabla 24), el consumo de combustible utilizado para elevar la temperatura de la leche (Ver Tabla 25), salario devengado por el operario de la máquina (Ver Tabla 26), compra de materia prima (Ver Tabla 27), costos asociados al mantenimiento de la máquina el cuál se estipula como el 10% del costo inicial de la misma⁴⁸ (Ver Tabla 28).

⁴⁸ Libro de ingeniería económica de Juan Jose Miranda, gestión de proyectos.

Tabla 24. Costos operativos de electricidad.

Costos operativos de electricidad							
Equipo	Horas Funcionamiento/ Batch	Kw	Kw-h	\$/Kw-h	N° Batch/dia	Dias laborados	\$
Unidad de frio	4	0.979	3.916	336	1	365	480258
Bomba	2	0.37275	0.7455	336	1	365	91428.1
Agitador	2.5	0.7455	1.8638	336	1	365	228570
						COET/año	800257

Tabla 25. Costos operativos de consumo de gas.

Costos operativos de consumo de gas							
Masa combustible	Masa de la bombona	\$/Bombona	\$/bacth	N° Batch/dia	Dias	\$	
0.342	15	33000	752.4	1	365	274626	
						COGT/año	274626

Tabla 26. Costos asociados al mantenimiento.

Costos de mantenimiento(10% Costo de inversión)	\$1500,000.0
--	---------------------

Tabla 27. Costos del salario del operario que trabaje la máquina.

Costos del operario que trabaje la maquina								
N° Empleados	Salario minimo mensual legal vigente	Salario mínimo diario legal vigente	Salario minimo por hora legales vigentes	Horas trabajadas /batch	N° Batch/dia	Sueldo devengado/dia	Dias laborados	Sueldo devengado/año
1	644350	21478	2684	4	1	10736	365	3918640

Tabla 28. Costos de materia prima.

Costos de materia prima					
\$/litro	litros/batch	\$/batch	Batch/dia	Dias trabajados	\$
1333	60	79980	1	365	29192700

13.2 INGRESOS DEVENGADOS DE LA PRODUCCIÓN

Los ingresos dados de la explotación de la micro pasteurizadora se tienen en cuenta en la Tabla 29, Tabla 30 y Tabla 31, donde se varía el precio de venta del litro de leche ya pasteurizada y refrigerada.

Tabla 29. Ingresos de la micro pasteurizadora para un precio de \$1750.

Ingresos 1				
litros/Batch	Batch/dia	Dias trabajados	\$/litro	\$
60	1	365	1750	38325000

Tabla 30. Ingresos de la micro pasteurizadora para un precio de venta de \$1700.

Ingresos 2				
litros/Batch	Batch/dia	Dias trabajados	\$/litro	\$
60	1	365	1700	37230000

Tabla 31. Ingresos de la micro pasteurizadora para un precio de venta de \$1600.

Ingresos 3				
litros/Batch	Batch/dia	Dias trabajados	\$/litro	\$
60	1	365	1600	35040000

13.3 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE LA INVERSIÓN

El método a usar para realizar el análisis financiero es el de Valor Presente Neto (VPN), el cual permite calcular el valor presente de un determinado flujo de efectivo futuro originado por una inversión, este método es una herramienta

sencilla con la cual se puede apreciar si un proyecto es factible o no para su realización, su cálculo es muy sencillo y se remonta a la utilización de la siguiente ecuación:

$$VPN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FE_t}{(1+i)^t}$$

Donde:

I_0 = Inversión inicial.

FE_t = Flujos de efectivo en el tiempo.

i = Tasa interna de retorno o tasa de descuento (Tasa de rendimiento que se podría ganar en una inversión en el mercado financiero con un riesgo similar).

t = Tiempo u horizonte del proyecto.

La aceptación del proyecto según este método está definido por la siguiente convención:

Si $VPN > 0$ el proyecto se debe realizar.

Si $VPN < 0$ el proyecto no se debe realizar.

Si $VPN = 0$ es indiferente.

Teniendo en cuenta lo anterior se realiza el cálculo de los flujos de efectivo (Ver Tabla 32, Tabla 33 y Tabla 34), tomando como unidad de tiempo el año y teniendo un flujo de efectivo constante a lo largo de los 5 años de horizonte en los cuales se va a desarrollar el proyecto y se estipula sea la vida útil de la micro pasteurizadora; en este análisis no se va a tener en cuenta la influencia de la inflación puesto que esta afecta de igual manera los costos de la producción y los ingresos derivados de la misma, además tampoco se tiene en cuenta el valor de salvamento de la máquina.

$$FE_t = (\text{ingresos de producción} - \text{costos de producción}) / \text{año}$$

La tasa interna de retorno se toma del 12% por petición de la persona interesada en el proyecto, encontrándose muy tentadora a la hora de realizar un proyecto de inversión.

- Resultados y análisis.

Tabla 32. Resultado del VPN para el escenario 1 (una bacheada diaria).

Costo de la Inversión	Flujos de efectivo					VPN 1	VPN 2	VPN 3
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5			
-\$15,000,000	\$ 2,244,577	\$ 2,244,577	\$ 2,244,577	\$ 2,244,577	\$ 2,244,577			
	\$ 799,177	\$ 799,177	\$ 799,177	\$ 799,177	\$ 799,177			
	-\$668,123	-\$668,123	-\$668,123	-\$668,123	-\$668,123			
	Tasa interna de retorno			12%				
								-\$6,908,801
								-\$12,119,145
								-\$17,408,433

Tabla 33. Resultado del VPN para el escenario 2 (dos bacheadas diarias).

Costo de la Inversión	Flujos de efectivo					VPN 1	VPN 2	VPN 3
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5			
-\$15,000,000	\$ 5,989,155	\$ 5,989,155	\$ 5,989,155	\$ 5,989,155	\$ 5,989,155			
	\$ 3,098,355	\$ 3,098,355	\$ 3,098,355	\$ 3,098,355	\$ 3,098,355			
	\$ 163,755	\$ 163,755	\$ 163,755	\$ 163,755	\$ 163,755			
	Tasa interna de retorno			12%				
								\$ 6,589,562
								-\$3,831,125
								-\$14,409,701

Tabla 34. Resultado del VPN para el escenario 3 (tres bacheadas diarias).

Costo de la Inversión	Flujos de efectivo					VPN 1	VPN 2	VPN 3
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5			
-\$15,000,000	\$ 9,733,732	\$ 9,733,732	\$ 9,733,732	\$ 9,733,732	\$ 9,733,732			
	\$ 5,397,532	\$ 5,397,532	\$ 5,397,532	\$ 5,397,532	\$ 5,397,532			
	\$ 995,632	\$ 995,632	\$ 995,632	\$ 995,632	\$ 995,632			
	Tasa interna de retorno			12%				
								\$ 20,087,926
								\$ 4,456,895
								-\$11,410,969

El VPN 1, VPN 2 y el VPN 3 son calculados para cada escenario variando los precios de venta del litro de leche en \$1750, \$1700 y \$1600 respectivamente.

Teniendo en cuenta los resultados mostrados anteriormente y el criterio de aceptación definido por el método del VPN se puede concluir que el escenario 3 con tres bacheadas diarias y un precio de venta de \$1 700 además de entregar la rentabilidad del 12%, entrega un excedente de \$ 4.456.895, lo cual hace al proyecto muy tentador para un pequeño productor, puesto que entrega un producto de mejor calidad a muy buen precio y recibe buenas utilidades.

14. PERSPECTIVAS

La continuidad de proyectos de este tipo es de suma importancia para la sociedad y contribuye directamente con el desarrollo del país. Particularmente este sistema necesita seguir desarrollándose porque implica un beneficio real de muchas personas, no solamente del gremio lechero sino también los consumidores. Se podrían obtener mejoras en el ámbito económico tanto para quien vende, gracias a la obtención de un producto mediante procesos más tecnificados, como para quien compra gracias al menor costo del producto. Implícitamente se invita a los pequeños productores del sector rural a que tecnifiquen su labor y obtengan mayores beneficios implementando sistemas que mejoren las condiciones de su trabajo y sus productos.

El principal problema de los proyectos de este tipo es la falta de fondos destinados para hacer posible su investigación y desarrollo por parte del sector rural, lo que sumado al bajo interés por parte de los entes gubernamentales concluye en un bajo desarrollo del sector y por lo tanto no trae los óptimos beneficios para las personas que no cuentan con los recursos suficientes, especialmente pequeños productores.

Económicamente hablando, el sistema de pasteurización de leche tiene la posibilidad de generar rentabilidad para quien lo instale y realice el tratamiento térmico para comercializar el alimento. Si se siguen las normas estipuladas por el gobierno en cuanto a salubridad y un correcto manejo de alimentos, este sistema generará ingresos superiores que si se tratara simplemente de la venta de leche cruda. Es necesario mostrar a las personas los beneficios de consumir un alimento limpio y crear la conciencia de preferir la leche pasteurizada.

El sistema puede ser mejorado desde muchos puntos de vista. El sistema de calentamiento puede ser sustituido por uno de mayor potencia alcanzando así las

temperaturas en menor tiempo. Los diseños de termo acumulación y la marmita pueden ser optimizados para disminuir aún más la potencia, aprovechando las condiciones ambientales del sitio en donde se vaya a instalar. Un nuevo estudio puede encontrar el punto óptimo entre calentamiento y enfriamiento para cada clima en el que se ponga en funcionamiento la micro pasteurizadora, ya que en clima cálido mejora el sistema de calentamiento y en clima frío lo hace el sistema de enfriamiento, todo depende del lugar.

Gracias a que en varios escenarios se va a tener mejoras con este tipo de equipos, diversos sectores son los interesados en sistemas como este. El sector lechero del país es el actor principal, aunque con el tiempo se pueda incluir mejoras de tipo ambiental, energético y productivo, contribuyendo con otros sectores del país.

Desde el punto de vista técnico y de proceso, el sistema tiene la adaptabilidad necesaria para facilitar una serie de procesos extras a la pasteurización de leche, ya que fácilmente el equipo puede ser utilizado para la producción de otros alimentos como yogurt, kumis, queso, etc. con simples modificaciones del diseño planteado inicialmente.

15. CONCLUSIONES

- Se realizó el diseño y la construcción del prototipo de micro pasteurizadora de leche tipo Batch teniendo en cuenta los requerimientos técnicos por parte de la normativa PMO GRADE A PASTEURIZED MILK ORDENANCE, para realizar una efectiva pasteurización. Los elementos de la etapa de calentamiento fueron diseñados en base a la norma técnica colombiana NTC 4082 y NTC 3765. La chaqueta de agua está conforme las reglas dadas por ASME F-1602. Adicionalmente se tuvo en cuenta los requerimientos de los Decretos 616 del 2006 y 1880 de 2011 en donde se dictan las reglas para la producción, acopio y distribución de leche cruda en todo el país.
- La micro pasteurizadora de leche planteada en este proyecto de grado brinda al pequeño ganadero y en últimas a la sociedad en general una nueva tecnología que proporciona una solución funcional a la situación que se presenta respecto a los problemas de salud, sanitarios y económicos, que conlleva el consumo de leche cruda. En últimas el sistema desarrollado contribuye de manera importante con el fortalecimiento del sector lechero del país trayendo mejoras tanto a productores como a consumidores del alimento.
- El sistema propuesto cumplió con la efectiva pasteurización de la leche cruda. Las pruebas realizadas para determinar el efectivo tratamiento térmico del alimento arrojaron resultados conforme a las normativas estipuladas para una correcta pasteurización. Esto implica que el sistema es funcional y apto para ser instalado, poniendo en marcha la producción del alimento.
- Las pruebas realizadas a la micro pasteurizadora determinaron que el sistema posee una eficiencia energética mayor al 55% para el calentamiento. Estos resultados indican que el sistema funciona de manera óptima, puesto que el

valor de la eficiencia está dentro del rango representativo que se espera para este tipo de sistemas.

- La agitación es un factor de gran importancia en las etapas de calentamiento y enfriamiento. Además de eliminar los gradientes de temperatura dentro del alimento, es necesario hacer la recirculación en la chaqueta de agua para mejorar los coeficientes convectivos y así disminuir el tiempo que tarda cada proceso.
- Para un completo desarrollo y optimización de este tipo de tecnología, es necesario abarcar la totalidad de la cadena productiva de la leche. Entes de tipo gubernamental, ambiental y tecnológico deben apoyar esta iniciativa para conseguir que sea viable la implementación de este sistema en las principales zonas lecheras del país.

16. RECOMENDACIONES

- El control automático debe realizarse de manera secuencial y teniendo en cuenta el manual de control para obtener los resultados óptimos del diseño. No se debe utilizar el sistema sin previa lectura del manual de operación.
- El sistema de termo acumulación debe inicializarse tiempo antes de que se encienda el paso de gas a la marmita, preferiblemente en la noche anterior a la pasteurización. Esto se debería realizar de esta manera para aprovechar la caída en la temperatura ambiente y así conseguir los resultados esperados en menor tiempo.
- El sistema debe ser instalado con el suficiente espacio alrededor y con una buena ventilación. Los residuos de la combustión pueden traer inconvenientes en la salud del operario en caso de poner en marcha el sistema en un recinto cerrado.
- Las pruebas que van al laboratorio para corroborar la efectiva pasteurización de la leche, pueden ser sacadas directamente del recipiente una vez se haya terminado el ciclo. Esto se debe hacer en un recipiente estéril y con las respectivas normas de asepsia para evitar contaminación en la prueba.
- Se recomienda no abrir la tapa de la marmita en el proceso de pasteurización. El ambiente exterior puede traer elementos que perjudiquen el proceso de pasteurización y contaminen la leche.
- Siempre que se encienda el sistema de calentamiento, se debe hacer control visual sobre la llama del quemador para corroborar que efectivamente hay combustión del gas proveniente de la bombona de gas, evitando así la posible deflagración debajo de la marmita.

- La supervisión del sistema debe ser constante. La secuencia de los procesos parten del hecho de que el operario está pendiente de las alarmas indicativas de inicio de los procesos.
- Se recomienda incluir una entrada de agua y un desagüe en la instalación del sistema. Para cada proceso se necesita agua de reposición y por lo tanto es necesario conectar directamente una manguera en la entrada del agua. El desagüe debe soportar temperaturas de alrededor de 80[°C].
- Para efectos de ahorro energético, se recomienda disponer de un tanque de almacenamiento con aislamiento térmico para guardar el agua caliente que sale de cada proceso, y así utilizar menor energía en el siguiente calentamiento.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA AMADOR, Natalia Milena. et al. Identificación de riesgos biológicos asociados al consumo de leche cruda bovina en Colombia. Bogotá, 2011. p. 28.

BAULE, Edison. et. Al. En: Conducción de calor en paredes planas: Determinación de la conductividad térmica efectiva. Panamá. 2012. p 18.

BAUTISTA ALVARADO, Edin R. et. al. Evaluación del proceso de pasteurización de la leche en plantas de lácteos de la universidad Católica de El Salvador, regional Ilobasco, Cabañas. Trabajo de investigación Técnico en conservación y procesamiento de alimentos con especialidad en lácteos y cárnicos. Ilobasco. Universidad Católica de El Salvador. 2011. 57 p.

CENGEL, Yunus A. Transferencia de calor. 2 ed. México D.F. Mc Graw Hill. 2004. 808 p. ISBN 0-07245893-3.

COLOMBIA. EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. Decreto Número 3075 de 1997. Por la cual se reglamenta parcialmente la Ley 9 de 1979 y se dictan otras disposiciones. Bogotá, D.C., 1997.

COLOMBIA. MINISTERIO DE PROTECCIÓN SOCIAL. Decreto Número 616 de 2006. Por el cual se expide el Reglamento Técnico sobre los requisitos que debe cumplir la leche para el consumo humano que se obtenga, procese, envase, transporte, comercializa, expendia, importe o exporte en el país. Bogotá, D.C., 2006. 41 p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE PROTECCIÓN SOCIAL. Decreto Número 1880 del 2011. Por el cual se señalan los requisitos para la comercialización de leche cruda para consumo humano directo en el territorio nacional. Bogotá, D.C., 2011. 9 p.

COLOMBIA. SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO. Cadena productiva de la leche en Colombia: diagnóstico de libre competencia 2010-2011. 6 p.

COMISIÓN ELECTRÓNICA INTERNACIONAL. IEC 60617. Elementos de símbolos, símbolos distintivos y otros símbolos de aplicación general. 1999.

EN VÍA LÁCTEA EL CAMINO DE LA LECHE EN COLOMBIA (junio 18- Diciembre 15, 2013: Bogotá, Colombia). Documento informativo. p. 2. Disponible en internet: http://minka-dev.com/sites/default/files/resumen_en_via_lactea_0.pdf

ESPINAL G. Carlos; MARTINEZ COVALEDA. Héctor y GONZALES RODRÍGUEZ, Fredy. La Cadena de Lácteos en Colombia Una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Bogotá, 2005. p. 15.

GARCÍA G. Ofelia, OCHOA M. Isabel. SENA. Microorganismos Útiles y perjudiciales de la leche. Bloque modular 2. Manejo de Leche. Bogotá D.C. 1987. 21 p.

HERNANDEZ BENEDI, Jose M. La Refrigeración de la Leche. Ministerio de Agricultura. Madrid. 28 p. Disponible en: < <http://www.magrama.gob.es/ministerio>>.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Dimensionamiento, construcción, montaje y evaluación de los sistemas para la evacuación de los productos de la combustión generados por los artefactos que funcionan con gas. NTC 3833. Bogotá D.C.: El instituto, 2002. 60 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Equipos de cocción para uso comercial que funcionan con gas. NTC 4082. Bogotá D.C.: El instituto, 1997. [Recurso Electrónico- Base de Datos Biblioteca UIS].

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Requisitos generales de seguridad para artefactos a gas de uso doméstico o comercial y su instalación. NTC 3765. Bogotá D.C.: El instituto, 2004. [Recurso Electrónico- Base de Datos Biblioteca UIS]

KERN, Donald Q. Procesos de Transferencia de calor. México D.F. CECOSA. 1999. 980 p. ISBN 968-26-1040-0.

NORTON, Robert L. Diseño de máquinas. 4 ed. Pearson. 2011. 888 p. ISBN 978-607-32-0589-4.

SOCIEDAD COLOMBIANA DE ERGONOMÍA- CAPÍTULO EJE CAFETERO. Colección Gaceta Ergonómica Pereira. 2011. 19p.

U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES. PUBLIC HEALTH SERVICE. FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. Paturized Milk Ordinance. PMO. 2009 Revision. 398 p.

ANEXOS

ANEXO A. PODER CALORÍFICO PARA ALGUNOS COMBUSTIBLES.

TABLA A.15

Podar calorífico inferior, calor de vaporización, volumen molar y punto de ebullición normal de algunos combustibles a 298 K y 1 atm.

\bar{q}_i° , kJ/mol; $\bar{\ell}^\circ$, kJ/mol; \bar{v}° , cm³/mol; T_b , K

Sustancia	Fórmula	\bar{q}_i°	$\bar{\ell}^\circ$	\bar{v}°	T_b
Hidrógeno	H ₂ (g)	241.8	-----	-----	20.4
Carbono	C(s)	393.6	-----	-----	-----
Monóxido de C	CO(g)	283.0	-----	-----	81.7
Metano	CH ₄ (g)	802.2	-----	-----	112
Etano	C ₂ H ₆ (g)	1430	5.02	-----	185
Propano	C ₃ H ₈ (g)	2043	14.8	-----	231
n-Butano	C ₄ H ₁₀ (g)	2658	21.1	-----	273
n-Pentano	C ₅ H ₁₂ (g)	3293	26.4	115.2	309
n-Hexano	C ₆ H ₁₄ (l)	3857	31.5	130.5	341
n-Heptano	C ₇ H ₁₆ (l)	4466	36.7	145.5	371
n-Octano	C ₈ H ₁₈ (l)	5074	41.5	162.6	399
n-Nonano	C ₉ H ₂₀ (l)	5672			
n-Decano	C ₁₀ H ₂₂ (l)	6282	51.0		
n-Undecano	C ₁₁ H ₂₄ (l)	6894			
n-Dodecano	C ₁₂ H ₂₆ (l)	7518	61.3	222.0	489
Nitrometano	CH ₃ NO ₂ (l)	643.2	38.4	53.6	
Cetano	C ₁₆ H ₃₄ (l)	9944			
Benceno	C ₆ H ₆ (l)	3131	34.0	88.9	353
Metanol	CH ₄ O(l)	637.1	37.9	40.4	338
Etanol	C ₂ H ₆ O(l)	1233	42.3	58.4	351
Acetileno	C ₂ H ₂ (g)	1256	21.6	41.9	190
Gasolina ^a	C ₇ H ₁₇ (l)	4495	38.5	154.0	-----
Queroseno ^a	C _{12.3} H _{22.4} (l)	7350	44.9	186.8	-----
Diesel ^a	C _{14.4} H _{24.9} (l)	8501	74.1	233.0	-----
Agua	H ₂ O(l)	0	44.0	18.0	373

^a Estimado para combustible típico.

ANEXO B. CALOR ESPECÍFICO A PRESIÓN CONSTANTE DE ALGUNAS SUSTANCIAS GASEOSAS.

TABLA A.2a

Constante particular y calor molar de algunas sustancias gaseosas comunes*

R en $J/kg K$.

Constantes para la ecuación $\bar{c}_p / \mathcal{R} = a + bT + cT^2 + dT^{-2}$, en donde $298 \leq T \leq T_{max}$, K

Sustancia	Fórmula	R	T_{max}	a	$b \times 10^3$	$c \times 10^6$	$d \times 10^{-5}$
Acetileno	C_2H_2	319.3	1500	6.132	1.952		-1.299
Acido clorhídrico	HCl	228.0	2000	3.156	0.623		0.151
Acido sulfhídrico	H_2S	244.0	2300	3.931	1.490		-0.232
Agua	H_2O	461.5	2000	3.470	1.450		0.121
Aire		287.0	2000	3.355	0.575		-0.016
Amoniaco	NH_3	488.2	1800	3.578	3.020		-0.186
Bióxido de azufre	SO_2	129.8	2000	5.699	0.801		-1.015
Bióxido de carbono	CO_2	188.9	2000	5.457	1.045		-1.157
Bióxido de nitrógeno	NO_2	180.7	2000	4.982	1.195		-0.792
Bisulfuro de carbono	CS_2	109.2	1800	6.311	0.805		-0.906
Butano	C_4H_{10}	143.1	1500	1.935	36.915	-11.402	
Cloro	Cl_2	117.3	3000	4.442	0.089		-0.344
Etano	C_2H_6	276.5	1500	1.131	19.225	-5.561	
Etanol	C_2H_6O	180.5	1500	3.518	20.001	-6.002	
Hidrógeno	H_2	4125	3000	3.249	0.422		0.083
Metano	CH_4	518.3	1500	1.702	9.081	-2.164	
Metanol	CH_4O	259.5	1500	2.211	12.216	-3.450	
Monóxido de carbono	CO	296.8	2500	3.376	0.557		-0.031
Nitrógeno	N_2	296.8	2000	3.280	0.593		0.040
Óxido nítrico	NO	277.1	2000	3.387	0.629		0.014
Óxido nitroso	N_2O	188.9	2000	5.328	1.214		-0.928
Oxígeno	O_2	259.8	2000	3.639	0.506		-0.227
Propano	C_3H_6	188.6	1500	1.213	28.785	-8.824	
Trióxido de azufre	SO_3	103.9	2000	8.060	1.056		-2.028

* Adaptada de P. FERNANDEZ DÍEZ, *Termodinámica técnica*, Universidad de Cantabria.

ANEXO C. CURVA DE TRANSFERENCIA DE CALOR LADO DE TUBOS.

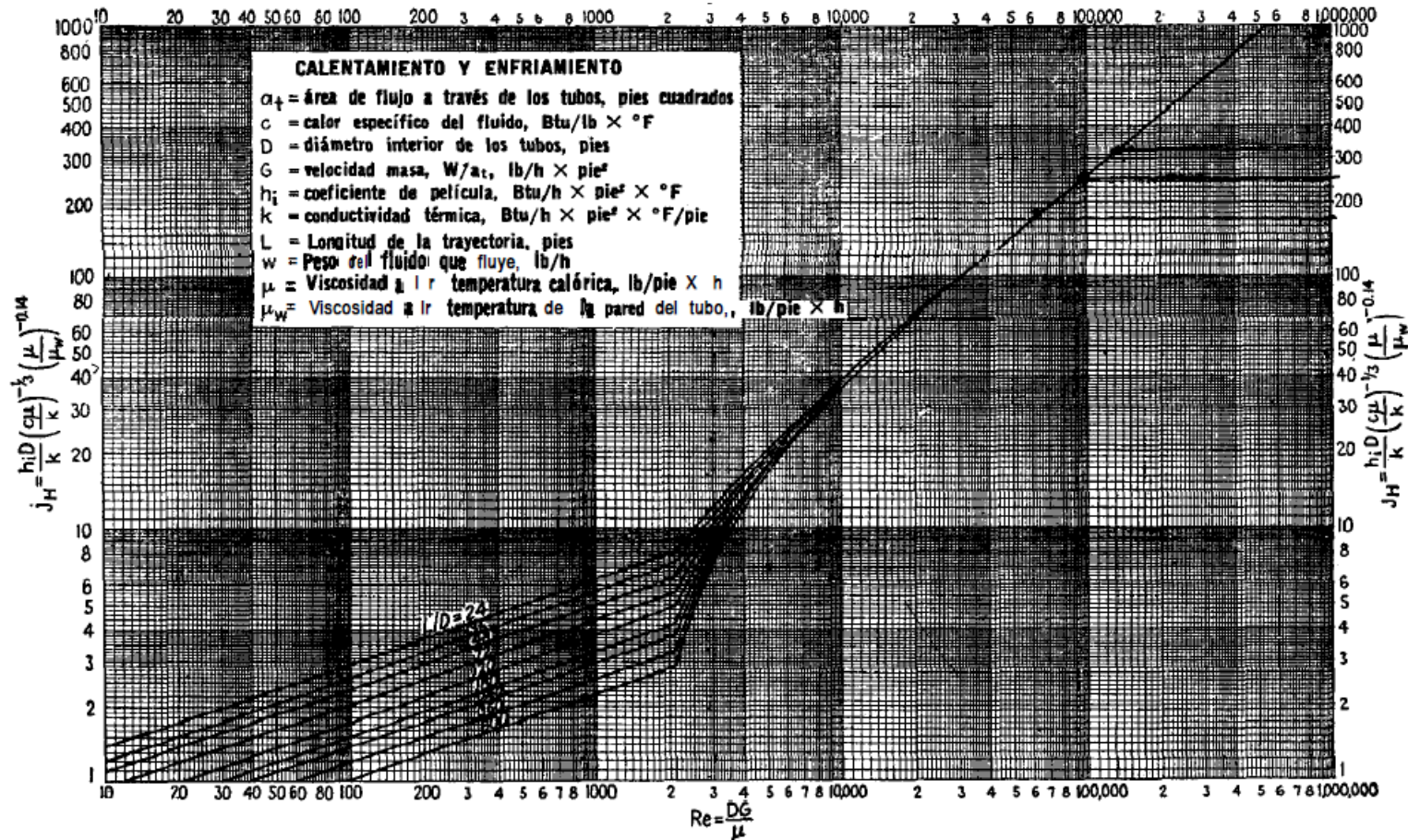


FIG. 24. Curva de transferencia de calor lado de tubos. (Adaptada de Sieder y Tate)

ANEXO D. PESO TEÓRICO DE LÁMINAS DE ACERO INOXIDABLE.

PESO TEORICO DE LAMINAS DE ACERO INOXIDABLE							
<u>ESPESOR</u>			<u>KILOGRAMOS POR HOJA</u>				
CAL.	MM	PULG.	KG/MT2	914X3048 3'X8'	914X3048 3'X10'	1219X3048 4'X8'	1219X3048 4'X10'
10	3.43	0.135	27.783	61.909	77.399	82.568	103.228
11	3.05	0.120	24.705	55.050	68.824	73.421	91.791
12	2.67	0.105	21.627	48.192	60.250	64.273	80.355
14	1.90	0.075	15.390	34.294	42.874	45.737	57.181
16	1.52	0.0595	12.312	27.435	34.299	36.590	45.745
18	1.22	0.048	9.882	22.020	27.529	29.368	36.716
20	0.89	0.035	7.209	16.064	20.083	21.424	26.785
22	0.74	0.0291	5.994	13.356	16.698	17.813	22.270
24	0.61	0.024	4.941	11.010	13.764	14.684	18.358
26	0.455	0.018	3.685	8.212	10.267	10.953	13.693
28	0.385	0.015	3.118	6.949	8.687	9.267	11.586
30	0.255	0.010	2.065	4.602	5.754	6.138	7.674

TABLA DE PESOS- LAMINAS DE ACERO INOXIDABLE

ANEXO E. PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL AGUA.

TABLE A-2 Properties of Saturated Water (Liquid–Vapor): Temperature Table

Temp. °C	Press. bar	Specific Volume m ³ /kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/kg · K		Temp. °C
		Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Sat. Vapor u_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Sat. Vapor s_g	
.01	0.00611	1.0002	206.136	0.00	2375.3	0.01	2501.3	2501.4	0.0000	9.1562	.01
4	0.00813	1.0001	157.232	16.77	2380.9	16.78	2491.9	2508.7	0.0610	9.0514	4
5	0.00872	1.0001	147.120	20.97	2382.3	20.98	2489.6	2510.6	0.0761	9.0257	5
6	0.00935	1.0001	137.734	25.19	2383.6	25.20	2487.2	2512.4	0.0912	9.0003	6
8	0.01072	1.0002	120.917	33.59	2386.4	33.60	2482.5	2516.1	0.1212	8.9501	8
10	0.01228	1.0004	106.379	42.00	2389.2	42.01	2477.7	2519.8	0.1510	8.9008	10
11	0.01312	1.0004	99.857	46.20	2390.5	46.20	2475.4	2521.6	0.1658	8.8765	11
12	0.01402	1.0005	93.784	50.41	2391.9	50.41	2473.0	2523.4	0.1806	8.8524	12
13	0.01497	1.0007	88.124	54.60	2393.3	54.60	2470.7	2525.3	0.1953	8.8285	13
14	0.01598	1.0008	82.848	58.79	2394.7	58.80	2468.3	2527.1	0.2099	8.8048	14
15	0.01705	1.0009	77.926	62.99	2396.1	62.99	2465.9	2528.9	0.2245	8.7814	15
16	0.01818	1.0011	73.333	67.18	2397.4	67.19	2463.6	2530.8	0.2390	8.7582	16
17	0.01938	1.0012	69.044	71.38	2398.8	71.38	2461.2	2532.6	0.2535	8.7351	17
18	0.02064	1.0014	65.038	75.57	2400.2	75.58	2458.8	2534.4	0.2679	8.7123	18
19	0.02198	1.0016	61.293	79.76	2401.6	79.77	2456.5	2536.2	0.2823	8.6897	19
20	0.02339	1.0018	57.791	83.95	2402.9	83.96	2454.1	2538.1	0.2966	8.6672	20
21	0.02487	1.0020	54.514	88.14	2404.3	88.14	2451.8	2539.9	0.3109	8.6450	21
22	0.02645	1.0022	51.447	92.32	2405.7	92.33	2449.4	2541.7	0.3251	8.6229	22
23	0.02810	1.0024	48.574	96.51	2407.0	96.52	2447.0	2543.5	0.3393	8.6011	23
24	0.02985	1.0027	45.883	100.70	2408.4	100.70	2444.7	2545.4	0.3534	8.5794	24
25	0.03169	1.0029	43.360	104.88	2409.8	104.89	2442.3	2547.2	0.3674	8.5580	25
26	0.03363	1.0032	40.994	109.06	2411.1	109.07	2439.9	2549.0	0.3814	8.5367	26
27	0.03567	1.0035	38.774	113.25	2412.5	113.25	2437.6	2550.8	0.3954	8.5156	27
28	0.03782	1.0037	36.690	117.42	2413.9	117.43	2435.2	2552.6	0.4093	8.4946	28
29	0.04008	1.0040	34.733	121.60	2415.2	121.61	2432.8	2554.5	0.4231	8.4739	29
30	0.04246	1.0043	32.894	125.78	2416.6	125.79	2430.5	2556.3	0.4369	8.4533	30
31	0.04496	1.0046	31.165	129.96	2418.0	129.97	2428.1	2558.1	0.4507	8.4329	31
32	0.04759	1.0050	29.540	134.14	2419.3	134.15	2425.7	2559.9	0.4644	8.4127	32
33	0.05034	1.0053	28.011	138.32	2420.7	138.33	2423.4	2561.7	0.4781	8.3927	33
34	0.05324	1.0056	26.571	142.50	2422.0	142.50	2421.0	2563.5	0.4917	8.3728	34
35	0.05628	1.0060	25.216	146.67	2423.4	146.68	2418.6	2565.3	0.5053	8.3531	35
36	0.05947	1.0063	23.940	150.85	2424.7	150.86	2416.2	2567.1	0.5188	8.3336	36
38	0.06632	1.0071	21.602	159.20	2427.4	159.21	2411.5	2570.7	0.5458	8.2950	38
40	0.07384	1.0078	19.523	167.56	2430.1	167.57	2406.7	2574.3	0.5725	8.2570	40
45	0.09593	1.0099	15.258	188.44	2436.8	188.45	2394.8	2583.2	0.6387	8.1648	45

ANEXO F. ESPECIFICACIONES DE LA BOMBA



Pump Applications

The PEP series can be used to pump clean water without any abrasive particles or any other liquid with similar chemical and physical properties to water. The PEP series is recommended for small residential water supply applications, small irrigation systems, air conditioning units, and small boosting systems.

Aplicaciones de la bomba

Pueden ser usadas para bombear agua limpia u otros líquidos similares al agua en propiedades físicas y químicas sin partículas abrasivas. Recomendadas para suministro de agua a pequeñas unidades residenciales, pequeños sistemas de riego, sistemas de aire acondicionado, pequeños sistemas hidroneumáticos.

WATER PUMP
Cast iron pump body
Motor Bracket with antilock systems which prevents the pump from blocking after long periods of no usage
Brass peripheral vane impeller
Motor shaft in stainless steel AISI 304
Maximum liquid temperature of 60 °F
Maximum suction lift of 25 feet
Mechanical seal in ceramic and graphite, with elastomer in NBR
MOTOR
Close-coupled TEFC motor with copper windings
Insulation Class F
IP 44 protection
Maximum environment temperature of 40 °C
Single phase, 60 Hz, 3450 rpm with thermal overload protection available in 110 V, 110/220 V, or 220 V
Three phase, 60 Hz, 3450 rpm available in 220/440 V.
50 Hz or other voltages available upon special request

BOMBA
Cuerpo de bomba en hierro fundido
Soporte motor con sistema antibloqueo, que evita que la bomba se bloquee después de largos periodos de no funcionamiento
Impulsor en BRONCE de alabes radiales
Eje en acero inoxidable AISI 304
Máxima temperatura del líquido: 60 °C.
Capacidad de succión a nivel del mar: 8 m
Sello mecánico en cerámica y grafito, con elastómero en NBR
MOTOR
Motor de inducción cerrado con bobinado en cobre
Aislamiento clase F.
Protección IP 44
Temperatura máxima de ambiente: 40 °C.
Monofásico 110 V - 110/220 V - 220 V según requisición. 60 Hz, 3450 rpm. Incluye protector térmico interno en el embobinado
Trifásico 60 Hz, 3450 rpm. 220/440 V
Disponibles en versiones a 50 Hz.

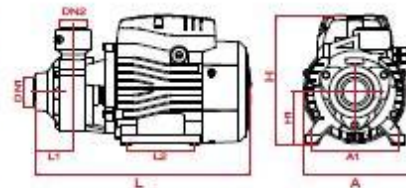


Double Insert | Tecnología Antibloqueo
Stainless Steel | Doble inserto en
Antilock technology | Acero inoxidable



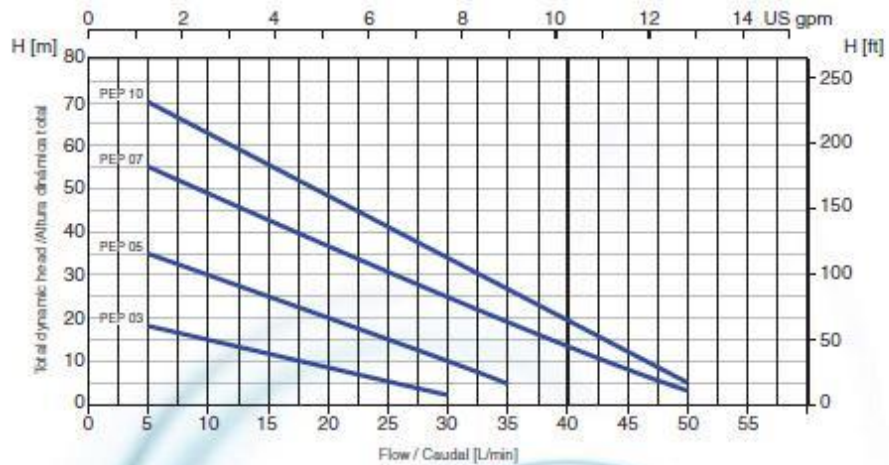
Pump dimensions / Dimensiones de la bomba

MODEL MODELO	DN1	DN2	DIMENSIONS / DIMENSIONES						
			L [mm]	A [mm]	H [mm]	L1 [mm]	A1 [mm]	H1 [mm]	L2 [mm]
PEP-63	1"	1"	225	132	155	89.5	100	63	80
PEP-65	1"	1"	260	132	155	46.5	100	63	80
PEP-67	1"	1"	282	147	183	51	112	71	90
PEP-16	1"	1"	300	147	183	54.5	112	71	90



Above Ground Pumps | Bombas de Superficie PEP Series | Serie PEP

Curve and Performance Data / Curva de Prestaciones Hidráulicas



Performance Data / Datos de Prestaciones Hidráulicas

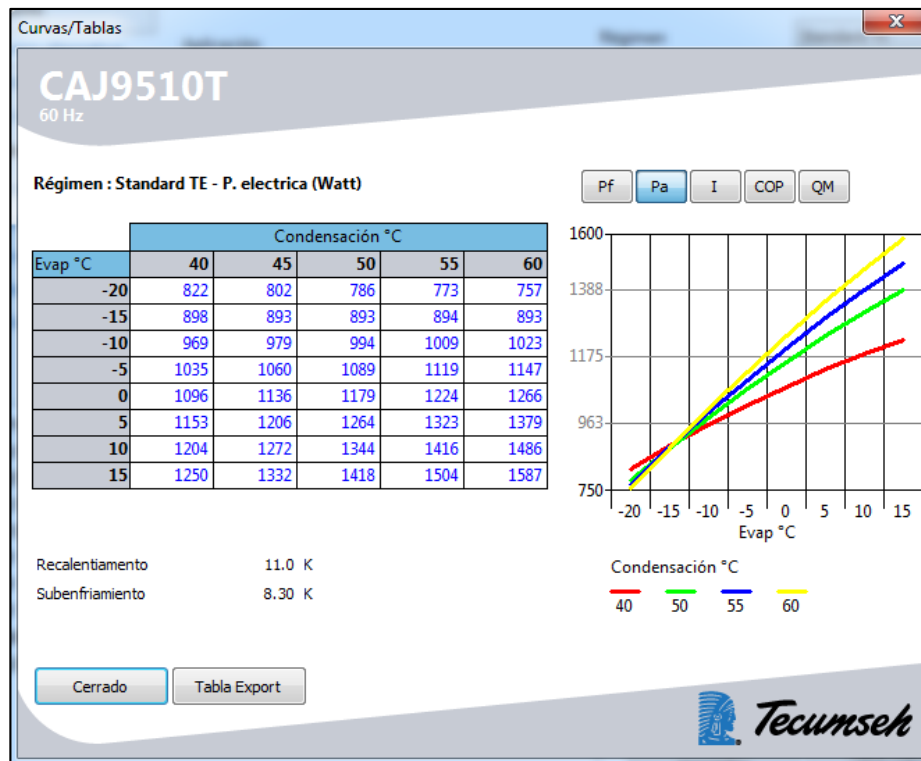
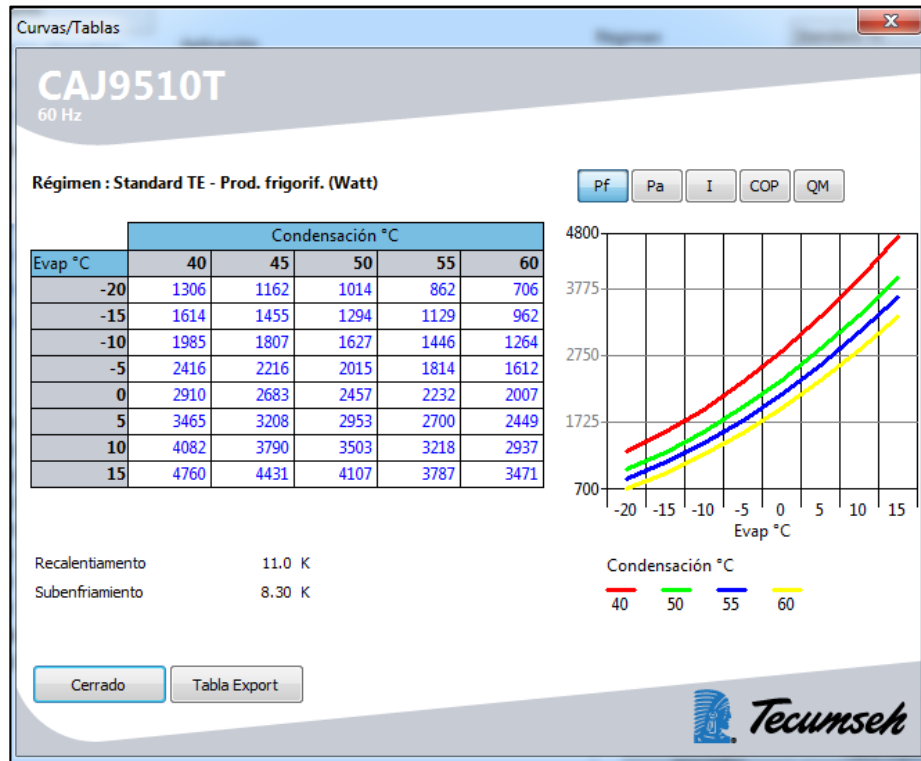
MODEL MODELO	POWER POTENCIA		FLOW / CAUDAL										
	kW	HP	m ³ /hr @	0.3	0.5	0.8	1.0	1.5	1.8	2.1	2.4	3.0	3.6
			l/min @	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60
			TOTAL MANOMETRIC HEIGHT IN METERS / ALTURA MANOMETRICA TOTAL EN METROS										
PEP 03	0.25	0.33		20	18	15	12	8	6	2			
PEP 05	0.37	0.5		40	35	30	25	20	15	10	5		
PEP 07	0.6	0.8		60	55	48	43	37	33	27	21	16	3
PEP 10	0.75	1.0		75	70	63	55	48	42	34	27	20	5

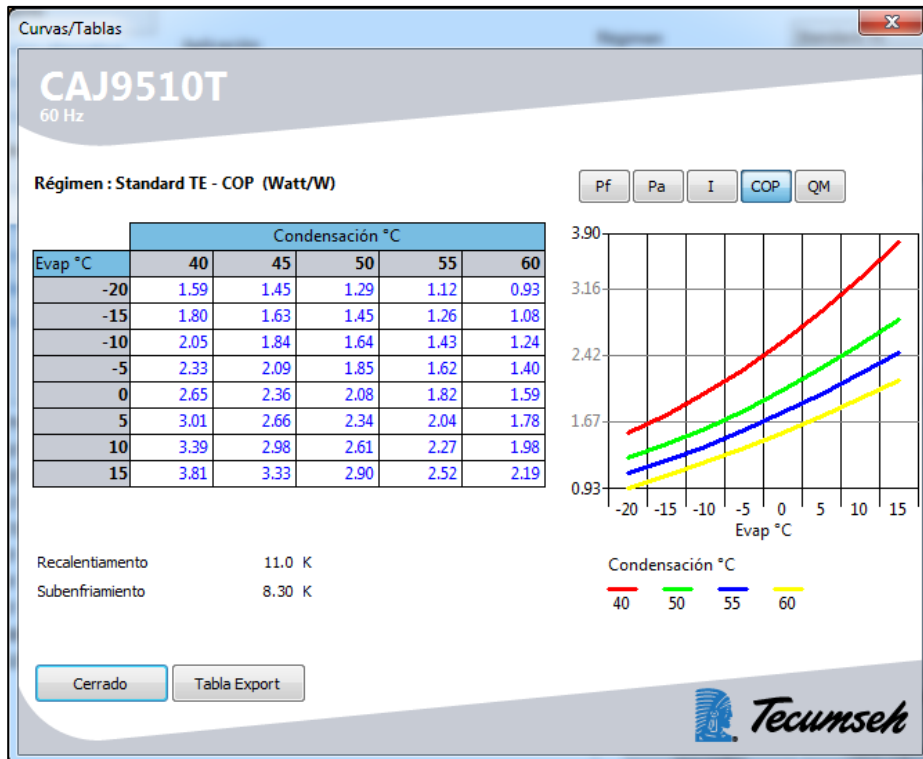
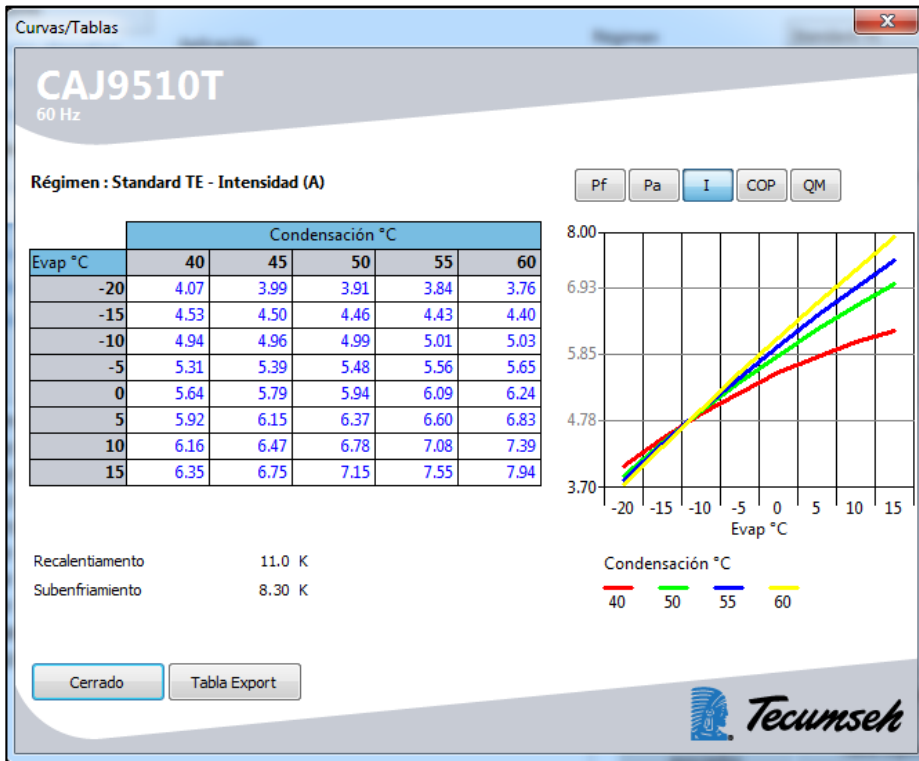
Packaging Information / Información del Empaque

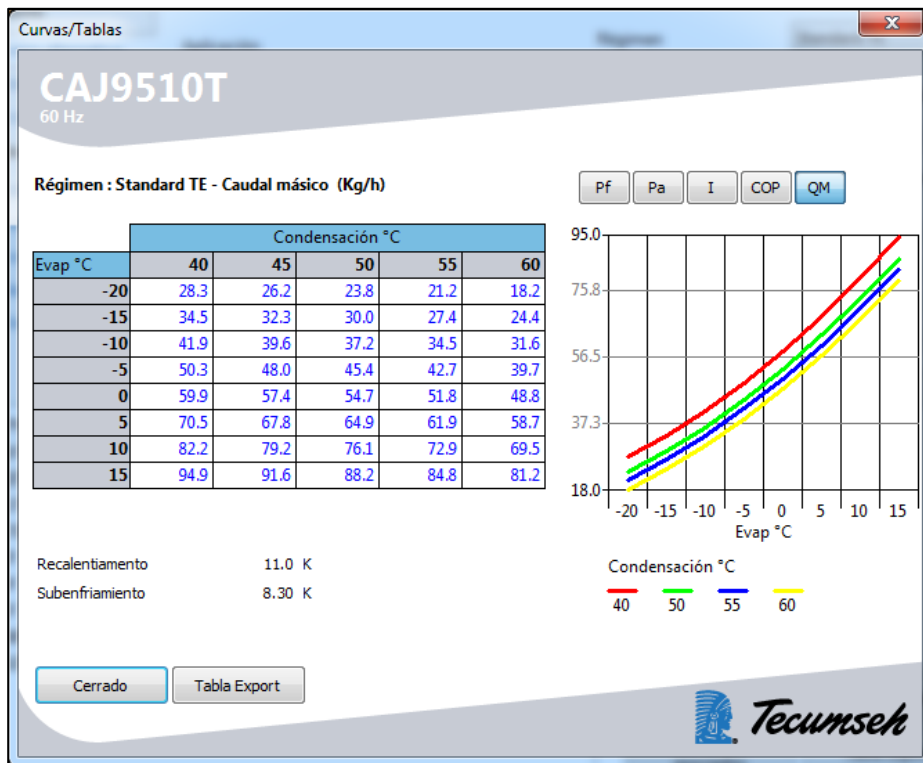
MODEL MODELO	DIMENSIONS DIMENSIONES			WEIGHT PESOS
	L [mm]	A [mm]	H [mm]	
PEP 03	248	158	174	5
PEP 05	258	140	165	5
PEP 07	325	185	210	9
PEP 10	345	180	210	11



ANEXO G. ESPECIFICACIONES COMPRESOR UNIDAD CONDENSADORA.










ANEXO H. ESPECIFICACIONES PIROMETRO AUTONICS

■ Especificaciones

Serie		TCN4S	TCN4M	TCN4H	TCN4L
Alimentación	CA	100-240VCA 50/60 Hz			
	CA/CC	24VCA 50/60Hz, 24-48VCC			
Rango de voltaje permitido		90 a 110% rango nominal			
Consumo de energía	CA	Máx. 5VA (100-240 VCA 50/60Hz, 24VCA 50/60Hz)			
	CA/CC	Máx. 3W (24-48 VCC)			
Método de visualización		LED de 7seg. mentos (PV: rojo, SV: verde)			
Tamaño de carácter	PV(W×H)	7.0×15.0mm	9.5×20.0mm	7.0×14.6mm	11.0×22.0mm
	SV(W×H)	5.0×9.5mm	7.5×15.0mm	6.0×12.0mm	7.0×14.0mm
Tipo de entrada	RTD	DPT100Ω, Cu50Ω(max. 5 de resistencia de línea permitida por cable)			
	TC	K(CA), J(IC), L(IC), T(CC), R(PR), S(PR)			
Precisión de visualización ^{※1}	RTD	A temperatura ambiente (23°C±5°C): (±0.5% PVó ±1°C, seleccione la más alta) ± 1dígito			
	TC	Fuera del rango de temperatura ambiente: (±0.5% PVó ±2°C, seleccione la más alta) ± 1 dígito Para la serie TCN4S-□-P, agregar ±1°C por precisión estándar.			
Salida de control	Relevador	250VCA 3A 1a			
	SSR	12VCC ± 2V 20mA Máx.			
Salida de alarma		AL1, AL2 Relevador: 250VCA 1A 1a			
Método de control		Control ON/OFF ,P ,PI, PD, PID			
Histéresis		1 a 100°C/°F(0.1 a 50.0°C/°F) variable			
Banda proporcional(P)		0.1 a 999.9°C/°F			
Tiempo Integral(I)		0 a 9999 seg.			
Tiempo derivativo(D)		0 a 9999 seg.			
Período de control(T)		0.5 a 120.0 seg.			
Reinicio manual		0.0 a 100.0%			
Periodo de muestreo		100ms			
Rigidez dieléctrica	CA	2000VCA 50/60Hz 1min.(entre los terminales de entrada y terminales de alimentación).			
	CA/CC	1000VCA 50/60Hz 1min.(entre los terminales de entrada y terminales de alimentación).			
Vibración		Amplitud de 0.75 mm a una frecuencia de 5 a 55Hz (por 1min.) en cada una de las direcciones X, Y, Z por 2 horas			
Ciclo de vida de relevador	Mecánico	OUT: más de 5.000.000 veces, AL1/2: Más de 5.000.000 veces			
	Eléctrico	OUT: Más de 200.000 veces (3A 250VCA carga resistiva) AL1/2: Más de 300.000 veces (1A 250VCA carga resistiva)			
Resistencia de aislamiento		Min.100MΩ (a 500VCC megger)			
Inmunidad al ruido		Onda cuadrada de ruido por simulador (ancho de pulso 1μs)± 2kV R-fase y fases			
Retención de memoria		Aprox.10 años (cuando se utiliza el tipo de memoria de semiconductor no-volátil)			
Ambiente	Temperatura ambiente	-10 a 50°C, almacenamiento: -20 a 60°C			
	Humedad ambiente	35 a 85% RH, almacenamiento: 35 a 85% RH			
Tipo de aislamiento		Doble aislamiento ó aislamiento reforzado (marca:  , rigidez dieléctrica entre la medición parte de entrada y la parte de energía: 2kV de corriente alterna, corriente CA/CC 1kV)			
Certificación		  (Excepto para el modelo TCN4S-□-P)			
Peso ^{※2}		Aprox. 147g	Aprox. 203g	Aprox. 194g	Aprox. 275g
		(Aprox. 100g)	(Aprox. 133g)	(Aprox. 124g)	(Aprox. 179g)

※1: ○ Temperatura ambiente (23°C ± 5°C)

- Bajo 200°C de termopares R(PR), S(PR) es (PV ± 0.5% ó ±3°C, el mayor) ± 1 dígito
- Sobre 200°C de termopares R(PR), S(PR) es (PV ± 0.5% ó ± 2° C, el mayor) ± 1 dígito
- Termopares L(IC), RTD Cu50Ω es (PV ± 0.5% ó ± 2°C, el mayor) ± 1 dígito
- Fuera del rango de la temperatura ambiente
- Bajo 200°C de termopares R(PR), S(PR) es (PV ± 1.0% ó ± 6°C, el mayor) ± 1 dígito
- Sobre 200°C de termopares R(PR), S(PR) es (PV ± 0.5% ó ± 5°C, el mayor) ± 1 dígito
- Termopares L(IC), RTD Cu50Ω es (PV ± 0.5% ó ± 3°C, el mayor) ± 1 dígito
- Para la serie TCN4S-□-P, agregar ±1°C por precisión estándar.

※2: El peso entre paréntesis es sólo el peso de la unidad.

※ La resistencia ambiental se encuentra en estado sin congelación o condensación.

ANEXO I. ESPECIFICACIONES CONTROLADOR DE TEMPERATURA DE ENFRIAMIENTO

3. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

- Alimentação: MT-512E 2HP → 115 ou 230 Vac ±10% (50/60 Hz)

MT-512EL 2HP → 12 ou 24 Vac/dc ±10%

- Temperatura de controle: -50 a 105°C (-58 a 221°F)^(*)

- Temperatura de operação: 0 a 50°C / 32 a 122°F

- Corrente máxima: 16(12)A 250Vac 2HP

- Umidade de operação: 10 a 90% UR (sem condensação)

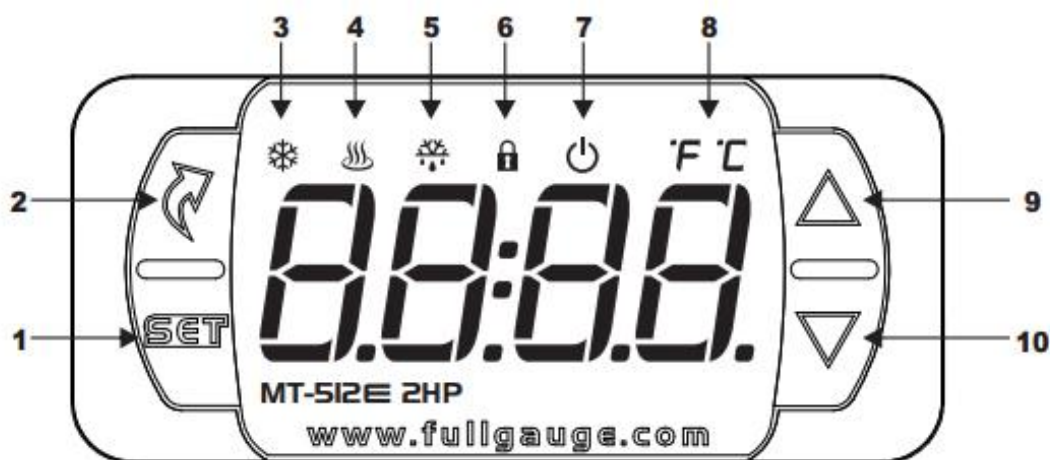
- Grau de proteção: IP 65 (frontal)

- Dimensões: 76 x 34 x 77 mm (LxAxP)

- Dimensões do recorte para fixação do instrumento: 71 ± 0,5 x 29 ± 0,5 mm (vide item 5)

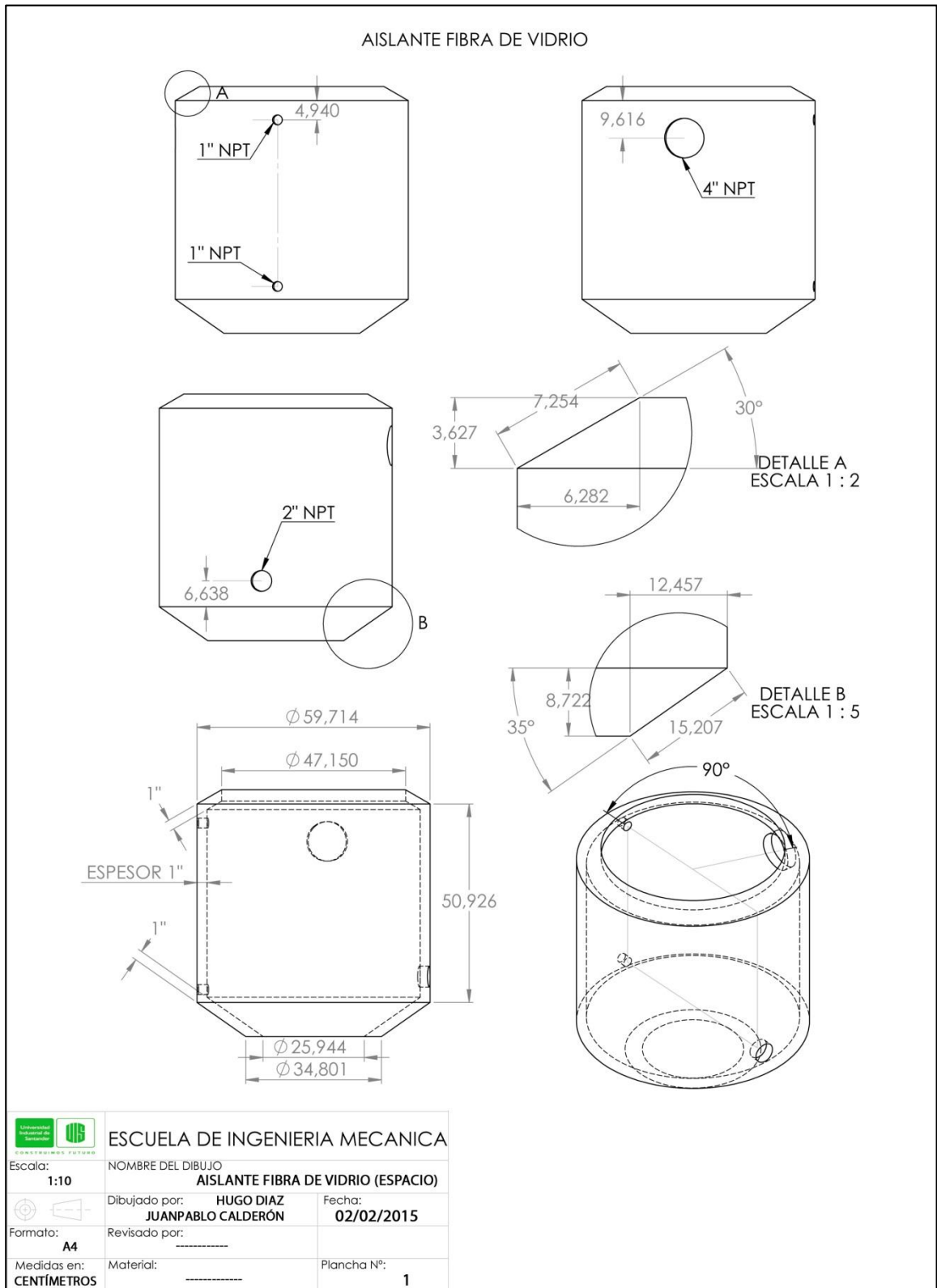
^(*) Este instrumento pode medir e controlar temperaturas até 200°C, desde que seja utilizado um cabo sensor de silicone do modelo SB59, vendido separadamente.

4. INDICAÇÕES E TECLAS

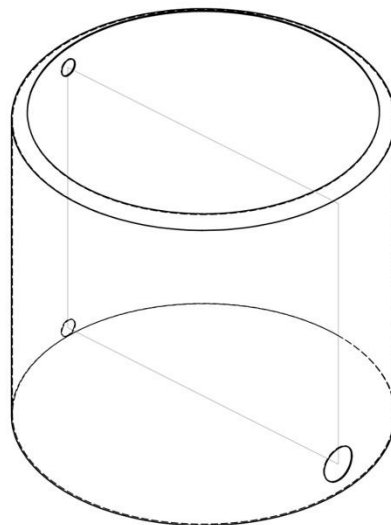
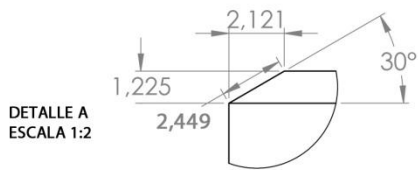
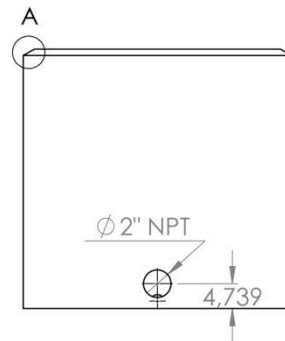
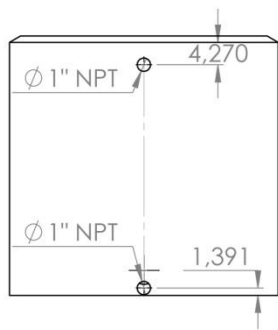
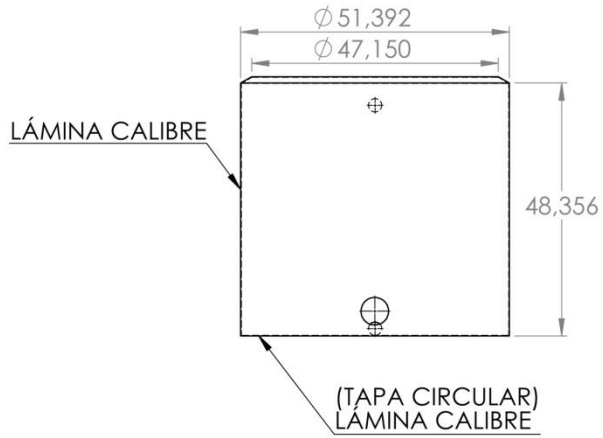



1	Tecla Set
2	Tecla de Menu Facilitado
3	Led de indicação de refrigeração
4	Led de indicação de aquecimento
5	Led de indicação de degelo
6	Led de indicação de bloqueio de funções
7	Led de indicação de desligamento de funções de controle
8	Led de indicação da unidade de temperatura
9	Tecla Aumenta
10	Tecla Diminui

ANEXO J. PLANOS DE DISEÑO

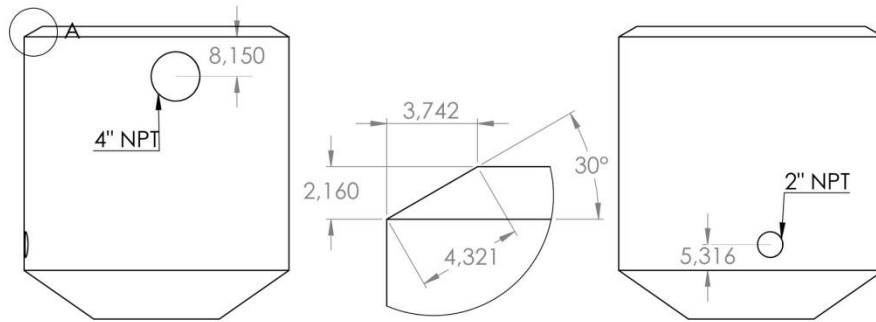


CAMISA DE AGUA



 ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		
Escala: 1:10	NOMBRE DEL DIBUJO CAMISA DE AGUA	
Formato: A4	Dibujado por: HUGO DIAZ JUANPABLO CALDERÓN	Fecha: 02/02/2015
Medidas en: CENTÍMETROS	Material: ACERO AISI A 304	Plancha N°: 2

CAMISA DE GASES



DETALLE A
ESCALA 1 : 2

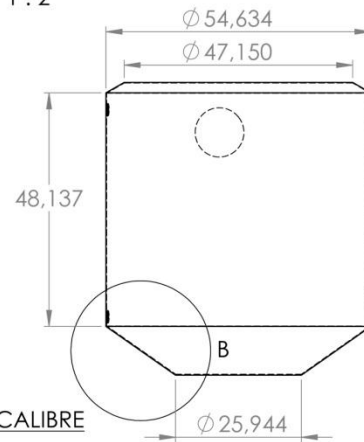
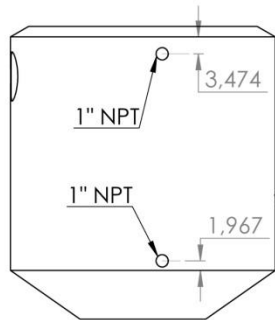
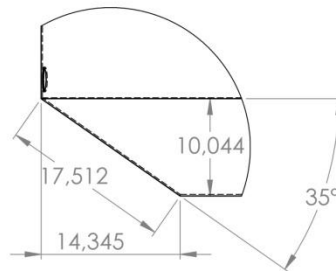
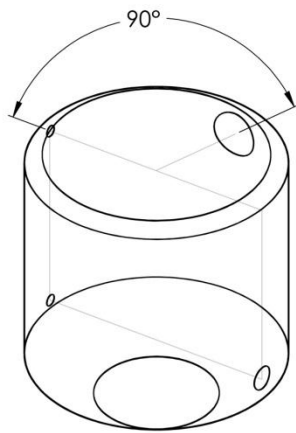




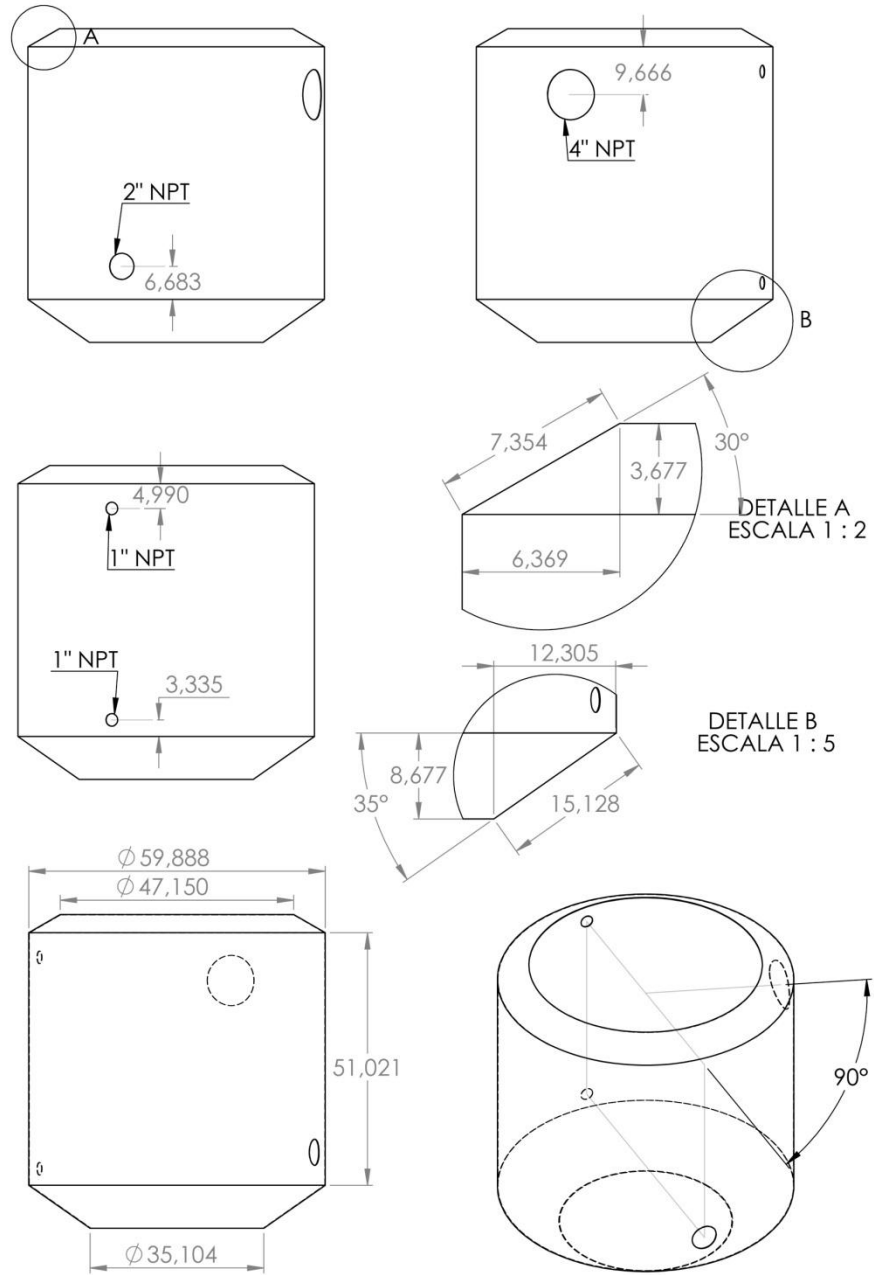
LÁMINA CALIBRE



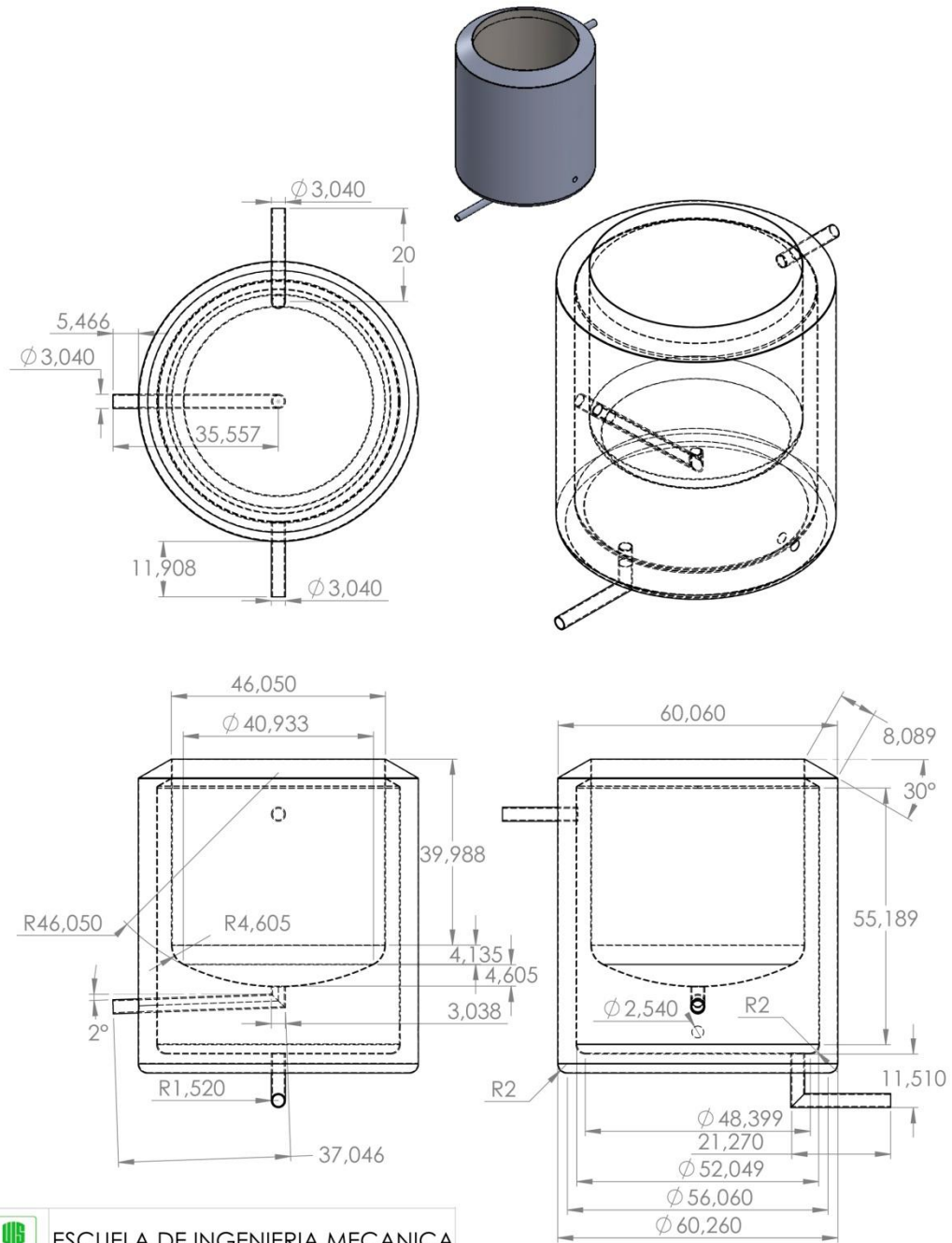
DETALLE B
ESCALA 1 : 5



		ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	
Escala: 1:10	NOMBRE DEL DIBUJO CAMISA DE GASES		
	Dibujado por: HUGO DIAZ JUANPABLO CALDERÓN	Fecha: 02/02/2015	
Formato: A4	Revisado por: -----		
Medidas en: CENTÍMETROS	Material: ACERO AISI A 304	Plancha N°: 3	

CAMISA EXTERIOR



 ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		
Escala: 1:10	NOMBRE DEL DIBUJO CAMISA EXTERIOR	
	Dibujado por: HUGO DIAZ JUANPABLO CALDERÓN	Fecha: 02/02/2015
Formato: A4	Revisado por: -----	
Medidas en: CENTÍMETROS	Material: LAMINA ACERO INOXIDABLE	Plancha N°: 3



 ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	
Escala: 1:10	NOMBRE DEL DIBUJO RECIPIENTE (ENSAMBLE)
 Formato: A4	Dibujado por: HUGO DIAZ JUANPABLO CALDERÓN
Medidas en: CENTÍMETROS	Fecha: 02/02/2015
Material: AISI A 304	Revisado por: _____ Plancha N°: 6

ANEXO K. RESULTADOS PRUEBA MICROBIOLÓGICA

Código: FT-01-MIC Versión: 01 Fecha: 02/05/2012 Página 1 de 1	REPORTE DE ENSAYOS
--	--------------------



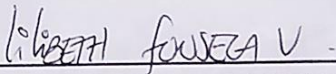
SOLICITANTE	NELSON JARAMILLO
DIRECCION Y TELEFONO	Universidad industrial de Santander
NIT	12144442
TIPO DE MUESTRA	Producto terminado
DESCRIPCION DE LA MUESTRA	Leche Pasteurizada – Micropasteurizador tipo batch
LUGAR DE MUESTREO	Sitio de prueba
RESPONSABLE TOMA DE MUESTRA	Solicitante
CÓDIGO DE LA MUESTRA	1356-15
MOTIVO DEL ENSAYO	Control de Calidad
FECHA DE TOMA DE MUESTRA	07 de Mayo de 2015
FECHA DE ANÁLISIS	07 - 09 de Mayo de 2015
FECHA DE EMISION DEL INFORME	13 de Mayo de 2015

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

PARÁMETRO	RESULTADO	LÍMITE PERMITIDO	TÉCNICA
Recuento de Aerobios Mesófilos	<10 UFC/ml	40.000 – 80.000 UFC/ml	Recuento En Placa
Recuento Coliformes totales	<3 NMP/ml	<10 NMP/ml	Número más probable
Recuento Coliformes fecales	<3 NMP/ml	<3 NMP/ml	Número más probable

OBSERVACIONES: La muestra analizada se encuentra dentro de los límites permitidos de calidad microbiológica establecidos según Decreto 616 de 2006.

**Los resultados obtenidos son válidos únicamente para la muestra analizada.
No se pueden reproducir sin autorización de Inoqualab S.A.S”.**


LILIBETH FONSECA VILLEGAS
 Director Técnico Inoqualab S.A.S

